
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕНЗЕНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»



ISSN 2221-951X

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего** *плюс*

Научное периодическое издание

Серия: Технические науки.
Пищевые производства

06(10)/2013

Пенза
ПГТА
2013

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

«XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего ^{плюс}» :
Научное периодическое издание. – Пенза : Изд-во Пенз. гос.
технол. акад., 2013. – 247 с.

Решением Президиума ВАК при Минобрнауки России
№ 8/13 от 2 марта 2012 г. журнал включен в Перечень рецензи-
руемых научных журналов и изданий для опубликования
основных научных результатов диссертаций.



Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Penza State Technological Academy

ISSN 2221-951X

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

**"XXI century: Resumes of the Past
and Challenges of the Present _{plus}"**

Scientific Periodical

**Series:Engineering Sciences.
Food production**

06(10)/2013

Penza
PSTA
2013

**SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL
JOURNAL**

«XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus». Scientific periodical. – Penza: PSTA Publishing House, 2013. – 247 c.

The journal is included in the List of reviewed scientific journals and editions for publishing principal scientific theses results approved by the Resolution of the Presidium of the Supreme Certification Commission of the Ministry of Education and Science of Russia (№ 8/13, March 2nd, 2012).



Содержание

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АКАДЕМИИ	13
© <i>В.Б. Моисеев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	15
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГОЙ ТЕСТОВОЙ МАССЫ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ВАЛКОВОЙ ТЕСТОРАСКАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ	15
© <i>В.А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Е.А. Сарафанкина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Н.С. Елисеева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>В.В. Ловцева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ НЕПРЕРЫВНОГО ФОРМОВАНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ ПИЩЕВЫХ СРЕД	22
© <i>А.В. Зайцев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
О ПЕРЕМЕЩЕНИИ ВЛАГИ В КОЛЛОИДНЫХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ ПРИ ИХ ВЫСУШИВАНИИ	27
© <i>Г.В. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ПРИ ВЫСУШИВАНИИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ.....	32
© <i>Г.В. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТЫКВЫ	38
© <i>А.Ф. Чамин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>В.Н. Гусева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Г.В. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО КРАХМАЛСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ	46
© А.А. Курочкин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© Г.В. Шабурова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© В.В. Новиков, Самарская государственная сельскохозяйственная академия (г. Самара, Россия)	
© С.В. Денисов, Самарская государственная сельскохозяйственная академия (г. Самара, Россия)	
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ВИДЕ СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	55
© В.А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© С.А. Харлашкин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© В.В. Ловцева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	60
© В.А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© С.А. Харлашкин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© В.В. Ловцева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АНАЛИТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	66
© А.Н. Бормотов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© И.А. Прошин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ	72
© В.Ю. Зайцев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПЕКЛ-ГОЛОГРАФИИ	76
© И.В. Волков, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	

Содержание

- © *Е.М. Бородин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *В.Ю. Зайцев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *А.Ю. Кирсанов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ВИДЕ СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ 80

- © *В. С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *В. А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *В.В. Волков, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 88

- © *В.С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *Н.Н. Короткова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОЙ МАШИНЫ 94

- © *В.С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ 99

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СУШИЛКАХ КАМЕРНОГО ТИПА 99

- © *Е.А. Жистин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *Н.В. Дмитриев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *Е.В. Паужолис, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ 103

- © *В.В. Васильев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *Ю.В. Корочкина, Испытательный лабораторный центр ФГУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии" (г. Пенза, Россия)*

ОЦЕНКА САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ МЕСТНОГО ПРОИЗВОДСТВА	108
© <i>В.В. Васильев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Ю.В. Корочкина, Испытательный лабораторный центр ФГУЗ “Центр гигиены и эпидемиологии” (г. Пенза, Россия)</i>	
ЗЕРНОВЫЕ ЭКСТРУДАТЫ – ИСТОЧНИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ ДЛЯ БУЛОЧНЫХ И МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ	112
© <i>Г.В. Шабурова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>М.О. Волошина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Е.С. Казакова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	118
РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ КОМПОНОВОК МНОГОВАЛКОВЫХ ТЕСТОРАСКАТЫВАЮЩИХ МАШИН	118
© <i>В.А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>В.С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>С.А. Никитина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКА ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА В ЗОНЕ ЗАГРУЗКИ	123
© <i>А.А. Курочкин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>В.В. Новиков, Самарская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)</i>	
О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ДИСКА ШАРИКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ С ТЕЛАМИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ШОКОЛАДНОЙ СУСПЕНЗИЕЙ	127
© <i>В.С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>К.П. Фудин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>А.В. Зайцев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ	133
© А.Б. Терентьев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© Д.А. Мельник, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© А.А. Баклин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА МОЛОКА И МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ	137
© А.Б. Терентьев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© Д.А. Мельник, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© А.А. Баклин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© А.Ф. Чамин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
АВТОМАТИЗАЦИЯ И МЕХАНОТРОНИКА	140
МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ПЛАТФОРМА КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	140
© Д.И. Прошин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА СЕТЕВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛАБОРАТОРИЙ	147
© Р.Д. Прошина, Пензенская государственная технологическая академия (Пенза, Россия)	
МНОГОПОЗИЦИОННЫЙ МЕХАТРОННЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ СЫПУЧИХ И ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ	154
© В.А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© Д.А. Мартяшина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
КОМПОНОВКА АВТОМАТА ДЛЯ ФОРМОВКИ И УПАКОВКИ ПЛАСТИЧНЫХ И ВЯЗКОУПРУГИХ ПИЩЕВЫХ МАСС	157
© В.С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© А.В. Зайцев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ И УМЕНЬШЕНИЯ РАЗБРОСА УСИЛИЙ ЗАТЯЖКИ ГРУППОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ.....	161
© <i>А.Н. Потёмкин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ	167
© <i>А.В. Ланициков, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ	171
© <i>Н.А. Симанин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>В.В. Голубовский, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>А.М. Прохоров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТИПА “СОПЛО – ЗАСЛОНКА” ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИВОДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	179
© <i>Н.А. Симанин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>В.В. Голубовский, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>А.Н. Расстегаев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ.....	190
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО РЫНКА И ЗАДАЧИ БРЕНДИНГА МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ	190
© <i>Н.В. Моряхина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Н.С. Елисеева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Е.В. Таранцова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)</i>	
МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ СПРОСА НА МОЛОКО И МОЛОЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ	194
© <i>В.М. Зимняков, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)</i>	

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЦЕНЫ НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ	197
© В.М. Зимняков, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)	
© Е.А. Алмакаева, ОАО Пензтяжпромартатура (г. Пенза, Россия)	
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ОТРАСЛЯХ АПК (ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОДХОД)	200
© А.В. Новикова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	203
© А.В. Новикова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© Е.В. Таранцова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
ИННОВАЦИИ В ОРГАНИЗАЦИИ ПИТАНИЯ ПассажиРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УСЛУГ И РОСТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИТАНИЯ	207
© Т.Д. Коваленко, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	213
ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ ОБУЧАЮЩИЙ КОМПЛЕКС “ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ”	213
© П.И. Артамонов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
© В.В. Моисеев, средняя образовательная школа № 77 г. Пензы (г. Пенза, Россия)	
© Б.Л. Свистунов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЯСНОГО СЫРЬЯ	223
© З.А. Бочкарёва, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)	
О ЗАДАЧАХ ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ	227

© Н.В. Моряхина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТУДЕНТОВ,
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ 230**

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ
СИСТЕМ СПОСОБОМ КАСКАДНОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО
ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ СРЕД..... 230**

© С.А. Харлашкин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

**ОБ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКЕ ПРИ ВЫБОРЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ
ОБРАБОТОК КОНТАКТИРУЮЩИХ ПАР В УСЛОВИЯХ
СУХОГО ТРЕНИЯ 232**

© А.П. Смольянова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АКАДЕМИИ**

© *В.Б. Моисеев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**GUIDELINES OF DEVELOPMENT OF ACADEMY'S INNOVATION
ACTIVITY**

© *V.B. Moiseev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье сформулированы цели и задачи развития инновационной деятельности академии в сфере промышленных технологий и образования.

Ключевые слова: инновационная деятельность, инновационный потенциал, коммерциализация разработок.

The paper deals with the aims and tasks of development of academy's innovation activity in the sphere of education and industrial technologies.

Key words: innovation activity, innovative capacity, projects commercialization.

E-mail: rector@pgta.ru

Целями инновационной деятельности академии на ближайшую перспективу являются:

- развитие и эффективное использование научно-технического и инновационного потенциала кафедр,
- содействие созданию инновационных проектов,
- организация совместно с предприятиями-партнерами выпуска наукоемкой, конкурентоспособной продукции.

Основные задачи академии в области инновационной деятельности:

- проведение исследований по оценке инновационного потенциала кафедр;
- создание и развитие инфраструктуры поддержки инновационной деятельности на кафедрах;
- развитие кадрового потенциала на кафедрах для инновационного развития;
- создание финансовых рычагов и стимулов развития инновационной деятельности на кафедрах;
- коммерциализация научных разработок на основе развития взаимодействия с предприятиями и Фондами поддержки инноваций;
- создание системы статистического учета и мониторинга результатов инновационной деятельности;
- информационная поддержка инновационной деятельности (табл. 1).

Таблица 1. Направления, задачи и ожидаемые результаты

№	Направление и задачи	Ожидаемый результат
1	2	3
1. Проведение исследований по оценке инновационного потенциала		
1.1	Оценка инновационного потенциала кафедры	Определение точек роста и приоритетных направлений
1.2	Оценка инновационного потенциала академии	направлений инновационного развития

1	2	3
2. Создание и развитие инфраструктуры поддержки инновационной деятельности		
2.1	Анализ структуры и функций подразделений, поддерживающих инновационную деятельность	База данных о субъектах инновационной деятельности
2.2	Создание в структуре проректора по научной работе органа, отвечающего за инновационное развитие	Центр содействия инновациям
2.3	Создание технологических площадок для малых инновационных предприятий	Рост количества субъектов инновационной деятельности в академии
2.4	Создание офисов коммерциализации инновационных разработок	Новые организационные структуры при кафедрах, способствующие внедрению инновационных разработок в производство
2.5	Формирование системы финансовой поддержки инновационных проектов кафедр	Фонды для поддержки малого инновационного бизнеса
2.6	Развитие сети лабораторно-производственных комплексов и научно-исследовательских лабораторий	Производственно-технологическая база для инновационной деятельности
3. Развитие кадрового потенциала для инновационного развития		
3.1	Организация подготовки кадров для инновационной деятельности: - открытие новых специальностей; - переподготовка и повышение квалификации ИТР; - усиление научно-исследовательской работы со студентами, магистрантами и аспирантами	Подготовка квалифицированных кадров, способных к инновационной деятельности
3.2	Включение в учебные планы специальностей дисциплин, направленных на повышение инновационной культуры студентов	Формирование у молодежи проектного мышления и положительного восприятия инноваций
3.3	Формирование целевых групп из работников вуза для направления на учебу в сфере инновационной деятельности	Подготовка квалифицированных кадров в сфере инновационной деятельности
3.4	Проведение ежегодных конкурсов образовательных проектов и программ инновационного характера	Стимулирование кафедр к инновационной деятельности
4. Создание финансовых рычагов и стимулов развития инновационной деятельности		
4.1	Грантовая поддержка перспективных бизнес-идей и научно-технических разработок	Пополнение и обновление базы инновационных проектов
4.2	Организация мониторинга проектов победителей прошлых лет	Включение перспективных проектов в базу данных
4.3	Снижение нагрузки ППС, занятого на малых инновационных предприятиях	Создание условий для развития малых инновационных предприятий
4.4	Формирование портфеля заказов на товары и услуги инновационной деятельности	Банк заказов
5. Коммерциализация научных разработок на основе развития взаимодействия с предприятиями и Фондами поддержки инноваций		
5.1	Формирование портфеля инновационных разработок и проектов	Банк инновационных проектов
5.2	Создание и обновление банка запросов регионального бизнеса на инновационную продукцию	Банк данных о запросах
5.3	Проведение маркетинговых исследований и продвижение инноваций	Создание благоприятных условий для продвижения продукции
5.4	Проведение межрегиональных семинаров по вопросам инновационной деятельности	Обмен опытом, позиционирование академии как вуза инновационного развития
6. Создание системы учета и мониторинга результатов инновационной деятельности на региональном уровне		
6.1	Разработка системы критериев отнесения деятельности на кафедрах к инновационной	Система индикаторов, отражающих уровень и динамику инновационной деятельности
6.2	Разработка форм сбора статистической информации	Статистика инновационной деятельности академии
6.3	Организация мониторинга результатов инновационной деятельности	Создание стимулов к увеличению числа инновационных разработок
7. Содействие развитию системы информационной поддержки инновационной деятельности		
7.1	Подготовка справочника инновационной деятельности	Справочник об инновационной деятельности ПГТА
7.2	Издание каталога инновационных проектов ПГТА	Каталог проектов
7.3	Создание сайта по инновационной деятельности	Позиционирование ПГТА как вуза инновационного развития

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 531; 641.518.899

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГОЙ ТЕСТОВОЙ МАССЫ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ВАЛКОВОЙ ТЕСТОРАСКАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ

- © *В.А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *Е.А. Сарафанкина, Пензенская государственная технологическая
академия (г. Пенза, Россия)*
- © *Н.С. Елисеева, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *В.В. Ловцева, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

MODELING MOVEMENT CONDITIONS OF VISCOELASTIC DOUGH MASS IN OPERATING AREA OF DOUGH-ROLLING-OUT MACHINE OF ROLLER TYPE

- © *V.A. Avrorov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *E.A. Sarafankina, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *N.S. Eliseeva, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *V.V. Lovzeva, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена моделированию условий движения тестовой массы в зоне транспортирования между валками тестораскатывающей машины.

Ключевые слова: тестовая масса, многовалковая тестораскатывающая машина, реологические и механические модели упругих и вязких тел.

The article is dedicated to modeling movement conditions of dough mass in transportation zone between rollers of a dough-rolling-out machine.

Key words: dough mass, multirolled dough-rolling-out machine, rheological and mechanic models of elastic and viscous bodies.

E-mail: v_avrorov@bk.ru

В работах [1, 2] были рассмотрены элементарные модели растяжения, сжатия и чистого сдвига образца вязкоупругой тестовой массы и было показано, что все эти виды деформаций имеют место при раскатывании куска теста в тонкий пласт на многовалковой тестораскатывающей машине.

Рассмотрим поведение тестовой массы, поступающей в рабочую зону между раскатывающими валками. Пусть пласт теста перемещается под не-

большим натяжением в зоне между двумя парами раскатывающих валков, вращающихся с разными скоростями (рис. 1).

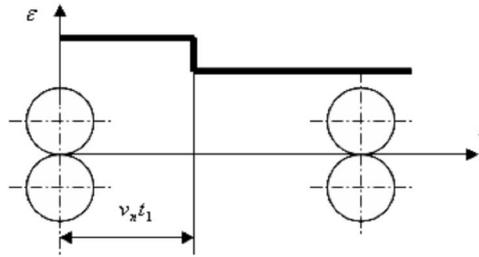


Рис. 1. Распределение деформаций в зоне транспортирования продукта между валками

Будем считать этот пласт однородным и в области малых деформаций упругим. Принимаем диаметры валков одинаковыми и линейную скорость материала в створе валков (по дуге охвата) равной окружной скорости валков (условие отсутствия проскальзывания материала).

Тогда сила натяжения, действующая на продукт в зоне между валками в любом его сечении, будет одинаковой, так же как и деформация в любом сечении продукта внутри этой зоны.

Связь между напряжением, возникающим в сечениях пласта, и относительной деформацией дается реологическим уравнением состояния $\sigma = \mathfrak{R}_v \varepsilon$, где \mathfrak{R}_v – оператор. Для однородного материала уравнение состояния будет одинаковым для всех участков внутри зоны деформации $\mathfrak{R}_v = idem = \mathfrak{R}$.

Оператор \mathfrak{R}_v может быть как линейным, так и нелинейным. Полагая \mathfrak{R}_v линейным, можно записать

$$M\sigma = N\varepsilon,$$

где M и N – линейные дифференциальные операторы,

$$M = M(p) = \sum_{i=1}^n a_i p^i, \quad N = N(p) = \sum_{i=1}^n b_i p^i, \quad (1)$$

где $p = \frac{d}{dt}$, t – время.

Можно принять, что в реальной тестовой массе (для определенных видов теста) в области малых деформаций напряжения и относительные деформации связаны линейной зависимостью, как в упругом теле, и отличаются наличием релаксации напряжений, т.е. тестовая масса проявляет свойства вязкоупругости – эластичную и пластическую составляющие деформации.

Элементарными механическими моделями линейного вязкоупругого материала являются модели Максвелла и Фойгта с последовательным и параллельным соединением пружины (элемент Гука) и демпфера (элемент Ньютона), моделирующими упругую и пластическую деформации [3].

Для элемента Ньютона $\sigma = \mu \frac{d\varepsilon}{dt}$, откуда $\varepsilon = \frac{1}{\mu} \int \sigma dt$. Общая деформация модели Максвелла $\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma + \frac{1}{\mu} \int \sigma dt$.

Реологическое уравнение элемента Максвелла $\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{\mu} \sigma + \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt}$.

Если к модели Максвелла приложить постоянное напряжение $\sigma = \text{const}$, то пружина мгновенно деформируется на величину $\varepsilon_y = \frac{\sigma}{E}$, а затем будет деформироваться со скоростью σ/μ .

В механической модели с параллельным соединением элемента Ньютона (демпфера) и элемента Гука (пружины) деформация обоих элементов будет одинакова, и напряжение будет равно сумме напряжений $\sigma = E\varepsilon + \mu \frac{d\varepsilon}{dt}$.

При $\sigma = \text{const}$ данная модель мгновенно не деформируется. Деформация нарастает постепенно, приближаясь к установившемуся значению σ/E (если принять для установившегося значения $d\varepsilon/dt = 0$).

Все линейные вязкоупругие модели образуются при помощи двух элементов Гука и Ньютона. Представим реологическое уравнение $M\sigma = N\varepsilon$ в виде $p\varepsilon = p \frac{M}{N} \sigma = Z(p)\sigma$. Величина $p\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dt}$ – это скорость деформации.

Оператор $Z(p) = p \frac{M(p)}{N(p)} = pW(p)$ является операторной податливостью модели в системе “скорость деформации – сила”.

При параллельном соединении элементов в системе сила, действующая на систему, равна сумме сил $\sigma_1, \dots, \sigma_n$, воздействующих на составляющие элементы, которые деформируются с одной и той же скоростью $p\varepsilon$.

$$\sigma = \sum_{i=1}^n \sigma_i = \sum_{i=1}^n p\varepsilon Y_i(p) = p\varepsilon \sum_{i=1}^n Y_i(p) = p\varepsilon Y(p).$$

Таким образом, для любой по сложности системы можно найти её податливость (или жесткость) по податливостям входящих в нее элементов Гука или Ньютона. Причем в любой многозвенной модели целесообразно учитывать только те звенья, которые имеют время релаксации одного порядка со временем протекания процесса, что позволяет ограничиться рассмотрением более простых моделей.

Многие пищевые продукты имеют нелинейные характеристики, у них пластическая деформация не является ньютоновой, т.е. они не текут. При нагрузке пластическая составляющая деформации быстро устанавливается

(примером может служить модель Фойгта с большой жесткостью пружины и малой вязкостью демпфера) и при снятии нагрузки эта составляющая не изменяется. Данный материал может быть описан двумя моделями, одна – для нагрузки, вторая – для разгрузки материала.

Момент сопротивления на i -м валке (рис. 1)

$$M_c = M'_c - q\varepsilon,$$

где M'_c – статический момент сопротивления при отсутствии натяжения продукта; ε – деформация в любом сечении продукта внутри зоны транс-

портирования; $q = ES \frac{D}{2u}$; S – площадь поперечного сечения продукта в зоне транспортирования между валками; D – диаметр валка; u – передаточное отношение от двигателя к ведущему валку.

Уравнение движения привода

$$I \frac{dn}{dt} = M_{дв} - M_c,$$

где I – приведенный момент ведущего валка, n – число оборотов ведущего валка, $M_{дв}$ – вращающий момент двигателя.

Для упругого материала величина натяжения в зоне транспортирования определяется относительной деформацией продукта. Очевидно, длина продукта, который поступил в зону за промежуток времени dt , зависит от скорости питающей пары $v_{п}$ и равна $v_{п}dt$. Поскольку это длина деформированного продукта, то, если убрать нагрузку, каждый элемент его длины сократится на величину δ , которая представляет собой абсолютную деформацию, приходящуюся на единицу длины продукта. Относительная деформация будет равна $\varepsilon = \frac{\delta}{1 - \delta}$.

В месте контакта транспортируемого материала и валков в материале может возникать пластическая деформация, если сила давления превысит предел текучести материала. В этом случае произойдет изменение длины материала в зоне транспортирования и величина его натяжения между валками

снизится. Скорость материала выразится как $v_b = k_1 \frac{\pi D n_b}{60} [1 + k_b (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})]$,

$k_1 \geq 1$. Величина k_1 зависит от зазора между валками, коэффициента трения на дуге охвата и других факторов.

Рассмотрим модель движения вязкоупругого продукта в зоне между двумя парами валков (рис. 2) и приведем оценку влияния эластичности и пластичности однородного вязкоупругого материала на динамику процесса его транспортирования.

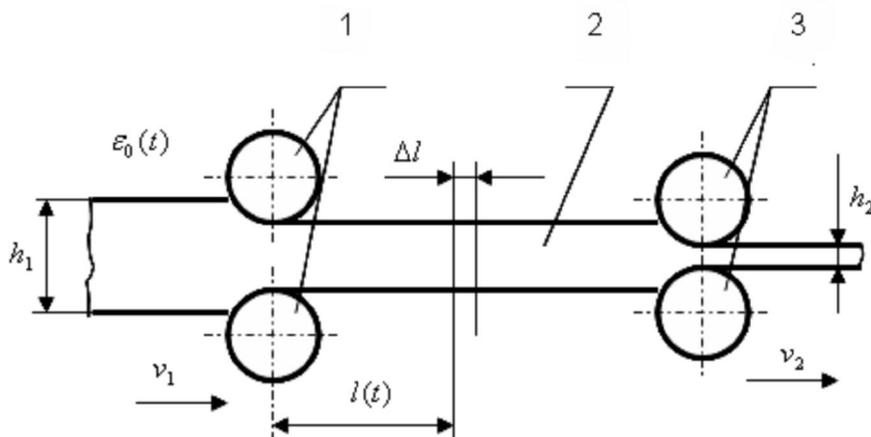


Рис. 2. Модель движения пласта теста между валками:
1 – питающая пара, 2 – пласт теста, 3 – выпускная пара

Будем считать, что натяжение материала для любого сечения в зоне транспортирования одно и то же, т.е. натяжение является только функцией времени, тогда как деформация вязкоупругого продукта зависит не только от времени, но и от координаты точки x , в которой она измеряется, $\varepsilon_i = \varepsilon_i(x, t)$.

Так как деформация любого бесконечно малого элемента продукта зависит от времени и координаты этого элемента, производная по времени складывается из двух составляющих

$$p = \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt},$$

где $\frac{dx}{dt} = v(x, t)$; $v(x, t)$ – скорость пласта теста в точке x зоны транспортирования.

$$\text{То есть } p \equiv \frac{\partial}{\partial t} + v \frac{\partial}{\partial x}.$$

Из основного реологического уравнения получаем

$$M \left(\frac{d}{dt} \right) \frac{F_i(t)}{S} = N \left[\frac{\partial}{\partial t} + v(x, t) \frac{\partial}{\partial x} \right] \varepsilon_i(x, t). \quad (2)$$

Уравнение неразрывности внутри зоны транспортирования

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} (\rho v), \quad (3)$$

где $\rho = \rho_0 / (1 + \varepsilon)$; ρ_0, ρ – плотность недеформированного и деформированного на величину ε материала, соответственно.

Уравнения (2) и (3) описывают процесс транспортирования вязкоупругого материала при следующих краевых условиях:

$$v(L_i, t) = v_{i+1},$$

$$\frac{v(+0, t)}{1 + \varepsilon_i(0, t)} = \frac{v_i}{1 + \varepsilon_i(0, t)},$$

$$\varepsilon_i(+0, t) - \varepsilon_{i-1}(L, t) = \delta_{\text{мп}} [F_i(t) - F_{i-1}(t)] \frac{a_n}{b_n S}.$$

Первое условие учитывает отсутствие проскальзывания – скорость продукта на выходе $v(L, t)$ равна окружной скорости валков $v_{i+1} = v_B$. Второе условие – это условие неразрывности продукта, которое связывает величины скоростей и деформаций в точке разрыва. Третье уравнение связывает величины деформаций и натяжений материала в этой же точке.

Система уравнений (2) и (3) нелинейная. Если деформации малы, т.е. скорости питающей и выпускной пары отличаются друг от друга незначительно, то изменения скорости продукта внутри зоны также малы (и будут тем меньше, чем будет больше упругая составляющая деформации). Поэтому можно считать $v = v_{i+1}$, в этом случае уравнение (3) будет линейным и из него можно определить деформации $\varepsilon_i(x, t)$.

Пусть валки вращаются с разными угловыми скоростями. Определим зависимости напряжений и деформаций пласта от скорости и длины зоны деформирования между ними. Однородная тестовая масса подается транспортером или бункером в створ питающей пары валков тестораскатывающей машины, вращающихся с окружной скоростью v_1 и имеющих зазор, равный h_1 . На расстоянии l от питающей пары установлена выпускная пара валков с зазором h_2 , вращающихся со скоростью v_2 , причем $v_2 / v_1 > 1$ и $h_2 < h_1$ (см. рис. 2). Отношение $v_2 / v_1 = e_{l-II} > 1$ показывает, что между валками существует некоторое растяжение пласта, сообщаемое пласту небольшое натяжение.

Требуется оценить величину деформации пласта в зависимости от скорости его подачи в зону деформации между валками. Для этого выделим элементарный участок пласта Δl на расстоянии $l(t)$ от питающих валков. По мере перемещения пласта этот участок будет непрерывно удлиняться, что приведет к уменьшению величины ускорения пласта.

Обозначим:

$l_0(t)$ – длина недеформированного участка пласта, поступившего в момент t в створ питающей пары валков. Очевидно, что $l_0(t) = v_1 t$;

$l(t)$ – длина деформируемого участка пласта;

T – время движения пласта в зоне деформации.

Силу сопротивления движению пласта примем равной

$$F_{\text{СОПР}} = \sigma \varepsilon S_{\Pi} + \eta \frac{dx}{dt},$$

где $\sigma = E\varepsilon$ – напряжение в сечении, перпендикулярном направлению движения пласта, ε – относительное удлинение пласта, E – модуль упругости материала, S_{Π} – площадь поперечного сечения пласта, η – вязкость материала.

Уравнение движения пласта в зоне деформации

$$m_{\Pi} \frac{d^2 l(t)}{dt^2} = F_{\text{СОПР}} + G_{\Pi}, \quad (4)$$

где m_{Π} – масса пласта, $G_{\Pi} = m_{\Pi} g$ – сила тяжести.

Массу пласта выразим как

$$m_{\Pi} = \rho S_{\Pi} l,$$

где ρ – плотность теста, l – длина зоны деформирования пласта между валками.

Разделив уравнение (4) на m_{Π} , получим

$$\frac{dv(t)}{dt} + a_1 + a_2 v(t) = 0, \quad (5)$$

где $\frac{E\varepsilon S_{\Pi}}{m_{\Pi}} - g = a_1$ и $\frac{\eta}{\rho S_{\Pi} l} = a_2$.

Постоянная интегрирования при начальных условиях $v(t) = v_1$ при $t = 0$

будет равна $C_1 = \frac{\ln(a_2 v_1 + a_1)}{a_2}$. Тогда $t = \frac{1}{a_2} \{ \ln[a_2 v(t) + a_1] - \ln(a_2 v_1 + a_1) \}$ или

$$\frac{a_2 v(t) + a_1}{a_2 v_1 + a_1} = \exp(a_2 t).$$

Отсюда $v(t) = [e^{a_2 t} (a_2 v_1 + a_1) - a_1] / a_2$.

Очевидно, что $l(t) = \int_0^t v(t) dt$, подставив значение $v(t)$ и проинтегрировав, получим решение относительно длины $l(t)$. При начальных условиях $l(t=0) = 0$ постоянная интегрирования равна $C_2 = -(a_2 v_1 + a_1)$.

$$l(t) = (e^{a_2 t} - 1)(a_2 v_1 + a_1) - \frac{a_1 t}{a_2}.$$

Среднюю относительную деформацию пласта можно выразить как

$$\bar{\varepsilon}(t) = \frac{l(t) - l_0(t)}{l_0(t)} = \frac{\{[(e^{a_2 t} - 1)(a_2 v_1 + a_1) - \frac{a_1 t}{a_2}] - v_1 t\}}{v_1 t}.$$

Можно видеть, что скорость движения пласта в зоне между валками в значительной степени определяется параметром a_2 , который при прочих равных условиях зависит от длины зоны деформирования. Величина средней деформации снижается при увеличении вязкости тестовой массы, скорости движения и уменьшении длины зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авроров В.А., Сарафанкина Е.А. Моделирование поведения тестовой массы при ее раскатывании в тонкий равномерный пласт // *Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы* : Сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза : Приволжский дом знаний, 2009. – С. 3 – 7.
2. Авроров В.А., Сарафанкина Е.А. Об изменении деформаций в пласте теста при его раскатывании на многовалковой машине с возвратно-поступательным движением тестораскатывающей каретки // *Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы* : Сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза : Приволжский дом знаний, 2009. – С. 8 – 12.
3. Гатько Н.Н. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции. – Пенза : ПГТА, 2006. – 106 с.

УДК 641.518

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ НЕПРЕРЫВНОГО ФОРМОВАНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ ПИЩЕВЫХ СРЕД

© *А.В. Зайцев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

INVESTIGATING AND MODELING OPERATIONS OF CONTINUOUS SHAPING OF VISCOELASTIC FOODSTUFF

© *A.V. Zaytsev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена моделированию условий движения вязкоупругой массы в шнековой зоне автомата для формования и упаковки вязкоупругих пищевых сред.

Ключевые слова: вязкоупругая масса, шнековый движитель, автомат для формования и упаковки.

The article describes modeling movement conditions of viscoelastic mass in screw zone of a machine for shaping and packing viscoelastic foodstuff.

Key words: viscoelastic mass, screw-type engine, machine for shaping and packing.

E-mail: cygnus61@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ...

Непрерывное формование дрожжевой массы, сливочного масла, спрэдов и других вязкоупругих или вязкопластичных пищевых сред осуществляется преимущественно на устройствах со шнековыми движителями, оснащенных формующей головкой [1, 2], после которой сформированный продукт подается к отрезному устройству упаковочного автомата.

Технологическая схема экструзионного шнекового устройства формовочно-упаковочного автомата приведена на рис. 1 [3].

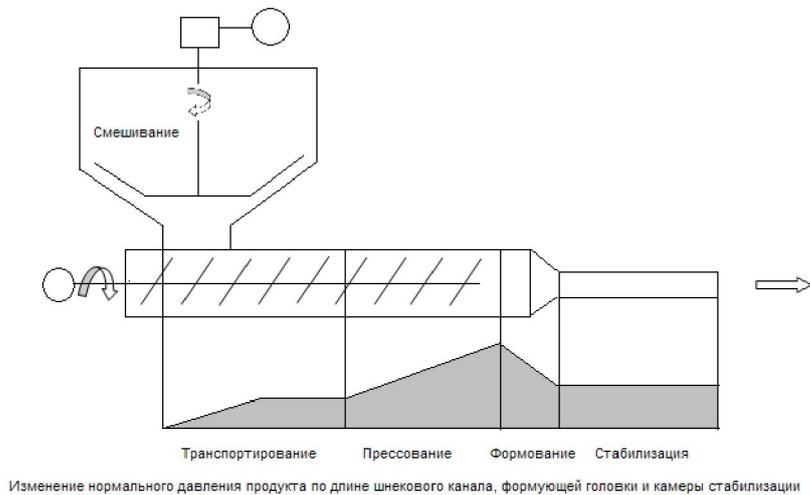


Рис. 1. Схема устройства для непрерывного формования продукта

Дополнительное перемешивание компонентов непосредственно перед их подачей в зону транспортирования позволяет улучшить равномерность смеси, сделать ее более эластичной и обеспечить ее непрерывную подачу в шнековый канал. Шнек перемещает продукт к формующей головке, на выходе из которой он принимает вид бесконечного жгута прямоугольного сечения. В зоне стабилизации формирующей головки происходит частичная релаксация напряжений и сохранение остаточной деформации массы.

Рассмотрим работу зоны смешивания с позиций затрат мощности на перемешивание компонентов (рис. 2,а). Схема мешалки приведена на рис. 2,б.

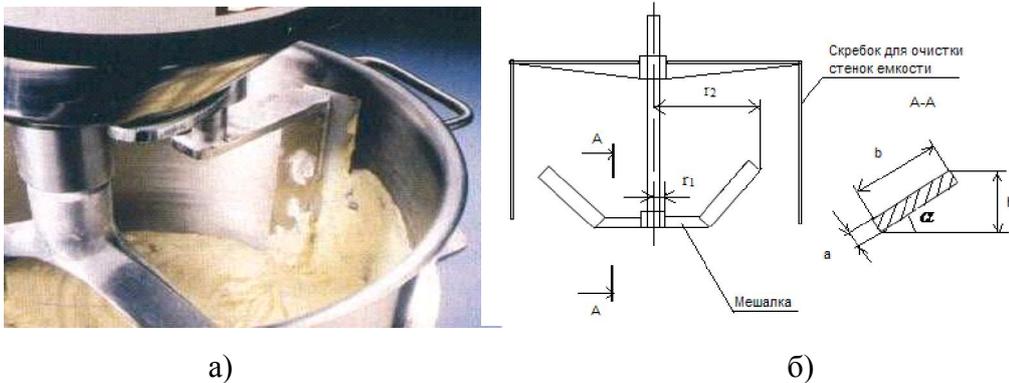


Рис. 2. Перемешивающее устройство (а) и схема мешалки (б)

Энергозатраты при работе мешалки

$$\sum A_i = A_1 + A_2 + A_3 + A_4,$$

где A_1 – работа, затрачиваемая приводом на перемешивание компонентов; A_2 – работа, затрачиваемая приводом на вращение лопастей мешалки; A_3 – работа, обусловленная диссипацией энергии; A_4 – работа, расходуемая на структурные изменения продукта.

Энергия, затрачиваемая на перемешивание компонентов

$$A_1 = zb\pi\rho_0 n^2 \cos(90 - \alpha) (r_2^2 - r_1^2)[(1 - k)\pi^2(r_1^2 + r_2^2) + 0,5ks^2],$$

где z – число лопастей мешалки; b – ширина лопасти; ρ_0 – плотность вязкой массы; n – частота вращения вала мешалки; α – угол наклона лопасти к оси вала; r_1, r_2 – наименьший и наибольший радиусы, описываемые вращающейся лопастью, соответственно; k – коэффициент подачи вязкой массы, характеризующий ее осевое смещение в зону шнекового движителя; s – шаг установки лопастей мешалки.

Энергия, затрачиваемая на вращение лопастей

$$A_2 = \frac{2}{3}zabr\pi^2 n^2 (r_2^3 - r_1^3),$$

где a – толщина лопасти; ρ – плотность материала лопасти.

Энергия, затрачиваемая на нагрев вязкой массы и стенок емкости

$$A_3 = \frac{(t_2 - t_1)(m_1c_1 + m_2c_2)}{n\bar{\tau}},$$

где t_1, t_2 – температура исходной смеси компонентов и температура вязкой массы в конце перемешивания, соответственно; m_1, m_2 – масса продукта в емкости и масса мешалки, соответственно; c_1, c_2 – теплоемкость продукта и теплоемкость материала мешалки, соответственно; $\bar{\tau}$ – среднее время перемешивания.

Работа, расходуемая на структурные изменения продукта

$$A_4 \approx (0,05...0,1)A_1.$$

Потребляемая мощность на вращение мешалки в процессе перемешивания компонентов

$$N_{\text{пер}} = \sum A_i n / 1000.$$

Рассмотрим модель движения вязкой массы в шнековом канале и в зоне формования.

Производительность шнекового движителя при транспортировании вязкой массы

$$P = 0,785n(D^2 - d^2)(H - s_B)\varphi k,$$

где n – астога вращения шнека; D, d – диаметр шнека и диаметр вала, соответственно; H – шаг витков шнека; s_B – толщина витка шнека; φ – коэффициент заполнения объема витков шнека транспортируемым продуктом; k – коэффициент осевой подачи, $k = 1 - k_0 = 1 - \left(\frac{H - s_B}{H} \right) = 1 - (\sin^2 \beta + 0,5f \sin 2\beta)$; k_0 – коэффициент отставания; f – коэффициент трения продукта о винтовую поверхность шнека, β – угол подъема витка шнека, отнесенный к среднему диаметру.

Известно, что производительность шнекового движителя, работающего с противодавлением, может быть выражена как

$$P = P_1 - P_2 - P_3,$$

где P_1 – поток продукта вдоль винтового канала шнека; P_2 – обратный поток продукта вдоль винтового канала под действием противодействия; P_3 – обратный поток продукта в зазоре между наружным диаметром витков и внутренним диаметром корпуса.

При допущении, что реологические свойства транспортируемого шнеком продукта по всей длине шнека неизменны, производительность шнекового движителя можно выразить через константы прямого и обратного потоков

$$P = An - B \left(\frac{\Delta p_{\max}}{\mu} \right) - C \left(\frac{\Delta p_{\max}}{\mu} \right),$$

где $A = \frac{\pi^2 D h^2 \sin \beta \cos \beta}{2}$ – константа прямого потока; h – глубина виткового

пространства; $B = \frac{\pi D h^3 \sin^2 \beta}{12L}$ – константа обратного потока вдоль вин-

тового канала; L – рабочая длина шнека; $C = \frac{\pi^2 D^2 \Delta x \operatorname{tg} \beta}{12L s_H}$ – константа об-

ратного потока в зазоре между шнеком и корпусом; Δx – величина зазора между витками шнека и корпусом; s_H – толщина витка по наружному диаметру шнека; Δp_{\max} – перепад давления по длине шнека.

Пропускная способность зоны формования в общем виде является функцией перепада давления и коэффициентов, характеризующих ее геометрию

$$P_{\text{ГОЛ}} = f(k_i \Delta p_{\text{ГОЛ}}),$$

где $k_i = \frac{F_i^3}{2l_i \Pi_i^2}$; F_i – площадь сечения i -й зоны; l_i – длина i -й зоны; Π_i – периметр сечения i -й зоны.

Формующая головка содержит три зоны:

- зона стабилизации длиной l_1 и прямоугольным сечением $a \cdot b$;
- конусная зона длиной l_2 и средним радиусом \bar{r} ;
- кольцевая зона входа в головку длиной l_3 и радиусами R и r .

Для первой зоны $k_1 = \frac{(ab)^3}{2l_1(2a+2b)^2}$, для второй зоны $k_2 = \frac{(\pi \bar{r}^2)^3}{2l_2(\pi D)^2}$,

для третьей зоны $k_3 = \frac{(\pi R^2 - \pi r^2)^3}{2l_3(\pi D + \pi d)^2}$.

Общий коэффициент геометрической формы $k = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_i}}$.

Перепад давления в головке

$$\Delta p_{\text{ГОЛ}} = P_0 \mu / k,$$

где μ – динамическая вязкость продукта; P_0 – объемная производительность потока продукта на выходе из формующей головки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фатыхов Ю., Канопка Л. *Экструзионные технологии пищевых производств*. – Вильнюс : Техника, 2007. – 88 с.
2. Остриков А.Н. *Экструзия в пищевой технологии* / А.Н. Осипов [и др.]. – СПб. : ГИОРД, 2004. – 288 с.
3. Зайцев А.В. *Повышение эффективности процесса формования пластичных пищевых продуктов с разработкой компоновки механизмов привода фасовочно-упаковочного автомата* : Маг. дисс. – Пенза : ПГТА, 2011. – 100 с.

УДК 664.87

О ПЕРЕМЕЩЕНИИ ВЛАГИ В КОЛЛОИДНЫХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ ПРИ ИХ ВЫСУШИВАНИИ

© *Г.В. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**MOISTURE MOTION IN COLLOIDAL CAPILLARY-POROUS FOODS
IN THE PROCESS OF THEIR DRYING**

© *G.V. Avrorov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена моделированию условий перемещения влаги в капиллярно-пористых пищевых продуктах при их высушивании.

Ключевые слова: модель движения влаги, капиллярно-пористые пищевые продукты, процесс сушки.

The paper considers modeling conditions of moisture motion in colloidal capillary-porous foods while drying them.

Key words: model of moisture motion, capillary-porous foods, drying process.

E-mail: avrorov67@mail.ru

Задача о перемещении влаги в коллоидных капиллярно-пористых материалах может рассматриваться как одна из задач о движении сплошной среды, когда перемещение влаги в порах и между порами осуществляется под действием массовых и гидродинамических сил [1, 2].

Рассмотрим модель движения влаги в капиллярно-пористом продукте при воздействии на него теплового потока от внешнего источника тепла. Пусть объем пор и капилляров в выделенном элементарно малом объеме V капиллярно-пористого продукта равен V_{Π} . Тогда отношение $V_{\Pi}/V = \mathcal{P}$ будет характеризовать объемную пористость этого продукта. Это отношение в процессе теплового воздействия на продукт будет изменяться в зависимости от температуры, времени теплового воздействия и других факторов.

Движение влаги в пористых каналах и капиллярах продукта происходит по сложным пространственным траекториям с изменением направлений и скоростей движения, поэтому движение влаги приходится оценивать средней скоростью по объему пор \bar{v}_{Π} или средней скоростью по объему всего продукта \bar{v} .

Из литературы известно, что если выделить в продукте элементарную площадку ΔS , то расход жидкости ΔQ_{\max} через нее в направлении нормали к этой площадке n_0 будет максимальным, т.е. можно записать, что $\bar{v} = (\Delta Q_{\max} / \Delta S)n_0$. Соответственно, средняя скорость по элементарной площадке в окрестности точки, расположенной в i -м капилляре продукта, будет равна $\bar{v}_{\Pi} = (\Delta Q_{\max} / \Delta S_{\Pi})/n_0$. Приравняв эти выражения, получим $\bar{v}\Delta S = \bar{v}_{\Pi}\Delta S_{\Pi}$.

Очевидно, что выделенный j -й объем в окрестности той же точки можно представить в виде набора элементарных площадок, нормали которых будут касательными к кривой, проведенной через центры этих площа-

док, т.е. $dV = \Delta S(s)ds$, где s – длина кривой, откуда $V = \int_0^s \Delta S(s)ds$. Анало-

гично для объема пор $V_{\Pi} = \int_0^s \Delta S_{\Pi} ds$. Из этого следует, что $\int_0^s \bar{v} \Delta S ds = \int_0^s \bar{v}_{\Pi} \Delta S_{\Pi} ds$

или $\int_V \bar{v} dV = \int_{V_{\Pi}} \bar{v}_{\Pi} dV_{\Pi}$, откуда $\bar{v}V = \bar{v}_{\Pi}V_{\Pi}$ и $v_{\Pi} = \vartheta v$.

Моделью динамического поведения жидкости является уравнение Эйлера [3], с помощью которого можно установить характер зависимости, описывающей движение влаги. Запишем действующие на жидкость силы при допущении, что средние скорости потока влаги в порах и движения влаги в продукте в целом удовлетворяют уравнению Эйлера.

Эти силы следующие:

– сила гидродинамического давления, возникающая из-за перепада температур $-(1/\rho)grad\ p$;

– массовая сила (сила тяжести), вектор которой направлен по оси z , $G = -(1/\rho)grad\ gz$;

– сила сопротивления движению влаги (сила трения), направленная в сторону, противоположную направлению вектора скорости, и являющаяся ее функцией.

Тогда уравнение движения влаги с учетом действующих на нее сил записывается как $\partial v / \partial t = -(1/\rho)grad\ p + G - f(v)$, где $f(v) = gI$,

$I = -grad\left(\frac{p}{\rho g} + z\right)$ – градиент пьезометрического напора [2].

Можно принять, что при невысоких температурах сушки будет наблюдаться линейная зависимость между скоростью движения влаги и градиентом напора $v = k_1 I = (k_1 / \rho g) grad\ \check{p}$, где k_1 – коэффициент пропорциональности, зависящий от физико-механических свойств продукта и вязкости жидкости μ , $0 \leq k_1 \leq 1$; \check{p} – приведенное давление, $\check{p} = p + \rho gz$.

При постоянной температуре сушки и больших перепадах давления изменение коэффициента вязкости можно представить линейной зависимостью вида $\mu = a + bp$, где a, b – некоторые постоянные, а при незначительных перепадах давления, полагая $\mu = const$, силу сопротивления выразить как $f(v) = (\mu / \rho k)v$. Тогда уравнение перемещения влаги при нестационарных режимах может быть записано как $\partial v / \partial t = -(1/\rho)grad\ p + G - (\mu / \rho k)v$.

О ПЕРЕМЕЩЕНИИ ВЛАГИ В КОЛЛОИДНЫХ...

Если принять форму высушиваемого продукта в виде параллелепипеда правильной формы, например брусочка ржано-пшеничного хлеба, то граничные условия можно записать в следующем виде:

– нормальная составляющая скорости вдоль опорной поверхности L высушиваемого продукта равна нулю $(v_{\Pi})_L = 0$;

– тангенциальные составляющие скорости вдоль боковых поверхностей продукта L_i равны нулю, поскольку влага испаряется с боковых поверхностей тела по нормали к этим поверхностям, $(v_i)_{L_i} = 0$, где i – количество поверхностей тела, кроме опорной поверхности;

– давление над опорной поверхностью продукта равно атмосферному, $\bar{p} = p_a$.

При высушивании коллоидных капиллярно-пористых материалов, например, таких как овощи, хлеб и др., происходит изменение агрегатного состояния влаги, перемещаемой в порах и капиллярах продукта, которая из жидкости постепенно превращается в пар. В этом случае силами тяжести можно пренебречь. Массовая скорость перемещения влаги в виде пара определяется как $\rho v = grad\phi$, где ϕ – потенциал скорости.

Уравнение перемещения пара в декартовых координатах в установившемся режиме может быть представлено в форме уравнения Лапласа

$$D\Delta p = 0, \text{ где } \Delta p = \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \right), \quad D = \frac{\rho k}{\mu} \quad [4].$$

В капиллярно-пористых телах, например, таких как хлеб, грибы и др., могут встречаться пустоты и плотные включения, которые будут влиять на условия перемещения влаги.

Рассмотрим модель движения влаги в капиллярно-пористом теле с пустотами. Примером такой модели может служить ржано-пшеничный хлеб при его высушивании (рис. 1).



Рис. 1. Структура разрыхленного мякиша ржано-пшеничного хлеба

Пусть имеется установившийся потенциальный поток однородной жидкости постоянной вязкости, перемещающейся в однородной среде, коэффициент проницаемости которой равен k_1 . Данное течение вдоль направления перемещения влаги описывается комплексным потенциалом $\Omega = f(z) = v_0 z$,

где $v_0 = \text{grad } \varphi = \text{grad} \left(\frac{-k_1 p}{\mu} \right)$, v_0 – скорость перемещения влаги.

Если в высушиваемом продукте будут встречаться пустоты, значительно превышающие размер пор, то характеристики потока будут изменяться, и комплексные потенциалы течений в продукте и в пустоте выразятся как

$\Omega_1 = v_0 \left(z + \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \frac{r^2}{z} \right)$, где r – радиус пустоты (в данной модели принята

пустота в виде сферы), и $\Omega_2 = \frac{2k_2 v_0}{k_1 + k_2} z$.

Так как коэффициент проницаемости пустоты равен $k_2 = \infty$, то, соответственно, значения Ω_i будут равны:

$$\Omega_1 = v_0 \left(z - \frac{r^2}{z} \right) \quad (1)$$

$$\Omega_2 = 2v_0 z,$$

т.е. внутри пустоты скорость потока будет вдвое больше.

Если моделируемая среда будет включать ряд кусочно-однородных областей с разными проницаемостями, границами изменения которых будут параллельные прямые или концентрические окружности (в круглых корнеплодах, например в тыкве и др.), то перемещение влаги в области плоскости z , описываемое комплексными потенциалами, может быть получено с помощью конформного отображения [5, 6].

В [5, 6] указано, что отображение \mathfrak{w} с областью определения D и областью значений W конформно в точке $z \in D$, т.е. отображение $\mathfrak{w} = f(z)$ сохраняет углы между кривыми, проходящими через точку z области D как по величине, так и по ориентации, если в этой области функция $f(z)$ аналитическая и $f'(z) \neq 0$.

Пусть $\Omega(z)$ определяет движение влаги в области плоскости z . Тогда $z = f(\mathfrak{w})$ осуществляет конформное отображение внешности окружности или полуплоскости на область плоскости \mathfrak{w} , такое, что окружность или прямая переходят в заданную кривую ξ . То есть если z окружность или прямая была линией тока или линией равного потенциала, соответствующей

границе поверхности, то ξ также будет линией тока или линией равного потенциала, так как при конформном отображении линии тока и равного потенциала плоскости z переходят в линии тока или равного потенциала плоскости ξ . Конформное отображение позволяет построить поток с границами свободной поверхности или ограниченный стенками в форме ξ .

Пусть в продукте имеется пустота единичного радиуса ($r = 1$), и движущийся поток жидкости в продукте ее обтекает со скоростью v_0 , т.е. по аналогии с формулой (1) получим $\Omega = v_0(z - 1/z)$. Конформное отображение области вне окружности на плоскость выражается функцией $\xi = C(z + 1/z)$. Исключая z из этих выражений, получим комплексный потенциал $\Omega(\xi) = (v_0/C)\sqrt{\xi^2 - r^2}$, характеризующий течение, возникающее при наличии в продукте пустоты.

Если в продукте, кроме пустоты, будет наблюдаться локальное уплотнение, например плотный непромес в мякише хлеба, то обтекание такого уплотнения произвольным потоком влаги может быть описано комплексным потенциалом $\Omega = f(z) \pm \bar{f}(r^2/z)$, где знак $+$ соответствует обтеканию непроницаемого включения. Конформное отображение плоскости z на плоскость $\xi = C(z \pm 1/z)$ вместе с выражением $\Omega = f(z) \pm \bar{f}(r^2/z)$ определяет комплексный потенциал в плоскости ξ , описывающий наличие в продукте пустот и непроницаемых включений, различным образом ориентированных относительно потока.

Поскольку конформные отображения позволяют перевести область, ограниченную окружностью или прямой, в область, ограниченную кривой второго порядка или произвольной кривой, то можно, используя указанные выше выражения, построить модель движения влаги в высушиваемом продукте с особыми случаями комплексного потенциала, определенного в области, границами которой может быть любая кривая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепции, методы, приложения : Пер. с англ. – СПб. : Профессия, 2007. – 600 с.
2. Голубева О.В. Курс механики сплошных сред. – М. : Высшая школа, 1972.
3. Никифоров А.Ф. Лекции по уравнениям и методам математической физики. – Долгопрудный : Интеллект, 2009. – 136 с.
4. Юдаев Б.Н. Теплопередача. – М. : Высшая школа, 1973. – 360 с.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М. : Наука, 1984. – 832 с.
6. Эберт Г. Краткий справочник по физике. – М. : Физматлит, 1963. – 552 с.

УДК 536.2; 664.87

**О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ
КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ПРИ ВЫСУШИВАНИИ
КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

© *Г.В. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**SOLVING THERMAL CONDUCTIVITY EQUATION WITH THE HELP
OF FINITE DIFFERENCE METHOD WHILE DRYING CAPILLARY-
POROUS FOODS**

© *G.V. Avrorov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена использованию численных методов для решения уравнения теплопроводности при сушке капиллярно-пористых материалов.

Ключевые слова: сушка капиллярно-пористых материалов, уравнение теплопроводности, метод конечных разностей.

The article deals with applying numerical approach to solving thermal conductivity equation in the process of drying capillary-porous foods.

Key words: drying capillary-porous foods, thermal conductivity equation, finite difference method.

E-mail: avrorov67@mail.ru

Аналитическое решение дифференциального уравнения теплопроводности дает множество решений и позволяет определить температуру в любой точке различных тел из разных видов материалов. Однако для нестационарных тепловых процессов $T = f(x, y, z, t)$ аналитическое решение уравнения представляет существенные трудности и возможно при определенных упрощающих условиях (одномерные или двумерные модели тел и др.).

Уравнение теплопроводности Фурье $\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T$ для двумерного случая имеет вид $\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$. Если процесс стационарен, то $\nabla^2 T = 0$ и, соответственно, для двумерного температурного поля уравнение теплопроводности запишется как $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$ [1].

Решение уравнения $T = f(x, y)$ ищется в виде $T = X(x)Y(y)$, т.е. $Y(y) \frac{d^2 X(x)}{dx^2} + X(x) \frac{d^2 Y(y)}{dy^2} = 0$ или после разделения переменных $\frac{1}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} = -\frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2}$.

Можно записать

$$\begin{cases} \frac{d^2 Y}{dy^2} - k^2 Y = 0 \\ \frac{d^2 X}{dx^2} - k^2 X = 0. \end{cases}$$

Решение для первого уравнения системы $Y = \exp(ry)$ или $r^2 \exp(ry) - k^2 \exp(ry) = \exp(ry)(r^2 - k^2) = 0$. Откуда $r = \pm k$ и общее решение данного дифференциального уравнения запишется как $Y = C_1 \exp(ky) + C_2 \exp(-ky)$, где произвольные постоянные C_1, C_2 находят-ся при заданных начальных и граничных условиях [2].

Аналогичное решение будет для второго уравнения системы. Из ха-рактеристического уравнения $r^2 + k^2 = 0$ значения корней равны $r = \pm ik$. В этом случае общее решение запишется как $X = C_3 \exp(ikx) + C_4 \exp(-ikx)$, где C_3, C_4 – произвольные постоянные.

Используя формулу Эйлера $e^{\pm ikx} = \cos kx \pm i \sin kx$, решение можно представить в виде $X = A \cos kx + B \sin kx$, где $A = C_3 + C_4$, $B = C_3 - C_4$, тогда общее решение системы запишется как $T = XY = (A \cos kx + B \sin kx)(C_1 \exp(ky) + C_2 \exp(-ky))$.

На практике для решения задач теплообмена используют критери-альные уравнения или численные методы [3].

Одним из численных методов, который можно применять для реше-ния подобных задач, является метод конечных разностей (МКР), позволяю-щий заменить производные в дифференциальном уравнении теплопро-водности их приближенными алгебраическими выражениями через раз-ности значений функции в отдельных точках тела.

Сущность метода заключается в том, что при достаточно малом фик-сированном значении h (рис. 1) угол α близок к углу β , и производную $f'(x)$ с небольшой погрешностью можно заменить линейным выражением, называемым *конечной разностью*.

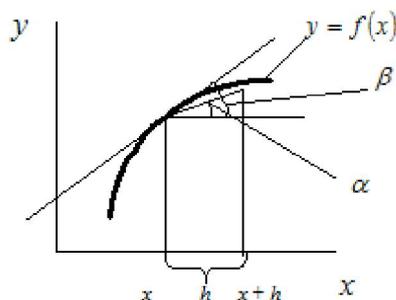


Рис. 1. Графическая интерпретация производной функции $f(x)$

Последовательность решения задачи данным методом заключается в следующем:

1. На область Ω , занимаемую исследуемым объектом, наносят разностную сетку (рис. 2).

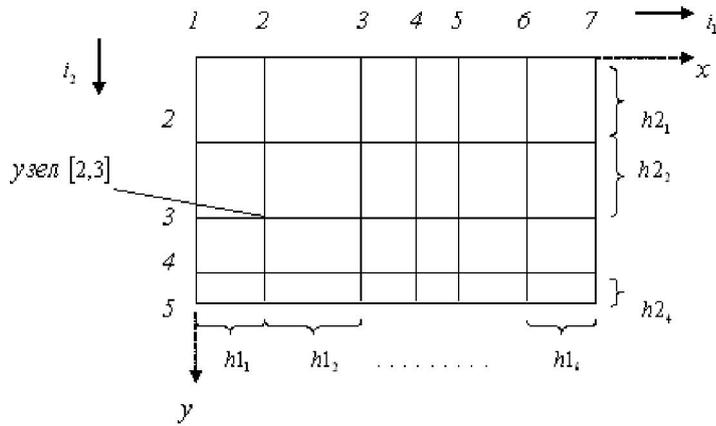


Рис. 2. Разностная сетка

2. Предполагая, что решение задачи заключается в поиске функции $T(x, y)$, присутствующей в дифференциальном выражении, в том числе и под знаком производной, вместо этой функции, имеющей бесконечное множество значений (т.е. значений в любой точке области Ω), ищется заменяющая ее сеточная функция $\bar{T}(x, y)$.

Сеточная функция будет иметь конечное число значений, которые находятся в узлах разностной сетки. В остальных точках сеточная функция $\bar{T}(x, y)$ не определена.

Таким образом, поиск функции $T(x, y)$ заменяется вычислением нескольких численных значений функции $\bar{T}(x, y)$ в узлах разностной сетки.

3. Числа $\bar{T}(x, y)$ и соответствующие им узлы для удобства нумеруются. Каждый узел будет иметь два индекса i_1 и i_2 . Так, в узле сетки со значениями индексов $i_1 = 2, i_2 = 3$ (узел $[2, 3]$, см. рис. 2) функция \bar{T} будет обозначаться \bar{T}_{23} .

4. Значения первой производной от $T(x, y)$ по аргументу x в узле $\{2, 3\}$ запишутся конечной разностью $\frac{\partial T}{\partial x} \approx \frac{\bar{T}_{33} - \bar{T}_{23}}{h1_2}$, а по аргументу y в том же узле $\frac{\partial T}{\partial y} \approx \frac{\bar{T}_{24} - \bar{T}_{23}}{h2_2}$ – это так называемые *первые конечные разности* в данном узле сетки. Для любого узла сетки $[i_i, i_j]$ их можно записать как

$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{\bar{u}_{i+1,j_2} - \bar{u}_{i,j_2}}{h1_{i_1}},$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} \approx \frac{\bar{u}_{i,j_2+1} - \bar{u}_{i,j_2}}{h1_{i_2}}.$$

5. Вторая производная по определению – это первая производная от первой, с учетом этого определяются конечные разности для производных более высоких порядков.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} \approx \frac{\frac{\bar{T}_{i+1,j_2} - \bar{T}_{i,j_2}}{h1_{i_1}} - \frac{\bar{T}_{i,j_2} - \bar{T}_{i-1,j_2}}{h1_{i-1}}}{\frac{h1_{i-1} + h1_{i_1}}{2}} \text{ и т.д.}$$

6. Искомая функция, участвующая в математической модели, заменяется приближенной сеточной, а производные от искомой функции – конечными разностями.

7. Общая конечно-разностная запись краевой задачи заменяется равносильной ей записью в виде системы алгебраических уравнений, каждая из которых записывается только для одного узла сетки.

Таким образом, количество уравнений в системе равно числу узлов сетки. В этих узлах в качестве неизвестных участвуют значения сеточных функций \bar{T} , количество которых также равно числу узлов сетки.

Рассмотрим в качестве примера модель распространения тепла в плоской двумерной пластинке. Обозначим на пластинке ряд точек, которые будут являться узлами сетки 1, 2, 3 и 4.

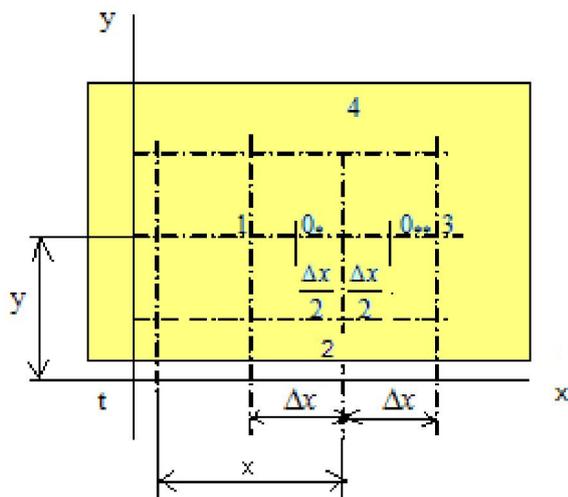


Рис. 3. Фрагмент сетки на плоской пластинке

Обозначим температуры в точке 0 и узлах сетки 1, 2, 3 и 4 через T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 .

Градиент температуры в направлении оси x для точки 0^* равен $\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x+\frac{\Delta x}{2},y} \cong \frac{t_1 - t_0}{\Delta x}$. Аналогично для точки 0^{**} $\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x-\frac{\Delta x}{2},y} \cong \frac{t_0 - t_3}{\Delta x}$.

Значение второй производной для точки 0 в направлении оси x $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \cong \frac{1}{\Delta x} \left[\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x+\frac{\Delta x}{2},y} - \left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x-\frac{\Delta x}{2},y} \right] = \frac{1}{\Delta x^2} (t_1 + t_3 - 2t_0)$. То же в направлении оси y $\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \cong \frac{1}{\Delta y^2} (t_2 + t_4 - 2t_0)$.

Имеем $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \cong \frac{1}{\Delta x^2} (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 - 4t_0) = 0$ или

$$\sum t_i - 4t_0 = 0, \quad i = 1, \dots, 4.$$

Для трехмерного температурного поля можно записать $\sum t_i - 6t_0 = 0, \quad i = 1, \dots, 6$.

Применим метод конечных разностей для определения температуры в узлах сетки, нанесенной на сечение тонкого прямоугольного ломтика из тыквы (рис. 4).

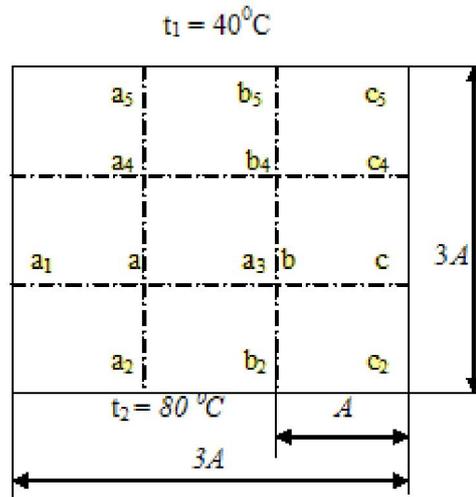


Рис. 4. Схема определения температуры пластинки тыквы методом конечных разностей

Пусть имеется тонкий ломтик тыквы сечением $3A \times 3A$, температура на внешней поверхности которой равна 40°C , а температура контактной поверхности 80°C . Требуется определить температурное поле по сечению пластинки.

Зададим температуру в точках a, b , равную 60°C , а в точках $a_4, b_4 - 50^\circ\text{C}$. Тогда условие $\sum t_i - 4t_0 = 0, \quad i = 1, \dots, 4$ для точки a даст остаток

О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ...

$R_a = 40 + 80 + 60 + 50 - 4 \cdot 60 = -10$. Разделим остаток $-10/4 = -2,5$ и добавим эту величину к остаткам точек a_4 и a_3 , (b). В точках a_2 и a_1 остатки не вычисляются, поскольку они находятся на поверхности тела с заданной температурой пластинки.

Добавим к температуре в точке a значение $2,5$, получим $57,5$ °С.

Для точки b новый остаток будет равен $R_b = 57,5 + 80 + 40 + 50 - 4 \cdot 60 = -13,5$. Тогда температура в точке b будет равна $46,5$ °С.

Аналогичным образом вычисляются температуры в точках a_4 и b_4 .

Сушка относится к нестационарным тепловым процессам и аналитическое решение уравнений теплопроводности (особенно если $T = f(x, y, z, \tau)$) во многих случаях получить невозможно.

Рассмотрим использование метода при решении нестационарной задачи теплопроводности, когда температура, кроме координат, является еще и функцией времени.

В данном случае уравнение Фурье будет иметь вид

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial \tau} = \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right).$$

Первая производная по τ представляется следующей конечной разностью

$\frac{\partial T}{\partial \tau} \cong \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{T'_0 - T_0}{\Delta \tau}$, где T_0, T'_0 – температура в точке 0 и температура в той же точке через промежуток времени $\Delta \tau$, соответственно.

Учитывая вышеизложенное, уравнение теплопроводности в конечных разностях будет иметь вид

$$\frac{T_1 + T_2 - 2T_0}{\Delta x^2} + \frac{T_3 + T_4 - 2T_0}{\Delta y^2} + \frac{T_5 + T_6 - 2T_0}{\Delta z^2} = \frac{T'_0 - T_0}{a \Delta \tau}.$$

При $\Delta x = \Delta y = \Delta z$ можно записать как $\sum T_i - 6T_0 = \frac{(\Delta x)^2}{a \Delta \tau} (T'_0 - T_0)$, откуда

$$T'_0 = \frac{a \Delta \tau}{(\Delta x)^2} \left[\sum T_i + \left(\frac{(\Delta x)^2}{a \Delta \tau} - 6 \right) T_0 \right], \text{ где } i = 1, \dots, 6.$$

Данная формула позволяет по известной температуре T_0 в данный момент времени τ и в данной точке 0 и по температурам $T_i, i = 1, \dots, 6$ в тот же момент времени найти неизвестную температуру T'_0 в той же точке в момент времени $\tau + \Delta \tau$. Для отыскания температуры в точке 0 в момент времени $\tau + 2\Delta \tau$ температуру $T'_0(\tau + \Delta \tau)$ принимают за известную и находят $T''_0(\tau + 2\Delta \tau)$ и т.д.

Аналитическое решение дифференциального уравнения теплопроводности дает множество решений и позволяет определить температуру в любой точке исследуемого образца, тогда как численные методы используют алгебраические уравнения, получаемые из дифференциальных уравнений, и позволяют определять температуру только в отдельных выбранных точках для одной конкретной задачи. Любое изменение исходных параметров потребует повторения всей процедуры решения заново.

Метод конечных разностей можно использовать не только при решении задач теплообмена, но и в других случаях, например при нахождении прогибов валов под действием внешней нагрузки [4]. Такие задачи возникают, например, при интенсификации процессов измельчения, смешивания вязких сред и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдаев Б.Н. Теплопередача. – М. : Высшая школа, 1973. – 360 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М. : Наука, 1984. – 832 с.
3. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М. : КолосС, 2006. – 760 с.
4. Авроров В.А. Определение деформационного состояния опорного вала ножевой резательной машины // Инновации в науке и образовании : Сборник статей научно-технической конференции. – Калининград : ГГТУ, 2005. – С. 292 – 296.

УДК 536.2; 65.047.1 (355)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТЫКВЫ

- © *А.Ф. Чамин*, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)
- © *В.Н. Гусева*, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)
- © *Г.В. Авроров*, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

SIMULATION MODELING THE PROCESS OF PUMPKIN DRYING

- © *A.F. Chamin*, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)
- © *V.N. Guseva*, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)
- © *G.V. Avrorov*, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

Статья посвящена имитационному моделированию и экспериментальному исследованию процесса сушки капиллярно-пористых продуктов на примере тыквы.

Ключевые слова: сушка капиллярно-пористых материалов, кинетика сушки, уравнения регрессии.

The paper is concerned with simulation modeling and experimental testing the process of drying capillary-porous food such as pumpkin.

Key words: drying capillary-porous materials, drying kinetics, regression equation.

E-mail: avrorov67@mail.ru

Для Российской Федерации вопросы обеспечения населения плодово-овощной продукцией имеют большое значение, поскольку большая часть территории не имеет благоприятных климатических условий для выращивания овощей и плодов, и значительная часть населения страны испытывает дефицит многих витаминов, минеральных веществ и других биологически активных соединений, крайне необходимых для жизнедеятельности человека.

Одним из привлекательных источников питательных веществ, витаминов, микроэлементов является тыква, ареал возделывания которой занимает почти всю южную и среднюю полосы России.

На протяжении столетий во всем мире для консервирования различной пищевой и сельскохозяйственной продукции наряду с другими методами применялась сушка. В настоящее время процесс сушки продолжает оставаться одним из основных методов консервирования пищевой продукции.

Основная задача дегидратации пищевых продуктов заключается в удалении влаги до такого уровня, при котором сводится к минимуму возможность развития микроорганизмов, что увеличивает срок хранения продукта. Помимо увеличения сохраняемости, сушка влечет значительное снижение массы и объема, что, в свою очередь, способствует снижению затрат на упаковку и транспортировку продуктов.

В процессе сушки пищевые продукты подвергаются физическим и биохимическим изменениям. Поэтому первоочередной задачей сушки является производство обезвоженных продуктов питания с позиций сохранения их питательных и органолептических свойств. Потеря питательной ценности продукта происходит в основном за счет влияния на витамины и белки повышенной температуры при удалении влаги [1].

При сушке существенно меняются органолептические свойства продукта, такие как структура, цвет и вкус. Изменения в структуре влияют на растворимость и способность к дегидратации. Одной из проблем, возникающих при обработке и хранении сухих пищевых продуктов, является изменение цвета в результате ферментативного и неферментативного потемнения и ослабление аромата с появлением посторонних привкусов.

Для моделирования и оптимизации процесса сушки с позиций обеспечения качества необходимо знать кинетику процесса, которая учитывает взаимосвязь температуры и содержания влаги [2, 3]. Уравнение скорости сушки является неотъемлемой частью балансов массы и энергии, применяемых при имитационном моделировании сушилок. Следует отметить, что в этом аспекте наблюдается как недостаток экспериментальных данных, так и отсутствие прикладных программ для имитационного моделирования. Таким образом, обоснование условий сушки продукта и прогнозирование его качества по-прежнему представляет собой актуальную задачу.

Длительное время промышленная сушка пищевых продуктов основывалась в большей степени на практическом знании секретов производства (ноу-хау), чем на основательном понимании сущности тепломассообменных процессов. Широкое внедрение и надежное функционирование линий по переработки овощей, в том числе и тыквы, сдерживается отсутствием комплексных исследований по оптимизации технологических процессов на отдельных стадиях. Традиционные методы сушки не учитывают специфику химического состава тыквы, которая содержит воду (90,3 %), белки (1 %), углеводы общие (6,5 %), крахмал (2 %), клетчатку (1,2 %); минеральные вещества (мг %): натрий (14), калий (170), кальций (40), фосфор (25), магний (14), железо (0,8), сера (18), хлор (19), селен, марганец, медь, цинк, фтор, йод, кобальт и другие; витамины (мг%): С (8), В, (0,05), В2 (0,06), В6 (0,3), РР (0,5), пантотеновая кислота (0,4), каротин (1,5), а также особенности механизма внутреннего тепломассопереноса в капиллярах и порах продукта.

В связи с этим создание новых способов сушки и энергосберегающего сушильного оборудования, позволяющих повысить эффективность проведения процесса обезвоживания и получения конечного продукта высокого качества, имеет большую научную и практическую значимость.

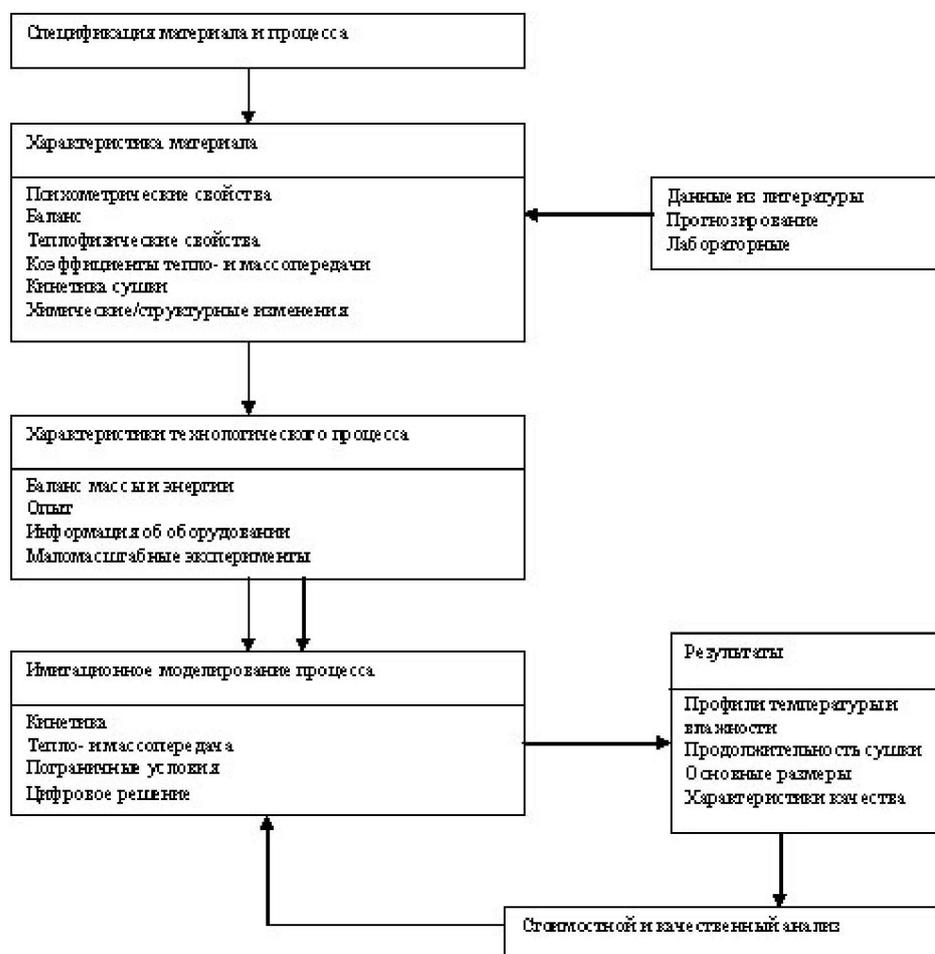


Рис. 1. Этапы конструирования и оптимизации сушильного агрегата

На рис. 1 представлена блок-схема основных этапов, выполняемых при конструировании и оптимизации работы сушильных агрегатов. В соответствии с данной блок-схемой проведены исследования процесса сушки тыквы с определением необходимых параметров, в результате которых можно получать изделия заданной формы с улучшенными физико-химическими показателями по химическому составу и содержанию ингредиентов, минеральных веществ и витаминов.

На основе экспериментальных исследований и литературных данных получены зависимости для плотности и кратности продукта от влажности в реальном процессе обезвоживания при условии незначительной усадки материала в процессе высокоинтенсивной сушки. Так, в частности, физическая плотность равна

$$\rho = \frac{1283 + 412 \cdot c - 0,464 \cdot t \cdot c}{\beta(c)}$$

Текущая кратность, равная отношению объема продукта к объему раствора, пошедшего на образование монолита сухого вещества продукта, применена как универсальный параметр, характеризующий относительный объем пустот слоя продукта при условии отсутствия усадки при сушке, равна

$$\beta = \beta_n \frac{\rho_n c}{\rho_{ин} c_n}$$

где β_n – начальная кратность; ρ_n , $\rho_{ин}$ – текущая и начальная истинная плотность; c_n – начальная концентрация сухих веществ (10-15 %), $\beta(c) = 0,0095 - (1520 - 522(1 - c))c$, для тыкв $\beta_n = 1,333$; c – концентрация сухих веществ.

Исследования проводились в ИК-сушилке [4], а также в тепловой камере с принудительным оборотом воздуха типа КСВ–100, которая предназначена для тепловой обработки разных материалов и предметов в технологических или научно-исследовательских процессах без регулировки влажности. Установка с ИК подводом теплоты состоит из прямоугольной сушильной камеры, оборудованной источниками теплоты – нагревательными элементами, расположенными над выдвижными ярусами (лотками), на которые помещают высушиваемый материал.

Экспериментальные зависимости приведены в виде кривых сушки, иллюстрирующих изменение среднего содержания влаги W с течением времени t .

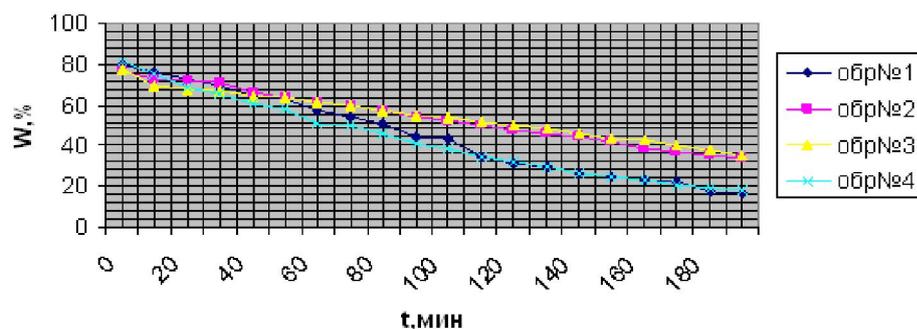


Рис. 2. Кривые сушки тыквы при $W = 85 \%$; $T = 50 \text{ }^\circ\text{C} = \text{const}$; $E = 1.4 \text{ кДж}$

Удалению механически и осмотически удерживаемой влаги способствует диспергирование структуры продукта, создание большого градиента давлений, объемные энергоподвод и влагоудаление. Осмотический и структурный характер связи в отличие от энергетического связывания воды химическими и молекулярными силами определяется величиной энтропии, т.е. такую влагу можно считать энтропийно связанной, что подтверждает значительное влияние энтропийной составляющей свободной энергии.

Перемещение влаги к поверхности через сеть микрокапилляров осуществляется, в основном, в виде пара, диффундирующего через утончающиеся в процессе обезвоживания стенки капилляров, при увеличении градиента давления пара в слое, в виде последовательных эквимоллярных процессов испарения и конденсации пара на менисках, стенках клеток и мицелл при малых градиентах концентрации и температуры, в пользу чего говорит отсутствие или незначительная величина усадки при высокоинтенсивной сушке, что невозможно при существенных градиентах влажности. При этом процесс десорбции практически заменяется процессом выпарки, определяющимся только градиентом давлений, под действием которого влага может перемещаться как в виде пара, так и, частично, в виде парожидкостной эмульсии. Поток пара может захватывать частицы влаги, что увеличивает общий поток влаги.

Для получения аналитического выражения функциональной зависимости между массой высушиваемого материала и временем сушки с целью уменьшения влияния ошибок использовался метод наименьших квадратов, с помощью которого функциональные зависимости представлялись в виде полинома. С помощью метода определяли такие значения коэффициентов c_i , при которых сумма квадратов отклонений расчетных значений W_m от фактических значений $W_{\text{э}}$ для всех m экспериментальных точек была минимальной.

$$S = \sum_{i=1}^m (c_0 + c_1 \cdot w + \dots + c_n \cdot w^n - t_0)^2 \rightarrow \min.$$

Разработанная программа обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов приведена на рис. 3. После ввода m экспериментальных точек t , W и степени полинома $n = 4$ вычисляли коэффициенты системы уравнений. По полученным аналитическим выражениям функциональной зависимости между массой высушиваемого материала и временем сушки были построены теоретические кривые сушки (рис. 4 – 7), которые сравнивали с экспериментальными зависимостями.

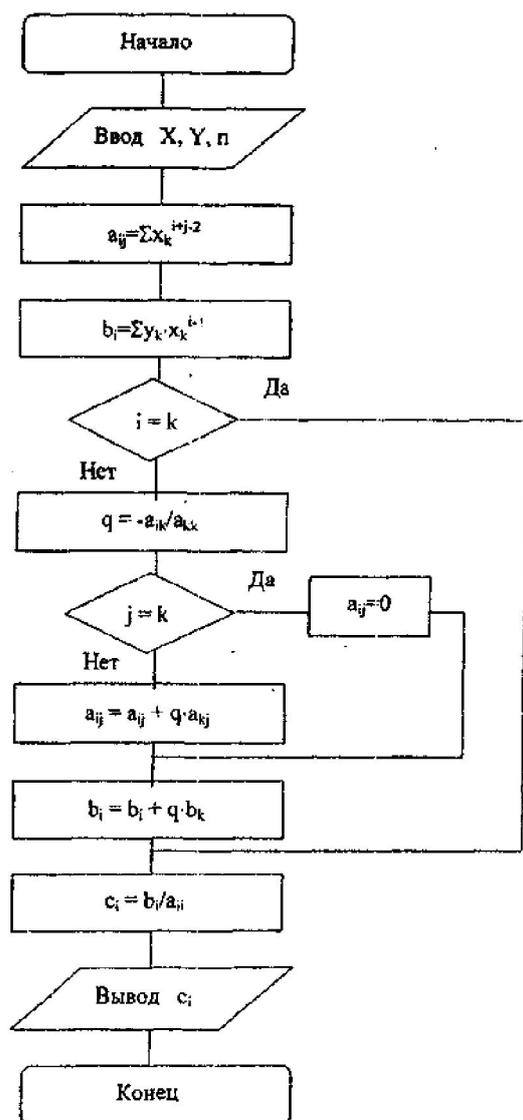


Рис. 3. Алгоритм обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов

1 образец
$$W = 8,1059493148 \cdot 10^{-1} - 1,7258172218 \cdot 10^{-3} \cdot t - 3,5353349671 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1,8928979278 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - 2,4340863828 \cdot 10^{-10} \cdot t^4$$

2 образец
$$W = 7,8589513536 \cdot 10^{-1} - 2,2363733925 \cdot 10^{-3} \cdot t - 5,0869049701 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 4,4765845171 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 - 1,000959265 \cdot 10^{-10} \cdot t^4$$

3 образец
$$W = 8,0114978252 \cdot 10^{-1} - 4,8146174149 \cdot 10^{-3} \cdot t + 4,5475478437 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 2,7476425650 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 5,6405352138 \cdot 10^{-10} \cdot t^4$$

4 образец
$$W = 8,675245139 \cdot 10^{-1} - 6,4309061052 \cdot 10^{-3} \cdot t + 3,0830534007 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1,5009296078 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 3,5976056056 \cdot 10^{-10} \cdot t^4$$

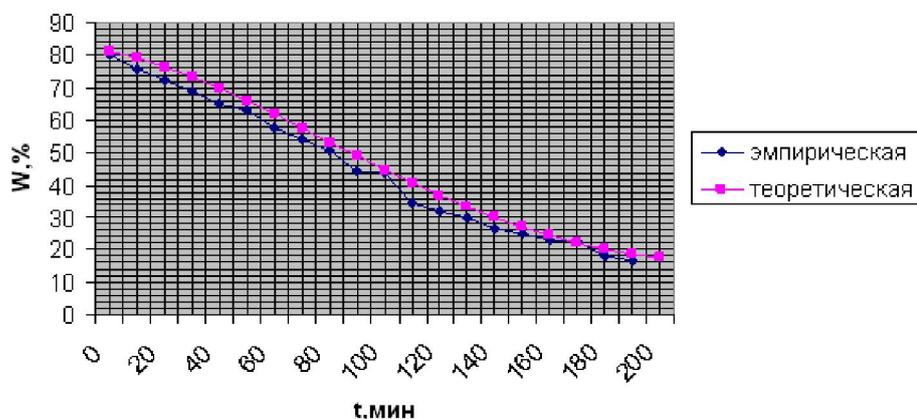


Рис. 4. Кривая скорости сушки образца 1

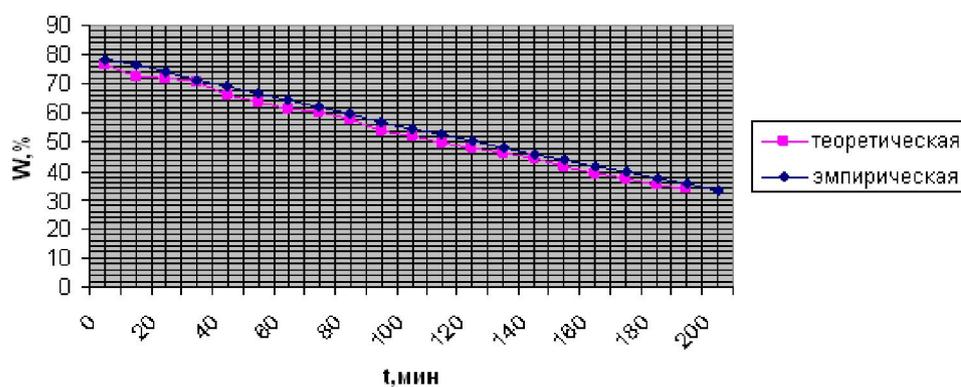


Рис. 5. Кривая скорости сушки образца 2

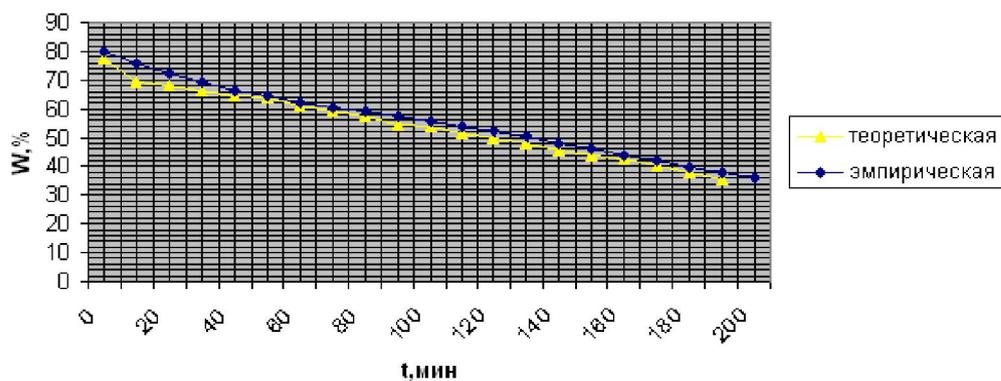


Рис. 6. Кривая скорости сушки образца 3

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА...

Сумма квадратов отклонений: $S = Y(Wm - Wэ)^2$, $S_{cp} = 0,14$.

Для нахождения скорости сушки необходимо продифференцировать

выражение $dW/d\tau = c_1 + 2c_2t + nc_n t^{n-1}$. Имеем:

1 образец
$$dW/d\tau = -1,7258172218 \cdot 10^{-3} - 7,0706699342 \cdot 10^{-5} \cdot t + 5,6786937834 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 - 9,7363455312 \cdot 10^{-10} \cdot t^3$$

2 образец
$$dW/d\tau = -2,2363733925 \cdot 10^{-3} - 10,1738099402 \cdot 10^{-6} \cdot t + 13,4297535513 \cdot 10^{-8} \cdot t^2 - 4,00383706 \cdot 10^{-10} \cdot t^3$$

3 образец
$$dW/d\tau = -4,8146174149 \cdot 10^{-3} + 9,050956874 \cdot 10^{-5} \cdot t - 8,242927694999 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 + 22,5621408552 \cdot 10^{-10} \cdot t^3$$

4 образец
$$dW/d\tau = -6,4309061052 \cdot 10^{-3} + 6,166106801399 \cdot 10^{-5} \cdot t - 4,5027888234 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 + 14,3904224224 \cdot 10^{-10} \cdot t^3$$

По полученным данным построены кривые скорости сушки тыквы (рис. 7).

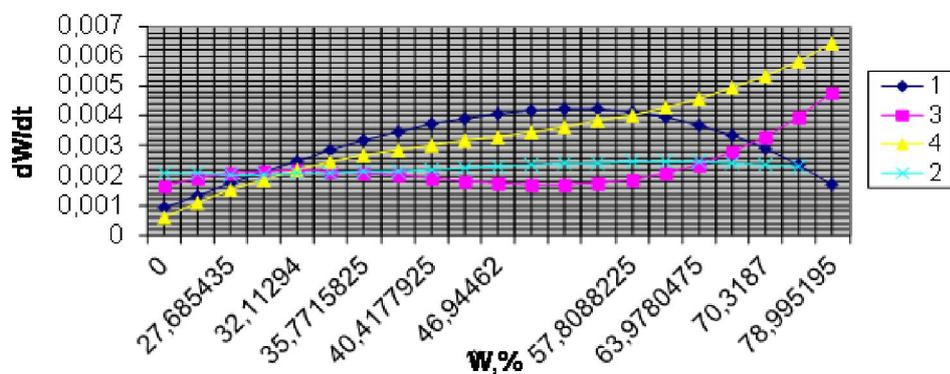


Рис. 7. Кривые скорости сушки тыквы при $W = 85\%$;
 $T = 50\text{ }^\circ\text{C} = \text{const}$; $E = 1,4\text{ кДж}$

Полученные уравнения и графики скорости влагоудаления при заданных начальных условиях и режимах сушки позволяют получить функциональные зависимости для продолжительности обезвоживания в любой зоне сушильной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П. // Пищевая инженерия : Справочник с примерами расчетов. – СПб. : Профессия, 2004. – 848 с.
2. Чамин А.Ф., Авроров Г.В., Гусева В.Н. Моделирование процесса сушки // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы : Сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза : Приволжский дом знаний, 2009. – С. 118 – 123.

3. Чамин А.Ф., Гусева В.Н., Авроров Г.В. Моделирование процесса сушки капиллярно-пористых продуктов на примере тыквы // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы : Сборник статей V Международной научно-практической конференции. – Пенза : Приволжский дом знаний, 2011. – С. 28 – 33.

4. Авроров Г.В., Гусева В.Н. Проект линии производства сушеной тыквы // Там же. – С. 48 – 50.

УДК 631.363

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ
РАСТИТЕЛЬНОГО КРАХМАЛСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

- © *А.А. Курочкин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *Г.В. Шабурова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *В.В. Новиков, Самарская государственная сельскохозяйственная академия (г. Самара, Россия)*
- © *С.В. Денисов, Самарская государственная сельскохозяйственная академия (г. Самара, Россия)*

**METHODOLOGICAL ASPECTS OF THEORETICAL RESEARCH OF
EXTRUDERS FOR HANDLING PLANT STARCH-CONTAINING
MATERIALS**

- © *A.A. Kurochkin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *G.V. Shaburova, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *V.V. Novikov, Samara Stats Academy (Samara, Russia)*
- © *S.V. Denisov, Samara Stats Academy (Samara, Russia)*

Статья посвящена методологии теоретического исследования процесса экструдирования крахмалсодержащего пищевого сырья и получению экструзионных продуктов.

Ключевые слова: пресс-экструдер, экструдат, степень сжатия, параметры шнекового движителя и фильеры.

The paper covers the methodology of theoretical research of the process of starch extrusion from foodstuff and receiving extruded articles.

Key words: extruder, extruded article, compression ratio, parameters of screw propelling device and extrusion nozzle.

E-mail: shaburovs@mail.ru; anatolii_kuro@mail.ru

В настоящее время механизм формирования структуры экструдатов, получаемых при переработке крахмалсодержащего сырья, изучен достаточно полно и представляется следующим образом.

Исходный обрабатываемый материал, находящийся в сыпучем состоянии (цельное или дробленое зерно пшеницы, ржи, ячменя и др.), при повышенной или естественной влажности в процессе перемещения по тракту пресс-экструдера уплотняется, нагревается и переходит в состояние упруго-вязкопластической массы. При выходе из фильеры экструдера продукт взрывообразно расширяется и выводится за пределы машины.

Многочисленными исследованиями установлено, что функциональные свойства экструзионных продуктов в целом определяются переданной полуфабрикату удельной механической и тепловой энергией, а также временем пребывания частиц экструдированного сырья в канале экструдера. В свою очередь, эти параметры технологического процесса зависят от производительности экструдера, угловой скорости шнеков и их геометрии, размеров структурирующих фильер, температуры проведения процесса, влажности экструдированного сырья, его химического и гранулометрического состава. Перечисленные показатели, как правило, задаются конструкцией экструдера, либо имеется возможность их контроля во время технологического процесса [1].

Изучение физико-химических процессов, происходящих при экструзии растительного крахмалсодержащего сырья, показывает, что такие его параметры, как влажность и максимальная температура после их определения на основе методов оптимизации можно непосредственно перенести с лабораторного на промышленный экструдер.

С другой стороны, степень сжатия сырья в процессе его перемещения по тракту экструдера, основные параметры шнека и фильеры, а также ряд других показателей перенести с экспериментального на промышленный экструдер сложно, так как это может повлечь значительные изменения параметров процесса.

Анализ работ, посвященных экструзии различных материалов, показывает, что рациональные параметры экструдеров могут быть обоснованы на базе теоретических исследований движения обрабатываемого сырья под действием их рабочих органов. С инженерной точки зрения такие исследования должны учитывать не только механическое воздействие шнека экструдера на материал, но и изменения физического (фазового) состояния обрабатываемого сырья, связанного с его нагревом.

В основе методологии теоретических исследований пресс-экструдеров для обработки растительного крахмалсодержащего сырья заложены следующие положения [2]:

1. Расход материала в направлении “вперед” через фильеру должен быть равен расходу материала в направлении “вперед” в любом сечении тракта экструдера.

При этом данный параметр должен определяться с учетом обратных перемещений материала под действием перепада давлений, например “назад” вдоль канала между гребнями шнека, а также “в бок” через гребни витков шнеков. Указанные перемещения материала осуществляются внутри тракта и по своей величине сравнимы с основным расходом “вперед”. Поэтому данное обстоятельство должно учитываться как в расчетной модели, так и в реальной машине.

2. Мощность механического привода, подводящего энергию к материалу через ротор, с учетом незначительных потерь на теплоотдачу от корпусов в атмосферу, должна быть равна сумме мощностей диссипации работы сил вязкости по всему тракту экструдера.

В рассматриваемой расчетной модели экструдера мощность, затрачиваемая на перемещение (подачу) исходного сырья в сыпучем состоянии, не учитывается. Поэтому для получения более точных результатов исследований ее можно учесть как один из видов потерь мощности привода или путем введения в расчетную формулу специального коэффициента.

3. Изменение температуры обрабатываемого материала за время его перемещения по тракту машины ($\Delta T = T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}$) должно быть не менее заданного T_{min} .

4. В процессе перемещения материала по тракту экструдера необходимо исключить возможности вскипания жидкости, находящейся в обрабатываемом сырье. Для реализации этого условия необходимо, чтобы давление материала при соответствующих температурах и во всех сечениях тракта было больше давления паров воды при тех же условиях.

Учитывая возможные колебания свойств материала (удельная теплоемкость, вязкость) и средних параметров геометрии тракта, необходимо иметь запас по расчетному давлению не менее 0,5 МПа.

На первой стадии теоретических исследований необходимо обоснование параметров шнека с учетом того, что данный рабочий орган служит как для перемещения обрабатываемого сырья, так и для его уплотнения.

Рассматривая шнек как последовательное соединение загрузочной, пластифицирующей и дозирующей зон, можно отметить, что получение теоретических зависимостей, позволяющих с необходимой точностью рассчитывать его основные параметры, весьма затруднительно из-за жесткой связи между этими зонами. Эта связь делает невозможным положение, при котором каждая зона шнека имела бы свое оптимальное число оборотов, определяемое на основе одинаковых подходов к состоянию обрабатываемого крахмалсодержащего сырья. И действительно, в первой зоне материал находится в твердом сыпучем состоянии, во второй – в виде вязкопластичной массы, в третьей в виде вязкопластичной массы или при определенных режимах и состояниях обрабатываемого сырья – в виде псевдожидкости.

Определение рациональных параметров шнека в зоне загрузки пресс-экструдера представляет собой весьма важную задачу как в теоретическом плане, так и в практическом аспекте. Например, известно, что угол подъема винтовой поверхности шнека, характеризуемый обычно отношением его шага к диаметру, в решающей степени определяет основные показатели работы шнека – производительность, энергоемкость, а также металлоемкость и габаритные размеры самого пресс-экструдера. Между тем в выпускаемых российскими предприятиями и зарубежными фирмами пресс-экструдерах шаг витков шнеков находится в весьма широких пределах.

Объясняется это не только различными физико-механическими свойствами обрабатываемых материалов, но и подходом к решению данного вопроса с различных позиций [3].

Описание процесса перемещения сыпучего крахмалсодержащего сырья в зоне загрузки экструдера строится на основе анализа движения сыпучей среды, характеризуемой коэффициентом статического трения между частицами f и соответствующим ему углом внутреннего трения β , а также коэффициентом внешнего трения частиц о граничную поверхность f_{ω} и соответствующим ему углом внешнего трения β_{ω} . Эти показатели позволяют в достаточно полной мере оценить как взаимодействие частиц между собой, так и взаимодействие их с рабочим органом экструдера.

В этих условиях рациональный шаг шнека может быть определен по величине удельных энергозатрат, определяемых отношением потребляемой мощности привода шнека к его производительности при текущем значении угла подъема винтовой поверхности.

Можно считать, что энергетические показатели работы шнека в зоне загрузки в основном определяются мощностью, потребной для преодоления момента сопротивления, возникающего между шнеком и перемещаемой в сторону зоны прессования обрабатываемой массой. Численные значения остальных составляющих потребной мощности привода не имеют существенного значения для точности расчета, и при необходимости их можно учитывать специальным коэффициентом.

Удельные затраты энергии при работе шнека в зоне подачи экструдера определим как отношение мощности, потребной для работы шнека, к его производительности.

Учитывая, что производительность шнека экструдера в зоне загрузки определяется зависимостью [4],

$$Q = \frac{(D-h)}{4} \cdot \omega \cdot \sin \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot h \cdot \rho \cdot \psi \cdot \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi},$$

а мощность привода шнека можно вычислить по формуле [5]

$$N = p \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot \frac{D}{2} \omega \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \alpha), \quad \text{получим}$$

$$A = \frac{N}{Q} = \frac{p \cdot (D^2 - d^2) \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \alpha) \cos \varphi}{2(D-h) \cdot \sin \alpha \cdot h \cdot \rho \cdot \psi \cdot \cos \alpha \cos(\varphi + \alpha)}, \quad (1)$$

где D – диаметр шнека, м; h – глубина канавки, м; d – диаметр вала шнека, м; ω – угловая скорость шнека, с^{-1} ; α – угол наклона винтовой линии шнека, град.; ρ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; ψ – коэффициент заполнения межвиткового объема шнека; φ – угол трения, $\varphi = \operatorname{arctg} f$; p – осевое усилие, необходимое для перемещения обрабатываемого материала, МПа.

Рациональный шаг винта шнека экструдера в зоне загрузки можно определить аналитическим или графическим способами.

В первом случае для определения шага винта при подаче материала с известным коэффициентом трения необходимо взять первую производную $\frac{dS}{d\alpha}$ от выражения и приравнять ее нулю.

$$S = \frac{\operatorname{tg}(\varphi + \alpha) \cos \varphi}{\sin \alpha \cos \alpha \cos(\varphi + \alpha)}$$

Графическим методом эта задача решается путем подстановки текущего значения угла α в формулу (1).

Следующим этапом теоретического исследования работы шнека экструдера является определение его длины в зоне загрузки.

Известно, что при оптимальном тепловом режиме экструдера в конце зоны загрузки образуется уплотненная масса обрабатываемого материала (пробка), которая проталкивается силами трения по винтовому каналу. Длина пробки должна быть достаточной для того, чтобы развивающаяся вследствие относительного движения продольная толкающая сила обеспечивала проталкивание биополимера через зону его расплава [6].

Рациональная длины шнека в зоне загрузки, обеспечивающая требуемое для выполнения этого условия давление, может быть определена из выражения

$$L \geq L_{\text{кр}} = \frac{h \sin \alpha}{A} \ln \frac{P_{\text{кр}}}{P_0},$$

где A – безразмерный коэффициент, представляющий собой выражение

$\left(2 \frac{h}{b} f_{\text{ш}} + f_{\text{ш}} + f_{\text{ш}} f_{\text{ц}} \sin \alpha - f_{\text{ц}} \cos \alpha \right)$; $f_{\text{ш}}$ – коэффициент трения материала о поверхность шнека; $f_{\text{ц}}$ – коэффициент трения материала о поверхность цилиндра; L – длина шнека, м; $P_{\text{кр}}$ – нижний предел давления на материал, при котором проталкивание биополимера через зону расплава не осуществляется, МПа; P_0 – давление на материал в начальной части шнека, МПа.

Наряду с теоретическим обоснованием основных параметров зоны загрузки экструдера не меньший интерес вызывает анализ работы его шнека в зоне гомогенизации (расплава). Для данной зоны весьма важной характеристикой является объемный расход обрабатываемого сырья, которое находится в виде упругой вязкопластической массы.

Суммарный расход, создаваемый шнеком экструдера в зоне гомогенизации, можно определить из выражения

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{шн}} - Q_1 - Q_2, \quad (2)$$

где $Q_{\text{шн}}$ – расход сырья, обеспечиваемый за счет работы шнека (расход “вперед”); Q_1 – расход сырья, обеспечиваемый за счет его обратного перемещения между гребнями шнека (расход назад); Q_2 – расход сырья, обеспечиваемый за счет его перемещения через гребни шнека (расход “в бок”).

Объемный расход вязкого несжимаемого сырья, обеспечиваемый работой шнека, рассчитывается на основе средней скорости течения жидкости и объема жидкости между двумя соседними гребнями шнека [7]

$$Q_{\text{шн}} = V_{\text{ср}} \cdot 2\pi R_{\text{ср}} (t - m) = \frac{2\pi n}{60 \cdot 2} \cdot R_1 \cdot 2\pi \frac{R_1 + R_2}{2} (t - m),$$

где n – частота вращения шнека, с^{-1} ; R_1 – радиус впадин шнека, м; R_2 – радиус гребней шнека, м; t – шаг шнека, м; m – средняя величина витка, м.

Расход сырья, обеспечиваемый за счет его обратного перемещения между гребнями шнека можно определить из выражения [7]

$$Q_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta P \cdot \delta^3}{\mu \cdot l \cdot 8}, \quad (3)$$

где ΔP – перепад давления в начале зоны гомогенизации и в ее конце, МПа; δ – расстояние между гребнем витка шнека и внутренней поверхностью цилиндра экструдера, м; μ – динамическая вязкость сырья; l – длина зоны гомогенизации, м.

Подставив в формулу (3) значение перепада давления $\Delta P = \frac{\mu \cdot v_0 \cdot l}{\delta^2}$, получим

$$Q_1 = \frac{2\pi n(R_2 + R_1)}{60 \cdot 12}.$$

Оценим расход обратного течения сырья в сравнении с прямым расходом.

Средняя скорость обратного перемещения между гребнями шнека

$$V_{\text{ср}} = \frac{Q_1}{\delta} = \frac{V_0 \cdot \delta}{12\delta} = \frac{V_0}{12},$$

где V_0 – скорость перемещения сырья в начале зоны гомогенизации, м/с.

Так как средняя скорость перемещения вперед равна $V_{\text{ср}} = \frac{V_0}{2}$, то соотношение средних скоростей, а значит и расходов будет

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{V_0}{12 \frac{V_0}{2} \delta} = \frac{V_0}{6}.$$

Следовательно, расход обратного перемещения сырья составит 1/6 часть прямого расхода.

Расход сырья, обеспечиваемый за счет его перемещения через гребни витка шнека, можно вычислить с помощью зависимости.

$$Q_2 = \frac{\delta_{\text{ш}}^3 \cdot \pi^2 \cdot n \cdot R_1 \cdot 2\pi R_2}{12 \cdot 30 \cdot (R_1 + R_2)^2} = \frac{\delta_{\text{ш}}^3 \cdot \pi^3 \cdot n \cdot R_1 \cdot \pi R_2}{180 \cdot (R_1 + R_2)^2},$$

где $\delta_{\text{ш}}$ – расстояние между двумя гребнями шнека, м.

Подставим в уравнение (2) полученные значения расходов. При этом левая часть данного уравнения может быть определена на основе закона Гагена – Пуазейля [6, 7].

$$\frac{2\pi\Delta PR^4}{8\mu \cdot l_0} = \frac{2\pi n}{60 \cdot 2} \cdot R_1 \cdot 2\pi \frac{R_1 + R_2}{2} (t - m) - \frac{2\pi n(R_2 + R_1)}{60 \cdot 12} - \frac{\delta_{ш}^3 \cdot \pi^3 \cdot n \cdot R_1 \cdot \pi R_2}{180 \cdot (R_1 + R_2)^2}, \quad (4)$$

С помощью уравнения (4) можно определить практически все значимые факторы при проектировании зоны гомогенизации (расплава) экструдера.

Полученные на основании этих теоретических исследований данные могут быть основанием для проектирования зоны дозирования экструдера.

Течение расплава сырья в зоне дозирования обеспечивается под действием сил вязкого трения, возникающих вследствие относительного движения шнека и стенок цилиндра, подобно течению жидкости в винтовых насосах, и осуществляется по винтовой траектории. Обычно это течение представляется в виде суммы двух независимых движений: поступательного течения вдоль оси винтового канала и циркуляционного течения, возникающего в виде кругового движения в плоскости, нормальной к оси винтового канала шнека [6].

Объемный расход поступательного течения определяет производительность экструдера и, следовательно, является лимитирующим фактором для скорости перемещения обрабатываемого сырья в зонах подачи и гомогенизации. С другой стороны, следует иметь в виду, что для нормальной работы экструдера необходимо, чтобы поступающее к фильере сырье имело заданные температуру и степень измельчения. Поэтому время пребывания сырья в зоне дозирования должно быть достаточным для прогрева и гомогенизации.

Фильера экструдера должна отвечать целому ряду требований, среди которых можно отметить следующие:

- она должна способствовать формированию поперечного сечения потока, соответствующего форме экструдруемого продукта;
- геометрические размеры профилирующей щели и углы выхода должны обеспечивать максимальную производительность и не способствовать “эластической турбулентности”;
- конфигурация каналов не должна способствовать образованию в них зон застоя;
- конструкция профилирующих органов должна быть достаточно жесткой, чтобы при рабочем давлении сечение проточной части оставалось неизменным;
- величина сопротивления на выходе должна обеспечивать противодействие, достаточное для качественного перемешивания и гомогенизации обрабатываемого сырья.

Теоретическое обоснование основных параметров фильеры экструдера имеет несколько аспектов. Остановимся на одном из них – форме.

Известны различные формы фильер: цилиндрическая, плоская, кольцевая и т.д. Поверхность внутреннего контура фильер может быть конической, выпуклой, вогнутой и комбинированной.

Векторный анализ перечисленных поверхностей показывает, что с точки зрения стабильности процесса наиболее предпочтительным является второй случай, т.е. когда поверхность фильеры выпуклая. Это дает следующие преимущества:

- нарастание давления в срединной зоне, позволяющее получать практически одинаковую плотность продукта по сечению на выходе;
- скатывающая сила (вследствие разложения сил) будет увеличиваться, а это способствует более легкому продвижению смеси из зоны гомогенизации в зону дозирования.

Рассмотрим более подробно геометрические характеристики поверхности фильеры в осевом сечении (рис. 1).

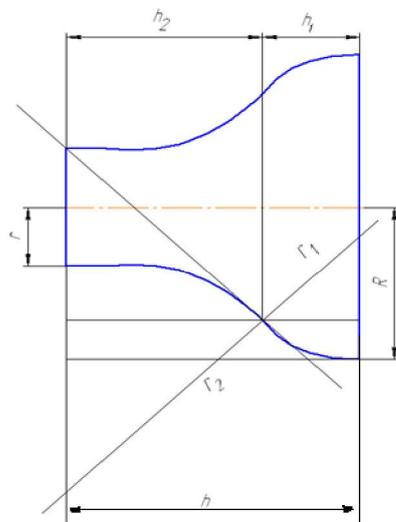


Рис. 1. Рациональная форма фильеры

Примем форму фильеры, при которой входная часть выпуклая, а выходная – вогнутая. Вогнутость при одинаковых радиусах внутренней стенки корпуса и фильеры позволяет обрабатываемому сырью с наименьшим сопротивлением, не задерживаясь на стыках, перемещаться из фильеры. При этом переход от вогнутости к выпуклости должен происходить плавно, т.е. они должны плавно сопрягаться. Для нахождения рациональных размеров фильеры введем следующие ограничения:

- для формирования требуемой формы экструдата касательная к контуру фильеры в выходном срезе должна быть параллельна оси шнека;
- касательная во входном срезе к контуру также должна быть параллельна оси шнека;
- участок сопряжения равен нулю.

В связи с тем, что для разных режимов работы и обработки различного сырья оптимальную форму фильеры обосновать весьма сложно, принимаем кривизну обеих частей постоянной (при двух радиусах кривизны).

Из конструктивных соображений, с учетом динамики процесса, принимаем угол наклона касательной к точке сопряжения относительно линии выхода среза равным 45° . Из этого следует, что угол наклона нормали относительно линий тоже равен 45° . Таким образом, центры кривизны будут находиться на линии среза.

На основании рисунка определим следующие размеры фильеры – $h = h_1 + h_2$.

Так как $h_1 = r_1 \cdot \cos 45^\circ = r_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{r_1}{\sqrt{2}}$. Тогда $h_2 = \frac{r_2}{\sqrt{2}}$,
 $\Delta_1 = r_1 - h_1 = r_1 - \frac{r_1}{\sqrt{2}}$, $\Delta_2 = r_2 - h_2 = r_2 - \frac{r_2}{\sqrt{2}}$ и $h = \frac{r_1 + r_2}{\sqrt{2}}$.

Составим выражение для радиуса R.

$$R = r + \left(r_1 - \frac{r_1}{\sqrt{2}} \right) + \left(r_2 - \frac{r_2}{\sqrt{2}} \right)$$

Отсюда следует, что

$$R = r + (r_1 + r_2) - \frac{(r_1 + r_2)}{\sqrt{2}} = r + (r_1 + r_2) \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = r + (r_1 + r_2) \frac{\sqrt{2} - 1}{\sqrt{2}}. \quad (5)$$

Учитывая, что $(r_1 + r_2) = h\sqrt{2}$, получим $R = r + h\sqrt{2} \frac{\sqrt{2} - 1}{\sqrt{2}} = r + h(\sqrt{2} - 1)$.

Отсюда следует

$$h = \frac{R - r}{\sqrt{2} - 1} \approx \frac{R - r}{0,41} \approx 2,44(R - r).$$

Таким образом, на основании приведенных математических зависимостей можно определить основные размеры фильеры экструдера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Термопластическая экструзия: научные основы, технология, оборудование / Под ред. А.Н. Богатырёва, В.П. Юрьева. – М. : Ступень, 1994. – 200 с.*
2. *Курочкин А.А., Новиков В.В., Шабурова Г.В., Дыренкова Н.А. Анализ основных концепций формирования структуры экструдатов // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы : Сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза : Приволжский дом знаний, 2009. – С. 53 – 56.*
3. *Фокин А.В. Обоснование оптимального шага винта шнекового питателя пневмотранспортера. Совершенствование сельскохозяйственной техники, применяемой в животноводстве. – Горький, 1980. – Т. 141. – С. 33 – 38.*

4. Денисов С.В., Новиков В.В., Курочкин А.А., Шабурова Г.В. Определение пропускной способности зоны загрузки пресс-экструдера // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 12. – С. 73 – 76.
5. Особов В.И. Машины для брикетирования растительных материалов. – М. : Машиностроение, 1971. – 252 с.
6. Тернер Р.В., Акутин М.С. Оборудование заводов по переработке пластмасс. – М. : Химия, 1986. – 400 с.
7. Новиков В.В. Исследование рабочего процесса и обоснование параметров пресс-экструдера для приготовления карбамидного концентрата : Дисс. ...к.т.н. – Саратов, 1981. – 157 с.

УДК 519.872

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ
В ВИДЕ СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

- © *В.А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *С.А. Харлашкин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *В.В. Ловцева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

**MODELING STRUCTURAL BONDS OF FOOD PRODUCTION
TECHNOLOGICAL PROCESSES IN THE FORM OF QUEUEING
NETWORK**

- © *V.A. Avrorov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *S.A. Harlashkin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *V.V. Lovzeva, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье показана возможность представления технологических потоков по производству коротко резанных макаронных изделий в виде сети массового обслуживания.

Ключевые слова: сети массового обслуживания, операторное моделирование, технологические системы и потоки пищевых производств.

The article discusses the possibility of creating process flow of short cut goods production in the form of queueing network.

Key words: queueing network, operational modeling, technological systems and flows of food production.

E-mail: v_avrorov@bk.ru

Технологические потоки, реализуемые в технологических системах пищевых производств, представляют собой совокупность взаимосвязанных операций, изображаемых графически в виде операторных моделей [1, 2].

Операторное моделирование позволяет представить технологический процесс в наглядной форме с помощью простых графических изображений (процессоров) и провести качественный анализ структуры и связей исследуемой технологической системы. Однако получаемые операторные модели не содержат информации о количественных параметрах потока.

Некоторые количественные оценки могут быть получены путем имитационного моделирования, если функционирование технологической системы дополнительно к операторной модели интерпретировать сетью массового обслуживания [3]. В этой связи представление и моделирование технологического потока и изображающей его операторной модели в виде сети массового обслуживания имеет определенный интерес.

В общем случае моделирование работы технологической системы с позиций теории массового обслуживания может рассматриваться в двух направлениях. Во-первых, технологическое оборудование само является источником заявок на обслуживание, а во-вторых, совокупность машин пищевого производства может являться многофазной системой массового обслуживания, в которой отдельные агрегаты или отдельные участки линии по видам вырабатываемого ассортимента будут представлять собой последовательные цепи. В этом случае заявками на обслуживание будут являться виды выпускаемых изделий, требующие использования различных технологий и условий для получения готовой продукции.

Технологические потоки пищевых производств в зависимости от пропускной способности или производительности сопряженных машин являются преимущественно линейными с включением в структуру сети расходящихся или сходящихся участков.

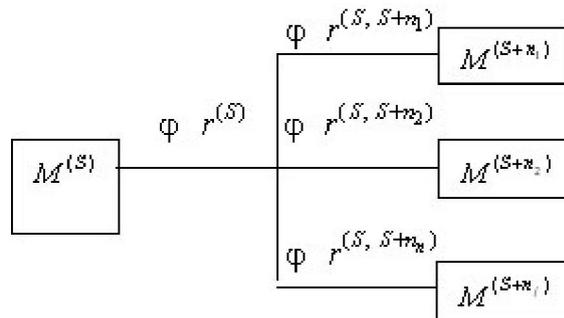


Рис. 1. Схема расходящегося участка потока

На расходящемся участке потока за одним S элементом стоит несколько элементов (рис. 1).

Символически расходящийся участок может быть записан в следующем виде [3]

$$\varphi r_j^{(S)} = \begin{cases} \varphi r_j^{(S, S+n_1)} \\ \varphi r_j^{(S, S+n_2)} \\ \dots\dots\dots, \text{ и элемент потока, за которым следует расхож-} \\ \varphi r_j^{(S, S+n_n)} \end{cases}$$

дение, графически можно изобразить так:

Здесь $M^{(S)} = \sum_{i=1}^n M^{(S+n_i)}$ – выходной вектор элемента, n – число эле-

ментов.

Символическая запись сходящегося участка потока (рис. 2) будет выг-

глядеть следующим образом

$$\left. \begin{array}{l} \varphi r_j^{(S-n_1, S)} \\ \varphi r_j^{(S-n_2, S)} \\ \dots\dots\dots \\ \varphi r_j^{(S-n_n, S)} \end{array} \right\} = I_j^{(S)}$$

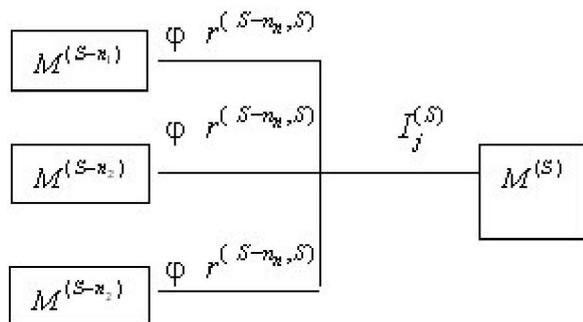


Рис. 2. Схема сходящегося участка потока

Условное изображение сходящегося участка

Так, многофазной системой можно считать технологическую систему по производству молочной продукции, макаронных или мучных кондитерских изделий разного ассортимента.

Возьмем известную операторную модель производства коротко резанных макаронных изделий [1] и представим ее в виде сети массового обслуживания. За элементы сети примем производственные элементы (группы технологического оборудования), каждый из которых осуществляет опреде-

ленную обработку сырья и полуфабрикатов и на конечном этапе выпускает конечный полуфабрикат и готовую продукцию (рис. 3).

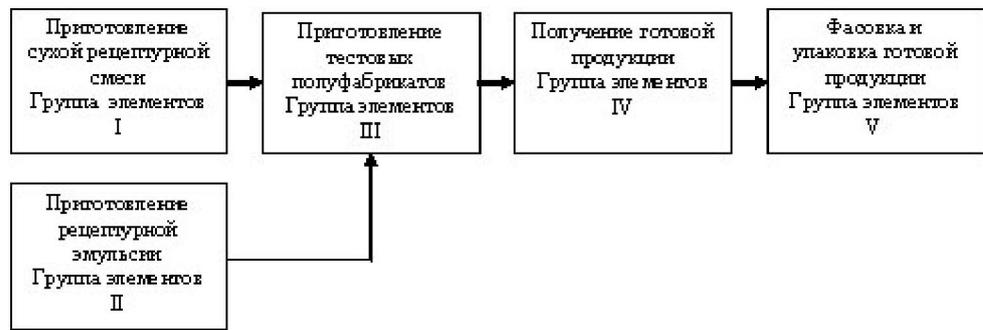


Рис. 3. Представление процесса получения коротко резаных макаронных изделий в виде сети массового обслуживания

Пусть реализация технологического потока осуществляется в системе, состоящей из ряда элементов (установок, машин, устройств, аппаратов). Элементы $M_{ВХ}^j$ являются входными полюсами, $M_{ВЫХ}^j$ – выходными (рис. 4).

Связи между элементами могут быть охарактеризованы матрицей переходов (табл. 1), в которой наличие связи между двумя элементами обозначается единицей, а ее отсутствие – нулем.

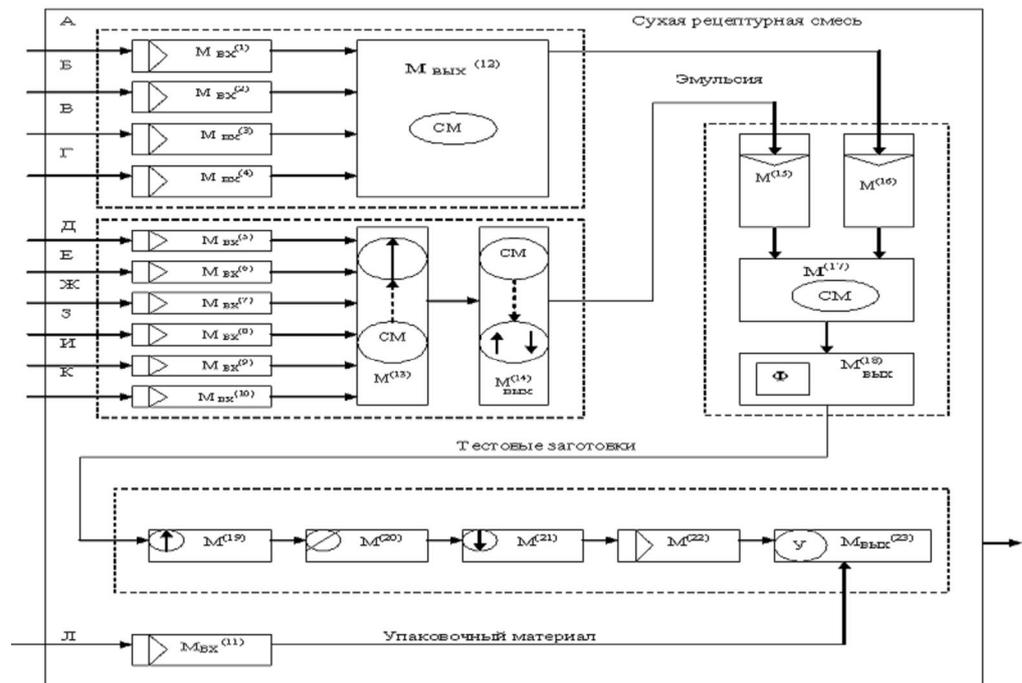


Рис. 4. Структурные связи элементов сети:

А – крахмал, Б – мука высшего сорта, В – мука первого сорта, Г – возвратные отходы, Д – сахарная пудра, Е – меланж, Ж – патока, З – жир, И – соль, разрыхлитель, К – молоко, Л – полимерная пленка, СМ – смешивание ингредиентов, Ф – формообразование, У – упаковка

Таблица 1

s	Признаки связи s и (s+1)-го элемента при s+1 равном																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вх
2	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вх
3	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вх
4	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вх
5	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вх
6	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вх
7	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вх
8	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вх
9	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вх
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вх
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Вх
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Вых
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Вых
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Вых
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	1	0	0	0	0	0	0	Вых
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	0	0	0	0	0	0	Вых
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	0	0	0	0	0	Вых
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	0	0	0	0	Вых
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	0	0	0	Вых
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	0	0	Вых
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	0	Вых
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	Вых
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	Вых

Структура данной сети может быть записана в виде модифицированной символической записи:

(1), (2), (3), (4)

(5), (6), (7), (8), (9), (10)

16

$$M_{ВХ} \begin{matrix} \text{---} \\ | \\ \text{---} \end{matrix} M_{ВЫХ}^{(12)} M^{(16)}; M_{ВХ} \begin{matrix} \text{---} \\ | \\ \text{---} \end{matrix} M^{(13)} M^{(14)} M^{(15)} \begin{matrix} \text{---} \\ | \\ \text{---} \end{matrix} M^{(17)} M_{ВЫХ}^{(18)}$$

$$M^{(19)} M^{(20)} M^{(21)} M^{(22)} \begin{matrix} \text{---} \\ | \\ \text{---} \end{matrix} M_{ВЫХ}^{(23)}$$

Задачей модели каждого s-го агрегата или машины линии является выработка выходного вектора, описывающего определенную операцию обработки сырья $\varphi_j^{(d,S)}$, а задачей технологической системы в целом – выработка общего выходного вектора, характеризующего готовую продукцию, поступающую в окружающую среду.

Можно видеть, что отдельные цепи в данной технологической системе являются как связанными, так и не имеющими связей с другими цепями и содержат строго последовательные участки следования машин. Для таких участков цепей $\dim \varphi^{(S_1)} = \dim I^{(S_2)}$, и между компонентами векторов имеется взаимно однозначное соответствие $\varphi_h^{(S_1)} = I_h^{(S_2)}$.

Аналогичным образом на основе операторных моделей строятся сети и выявляются матрицы переходов других технологических систем производства различных пищевых продуктов. Далее после установления структуры связей всех цепей сети анализируется содержание этих связей с учетом действующих алгоритмов функционирования конкретных агрегатов систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панфилов В.А. *Технологические линии пищевых производств.* – М. : Колос, 1993.
2. Панфилов В.А., Ураков О.А. *Технологические линии пищевых производств.* – М. : Пищевая промышленность, 1996.
3. Лифшиц А.Л., Мальц Э.А. *Статистическое моделирование систем массового обслуживания.* – М. : Сов. радио, 1978.

УДК 519.872

**АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ СЕТИ
МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

- © *В.А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *С.А. Харлашкин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *В.В. Ловцева, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**ANALYZING STRUCTURAL BONDS OF QUEUEING NETWORK
ELEMENTS**

- © *V.A. Avrorov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *S.A. Harlashkin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *V.V. Lovzeva, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье приведен анализ структурных связей сети массового обслуживания на примере технологической системы по производству коротко резаных макаронных изделий.

Ключевые слова: сеть массового обслуживания, элементы сети, структурные связи между элементами.

The paper is concerned with the analysis of structural bonds of queueing network such as technological system of short cut goods production.

Key words: queueing network, network elements, structural bonds of elements.

E-mail: v_avrorov@bk.ru

Задача анализа сети, структура которой рассмотрена ниже, состоит в определении структурных связей между элементами технологической системы и в установлении содержания таких связей.

Пусть выходной вектор отдельной машины $M^{(S)}$ технологической системы производства коротко резаных макаронных изделий выражается зависимостью $\varphi r^{(S)} = (tr_j, d_i, \varphi_1, \dots, \varphi_h)$, где tr_j – момент выработки выход-

Рассмотрим пример: пусть технологический поток и, соответственно, выходная продукция машины $M^{(1)}$ линии разделяется на три участка, идущие к машинам $M^{(2)}, M^{(4)}, M^{(5)}$, при этом допустим, что $\varphi r_j^{(1)} = (tr_j, d, b_1 \dots b_K)$ и $\varphi r_j^{(1,5)} = (tr_j, d, b_1 \dots b_{K-1})$, где $b_1 \dots b_{K-1}, b_K$ – параметры продукции машины $M^{(S)}$.

$$(d = 1)$$

$$(d = 2)$$

При переходе от $M^{(1)}$ к $M^{(5)}$ вспомогательная матрица $A^{(1,5)}$ будет равна

$$A^{(1,5)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

$$\varphi r_j^{(1,5)} = \varphi r_j^{(1)} \times A^{(1,5)} = (tr_j, d_2, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6) \times A^{(1,5)} = (tr_j, d_2, b_1, b_4, b_6)$$

Можно видеть, что после умножения строки с выходной информацией по продукции машины $M^{(S)}$ на матрицу $A^{(1,5)}$ до машины $M^{(5)}$ дойдут только компоненты b_1, b_4 и b_6 , т.е., подбирая матрицы, можно описать движение продукции между любыми элементами технологической системы.

Поскольку передача полуфабрикатов или информации между машинами линии требует определенного времени, то с учетом длительности передачи от машины $M^{(S)}$ к машине $M^{(S+n_i)}$ – $\tau_{\text{неп}}^{(S, S+n_i)}$ на место первого элемента вектор-строки $I_j^{(S, S+n_i)}$ вместо tr_j ставится $t_j^{(S+n_i)} = tr_j^{(S)} + t_{\text{неп}}^{(S, S+n_i)}$.

На вход любой последующей машины линии $M^{(S)}$ поступит множество вектор-строк $\{I_j^{(S-n_i, S)}\}$, каждая из которых содержит составляющие вида $tr_j, d, \varphi_{\mu_1^{(i)}}, \varphi_{\mu_2^{(i)}}, \dots$ и вектор входной информации машины будет иметь вид $I_j^{(S)} = t_j, d, I_1, \dots, I_K$, где $k = \sum_i \mu_i$. Последовательность вектора входной информации машины $M^{(S)}$ определяется спецификой функционирования алгоритма настройки технологической системы $\text{Alg}^{(d, S)}$ и должна быть предварительно задана.

Из рис. 1 вектор входной информации машины $M^{(5)}$ составляется из выходной информации машины $M^{(1)}$ и вектора выходной информации машины $M^{(2)}$. Здесь $\varphi r_j^{(1,5)} = tr_j^{(1)}, d, b_1, b_4, b_6$. Пусть вектор выходной информации машины $M^{(2)}$ равен $\varphi r_j^{(2,5)} = tr_j^{(2)}, d, c_1, c_2, c_3, c_4$, где c_i – параметры выходной информации машины $M^{(2)}$. Вектор входной информации машины $M^{(5)}$ равен $I_j^{(5)} = t_j, d, I_1 \dots I_7$. При этом позиции компонентов задаются выражением $I_j^{(5)} = t_j, d, b_1, c_1, b_4, c_2, b_6, c_3, c_4$, здесь $b_1 = I_1, b_4 = I_3, b_6 = I_5; c_1 = I_2, c_2 = I_4, c_3 = I_6, c_4 = I_7$.

Вектор-строка $I_j^{(S)}$ составляется следующим образом:

$$I_j^{(S)} = A^{(d,S)} + A^{(\tau,S)} + \sum_{i=1}^{i^*} \varphi r^{(S-n_i,S)} A^{(S-n_i,S)}, \text{ где } A^{(d,S)}, A^{(\tau,S)} - \text{вспомогательные матрицы, } A^{(d,S)} = [0, d, 0, \dots, 0], \dim A^{(d,S)} = \dim I_j^{(S)} \text{ и } A^{(\tau,S)} = [t_j^{(S)}, 0, \dots, 0], \dim A^{(\tau,S)} = \dim I_j^{(S)}.$$

Из рис. 1 видно, что вспомогательную матрицу, описывающую преобразование информации между машинами $M^{(2)}$ и $M^{(5)}$, можно записать в виде

$$A^{(2,5)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Тогда $\varphi r^{(2,5)} A^{(2,5)} = (tr_j^{(2,5)}, d, c_1, \dots, c_4) \times A^{(2,5)} = (0, 0, 0, c_1, 0, c_2, c_3, c_4)$.

Аналогично, член суммы, описывающий движение продукции между машинами $M^{(1)}$ и $M^{(5)}$, будет равен

$$\varphi r_j^{(1,5)} A^{(1,5)} = (tr_j^{(1,5)}, d, b_1, b_4, b_6) \times \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = (0, 0, b_1, 0, b_4, 0, b_6, 0, 0).$$

Если $tr_j^{(2,5)} > tr_j^{(1,5)}$ и $\tau_{\text{неп}}^{(1,5)} = \tau_{\text{неп}}^{(2,5)} = 0$, то $t_j^{(5)} = \max \{tr_j^{(1,5)}, tr_j^{(2,5)}\} = tr_j^{(2,5)}$.

$$A^{(\tau,5)} = (tr_j^{(2,5)}, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0); A^{(d,5)} = (0, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0).$$

Применив преобразование, получим

$$I_j^{(5)} = A^{(\tau,5)} + A^{(d,5)} + \sum_{i=1}^2 \varphi_j^{(i,5)} A^{(2,5)} = tr_j^{(2,5)}, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 + 0, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 + 0, 0, 0, b_1, 0, b_4, 0, b_6, 0, 0 + 0, 0, 0, c_1, 0, c_2, 0, c_3, c_4 = tr_j^{(2,5)}, 2, b_1, c_1, b_4, c_2, b_6, c_3, c_4$$

Таким образом, содержание связей между машинами технологической системы, служащей для выполнения d^* задач, задается множеством матриц $\{A^{(S,S+n_i)}, A^{(S-n_i,S)}\}$, $d = 1, \dots, d^*$, $s = 1, \dots, s^*$, $i = 1, \dots, i^*$.

Потоки выходной информации (продукции) в технологической системе могут быть сведены в общий поток или использоваться по отдельности:

– если цепь машин строго последовательна $M^{(1)}, \dots, M^{(S)}$ и каждая из них имеет свой алгоритм настройки $Alg^{(1,d)}, \dots, Alg^{(S^*,d)}$, то модель может быть записана в виде

$$Alg_{\text{ВЫХ}}^{(S^*,d)} = Alg_{\text{ВЫХ}}^{(S^*,d)} \left[Alg^{(S^*-1,d)} \left[Alg^{(S-2,d)} \dots Alg^{(2,d)} \left[Alg^{(1,d)} \right] \right] \right];$$

– если имеется сходящийся поток от машин $M^{(S-n_i)}$ к машине $M^{(S)}$ и если выходная продукция этих машин полностью обеспечивает формирование входного вектора, то $Alg^{(S)} = Alg^{(S)} \left[Alg^{(S-n_1)} + Alg^{(S-n_2)} + \dots + Alg^{(S-n^*)} \right];$

– при наличии расходящегося потока от $M^{(S)}$ к машинам $M^{(S+n_i)}$ имеем $Alg^{(S+n_i)} = Alg^{(S+n_i)} \left[Alg^{S,S+n_i} \right]$, $i = 1, \dots, i^*$.

В качестве примера запишем векторы преобразования на выходах системы, состоящей из шести единиц технологического оборудования (рис. 1).

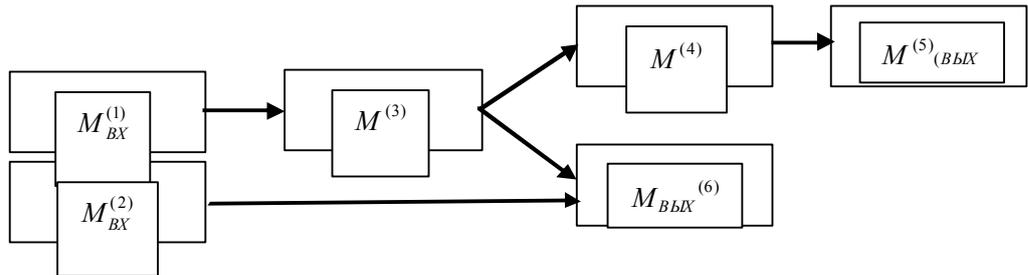


Рис. 1. Схема потока с расходящимся и сходящимся участками

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ СЕТИ...

Как видно из рисунка, искомые векторы преобразования в выходных полюсах потока $M_{\text{ВЫХ}}^5$ и $M_{\text{ВЫХ}}^6$ представляются выражениями:

$$Alg_{\text{ВЫХ}}^{(5)} = Alg^{(5)} \left[Alg^{(4)} \left[Alg^{(3,4)}, \left[Alg^{(1)} \right] \right] \right] \text{ и } Alg_{\text{ВЫХ}}^{(6)} = Alg^{(6)} \left[Alg^{(3,6)} \left[Alg^{(1)} \right] + Alg^{(2)} \right].$$

Таким образом, при моделировании и анализе технологических систем необходимо задать:

- совокупность решаемых системой задач $d = 1, \dots, d^*$,
- совокупность алгоритмов настройки или функционирования системы $\left\{ Alg^{(d,S)} \right\}$, $d = 1, \dots, d^*$; $s = 1, \dots, s^*$,
- структуру технологической системы в виде таблицы переходов или в виде операторного выражения [1],
- информацию на входе системы $\left\{ I_j^{(S_{\text{ВХ}})} \right\}$,
- информационные связи системы в виде матриц $\left\{ A^{(d,S,S+n_i)} \right\}$,
- выходную информацию в виде матриц $\left\{ \varphi r_j^{S_{\text{ВЫХ}}} \right\}$,
- последовательности использования алгоритмов преобразования в зависимости от вида потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лифшиц А.Л., Мальц Э.А. Статистическое моделирование систем массового обслуживания. – М. : Сов. радио, 1978.

УДК 51-74; 666.972.7

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АНАЛИТИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ**

© *А.Н. Бормотов, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

© *И.А. Прошин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**INVESTIGATING THE MODELS OF COMPOSITE MATERIALS
STRUCTURE FORMATION BY ANALYTICAL METHODS**

© *A.N. Bormotov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *I.A. Proshin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье рассматриваются динамические и кинематические модели структурообразования радиационно-защитных наномодифицированных композиционных материалов.

Ключевые слова: композиционные материалы, динамические и кинематические модели, флоккулы, флокулообразование.

The article considers dynamic and kinematic models of structure formation of radiation-protective nanomodified composite materials.

Key words: composite materials, dynamic and kinematic models, flocculi, flocculi formation.

E-mail: proshin.ivan@inbox.ru

Радиационно-защитные наномодифицированные композиционные материалы являются типичными дисперсными системами, полученными на основе маловязкой дисперсионной среды (вяжущее) и тонкомолотых дисперсных фаз. Эволюция дисперсно-наполненных материалов определяется взаимодействиями между структурообразующими элементами, в результате которых могут образовываться флоккулы (кластеры), оказывающие значительное влияние как на реологические свойства систем, так и на структуру и эксплуатационные свойства композиционных материалов. Поэтому изучение и моделирование закономерностей процесса флокулообразования и разработка методов его регулирования позволяют целенаправленно изменять свойства композитов, что является одной из приоритетных научно-технических задач, решение которой имеет большое практическое значение.

Исследование процессов структурообразования наномодифицированных композиционных материалов может быть проведено различными методами: аналитическими и компьютерного моделирования. Из аналитических методов наиболее перспективны *динамические* и *кинематические* модели флокулообразования. Для таких моделей характерна сравнительная сложность (в основном, связанная с громоздким математическим аппаратом). Однако указанные методы являются средством проверки результатов численного моделирования и позволяют получить ответ на ряд вопросов,

остающихся открытыми на протяжении ряда лет. К числу таких вопросов относятся характерные параметры процесса флокулообразования, от которых во многом зависят свойства композиционного материала.

Динамическая модель. В динамических моделях эволюция дисперсных систем описывается системой уравнений [1, 2]:

$$m_i \ddot{\mathbf{r}}_i - k_i (\dot{\mathbf{r}}_i - \mathbf{v}_i) = -\nabla U_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где m_i – масса i -й частицы; $\mathbf{r}_i = (x_i, y_i, z_i)$ – ее координаты; N – количество частиц наполнителя; k – коэффициент, определяемый диссипативными свойствами дисперсионной среды, \mathbf{v}_i – скорость дисперсионной среды в точке \mathbf{r}_i ; U_i – потенциал в точке \mathbf{r}_i (в общем случае зависящий от характеристик дисперсионной среды, а также от характеристик и взаимного расположения всех остальных частиц системы).

В общем случае система (1) аналитического решения не имеет, однако при решении конкретной задачи систему (1) удастся записать в более простой форме. Аналитическое исследование возможно провести для ряда предельных ситуаций (значительное межчастичное расстояние, однородное взаимное расположение, пренебрежимо малое либо крайне значительное трение и т.д.). Полученные результаты имеют частный характер, но позволяют сделать необходимые выводы относительно существенных показателей системы (характерные силы, характерное время образования тех или иных структур и др.).

Левая часть системы (1), являющаяся разностью сил инерции и вязкого трения, неизменна по форме для любой системы. Выражение для градиента в правой части (1) оказывается существенно более сложным.

Общий вид потенциала взаимодействия частиц принято записывать в виде выражения, определяющего наличие заданного числа минимумов, соответствующих положениям равновесия. Потенциал межчастичного взаимодействия включает несколько слагаемых, однако вклад большинства из них на один-два порядка меньше вклада первых двух. Примем бинарный потенциал для системы с единственным положением равновесия в виде

$$U(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \frac{\alpha}{|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|^{12}} - \frac{\beta}{|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|^6}, \quad \alpha > 0, \quad \beta > 0. \quad (2)$$

Выражение (2) содержит два независимых параметра α и β , численные значения которых зависят от:

1) расстояния $r_m = |\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|$, соответствующего положению равновесия, для которого $\nabla U|_{r=r_m} = 0$;

2) глубины потенциальной ямы $U_m = -U(r_m)$, отсчитываемой от нулевого уровня энергии.

Как глубина потенциальной ямы, так и межчастичное расстояние, соответствующее минимуму потенциальной энергии, могут быть определены только на основе анализа дисперсной системы.

Как известно, повышение физико-механических свойств композиционных материалов, полученных совмещением вязущего с высокодисперсным наполнителем, связано с формированием их оптимальной структуры, которая определяется поверхностными явлениями на границе раздела фаз и зависит от количества наполнителя v_f , его дисперсности $S_{уд}$ и физико-химической активности поверхности дисперсной фазы [3]. Для лиофильных систем оптимизацию наполнения материала проводят, в основном, варьируя v_f и $S_{уд}$.

Эти параметры определяют некоторую усредненную толщину прослойки вязущего между частицами наполнителя h , достижение которой зависит только от длительности процесса диспергирования и не связано с поверхностными явлениями:

$$h = \frac{6}{\rho_f S_{уд}} \left(\sqrt[3]{\frac{\eta_f}{v_f}} - 1 \right), \text{ или } h = \frac{1 - v_f}{v_f} \frac{1}{S_{уд} \rho_f},$$

где ρ_f - плотность материала наполнителя; $S_{уд}$ - удельная поверхность наполнителя; v_f - объемная доля наполнителя; η_f - максимальная плотность упаковки частиц.

Реальная толщина прослойки h , вследствие протекания поверхностных явлений, имеет значительные колебания в объеме композита. Поэтому приведенные выше соотношения могут быть использованы только для приближительных расчетов топологических характеристик структуры материала.

При совмещении компонентов вязущего на границе раздела фаз образуется граничный или сольватный слой [4, 5]. Этот слой характеризуется плотным и упорядоченным расположением структурных элементов дисперсионной среды (вязущего вещества). От толщины, строения слоя и прочности контакта сольватной оболочки с поверхностью частиц наполнителя зависят не только реологические свойства смесей и физико-механические свойства материала, но и агрегативная устойчивость дисперсной системы, которая определяет образование флокул (кластеров) в структуре композита. Очевидно, если толщина прослойки вязущего существенно превосходит толщину сольватной оболочки, то влияние избыточной поверхностной энергии частиц наполнителя ничтожно мало и самопроизвольное образование флокул невозможно.

Для определения толщины сольватной оболочки предлагается подход, основанный на энергетическом подходе. А именно:

$$h_c = \frac{\sigma_c \cos \theta M}{RT \rho_c} \quad (3)$$

Анализ формулы (3) показывает, что толщина прослойки возрастает с увеличением молекулярной массы, поверхностного натяжения вязущего вещества и с улучшением смачиваемости наполнителя, а уменьшается – при

повышении температуры и плотности слоя. Это подтверждается экспериментальными данными.

Сопоставление расчетных значений $h_{c,max}$ с экспериментальными данными показывает, что предлагаемая формула позволяет с достаточной точностью определить толщину сольватного слоя и может быть использована для исследования процессов структурообразования композиционных материалов.

Рассмотрим систему из двух частиц при условии отсутствия действия внешних сил. Если частицы находятся на значительном удалении друг от друга ($|\mathbf{r}| \gg r_m$), то в выражении для потенциала существенным становится единственное (второе) слагаемое; первое слагаемое может быть отброшено.

Окончательно:

$$x^4 = 4x_m^3 \sqrt{\frac{2U_m}{m}} \tau + C.$$

Используем последнее соотношение для нахождения времени, которое потребуется для перемещения частицы из точки $x = x_1$ в точку $x = x_2$ ($x_1 > x_2$). С учетом знака времени имеем:

$$\Delta\tau = \frac{1}{4x_m^3} \sqrt{\frac{m}{2U_m}} (x_1^4 - x_2^4). \quad (4)$$

Полученное уравнение позволяет рассчитать характерное время “самопроизвольного” образования флокул в композиционном материале. Как следует из уравнения (4), характерное время быстро увеличивается вместе с увеличением начального расстояния между частицами (пропорционально четвертой степени расстояния).

Проведенные эксперименты убедительно свидетельствуют о невозможности самопроизвольного образования флокул из частиц макроскопических (более 1 мкм) размеров. Образование флокул возможно лишь для частиц, линейные размеры и межчастичное расстояние для которых сопоставимы по порядку величины с $h_{c,max}$.

Кинетическая модель. Процесс флокулообразования можно рассматривать как процесс разрушения дисперсной системы, который может протекать как при отсутствии подводимой в систему энергии – *стационарный режим*, так и при введении дополнительной энергии – *кинетический режим*. Стационарный режим реализуется на стадии структурообразования отформованного композиционного материала, а кинетический режим – в процессе его изготовления и формования.

В стационарном режиме процесс флокуляции происходит в результате броуновского движения частиц дисперсной фазы при их сближении на расстояние, соответствующее образованию устойчивой связи между частицами. Образование флокул происходит вследствие объединения нескольких “свободных” частиц. При этом их количество в системе уменьшается. Изме-

нение концентрации “свободных” частиц во времени можно использовать для оценки возможности протекания процесса флокуляции.

Аналогично процессу коагуляции, процесс флокуляции будем рассматривать как химическую реакцию второго порядка:

$$\frac{dc_f}{d\tau} = -k'c_f^2,$$

где c_f – концентрация дисперсной фазы; k' – константа коагуляции; t – время. Интегрируя уравнение и произведя все преобразования, получим

$$\tau^* = \frac{b}{1-b} \cdot \frac{\pi \cdot d_f^4 \eta}{8 \cdot h_K \nu_f kT}. \quad (5)$$

Анализ выражения (5) показывает, что с уменьшением вязкости дисперсионной фазы и диаметра частиц наполнителя, а также с увеличением степени наполнения и температуры системы время ее разрушения до степени b уменьшается.

Однако для образования флокулы необходимо, чтобы между частицами образовалась устойчивая связь, не разрушающаяся под воздействием других частиц.

Как известно, на поверхности лиофильных фаз образуется граничный плотный слой дисперсионной среды. Толщина этого слоя зависит от физико-химических характеристик среды, ее температуры и интенсивности межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела фаз. При прочих равных условиях толщина граничного слоя будет зависеть от температуры дисперсионной среды. При этом энергия молекул, располагающихся во внешнем слое, будет равна kT .

Возникновение устойчивой связи между частицами дисперсной фазы возможно при образовании обобщенной группы молекул дисперсионной среды, энергия которой

$$E_{CB} = N_M kT,$$

где N_M – количество молекул в молекулярной группе, обеспечивающей образование устойчивой связи.

Образование устойчивой связи реализуется в результате превращения кинетической энергии частиц в энергию связи E_{CB} . В тонких граничных слоях частицы должны иметь скорость

$$v = \sqrt{\frac{6N_M kT}{\pi d_f^3 c_f}}.$$

Анализ экспериментальных данных и результаты теоретических расчетов показывают, что кинетической энергии, которой обладают хаотично движущиеся частицы наполнителя, недостаточно для образования устойчивой связи и образования флокулы.

В отличие от стационарного в кинетическом режиме, который реализуется на стадии формирования материала (перемешивание и уплотнение смеси), необходимо учитывать гидродинамические эффекты, возникающие при сближении частиц. Флокуляция в динамических условиях определяется, в основном, уровнем кинетической энергии, получаемой частицами от внешнего источника, необходимой для преодоления гидродинамического сопротивления при сближении частиц и расходуемой на образование устойчивой связи между ними.

Найдем давление p в зазоре между сближающимися плоскостями при условии отсутствия проскальзывания дисперсионной среды по поверхности частиц:

$$p(x) = -3\eta\vartheta r_f \int_{\infty}^{h+\frac{x^2}{r_f}} \frac{dx}{x^3} = \frac{3}{2}\eta\vartheta r_f \left(h + \frac{x^2}{r_f} \right)^{-2},$$

где r_f и ϑ – радиус и скорость движения частицы, соответственно; h – расстояние между частицами.

С учетом условия образования флокул окончательное решение будет вида

$$\vartheta \geq \frac{9}{8} \cdot \frac{\eta}{\rho_f r_f} \ln \left(\frac{h_0 + r_f}{h_k + r_f} \right). \quad (6)$$

Анализ уравнений (6) показывает, что при прочих равных условиях уменьшение радиуса частиц приводит к увеличению скорости, необходимой для флокуляции, при этом частицы наполнителя должны обладать достаточно высокой скоростью, для того чтобы происходило образование флокул.

Параметр ϑ , использованный в качестве критерия для определения возможности протекания процесса флокуляции в дисперсных системах, позволяет установить взаимосвязь между модельной задачей с реальными физическими процессами. Безусловно, каждый процесс, используемый в технологии изготовления композиционных материалов, имеет свои специфические особенности, но, тем не менее, можно определить значение ϑ , а затем, решая модельную задачу, установить влияние основных рецептурно-технологических факторов на процесс флокулообразования. В случае использования при уплотнении композита вибрационного воздействия частицы будут иметь скорость порядка 0,05...0,44 м/с (при амплитуде 0,15...0,7 мм и частоте 50...100 Гц) и процесс флокуляции может протекать только в высоконаполненных мастиках, полученных на основе грубодисперсных наполнителей. Необходимо отметить, что такие мастики характеризуются седиментационной неустойчивостью, что приводит к расслоению материала и образованию локальных пространственных областей с повышенным содержанием дисперсной фазы. Эти области могут рассматриваться как флокулы.

Приведенные решения позволяют оценить возможность структурообразования в дисперсных системах при различных условиях и являются основой создания системы компьютерного моделирования структурообразования дисперсных систем с точки зрения кластерной теории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прошин А.П. Моделирование процессов структурообразования дисперсных систем / Прошин А.П., Данилов А.М., Бормотов А.Н. [и др.] // Идентификация систем и задачи управления SICPRO`05 : Труды Международной конференции. – М. : Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2004. – С. 700 – 724.
2. Имитационное моделирование деструкции и метод прогнозирования стойкости композиционных материалов / Бормотов А.Н., Прошин И.А., Королёв Е.В. // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 113 – 118.
3. Многокритериальный синтез сверхтяжелого композита / Бормотов А.Н., Прошин И.А. // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – № 4. – С. 29 – 36.
4. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Бабин Л.О., Соломатов В.И. Синергетика композиционных материалов. – Липецк : НПО ОРИУС, 1994. – 152 с.
5. Моделирование реологических процессов в глетглицериновых композитах / Бормотов А.Н., Прошин И.А., Кирсанов А.Ю., Бородин Е.М. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16. № 3. – С. 682 – 693.

УДК 621.3.049.77; 539.3

МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

© В.Ю. Зайцев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

MODELS OF THERMAL PROCESSES IN WIRING CONNECTIONS

© V.U. Shayzev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

В статье рассматриваются модели тепловых процессов при изготовлении электронных компонентов мехатронных устройств.

Ключевые слова: модели тепловых процессов, электронные компоненты, мехатронные технические устройства, надежность соединений.

The paper discusses the models of thermal processes while manufacturing electronic components of mechatronic devices.

Key words: models of thermal processes, electronic components, mechatronic devices, durability of connections.

E-mail: vluzi@pgta.ru

Электронные компоненты мехатронных устройств – полупроводниковые приборы, интегральные схемы, резисторы, конденсаторы, реле, дроссели, трансформаторы и т.п. – имеют строго регламентированные и обоснованные предельные нагрузки по большинству характеристик и внешних воздействий. Сложнее обстоит дело с обеспечением этих характеристик в составе конструкций изделий, представляющих собой гетерогенные диссипативные структуры с широкой вариабельностью свойств. Особенно острой проблемой является проблема обеспечения предельно допустимых норм внешних воздействий по вибрационным и ударным параметрам за счет виброударозащиты, обеспечиваемой конструкторско-технологическими методами при проектировании изделий [1 – 6].

Традиционно применяемыми при производстве мехатронных изделий монтажно-сборочными технологиями являются технологии пайки, сварки, склеивания, свинчивания, заформовки, зачеканки, заливки, намотки, обволакивания, лакировки, окраски, герметизации. Выполненными исследованиями установлено, что наименее изученными, несмотря на кажущуюся простоту, и слабоконтролируемыми, а потому наиболее критичными, в смысле влияния на надежность изделий, являются технологии производства паяных электрических соединений на печатных платах.

Исследования отказов изделий мехатронных устройств показывают, с одной стороны, что 92 % отказов изделий происходят вследствие механических и тепловых воздействий при эксплуатации и 8 % вследствие воздействия на компоненты изделий агрессивных газовых и жидких сред [1 – 6].

Поэтому моделирование тепловых процессов электромонтажных соединений представляет значительный интерес с точки зрения обеспечения работоспособности изделий мехатроники. Сами электромонтажные соединения представляют собой многослойную структуру из разнородных материалов.

Весьма распространенными моделями соединений разнородных материалов, использующимися для оценки напряжений, являются двухслойные модели [1]. В частности, математически корректный метод расчета осевых, радиальных и окружных напряжений состоит в следующем:

$$\sigma_z = \frac{-E_k \delta}{1 + \alpha + \alpha \beta R} \left(2\nu \frac{a^2}{b^2} + \frac{1 + \alpha + \alpha \beta R}{1 + \beta R} \right);$$

$$\sigma_{r,\theta} = \frac{-E_k \delta}{1 + \alpha + \alpha \beta R} \left(\frac{a^2}{b^2} \pm \frac{a^2}{b^2} \right);$$

$$R = \frac{E_k}{E_m}; \quad \alpha = \frac{a^2}{b^2} (1 - 2\nu); \quad \beta = \frac{b^2}{a^2} - 1; \quad \delta = \Delta \alpha \Delta T,$$

где a – радиус вывода, b – радиус материала припоя, r – расстояние от оси вывода до исследуемой точки, E_k , E_m – модули упругости материала припоя

и материала вывода, ν – коэффициент Пуассона, $\Delta\alpha$ – разность КЛТР припоя и материала вывода в температурном интервале ΔT , ΔT – разность температур сборки (или эксплуатации) и нормальной.

Вместе с тем в ряде работ указывается на необходимость более детального учета реальной многослойной структуры паяных соединений [1–3, 5].

Расчетная схема электроmontажного соединения представляет собой многослойный цилиндр, нагруженный постоянным по объему перепадом температур (рис. 1). Модель представлена в рамках теории термоупругости без учета краевых эффектов на торцевых поверхностях соединения [5].

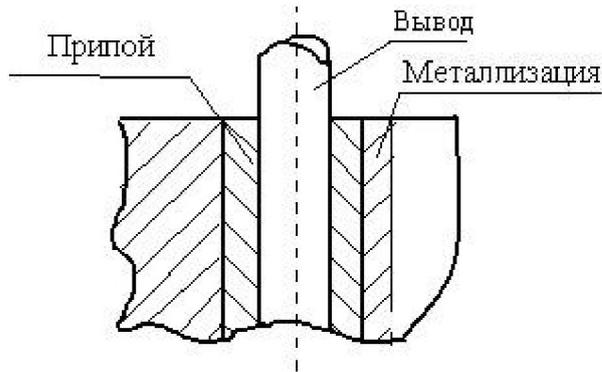


Рис. 1. Расчетная схема электроmontажного соединения

При нагревании (охлаждении) цилиндрических соединений в них возникают температурные напряжения, зависящие от разности коэффициентов линейного температурного расширения материалов соединяемых деталей, температурного поля и геометрии соединений.

Рассматривается N -слойная цилиндрическая конструкция, находящаяся под действием произвольного радиального поля температур $T_1(r)$, $T_2(r)$, ..., $T_N(r)$ (рис. 2), не вызывающего пластических деформаций в слоях. Из-за отсутствия градиента температур в осевом направлении задача является осесимметричной. Нумерация слоев принята от внутреннего слоя к наружному.

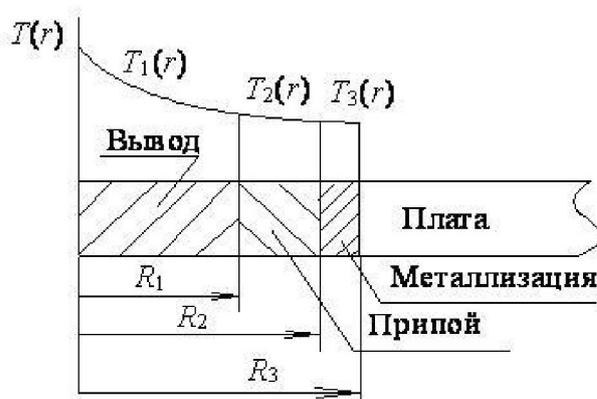


Рис. 2. Распределение поля температур в плате

МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ

Уравнение термоупругости в перемещениях для i -го цилиндрического слоя имеет вид [1 – 3, 5]:

$$\frac{d^2 U_i(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU_i(r)}{dr} - \frac{U_i(r)}{r^2} = \frac{1 + \nu_i}{1 - \nu_i} \alpha_i \frac{dT_i(r)}{dr},$$

где $U_i(r)$ – функция радиальных перемещений в i -м слое,

ν_i, α_i – коэффициент Пуассона и КЛТР материала i -го элемента.

Краевыми условиями для решения системы N дифференциальных уравнений (1) являются:

1) отсутствие радиальных перемещений на оси вывода, отсутствие радиальных напряжений на наружной поверхности конструкции:

$$U_i(0) = 0, \quad \sigma'_N(R_{N+1}) = 0;$$

2) условия неразрывности деформаций между слоями:

$$\sigma'_i(R_{i+1}) = \sigma'_{i+1}(R_{i+1}), \quad U_i(R_{i+1}) = U_{i+1}(R_{i+1}).$$

На двухслойной модели для случая $\Delta T = 160$ °С, соответствующего разнице эксплуатационных воздействий и нормальных условий, воздействующих на соединения, проведен вычислительный эксперимент. Целью эксперимента являлось исследование напряжений в материале припоя. Исследовался коваровый вывод диаметром 0,5 мм. Варьируемыми параметрами являлись коэффициент линейного расширения, модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала припоя.

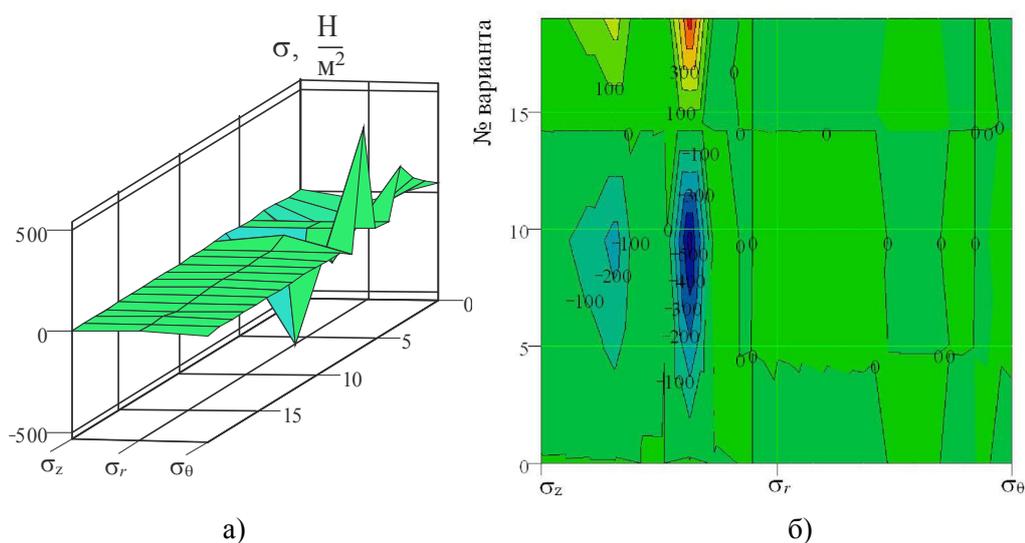


Рис. 3. Распределение напряжений в слое припоя

Исследования показали, что недостаточная надежность электромонтажных соединений, в основном, связана с фундаментальными свойствами гетерогенных структур, поэтому основное положение предлагаемой теории

монтажно-сборочных операций заключается в строгой аксиоматике снижения сильной гетерогенности внутренних структур и получения псевдогомогенных структур электрических соединений [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смогунов В.В., Волчихин И.В., Ноздрачев А.В. Конструкторско-технологическая надежность автономных систем управления. – Пенза : ГТУ, 1995. – 106 с.
2. Пролейко В.М., Смогунов В.В., Трояновский И.Е., Майборода В.П. Анализ физико-механических процессов, приводящих к отказам изделий электронной техники // Эл. техника. – Сер. 8. – 1981. – № 5. – С. 13 – 19.
3. Пролейко В.М., Смогунов В.В., Трояновский И.Е. Анализ отказов в управлении качеством продукции // Эл. техника. – Сер. 8. – 1981. – № 5. – С. 26 – 35.
4. Смогунов В.В., Ноздрачев А.В., Зайцев В.Ю. Современные монтажно-сборочные технологии мехатроники // Формирование экологической культуры – актуальная задача современности. – Пенза : ПГПУ, 1997. – С. 98 – 99.
5. Карасёв Н.Я. Модели и технологии электромонтажных соединений приборостроения. – Пенза : ПГУ, 1998. – 122 с.
6. Зайцев В.Ю. Корпусирование гетерогенных систем мехатроники, работающих в экстремальных условиях // Мехатроника, автоматизация, управление. – М., 2004. – № 5. – С. 43 – 45.

УДК 535.4

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПЕКЛ-ГОЛОГРАФИИ

- © **И.В. Волков**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)
- © **Е.М. Бородин**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)
- © **В.Ю. Зайцев**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)
- © **А.Ю. Кирсанов**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

THEORETICAL BASIS OF SPECKLE HOLOGRAPHY

- © **I.V. Volkov**, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)
- © **E.M. Borodin**, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)
- © **V.U. Shayzev**, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)
- © **A.U. Kirsanov**, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

Статья посвящена рассмотрению некоторых моделей представления голографической интерферометрии диффузно-отражающих объектов при их деформировании на основе теории спекл-голографии.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПЕКЛ-ГОЛОГРАФИИ

Ключевые слова: голографическая интерферометрия, спекл-голография, тензор деформаций.

The paper is dedicated to discussing several models of representing holographic interferometry of diffusively-reflecting objects at their deformation on the basis of speckle holography.

Key words: holographic interferometry, speckle holography, deformation tensor.

E-mail: vluzi@pgta.ru

В основе различных технических решений лежит физическое представление и математическое описание явления, которое предполагается использовать в промышленности. Спекл-интерферометрия применяется сравнительно недавно, но модель математического описания явления до сих пор у каждой научной школы своя, и общепризнанной теории пока не существует.

Однако результаты использования спекл-интерферометрии впечатляют и обещают широкое использование этого явления в технике. В частности, компьютерная спекл-интерферометрия [1] уже используется как альтернатива мокрому голографическому бесконтактному процессу.

На наш взгляд, представленная в статье теория спекл-интерферометрии объединяет существующие модели представления физической сути голографической интерферометрии диффузно-отражающих объектов при их деформировании.

Мало того, использование представленной теории при анализе деформаций диффузно-отражающих объектов позволяет получать компоненты тензора пространственных перемещений и деформаций, используемые в механике деформируемого твердого тела и получаемые в экспериментальной механике путем объединения теорий голографической и спекл-интерферометрии.

При освещении диффузной поверхности когерентным светом лазера каждая точка ее рассеивает в окружающее пространство сложную, присущую только ей волну когерентного света. Эта волна несет информацию о структуре, материале, обработке его поверхности, шероховатости и других свойствах диффузного рассеяния освещающей волны. В результате интерференционного сложения волн всех точек освещенной поверхности в пространстве формируется рассеянное когерентное сложное спекл-поле, несущее полную информацию о поверхности освещенного объекта.

Поверхность объекта как бы искрится, необходимо только, чтобы поверхность была диффузной – рассеивающей когерентное освещение.

Явление останется тем же самым, если мы заменим глаз фотоаппаратом, видеокамерой и ТВ системой. На изображении будут наблюдаться субъектные спеклы, которые определяются апертурой объектива. Чем больше апертура, тем тоньше структура спеклов, т.к. диаметр дифракционной картины, создаваемой объективом, убывает с увеличением его апертуры (отверстия). Но чтобы получить спеклы, совершенно необязательно иметь изображение объекта. Диффузный объект, освещаемый лазером, создает спекл-структуру во всем пространстве, которое его окружает. Достаточно поместить фотопластинку на каком-либо расстоянии от объекта, и на ней будут зарегистрированы объектные спеклы. По аналогии с явлением диф-

рации можно назвать эти спеклы в ближней зоне спеклами Френеля или объектными спеклами, а в дальней зоне при сфокусированном изображении – спеклами Фраунгофера или субъектными спеклами. При регистрации голограммы спеклы будут наблюдаться и в восстановленном изображении, это затрудняет его наблюдение, его качество, однако эти спеклы можно использовать в экспериментальной механике при измерении пространственных перемещений и деформаций поверхности объекта.

Природу образования спекл-структуры разные авторы представляют по-разному. Есть подход использования геометрической оптики, а есть подход использования дифракционной оптики [2 – 4]. Примеров объяснения дифракционной природы образования спекл-структуры много: Duffy, Ennos, Archbold, Клименко, Рассоха, Капустин и другие. Наши представления [5 – 7] основаны на следующих фактах.

Во-первых, дифракция когерентного освещения на регулярной дифракционной решетке имеет строго определенную пространственную частоту, определяемую формулой Брэгга

$$\sin \alpha = \lambda / d , \quad (1)$$

где d – период решетки, α – угол дифракции.

При дифракции на шероховатостях диффузной поверхности образуется спектр пространственных частот, несущий информацию об объекте. Спекл-поле можно рассматривать как результат дифракции на совокупности решеток с изменяющимися пространственными частотами (периодами) их пространственной ориентацией и типами. Поэтому при анализе спекл-полей при оптической фильтрации может быть использован аппарат Фурье преобразования, обладающий математической полнотой функционального анализа и простотой его реализации в оптике.

Во-вторых, при использовании оптической схемы (рис. 1) [5] с регистрацией “безопорных” спекл-голограмм сфокусированного изображения двойной апертурой эти пучки, выходящие из отверстий, являются опорными друг другу и создают несущую пространственную частоту по всему изображению на фоне спеклов.

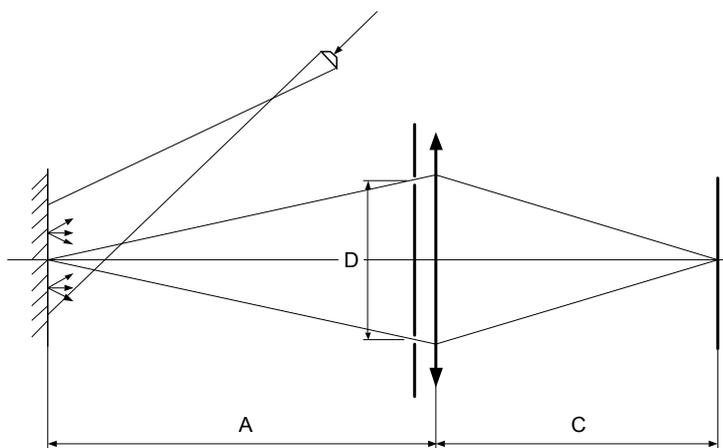


Рис. 1. Измерение деформаций с помощью изображающей системы двойной апертуры

После оптической фильтрации дифракционных порядков таких спекл-голограмм по классической схеме (рис. 2) на фоне спеклов наблюдается регулярная решетка с параметрами этих отверстий.

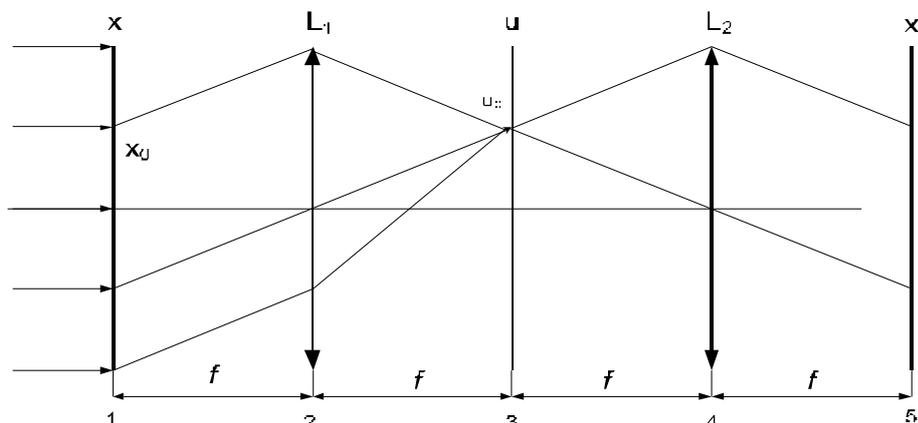


Рис. 2. Классическая оптическая схема фильтрации:
 1 – спекл-голограмма с функцией пропускания $t(x)$, 2 – линза Фурье-преобразования $L1$, 3 – частотная плоскость линзы $L1$, 4 – линза обратного Фурье-преобразования $L2$, 5 – плоскость производной спекл-интерферограммы

Если использовать полную апертуру изображающей системы или множество отверстий в пределах этой апертуры, то можно построить изображение и зарегистрировать спекл-голограмму с множеством спектров пространственных частот. Таким образом, при интерференции по интенсивности в каждой точке голографического изображения можно получить информацию о пространственных частотах по всему полю объекта. Следовательно, в каждой точке геометрического изображения имеется множество опорных пространственных частот по полю объекта. Это объясняет наличие сплошного спектра в дифракционном гало в частотной плоскости при фильтрации спекл-голограмм.

При использовании дополнительного опорного пучка по полю спекл-голограммы образуется регулярная несущая решетка, которая и наблюдается на фоне спеклов. Наличие дополнительного опорного пучка увеличивает чувствительность к вибрациям, поэтому при внестеновой спекл-голографии при наличии вибраций размываются эти полосы и ухудшается запись спекл-голограмм.

Аналогичное происходит в сендвич-голографии [8] – это аналог бинокулярного зрения. Это свойство используется в оптоэлектронике и в радиоастрономии при пользовании синтезированными апертурами.

Спекл-голограмму мы рассматриваем как свертку аппаратной функции используемой оптики и регистратора (фотоаппарата и ПЗС матрицы) с объектной волной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлёв О.А. Разработка автоматизированного метода исследования вибрационных характеристик энергоустановок / Журавлёв О.А., Комаров С.Ю., Попов К.Н., Прокофьев А.Б. // Компьютерная оптика. – 2001. – Вып. 21. – С. 143 – 149.
2. Струок Дж. Введение в когерентную оптику и голографию. – М. : Мир, 1967. – 348 с.
3. Клименко И.С. Голография сфокусированных изображений и спекл-интерферометрия. – М. : Наука, 1985. – 218 с.
4. Волков И.В. Исследование механики деформаций натуральных образцов с концентраторами напряжений методом speckle-голографии // Материалы 6-й Всесоюзной школы по голографии АН СССР. – Л. : ЛИЯФ, 1974. – С. 369 – 382.
5. Волков И.В. Применение метода спекл-голографии двойной апертуры для выделения плоского компонента деформации вблизи концентраторов напряжений // Ученые записки ЦАГИ. – 1976. – Т. VII, № 4. – С. 168 – 173.
6. Волков И.В. О некоторых особенностях получения и интерпретации спекл-интерферограмм деформируемых объектов // Журнал Технической Физики. – 1980. – Т. 50, Вып. 5. – С. 1038 – 1048.
7. Волков И.В. Спекл-голография в экспериментальной механике. – Пенза : ПГТА, 2010. – 199 с.
8. Abramson N. Sandwich hologram interferometry: a new dimension in holographic comparison. *Applied Optics*. 1974. Vol. 13(9). p.2019- 2025.

УДК 517.958

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ВИДЕ СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

- © **В. С. Николаев**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)
- © **В. А. Авроров**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)
- © **В.В. Волков**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

MODELING OF THE STRINGY STRUCTURE IN THE MANNER OF SYSTEMS WITH PORTIONED PARAMETER

- © **V. S. Nikolaev**, Penza Stats Technology Academy (Penza, Russia)
- © **V. A. Avrorov**, Penza Stats Technology Academy (Penza, Russia)
- © **V. V. Volkov**, Penza Stats Technology Academy (Penza, Russia)

Разработка базовой модели волокнистой ленты в виде системы с распределенными параметрами, описываемой функцией состояния – развеса ленты (линейной плотности), где каждый ее участок равной длины описывается своим дифференциальным уравнением.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ВИДЕ...

Ключевые слова: волокнистая лента, дифференциальное уравнение, развес ленты (линейная плотность), начальные условия, граничные условия, линейный оператор, функция Грина.

The Development to base model of the stringy tape in the manner of systems with portioned parameter, described function of the condition - VVVweigh out tapes (linear density), where each her(its) area of the equal length is described by its differential equation.

Key words: stringy tape, differential equation, VVVweigh out tapes (linear density), initial conditions, border conditions, linear operator, function Grina.

E-mail: mycolo @ rambler.ru

Особенностью волокнистых материалов, в частности волокнистой ленты с ленточной машины хлопкопрядильного производства, является ее пространственная протяженность, что позволяет отнести ее к классу распределенной системы. Состояние таких систем характеризуется набором функций нескольких переменных или функцией с распределенными параметрами в виде: координат элементарных объемов сечений геометрических областей, расположением и числом элементарных волокон в сечениях или плотности материала. Поведение этой системы можно описать уравнением в частных производных или дифференциально-разностными уравнениями, где ленту разбивают на элементарные объемы, которые характеризуются их погонными весами (линейной плотностью) при их постоянной длине. Такой принцип деления используется в системе технологического контроля волокнистой ленты, посредством при ее транспортировании (протаскивании) через технологический элемент – уплотнитель и при регулировании ровноты.

Если принять на длине L число участков k равных между собой и соответствующих dy элементу длины уплотнителя (зона сжатия), то постоянными параметрами будут: скорости движения волокон участка в потоке на входе и выходе уплотнителя v_1 и v_0 , вектор силы трения $\bar{\mu}$, среднее значение контактирующей поверхности длины волокна σ и среднее количество волокон $S(0)$ находящихся в зоне тянущей. К переменным параметрам можно отнести $\lambda(y)$ – относительную величину коэффициента контакта, $S^{(1)}(y)$ и $S^{(0)}(y)$ – число волокон в сечении входящего и выходящего продукта в точке y зоны прохождения продукта. Изменение модуля усилия протаскивания i -го участка в случае малой вытяжки, исходя из [1], будет описываться дифференциальным выражением

$$\frac{d f_i}{d y} = \sigma \bar{\mu} S(0)(v_i - v_{i+1}) \left\{ \lambda_i(y) S_i^{(1)}(y) \Big|_0^y + \lambda_i(y) S_i^{(0)}(y) \Big|_{y_0}^L \right\}, \quad (1)$$

т.е. поведение системы “элементарных объемов материала” будет описываться системой дифференциальных уравнений.

Идея моделирования распределенной системы состоит в том, что при временно неподвижной ленте осуществляется ее сжатие (расчет усилий

сжатия в зависимости от ее развеса) по зонам, а затем перемещение ее из зоны в зону одновременно, имитируя транспортирование ленты. Схема зон показана на рис. 1. Для отличия различных фрагментов массы на различных участках длины ленты идет деление массы на k зон. Время t_3 , в течение которого лента передвигается на одну зону, составляет

$$t_3 = \frac{L}{k} \frac{1}{v} \quad (2)$$

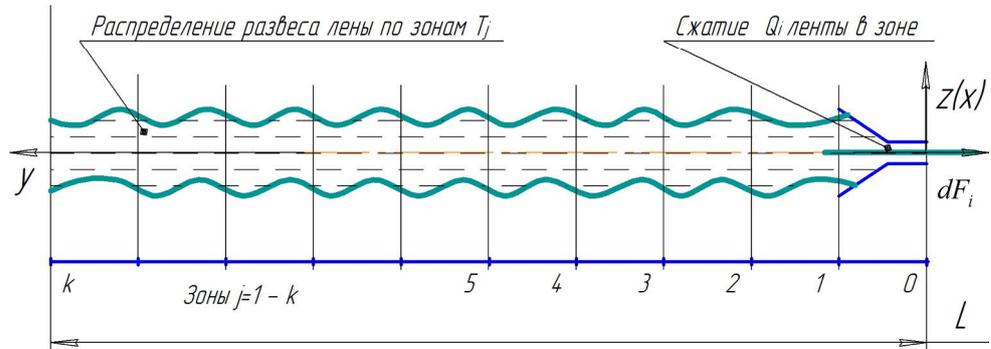


Рис. 1. Схема разделения длины L ленты на k зон

Для компьютерной имитации процесс сжатия и процесс транспортирования разделяются, тогда поведение “отдельных участков” системы описывается системой дифференциальных уравнений, по силе сжатия от развеса и по передаточной функции.

$$\frac{dF_j}{dt} = k_1 (T_1 - T_2) + k_j (T_j - T_{j+1}) + k_n (T_{n-1} - T_n)$$

$$\frac{dW_j}{dt} = k_j (W_j - W_{j+1})$$

Отсюда видно, что на каждом такте необходимо отдельно просчитать изменения в каждой из зон волокнистой ленты на длине L , в дополнении к циклу по времени и по развесу. Это позволяет выразить, что инструментом моделирования систем, распределенных по нескольким координатам, являются многократно вложенные циклы, причем внутри цикла “по времени” содержится цикл “по одной оси пространства”, и так далее.

Такая постановка задачи позволяет перейти к общему виду базового уравнения волокнистой ленты с распределенными параметрами. Функция состояния развеса изготовленной волокнистой ленты $T_L(y, t)$ (выход объекта), определена по пространственной переменной $y \in \bar{D}$ в замкнутой области \bar{D} , удовлетворяет уравнению

$$L[T_L(y, t)] = f(y, t), \quad y \in D, \quad t > 0, \quad (3)$$

где D – открытая часть области \bar{D} , не содержащая ее границы; L – некоторый заданный, интегро-дифференциальный оператор, конкретный вид которого определяется содержанием описываемого процесса для рассматриваемого выхода $T_L(y, t)$ с учетом принимаемых допущений; $f(y, t)$ – известная функция, характеризующая внешнее воздействие на процесс, которая может рассматриваться в качестве входа объекта с распределенными параметрами. Если $f(y, t) = 0$, то уравнение (3) является однородным, а при $f(y, t) \neq 0$ – неоднородным.

Для различных выходных величин векторная функция состояния представляет собой систему n операторных уравнений $T_L(y, t) = (T_{L_i}(y, t))$ при $i = \overline{1, n}$ или $T_L(y, t) = (T_{L_1}(y, t), T_{L_2}(y, t), \dots, T_{L_n}(y, t))$.

Единственное решение уравнения (3) дополняется начальными условиями, которые описываются линейным оператором N

$$N[T_L(y, t)] = T_{L_0}(y), \quad y \in \bar{D}, \quad t = 0, \quad (4)$$

где $T_{L_0}(y)$ – заданная начальная векторная функция, состояние которой в начальный момент описывается областью \bar{D} рассматриваемого процесса, причем начальные условия могут быть $T_{L_0}(y) = 0$ нулевыми или $T_{L_0}(y) > 0$ ненулевыми.

Для выделения единственного решения полная система дополнительно содержит граничные условия, характеризующие взаимодействие $T_L(y, t)$ с внешней средой, которые выполняются при $t > 0$ на границе $\partial\bar{D}$ области \bar{D} :

$$\tilde{A}[T_L(y, t)] = g(y, t), \quad y \in \partial\bar{D}, \quad t > 0, \quad (5)$$

где \tilde{A} – соответствующий линейный оператор, а $g(y, t)$ – внешнее воздействие, $T_L(y, t)$ – второй вход объекта, причем граничные условия при $g(y, t) = 0$ являются однородными или при $g(y, t) \neq 0$ неоднородными.

Уравнения (3) – (5), с заданными линейными дифференциальными операторами L , N , \tilde{A} составляют краевую задачу и являются базовой моделью математического описания волокнистой ленты, имеющей распределенные параметры. В качестве входа объекта фигурирует начальная функция $T_{L_0}(y)$. В случае точно известных операторов уравнений (3) – (5), модель волокнистой ленты с распределенными параметрами относится к детерминированному виду.

В случае одномерных элементарных объемов простейшее пространственное распределение развеса волокнистой ленты $T_L(y, t)$ по одной координате y , изменяющейся на участке $(y_0, y_1) \in y$ в составе оператора L , запишется линейным дифференциальным уравнением второго порядка

$$L[T_L(y, t)] = A(y, t) \frac{\partial^2 T_L}{\partial t^2} + B(y, t) \frac{\partial^2 T_L}{\partial y \partial t} + C(y, t) \frac{\partial^2 T_L}{\partial y^2} + A_1(y, t) \frac{\partial T_L}{\partial t} + B_1(y, t) \frac{\partial T_L}{\partial x} + C_1(y, t) T_L = f(y, t), \quad (6)$$

где A, B, C, A_1, B_1, C_1 – заданные функции от y и t , в частности, имеющие постоянные значения.

Посредством дискриминанта $\Delta = AC - B^2$ из уравнения (6) выделяют уравнения гиперболического ($\Delta < 0$), параболического ($\Delta = 0$), эллиптического ($\Delta > 0$) и смешанного типов (если Δ меняет знак в области допустимых изменений y и t) [2, 3].

Приняв функцию состояния $T_L(y, t)$ волокнистой ленты в качестве базовой модели и приведя ее к канонической форме записи, не содержащей смешанных производных [3], уравнение (6) можно представить целевой функцией вида

$$A(y, t) \frac{\partial^2 T_L}{\partial t^2} + A_1(y, t) \frac{\partial T_L}{\partial t} = C(y, t) \frac{\partial^2 T_L}{\partial y^2} + B_1(y, t) \frac{\partial T_L}{\partial x} + C_1(y, t) T_L + f(y, t, u(x, t)); \quad (7)$$

$$y_0 < y < y_1, \quad t > 0,$$

где типовые условия ограничений имеют вид:

$$T_L(y, 0) = T_{L0}^{(0)}(y); \quad \frac{\partial T_L(y, 0)}{\partial t} = T_{L0}^{(1)}(y); \quad y_0 \leq y \leq y_1, \quad (8)$$

$$\alpha(y_0, t) T_L(y_0, t) + \beta(y_0, t) \frac{\partial T_L(y_0, t)}{\partial y} = g_0(t, u_0(t)), \quad t > 0, \quad (9)$$

$$\alpha(y_1, t) T_L(y_1, t) + \beta(y_1, t) \frac{\partial T_L(y_1, t)}{\partial y} = g_1(t, u_1(t)), \quad t > 0, \quad (10)$$

значения коэффициентов A, A_1, C, B_1 и C_1 в (7) и (6) не совпадают [3].

Из (7) – (10) следует, что поведение пространственно распределенной функции $T_L(y, t)$ определяется фиксированным начальным состоянием $T_{L0}(y) = (T_{L0}^{(0)}(y), T_{L0}^{(1)}(y))$ и входными воздействиями f, g_0, g_1 , в которых в виде аддитивных слагаемых присутствуют управления $u(y, t), u_0(t), u_1(t)$.

Для различных начальных состояний $T_{L0}(y)$ и воздействий $g(y, t)$ по граничным условиям, в соответствии с [3], вместо $f(y, t)$ можно подобрать функцию $w(y, t)$, которая “компенсирует” эффект влияния на выходную величину ненулевых начальных и однородных граничных условий, обеспечивая равенство решений $T_L(y, t)$ исходной системы (3) – (5) и краевой задачи

$$\begin{cases} L[T_L(y, t)] = w(y, t), & y \in D, & t > 0, \\ N[T_L(y, t)] = 0, & y \in \bar{D}, & t = 0, \\ \Gamma[T_L(y, t)] = 0, & y \in \partial\bar{D}, & t > 0. \end{cases} \quad (11)$$

Начальные условия при $t = 0$ записываются в виде

$$T_L(y, 0) = T_{L_0}^{(0)}(y); \quad \frac{\partial T_L(y, 0)}{\partial t} = T_{L_0}^{(1)}(y), \dots, \quad \frac{\partial^{m-1} T_L(y, 0)}{\partial t^{m-1}} = T_{L_0}^{(m-1)}(y), \quad y \in \bar{D}, \quad (12)$$

где $(T_{L_0}^{(0)}(y), T_{L_0}^{(1)}(y), T_{L_0}^{(m-1)}(y)) = T_{L_0}(y)$.

При ограниченной области \bar{D} представления линейного оператора \tilde{A} определяются условиями следующего вида:

$$\alpha(y, t)T_L(y, t) + \beta(y, t)\frac{\partial T_L(y, t)}{\partial n} = g(y, t), \quad y \in \partial\bar{D}, \quad t > 0, \quad (13)$$

где $\alpha(x, t)$, $\beta(x, t)$ – заданные функции на границе $\partial\bar{D}$, принимающие постоянные значения, причем $\alpha \geq 0$, $\beta \geq 0$, $\alpha + \beta > 0$, $\partial T_L / \partial n$.

Система уравнений (11) является стандартной формой модели задачи и эквивалентна исходной модели (3) – (5), а $w(y, t)$ – стандартизирующей функцией этой задачи. Общее решение линейной одномерной краевой задачи (7) – (10) можно представить в интегральной форме [3]

$$\begin{aligned} T_L(y, t) = & \int_{y_0}^{y_1} N_0(y, \xi, t)T_{L_0}^{(0)}(\xi)d\xi + \int_{y_0}^{y_1} N_1(y, \xi, t)T_{L_0}^{(1)}(\xi)d\xi + \\ & + \int_0^t \int_{y_0}^{y_1} G(y, \xi, t, \tau)f(\xi, \tau, u(\xi, \tau)) + \int_0^t K_0(y, t, \tau)g_0(\tau, u_0(\tau))d\tau + \\ & + \int_0^t K_1(y, t, \tau)g_1(\tau, u_1(\tau))d\tau, \quad y \in (y_0, y_1), \quad t > 0, \end{aligned} \quad (16)$$

где ξ и τ – переменные интегрирования, по координате и времени.

Первые два интеграла уравнения (16) определяют общее решение по пространственной переменной, последние два интеграла по времени учитывают входные воздействия g_0 , g_1 по граничным условиям. Двойной интеграл пространственно-временной области, соответственно аргументы (ξ) и (τ) , отражает вклад входного воздействия f в реакцию объекта. Выход $T_L(y, t)$ обуславливается внешними воздействиями f , g_0 , g_1 , начальным состоянием $T_{L_0}(y)$ и функциями влияния N_0 , N_1 , G , K_0 , K_1 , которые отражают внутренние свойства объекта. Функции влияния посредством операций дифференцирования могут быть выражены в конечном виде

через функцию $G(x, \xi, t, \tau)$ (под знаком двойного интеграла) – функцию Грина [3], которая может описывать свойства распределенных параметров волокнистой ленты, не зависящих от характера входных воздействий, и является его основной фундаментальной характеристикой.

Решение краевой задачи (7) – (10) посредством функции Грина $G(x, \xi_0, t, \tau_0)$ описывает реакцию распределенной системы на точечное импульсное воздействие вида дельта-функции [3], приложенное в произвольной фиксированной точке $\xi_0 \in [y_0, y_1]$ в момент времени $t = \tau_0 \geq 0$ или $\tau \in [0, t]$. Начальные и граничные условия системы определены в любой точке $y \in (y_0, y_1)$ и любой момент времени $t > 0$. Аргументы ξ и τ являются входными, а аргументы y и t – соответственно, выходными. Для стационарных систем, не зависящих от времени параметрами, импульсная переходная функция представляется в виде

$$G(y, \xi, t, \tau) = G(y, \xi, t - \tau). \quad (17)$$

Связь интегральных операторов N_0, N_1, K_0, K_1 с функцией Грина $G(x, \xi, t, \tau)$ зависит от коэффициентов дифференциального оператора в уравнениях (7) – (10). Для стационарной системы с постоянными коэффициентами A, A_1 в уравнении (7) и $\alpha(y_0, t) = \alpha_0 = \text{const} \geq 0$, $\beta(y_0, t) = \beta_0 = \text{const} \geq 0$, $\alpha(y_1, t) = \alpha_1 = \text{const} \geq 0$, $\beta(y_1, t) = \beta_1 = \text{const} \geq 0$ в уравнениях (9) и (10) при $\alpha_0 + \beta_0 > 0$, $\alpha_1 + \beta_1 > 0$ имеют место следующие соотношения, получаемые из решения уравнений (7) – (10) методом конечных интегральных преобразований [3]:

$$N_0(y, \xi, t) = A_1 G(y, \xi, t) + A \frac{\partial G(y, \xi, t)}{\partial t}, \quad (18)$$

$$N_1(y, \xi, t) = A G(y, \xi, t) + A \frac{\partial G(y, \xi, t)}{\partial t}, \quad (19)$$

$$K_i(y, t - \tau) = (-1)^{i+1} \frac{1}{\beta_i} [C(\xi)G(y, \xi, t - \tau)]_{\xi=y_i}, \quad i = 0, 1, \text{ если } \beta_i > 0, \quad (20)$$

$$K_i(y, t - \tau) = (-1)^{i+1} \frac{1}{\alpha_i} \left\{ [B_1(\xi)G(y, \xi, t - \tau)]_{\xi=y_i} - \frac{\partial}{\partial \xi} [C(\xi)G(y, \xi, t - \tau)]_{\xi=y_i} \right\}, \quad i = 0, 1 \quad \text{если } \beta_i = 0, \quad (21)$$

где $A, A_1, \alpha_0, \beta_0, \alpha_1, \beta_1$ – постоянные коэффициенты, не зависящие от времени и зависящие от координат коэффициенты C, B_1, C_1 [3].

Стандартизирующая функция $w(y, t)$ записывается в виде

$$A \frac{\partial^2 T_L}{\partial t^2} + A_1 \frac{\partial T_L}{\partial t} = C(y) \frac{\partial^2 T_L}{\partial y^2} + B_1 \frac{\partial T_L}{\partial y} + C_1(y)Q + w(y, t)$$

$$y_0 < y < y_1, \quad t > 0$$

$$T_L(y, 0) = 0; \quad \frac{\partial T_L(y, 0)}{\partial t} = 0; \quad y_0 \leq y \leq y_1. \quad (22)$$

Решение этой задачи принимает вид

$$T_L(y, t) = \int_0^t \int_{y_0}^{y_1} G(y, \xi, t - \tau) w(\xi, \tau) d\xi d\tau. \quad (23)$$

Откуда следует, что оператор, обратный по отношению к T_L , в (22) является интегральным, и выражение (23) есть интегральная форма описания модели волокнистой ленты в виде системы с распределенными параметрами.

Выводы

1. Волокнистая лента, из предположения взаимосвязи факторов, описываемая через ее развес (линейную плотность) может быть отнесена к стохастическим системам, где каждый ее участок равной длины описывается своим дифференциальным уравнением.

2. Разработана базовая модель волокнистой ленты в виде системы с распределенными параметрами, описываемая через функцию состояния $T_L(y, t)$. Модель, приведенная к канонической форме записи, в составе оператора L описывается линейным дифференциальным уравнением второго порядка, представляющим целевую функцию.

3. Модель распределенной системы характеризуется параметром $T_L(y, t)$, различным по своему значению в разных точках объекта, с независимыми от времени коэффициентами, приводится к универсальной стандартной модели со стандартизирующей функцией, что обеспечивает интегральное представление выходной функции состояния распределенной системы для любого входа $w(y, t)$ посредством функции Грина $G(y, \xi, t - \tau)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ функции преобразования датчика линейной плотности волокнистой ленты тензометрического типа / В.С. Николаев, В.А. Авроров, В.В. Волков, М.Г. Горюнова // *Технология текстильной промышленности : Известия вузов.* – 2009. – № 2 – С. 83 – 86.

2. Бутковский А.Г. *Структурная теория распределенных систем.* – М. : Наука, 1977.

3. Рапопорт Э.Я. *Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами.* – М. : Высшая школа, 2003.

4. Рапопорт Э.Я. *Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами : Учеб. пособие.* – М. : Высш. шк., 2005. – 292 с. : илл.

УДК 519.8

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ
ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

© *В.С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

© *Н.Н. Короткова, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**MODELING OF THE VOLTAGES AND DEFORMING THE DETECTOR
ELEMENT WITH USE THE METHOD FINAL ELEMENT**

© *V.S. Nikolaev, Penza Stats Technology Academy (Penza, Russia)*

© *N.N. Korotkova, Penza Stats Technology Academy (Penza, Russia)*

Разработка математической модели чувствительного элемента на основе численного метода конечных элементов в исследованиях температурного напряженно-деформированного состояния сложной пластинчатой конфигурации.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, чувствительный элемент, датчик, конечный элемент, температурное поле.

The Development to mathematical model of the detector element on base of the numerical method final element in study warm-up tense – a deformed conditions to complex lamellar deskside.

Key words: tense-deformed conditions, detector element, sensor, final element, warm-up field.

E-mail: mycolo@rambler.ru

Аналитические методы расчета конструкций элементов машин и приборов ограничены простыми формами тел и схемами их нагружения. Возможность снятия ограничений по формам конструкций, способам приложения нагрузки позволила широко внедрить численные методы расчетов, где посредством алгебраических выражений достигаются решения дифференциальных уравнений или систем уравнений, описывающих упругое тело. Такая процедура достигается за счет дискретизации тела с последующим приближенным нахождением поля его деформаций.

Исходя из известных приемов строительной механики [1], описывающих свойства поведения конструкции в целом, в задаче исследуются соотношения сил и деформаций каждого отдельного конечного элемента. По известным значениям деформаций в узлах конечного элемента с помощью функций формы аппроксимируется поле деформаций, которое отличается от функций форм используемых для аппроксимации полей неизвестных величин. В случае совпадения функций форм элемент является изопараметрическим. Ввод фиктивных сил в узловых точках, распределенных по границам элементов, обуславливает их взаимодействие, эквивалентное поверхностным напряжениям. Это позволяет принять решение краевой задачи для заданной области в виде набора функций на подобластях конечных элементов. Исследуемая непрерывная величина аппроксимируется кусочно-непрерывной функцией

[2] элементов. Приближенным решением такой модели является поле напряжений и деформаций целостной конструкции преобразователя силы.

Из предположения, что статическая точность преобразователя развеса волокнистой ленты зависит от температурных режимов его работы, возникает задача исследования факторов влияния температурных напряжений на преобразовательные элементы. В решении задачи построения конструкции чувствительного элемента важно знать эволюцию процесса деформирования конструкции с определением областей напряжений, что обуславливает значение передаточной функции силы в тензорезисторном элементе. Применение математических моделей на базе численных методов позволяет с высокой точностью исследовать геометрию деталей сложной конфигурации, ее напряженно-деформированное состояние в зонах допустимых больших градиентов температурных напряжений.

Чувствительный элемент датчика представляет собой кольцевую пластину [3] (мембрана, фланец), обеспеченную жестким кольцом в центральной части. Другой вариант чувствительного элемента [4] выполнен с радиальными вырезами в пластине, образуя многолучевую осесимметричную конструкцию, где часть лучей – опорные и обуславливают его устойчивость. На радиальных лучах смонтирована мостовая тензометрическая схема, которая преобразует распределенное по контуру кольца усилие в электрический сигнал. В центральном кольцевом отверстии располагается уплотнитель, преобразующий развес волокнистой ленты, проходящей через него, в фактор силы. В результате трения волокна при прохождении через чувствительный элемент происходит выделение тепла, что приводит к разогреву центральной части до температуры ~ 60 °С. Сила, воздействующая на центральную часть, равна $0,3 \div 1,0$ кг и зависит от неравномерности волокнистого тела.

Расчет чувствительного элемента выполняется поэтапно, где было рассмотрено напряженно-деформированное состояние чувствительного элемента при воздействии на него центральной силы и теплового потока. Задача о напряженно-деформированном состоянии и тепловом состоянии чувствительного элемента датчика решалась при помощи пакета прикладных программ “PZMSS”, реализующего процедуру расчета методом конечных элементов [2], при этом учитывалась осесимметричность конструкции чувствительного элемента датчика.

Напряженно-деформированное состояние чувствительного элемента определилось в два этапа. На первом этапе рассчитывалось стационарное осесимметричное температурное поле при воздействии на него теплового потока со стороны измеряемой среды. Второй этап включал в себя исследование напряженно-деформированного состояния чувствительного элемента, вызванного действием его температурного поля.

Расчет теплового состояния чувствительного элемента проводился при следующих граничных условиях:

- на поверхности, соприкасающейся с измеряемой среды, на внутренних полостях датчика заданы граничные условия III рода;
- в зонах, соприкасающихся с элементами крепления датчика, заданы граничные условия IV рода.

Величины коэффициентов конвенции вычисляются по методике [5]. Теплофизические свойства материалов в зависимости от температуры введены в память машины и использованы при расчетах. При расчетах определялись максимальные напряжения, возникающие при наибольших перепадах температурных полей. Для нахождения стационарного распределения температуры использована модель вариационной формулировки МКЭ в виде последовательности функций, удовлетворяющих минимуму функционала

$$\hat{O} = \iint_G \left\{ \frac{1}{2} \lambda \left[\left(\frac{dT}{dr} \right)^2 + \left(\frac{dT}{dz} \right)^2 - fT \right] \right\} r dr dz + \int_s r g T ds + \frac{1}{2} \int_s \alpha T^2 r ds, \quad (1)$$

где G – область ограничения контурами меридианного сечения тела вращения; λ – коэффициент теплопроводности материалов; T – температура; f – интенсивность внутренних источников тепла; s – поверхность чувствительного элемента; α – коэффициент теплопередача; g – плотность теплового потока от ИС; r, z – радиальные и осевые координаты.

Процедура минимизации функционала по отношению к неизвестным температурам приводит к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида

$$[A] = \begin{Bmatrix} T_1 \\ \vdots \\ T_n \end{Bmatrix} = \{R\}, \quad (2)$$

где n – число узлов дискретной модели; $[A]$ – матрица теплопроводности системы элементов.

Расчет МКЭ напряженно-деформированного состояния основан на методе перемещений, для чего составляется функционал полной потенциальной энергии

$$\Pi = \sum_e \int_{V_e} \frac{1}{2} \{\varepsilon\}^T \{\sigma\} dv - \sum_e \int_{V_e} \{f\}^T \{g\} dv - \sum_e \int_{s_e} \{f\}^T \{P\} ds - \{\delta\}^T \{R\}, \quad (3)$$

где $V_e S_e$ – объем и поверхность элемента; $\{g\}$ – вектор объемных нагрузок; $\{P\}, \{R\}$ – вектор внешних распределенных нагрузок и вектор сосредоточенных усилий, приложенных в узлах; $\{\delta\}, \{\varepsilon\}, \{\sigma\}$ – соответственно, векторы перемещений, деформаций и напряжений.

Процедура минимизации полной потенциальной энергии приводит систему линейных алгебраических уравнений к виду

$$[F] = \begin{Bmatrix} \alpha'_1 \\ \vdots \\ \alpha'_n \end{Bmatrix} = \{R\} - \{R_p\} - \{R_g\} - \{R_{e_0}\}, \quad (4)$$

где $[F]$ – матрица жесткости систем; $\{R\}$ и $\{R_p\}$ – векторы внешних сосредоточенных и распределенных сил; $\{R_g\}$ – вектор объемных сил; $\{R_{e_0}\}$ – вектор узловых сил, вызванных температурным полем.

Решение системы с учетом граничных условий позволяет найти систему перемещений $\{\alpha'\}$. После этого производится расчет деформаций и напряжений.

С помощью вышеописанной процедуры проведен расчет напряженно-деформированного и теплового состояния чувствительного элемента.

На рис. 1,а показана разбивка чувствительного элемента датчика на конечные элементы. Результаты расчета стационарного температурного поля показаны на рис. 1,б, в виде изолиний показаны температуры в узлах и элементах конструкции чувствительного элемента. Анализ распределения температур в конструкции чувствительного элемента показывает, что в ней отсутствуют зоны разного изменения температур, с удалением от центра температура плавно уменьшается, изгиб изолиний показывает на повышенный отвод тепла с поверхности чувствительного элемента.

Напряженно-деформированное состояние чувствительного элемента датчика от воздействия температурного поля рассмотрено в двух случаях.

В первом случае рассчитаны перемещения конечных элементов конструкции чувствительного элемента, вызванные тепловыми линейными расширениями его материала в свободном состоянии опорных пластин (т.е. ограничений на перемещения нет) – показано на рис. 2,а, и возникающие при этом напряжения в конечных элементах конструкции чувствительного элемента – показано на рис. 2,б.

Во втором случае рассчитаны перемещения конечных элементов конструкции чувствительного элемента, вызванные тепловыми линейными расширениями его материала в зажатом состоянии опорных пластин (т.е. перемещения узлов 1 – 2 и 25 – 30 отсутствуют) – показано на рис. 3,а, и возникающие напряжения в конечных элементах конструкции чувствительного элемента – показано на рис. 3,б.

Значения напряжения определены в кг/мм^2 , перемещения – в мм. В целях наглядности деформации в конечных элементах конструкции, показанные на рисунках, увеличены.

Напряжения в конечных элементах, показанные на рисунках, определяются по теории прочности [6] в виде суммы трех напряжений по формуле

$$\sigma_i = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2},$$

где σ_x – напряжение в элементах по оси X ; σ_y – напряжение в элементах по оси Y ; τ_{xy} – касательное напряжение.

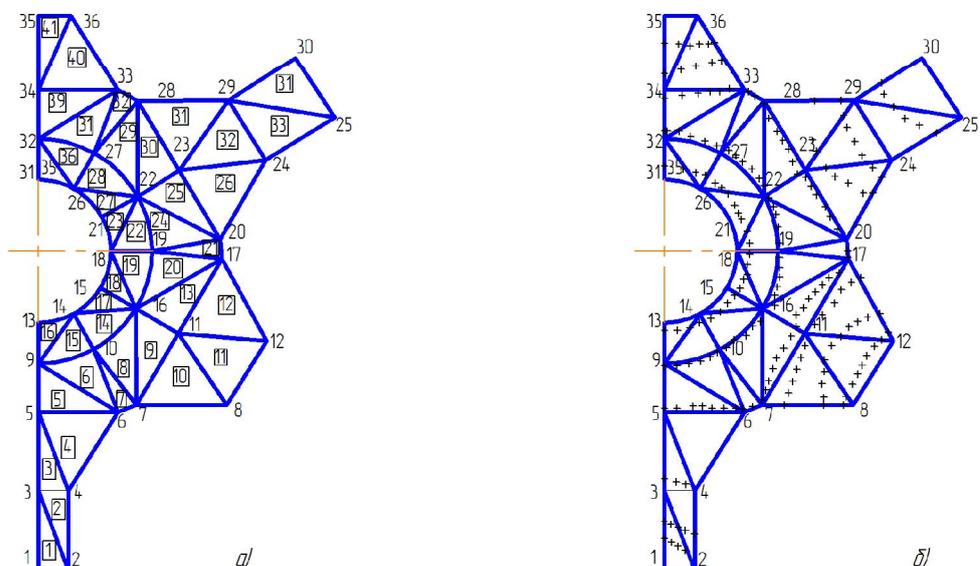


Рис. 1. Схема чувствительного элемента: а) разбивка чувствительного элемента на узлы (1, 2, ..., 36) и элементы (1, 2, ..., 41) показаны в квадратах; б) распределение температур по чувствительному элементу

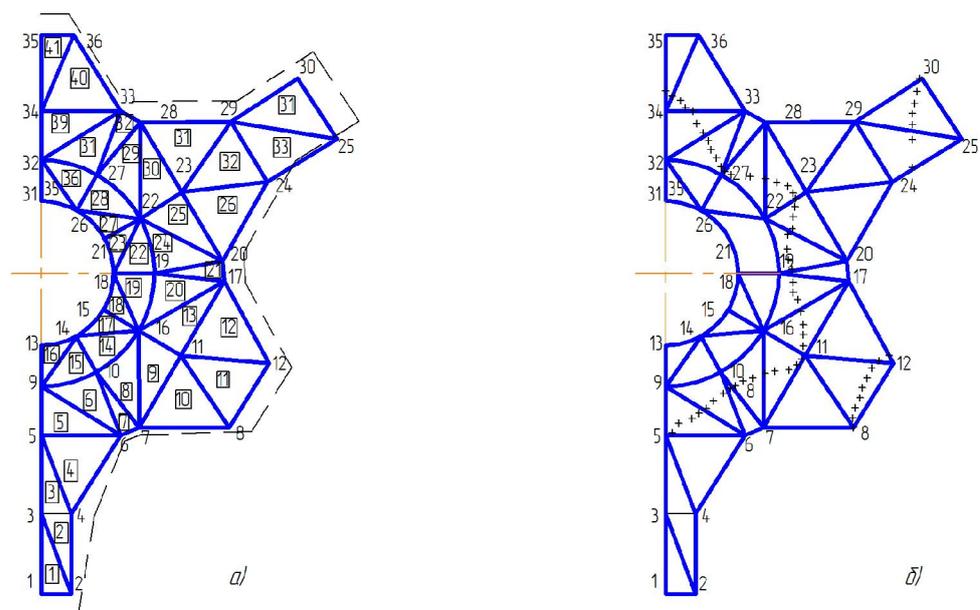


Рис. 2. Схема работы чувствительного элемента в свободном состоянии опорных лучей: а) деформированное состояние (показано штриховой линией); б) напряжения в элементе (изолинии показаны крестиками)

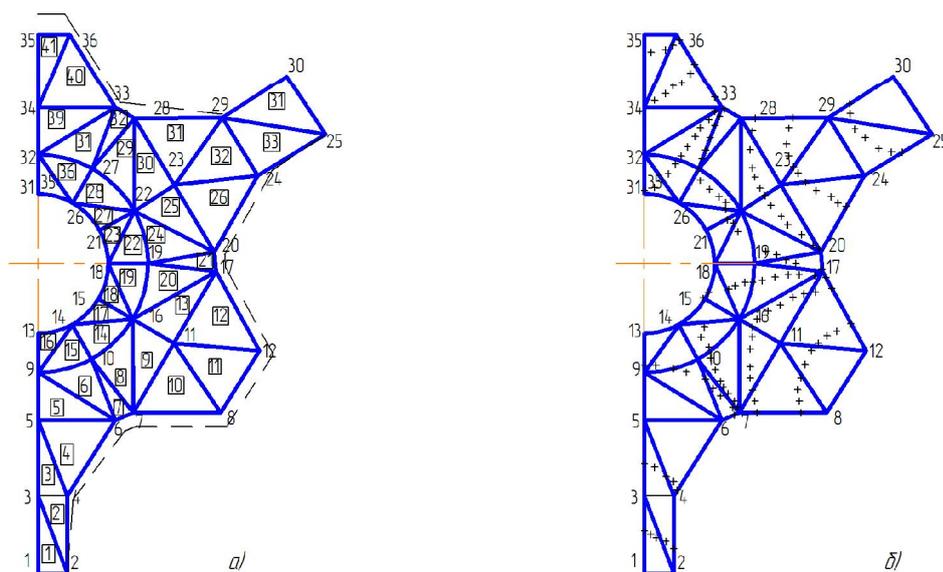


Рис. 3. Схема работы чувствительного элемента в зажатом состоянии опорных лучей: а) деформированное состояние (изолинии показаны пунктиром); б) напряжения в элементе (изолинии показаны крестиками)

Выводы

1. Анализ напряженно-деформированного состояния от воздействия температур показывает, что наибольшее напряжение возникает в лучах крепления чувствительного элемента.
2. В целях уменьшения влияния температурных факторов рекомендуется применить свободное состояние опорных пластин датчика.
3. Разработанная математическая модель чувствительного элемента на основе численного метода конечных элементов показала возможность ее применения в исследованиях температурного напряженно-деформированного состояния сложной пластинчатой конфигурации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. – М. : Мир, 1986.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М. : Мир, 1979. – 543 с.
3. Устройство для определения линейной плотности волокнистой ленты / Николаев В.С. [и др.]. – А.с. №1618794 (СССР) Б.И. 1991 – № 1.
4. Устройство для измерения линейной плотности волокнистой ленты / Николаев В.С. [и др.]. – А.с. №1735443 (СССР) Б.И. 1992 – № 19.
5. Крейт Ф., Блок У. Основы теплопередачи. – М. : Мир, 1963.
6. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М. : ГИИТЛ, 1954. – 856 с.

УДК 519.711.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОЙ МАШИНЫ

© В.С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

MODELING OF THE CONDITIONS OF THE OPERATING THE BAND MACHINE

© V.S. Nikolaev, Penza Stats Technology Academy (Penza, Russia)

Определены условия функционирования рабочих элементов в модели технологической машины, позволяющие разработать оптимальную систему управления ленточной машиной.

Ключевые слова: волокнистая лента, булева переменная, функционирование системы, модель связей элементов.

Certain conditions of the operation worker element in models of the technological machine, allowing develop optimum managerial system by band machine.

Key words: волокнистая tape, boolean variable, operating the system, model of the relationships element.

E-mail: mycolo@rambler.ru

Словесное неформализованное описание способа функционирования сложных технических системы является довольно громоздким и недостаточно четким, что полностью не определяет расчетные параметры модели технологической системы, в частности ленточной машины для переработки волокнистой ленты и другого вида оборудования. Поэтому для оценки параметров и показателей машины целесообразно составить условия функционирования системы, которые включают описания состояний:

- волокнистой ленты, перерабатываемого продукта;
- технологических органов машины в их взаимосвязи;
- элементов контроля технологических органов;
- элементов управления технологическими органами машины.

Устойчивое функционирование многофункциональной системы в математическом моделировании определяется функциями состояния элементов, входящих в нее, что является необходимым условием перехода к аналитическому описанию системы [1 – 3].

В аналитическом описании системы используется методологический аппарат алгебраической логики. Здесь представление условий функционирования состоит в виде формальных преобразований, которые находятся в одном из двух состояний – рабочем или не рабочем, описываемых булевой переменной x_i

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{система работает} \\ 0 & \text{система не работает} \end{cases}$$

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ...

Считая, что состояние функционирования системы определяется множеством $x_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, где n – число элементов, примем булеву функцию $\varphi(x)$ состояния системы в целом

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & \text{система работает} \\ 0 & \text{в системе произошел отказ} \end{cases}$$

Для ленточной машины, имеющей хотя бы один выпуск, исходя из реализуемого ею технологического процесса следует очередность технологических операций, ведущих к модели последовательной взаимосвязи элементов. Поэтому состояние ленточной машины можно представить иерархической последовательностью связей групп этих технологических элементов, причем функционирование каждой группы определяется состоянием принадлежащих ей элементов.

Модель последовательных связей элементов, обеспечивающих определенные технологические процессы, показана на рис. 1. Цифрами показано: 1 – группа элементов выема ленты из тазов; 2 – группа элементов транспортирования и сложения лент; 3 – группа элементов вытяжного прибора; 4 – элемент преобразования мычки в ленту; 5 – устройство уплотнения волокнистой ленты; 6 – элементы плющения ленты; 7 – элементы верхнего лентоукладчика. В данной схеме любой i -й элемент последовательного соединения при нарушении его функционирования обеспечивает одновременный отказ всей системы.

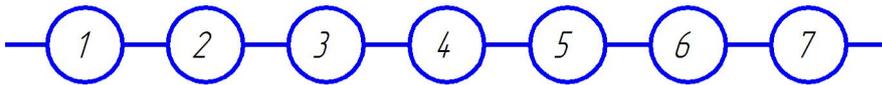


Рис. 1. Схема последовательных связей функциональных элементов одного выпуска ленточной машины

Необходимость обеспечения функционирования процесса требует введения средств контроля состояния технологических элементов, что позволяет для некоторых узлов ввести дискретное распознавание их состояния. В этом случае каждый из функциональных элементов будет состоять из внутренних элементов, имеющих последовательное и параллельное соединения. На рис. 2,а показано параллельное соединение элементов распознавания наличия ленты на питании машины. Исходя из принципа восстановления функции стабильной подачи ленты, вводится дополнительная резервная лента. Тогда система питания $i = 1$, выраженная элементами $j = \overline{1, k}$, где k – обуславливает число питающих лент, будет описываться булевой переменной

$$x_{1j} = \begin{cases} 1 & \text{наличие ленты} \\ 0 & \text{отсутствие ленты} \end{cases}$$

Второй элемент $i = 2$ (см. рис. 2,б) сложной системы будет состоять из последовательно расположенных внутренних контролирующих элементов $j = 2.1$ и $j = 2.2$ и опишется булевой переменной

$$x_{2j} = \begin{cases} 1 & \text{положение ленты в норме} \\ 0 & \text{произошел намот ленты} \end{cases}$$

Идентично булевой функцией будет описываться вытяжной прибор.

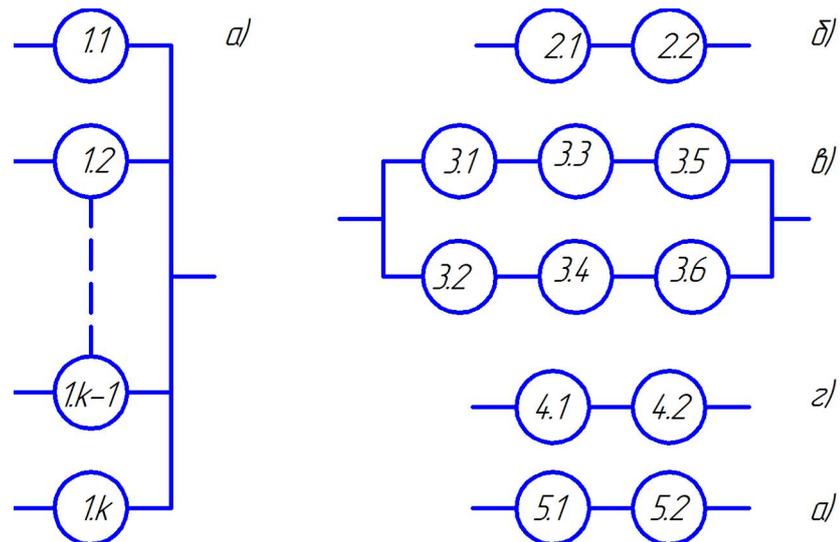


Рис. 2. Схемы состава функциональных элементов, содержащие параллельные и последовательные связи

Третий элемент $i = 3$ (см. рис. 2,в) системы будет состоять из последовательных контролирующих элементов, расположенных параллельно, соответственно $j = 3.1, j = 3.3, j = 3.5$ и $j = 3.2, j = 3.4, j = 3.6$, которые опишутся булевой переменной

$$x_{3j} = \begin{cases} 1 & \text{нажимной валик в норме} \\ 0 & \text{произошел намот ленты на валик} \end{cases}$$

Четвертый элемент $i = 4$ (см. рис. 2,г) системы будет состоять из последовательных контролирующих элементов, соответственно $j = 4.1$ и $j = 4.2$, которые опишутся булевой переменной

$$x_{4j} = \begin{cases} 1 & \text{лента в канале лентоформирующей воронки в норме} \\ 0 & \text{произошло забивание канала лентой} \end{cases}$$

Пятый элемент $i = 5$ (см. рис. 2,д) системы будет состоять из последовательных контролируемых элементов, соответственно $j = 5.1$ и $j = 5.2$, и опишется булевой переменной

$$x_{5j} = \begin{cases} 1 & \text{лента в уплотнителе в норме} \\ 0 & \text{произошел обрыв ленты после уплотнителя.} \end{cases}$$

Следует иметь в виду, что данная схема состава и связей функциональных контролируемых элементов не решает полностью задачу восстановления функций системы. Поэтому для восстановления функций в системе в дальнейшем необходимо принять методы устранения функциональных отказов, повышающие технологическую надежность системы, что в значительной степени позволит расширить ее возможности.

Помимо дискретного распознавания состояния технологических элементов в ленточной машине, необходим контроль состояния физических параметров перерабатываемого продукта, а именно плотности волокнистой ленты [1] по ее длине (по отрезкам). Использование аналоговых преобразователей плотности волокнистой ленты на входе и на выходе вытяжного прибора, с последующей системой распознавания уровня информационного сигнала и его предельного значения, позволяет ввести булеву переменную, ограничивающую функционирование машины. Так состояния плотности ленты будут иметь следующие описания:

$$\begin{aligned} \text{на питании } x_{8j} &= \begin{cases} 1 & -25\% < \text{плотность ленты} < +25\% \\ 0 & -25\% \geq \text{плотность ленты} \geq +25\%, \end{cases} \\ \text{на выпуске } x_{8j} &= \begin{cases} 1 & -4\% < \text{плотность ленты} < +4\% \\ 0 & -4\% \geq \text{плотность ленты} \geq +4\%. \end{cases} \end{aligned}$$

Анализ и синтез модели работы основных узлов машины позволит определить порядок создания программного обеспечения системы управления технологической машиной, которое включает:

- алгоритмическое описание модели функционирования одно- или двухвыпускной ленточной машины;
- разработку системы управления в виде организации информационной связи между оператором и машиной;
- распределение адресного пространства контроллера в управлении ленточной машины;
- организацию обмена информацией контроллера с системой управления приводами;
- создание программного обеспечения контроллера, используемого в системе управления машиной.

Выводы

1. Рассмотрена блочная модель взаимосвязи исполнительных элементов технологической ленточной машины.
2. Определены условия функционирования рабочих элементов в мо-

дели технологической машины, позволяющие разработать оптимальную систему управления ленточной машиной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Повышение технологической надежности ленточных машин / Бочков А.М., Николаев В.С. [и др.] // Опыт работы по снижению шума, повышению надежности при создании и эксплуатации технологического оборудования : Тезисы докладов к научно-техническому семинару. – Пенза, 1989. – С. 41.*
- 2. Смирнов И.Н. Моделирование на ЭВМ объектов и систем управления. Ч. 1. – СПб. : СПГУТД, 2001. – 118 с.*
- 3. Идентификация объектов управления / А.Д. Семёнов, Д.В. Артамонов, А.В. Брюхачёв. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. – 144 с.*

ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

УДК 65.047.1(355); 664

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СУШИЛКАХ КАМЕРНОГО ТИПА

- © *Е.А. Жистин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *Н.В. Дмитриев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *Е.В. Паужолис, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

INVESTIGATING THE PROCESS OF SOLID MATERIALS DRYING IN CHAMBER-TYPE DEHYDRATOR

- © *E.A. Ghistin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *N.V. Dmitriev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *E.V. Paugholis, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье приводятся результаты сравнительных испытаний двух видов камерных сушилок при сушке яблок и мучных изделий.

Ключевые слова: конвективная сушка, терморadiационная сушка, камерная сушилка, скорость сушки.

The article reports the results of comparative tests of two types of chamber-type dehydrators used for dehydrating apples and flour goods.

Key words: convection drying, thermo-radiation drying, chamber-type dehydrator, drying rate

Целью проведенной работы по исследованию процесса сушки различных образцов продуктов (хлеб ржаной, яблоки, тесто, макароны) являлось сравнение эффективности двух типов камерных сушилок: конвективной и радиационной.

Терморadiационная сушка осуществляется посредством комбинированного воздействия теплового потока и инфракрасного излучения. Благодаря специальной конструкции нагревательных элементов спектр излучения близок к естественному солнечному спектру и инфракрасной его части. Высушенный продукт получается с сохранением цвета, вкуса и запаха, а также органической структуры молекулярных соединений.

Характер протекания процесса сушки наиболее полно описывается графиками кривой сушки в координатах *масса материала – время* и скорости

сушки в координатах *влажность материала – время*. Характер этих кривых обусловлен физико-химическими свойствами материалов, в частности изменением коэффициента влагопроводимости и градиента влагосодержания [1].

Сушка образцов материала проводилась на двух сушильных аппаратах: конвекционная сушилка (КС) и установка сушильная четырехъярусная радиационная (УС-4).

Установка сушильная четырехъярусная (УС-4) содержит трубчатые электронагреватели со специальным керамическим покрытием. С каждой стороны блока электронагревателей расположены ИК-нагреватели. Общее количество нагревателей – 12 единиц, что вместе с отражателями позволяет создавать равномерное тепловое поле внутри сушилки.

Таблица 1. Технические характеристики УС-4

Установка сушильная четырехъярусная УС-4	
Технические характеристики	
Наименование параметра	Величина
Температура сушки, °С	55-75
Время входа в рабочий режим, мин., не более	3
Масса загрузки на один поддон, кг	2-2,5
Количество поддонов, шт.	4
Напряжение сети, В	220
Потребляемая мощность, кВт, не более	1,6
Масса, кг, не более	30

Конвекционная сушилка (КС) состоит из электронагревателя, который подключен к реле. Температура в сушилке поддерживается с помощью электротермометра. Сушилка снабжена вентиляционным каналом, через который выходит влага.

Таблица 2. Технические характеристики КС

Конвекционная сушилка	
Технические характеристики	
Наименование параметра	Величина
Температура сушки, °С	50
Время входа в рабочий режим, мин., не более	10
Масса загрузки на один поддон, кг	1-1,5
Количество поддонов, шт.	1
Напряжение сети, В	220
Потребляемая мощность, кВт, не более	3
Масса, кг, не более	40

Перед началом сушки материал измельчался и затем размещался равномерным слоем на поддонах сушилки, где подвергался тепловой обработке.

Температура сушки обеспечивалась за счет естественной циркуляции воздуха, который вместе с испарившейся влагой беспрепятственно выходил через вентиляционные отверстия.

Через определенные интервалы времени (10 минут) проводили измерение влаги в материале путем взвешивания материала на лабораторных весах. Результаты измерения заносили в протокол наблюдений. Опыт заканчивали при прекращении уменьшения массы материала.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ...

Средняя начальная масса загрузки материала на поддоны равнялась 200 г. При этом конечная масса после сушки и затраченное время на сушку было разным, так как эти параметры зависели от вида высушиваемого материала и вида сушилки.

В результате проведенных исследований сделан вывод, что при конвекционной сушке затрачивается больше времени, чем при сушке тех же продуктов в радиационной сушилке.

На рис. 1 – 6 приведены графики, построенные по результатам проведенных экспериментов.

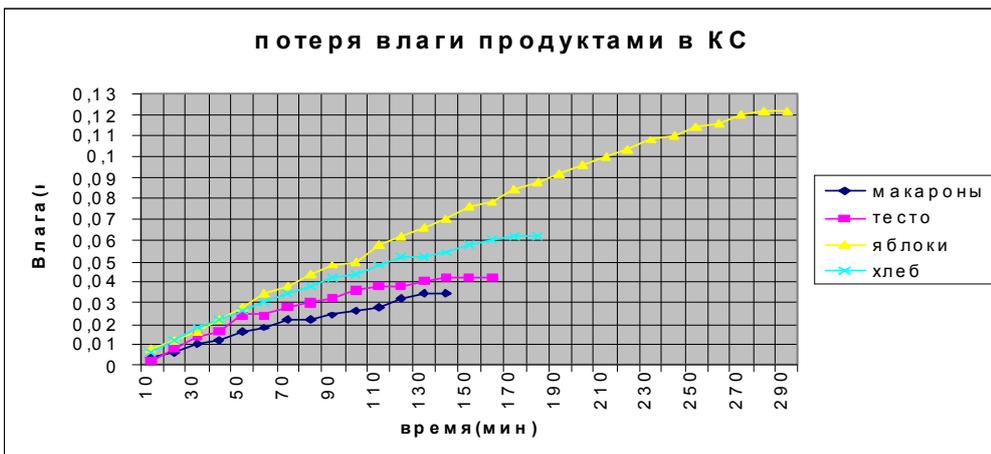


Рис. 1. Потеря влаги продуктами в КС

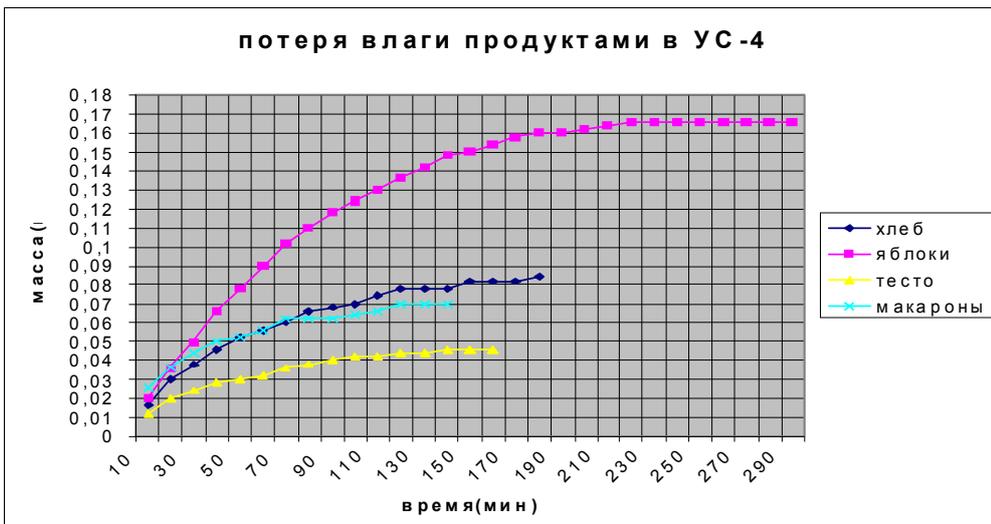


Рис. 2. Потеря влаги продуктами в УС-4

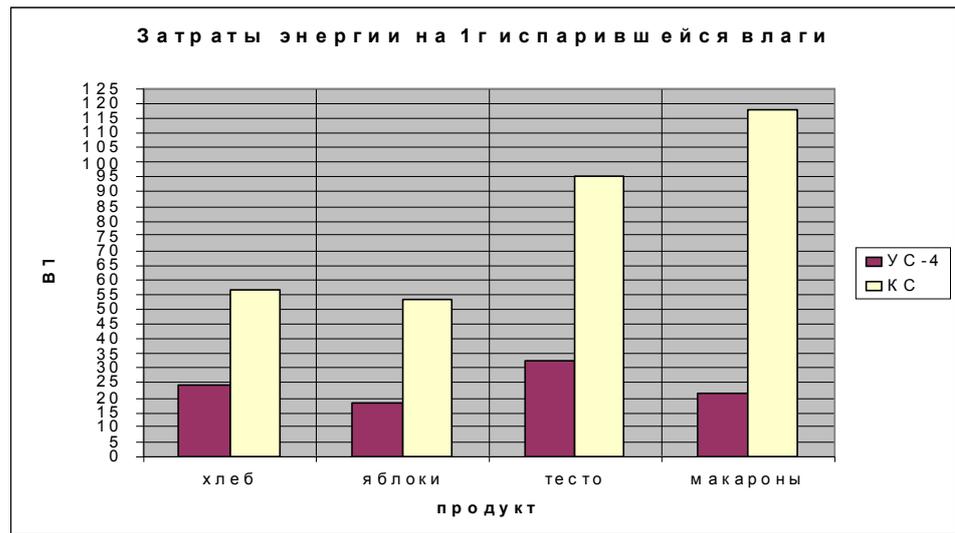


Рис. 3. Затраты энергии на 1 г испарившейся влаги

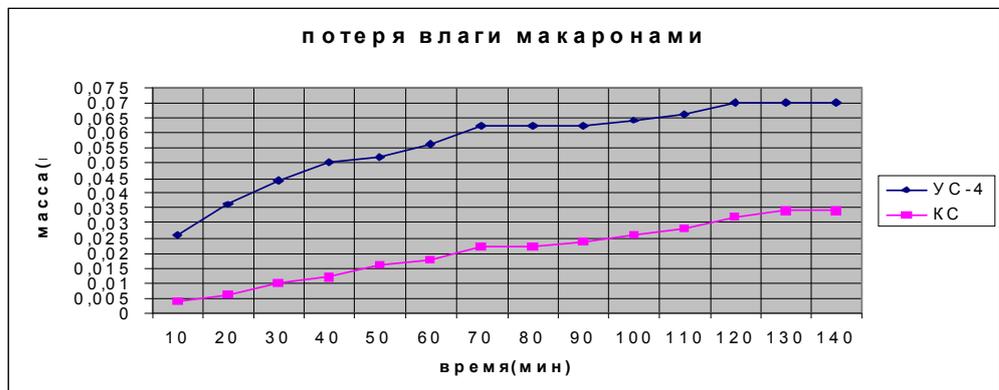


Рис. 4. Потеря влаги при испарении

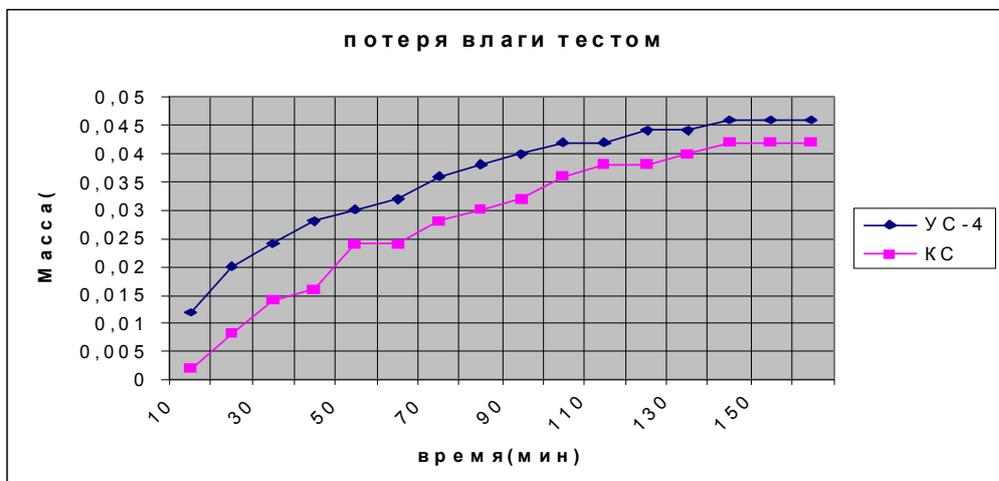


Рис. 5. Потеря влаги тестом

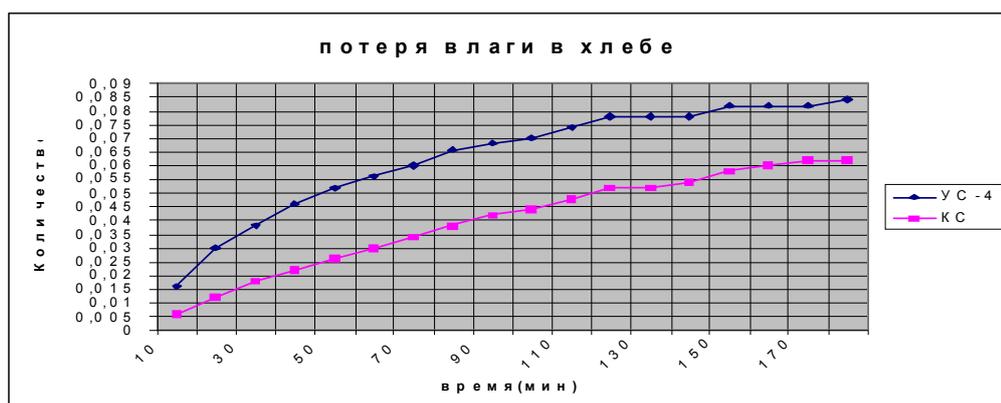


Рис. 6. Потери влаги хлебом

Экспериментальные данные показали, что за время эксперимента испарение влаги из продуктов в среднем составило около 4 г. При этом установлено, что хлеб высушивается в среднем на 30 %, яблоки – на 80 %, тесто – на 23 %, макароны – на 18 %. Меньшие затраты энергии на испарение влаги у радиационной сушилки УС-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сажин Б.С. Основы техники сушки. – М. : Химия, 1984. – 320 с.

УДК 613.2

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

© **В.В. Васильев**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

© **Ю.В. Корочкина**, Испытательный лабораторный центр ФГУЗ “Центр
гигиены и эпидемиологии” (г. Пенза, Россия)

SANITARY ASSESSMENT OF QUALITY AND SAFETY OF FOOD STOCK AND FOOD ITEMS

© **V.V. Vasiliev**, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

© **Yu.V. Korochkina**, Testing Laboratory “Centre for Sanitation and
Epidemiology” (Penza, Russia)

В статье приводятся данные по оценке качества и безопасности сырья и пищевой продукции за 2000 – 2009 гг., реализуемых на потребительском рынке Пензенского региона.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, лабораторные исследования, санитарно-эпидемиологические и микробиологические показатели.

The paper deals with the data for quality and safety assessment of food stock and food items sold at Penza region consumer market in 2000-2009.

Key words: food safety, laboratory tests, sanitary and epidemiological criteria, microbiological criteria.

В “Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации”, утвержденной Указом Президента РФ (№ 120 от 30.01.2010) к основным задачам обеспечения продовольственной безопасности страны отнесены достижение и поддержание физической и экономической доступности для каждого гражданина страны безопасных пищевых продуктов в объемах и ассортименте, которые соответствуют установленным рациональным нормам потребления пищевых продуктов, необходимых для активного и здорового образа жизни, а также обеспечение безопасности пищевых продуктов. Для обеспечения безопасности пищевых продуктов, согласно Доктрине, необходимо контролировать соответствие требованиям законодательства РФ сельскохозяйственной продукции, продовольствия на всех стадиях их производства, хранения, транспортировки, переработки и реализации. На сегодняшний день материальная база Испытательного лабораторного центра ФГУЗ “Центр гигиены и эпидемиологии” позволяет наиболее полно оценивать качество и безопасность продовольственного сырья и пищевых продуктов, реализуемых на потребительском рынке Пензенской области, и, соответственно, служит целям и задачам Доктрины.

В связи с этим целью нашей работы явилось изучение качества и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов, реализуемых на потребительском рынке Пензенской области по данным анализа результатов лабораторных исследований, выполненных учреждениями Испытательного лабораторного центра ФГУЗ “Центр гигиены и эпидемиологии” за 2001 – 2009 гг.

За 10-летний период по санитарно-химическим показателям было исследовано 146826 проб продовольственного сырья и пищевых продуктов, из которых 5729 проб не соответствовали требованиям гигиенических нормативов и критериям качества продукции. Доля нестандартных проб в среднем составила 3,9 % (табл. 1).

Таблица 1 – Доля неудовлетворительных проб продовольственного сырья и пищевых продуктов по санитарно-химическим показателям

Группы пищевых продуктов	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Всего	4,1	3,4	3,3	4,6	4,3	4,8	4,6	3,1	3,1	3,7
Мясо и мясные продукты	6,0	4,8	4,5	3,2	3,6	5,2	3,2	3,0	2,2	2,4
Птица и птицепродукты	0,0	2,7	3,9	6,3	5,8	4,0	7,4	6,2	5,6	11,7
Молоко и молочные продукты	2,4	2,5	2,9	2,9	2,3	3,2	4,7	2,0	5,5	4,5
Рыба и рыбные продукты	6,5	4,4	3,2	7,3	2,6	3,7	2,6	5,7	2,6	4,4

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ...

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Хлебобулочные, мукомольно-крупяные изделия	4,2	3,0	2,7	3,9	4,0	3,0	3,7	3,4	3,2	5,0
Сахар, кондитерские изделия	4,3	3,9	2,9	1,8	1,3	4,4	4,6	2,8	4,9	2,3
Овощи и бахчевые	1,6	0,8	1,2	0,4	0,3	1,0	0,1	0,1	0,3	0,0
Плоды и ягоды	0,4	2,9	0,0	5,7	2,2	3,8	0,0	0,0	5,1	0,0
Дикорастущие	0,0	8,6	17,2	16,0	6,1	2,6	2,2	0,0	0,0	3,1
Жировые растительные продукты	6,2	7,3	3,9	8,5	5,7	8,8	2,2	1,2	1,1	6,7
Напитки безалкогольные, пиво	4,5	3,1	0,7	2,7	4,2	4,1	20,2	8,4	3,1	0,0
Алкогольные напитки	15,7	17,5	16,4	31,0	29,1	21,7	8,9	4,6	4,6	0,8
Мед, продукты пчеловодства	2,9	12,7	3,2	4,5	6,9	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0
Продукты детского питания	4,7	2,1	3,4	1,1	2,3	10,7	5,3	1,4	0,0	0,0
Консервы	5,8	10,3	9,8	7,5	5,6	11,1	12,3	2,7	1,7	0,6
Зерно, зернопродукты	2,9	3,7	0,0	1,8	5,4	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Прочие	5,6	7,1	3,4	2,9	0,0	2,5	0,0	1,5	2,8	0,0

На протяжении десяти последних лет наблюдается динамика снижения выявленных нестандартных образцов (рис. 1). Данное снижение произошло, главным образом, за счет снижения неудовлетворительных проб мяса и мясных продуктов, овощей и бахчевых, плодов и ягод, дикорастущих, алкогольных напитков, меда и продуктов пчеловодства, продуктов детского питания, консервов, зерна и зернопродуктов.

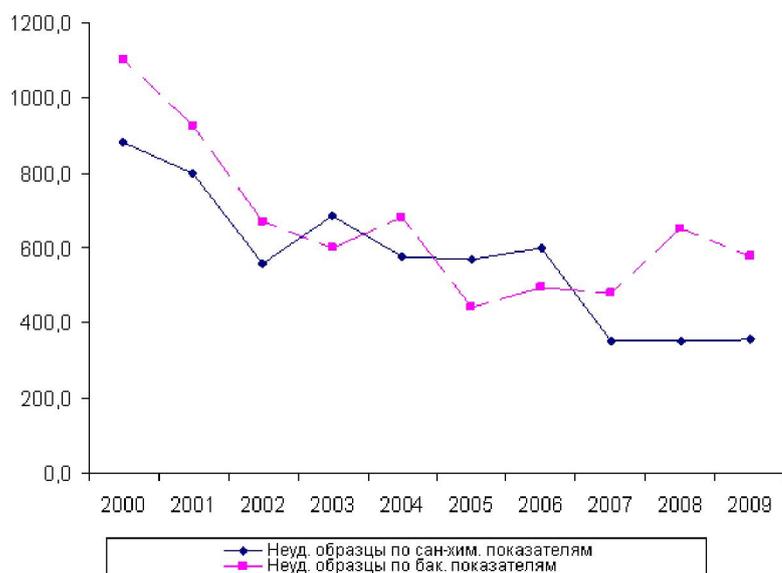


Рис. 1. Динамика количества неудовлетворительных образцов за период 2000 – 2009 гг.

Снижение также связано с сокращением общего количества исследуемых проб с 21499 до 9620, то есть в 2,23 раза (рис. 2).

В среднем доля неудовлетворительных проб по санитарно-химическим показателям составляет 3,9 %. Выше среднего данный показатель отмечается среди таких продуктов, как алкогольные напитки (12,7 %), консервы (7,2 %), птица и птицеводческие продукты (5,8 %), напитки безалкогольные, пиво (5,6 %), мед и продукты пчеловодства (5,5 %), жировые растительные продукты (5,1 %), дикорастущие (4,7 %), рыба и рыбные продукты (4,5 %), мясо и мясные продукты (4,1 %).

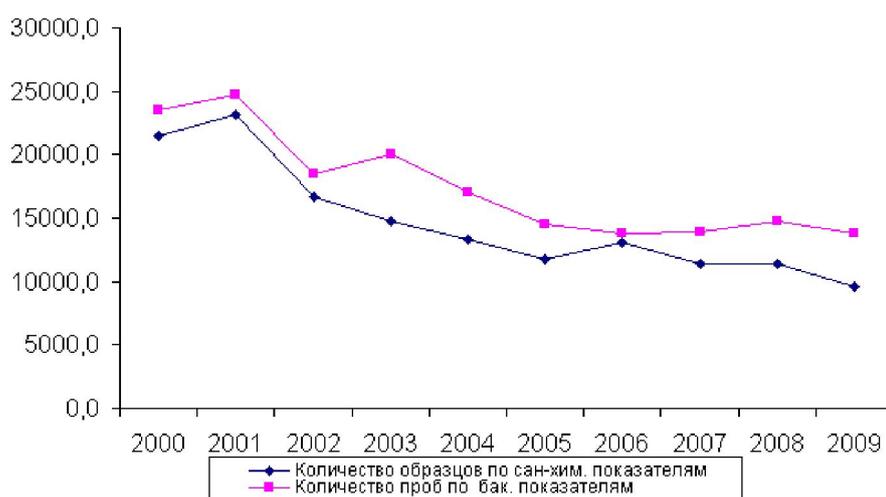


Рис. 2. Динамика количества исследованных образцов за период 2000 – 2009 гг.

Причинами выявленных нестандартных образцов можно считать неудовлетворительные показатели качества и соответствия технической документации на продукцию. За многолетний мониторинг содержания наиболее высокотоксичных элементов (ртути, свинца, кадмия, мышьяка), радионуклидов, нитрозаминов, микотоксинов в продовольственном сырье и продуктах питания в количествах, превышающих гигиенические нормативы, на территории области не выявлялось. В 2001 – 2003 гг. регистрировались единичные находки, превышающие гигиенические нормативы по содержанию пестицидов. Доля нитратного загрязнения является незначительной и составляет от 0 до 1,2 % от всех нестандартных проб в течение десятилетнего периода наблюдения.

С целью оценки продовольственного сырья и пищевых продуктов на микробиологическую безопасность за весь период наблюдения исследовано 174594 образца и выявлено 6637 неудовлетворительных, что составило 3,8 % от общего объема (табл. 2, рис. 1, 2).

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ...

Таблица 2 – Процент выявленных неудовлетворительных образцов по микробиологическим показателям

Группы пищевых продуктов	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Всего	4,7	3,8	3,6	3,0	4,0	3,1	3,6	3,5	4,4	4,2
Мясо и мясные продукты	4,6	4,4	3,8	2,7	3,1	2,3	2,5	2,0	2,4	2,6
Птица и птицепродукты	1,7	2,6	4,4	2,1	1,4	0,3	1,6	2,0	3,0	6,6
Молоко и молочные продукты	6,3	3,9	4,2	4,4	7,2	4,8	4,7	7,0	9,8	5,2
Рыба и рыбные продукты	7,8	2,9	3,9	3,0	3,4	3,2	2,9	2,1	2,0	3,6
Хлебобулочные, мукомольно-крупяные изделия	0,0	0,0	1,2	2,3	1,1	2,7	1,0	2,1	1,6	2,1
Сахар, кондитерские изделия	5,7	3,1	1,6	2,8	2,9	1,0	1,1	7,5	9,9	9,7
Овощи и бахчевые	1,0	1,1	0,6	1,9	2,3	2,1	0,2	0,4	0,0	1,5
Плоды и ягоды	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	15,5	3,8	8,3	2,5
Дикорастущие	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3	9,1	0,0	0,0
Жировые растительные продукты	6,8	4,7	1,3	1,2	6,5	2,5	10,5	2,3	3,7	0,0
Напитки безалкогольные, пиво	3,3	1,5	1,7	1,3	1,8	0,0	0,4	8,1	2,5	0,0
Алкогольные напитки	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,2
Мед, продукты пчеловодства	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Продукты детского питания	0,6	0,7	0,7	1,2	0,2	0,5	0,0	0,0	0,9	0,0
Консервы	0,8	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	2,8	1,8
Зерно, зернопродукты	25,0	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Прочие	5,3	5,5	6,4	3,8	5,1	5,5	5,4	4,1	5,1	5,4

В целом по области качество пищевых продуктов по микробиологическим показателям остается нестабильным. Учитывая снижение общего количества исследованных проб на микробиологические показатели в 1,7 раза (с 23534 в 2000 г. до 13761 в 2009 г.), показатель неудовлетворительных образцов не отражает существенной тенденции к снижению. Можно отметить снижение процента нестандартных проб лишь в нескольких группах продовольственного сырья и пищевых продуктов: мясо и мясные продукты, зерно и зерновые продукты.

Процент неудовлетворительных проб по всем видам микробиологических исследований продукции выше среднего (3,8 %) отмечается в плодах и ягодах (6,0 %), молоке и молочных продуктах (5,5 %), жировых растительных продуктах (4,0 %).

Следует отметить, что доля неудовлетворительных проб по санитарно-химическим и микробиологическим показателям продовольственного сырья и пищевых продуктов за исследуемый период в Пензенской области

незначительно отличалась от аналогичных показателей в среднем по Российской Федерации.

Таким образом, в результате проведенного изучения можно сделать следующие выводы:

- нестандартные образцы продовольственного сырья и пищевых продуктов не соответствуют гигиеническим нормативам и технической документации преимущественно по физико-химическим показателям качества и показателям микробиологической безопасности;
- наиболее уязвимыми в санитарно-химическом отношении являются алкогольные напитки, консервы, птица и птицеводческие продукты, напитки безалкогольные, пиво, мед и продукты пчеловодства, жировые растительные продукты, дикорастущие, рыба и рыбные продукты, мясо и мясные продукты;
- наиболее опасными в микробиологическом отношении являются плоды и ягоды, молоко и молочные продукты, жировые растительные продукты;
- за 10-летний период наблюдения отмечается динамика снижения как количества исследованных образцов продовольствия и пищевых продуктов, так и количества выявленных нестандартных проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Российская газета № 21 (5100) от 03.02.2010 г.*

УДК 613.2

ОЦЕНКА САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ МЕСТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- © *В.В. Васильев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *Ю.В. Корочкина, Испытательный лабораторный центр ФГУЗ “Центр гигиены и эпидемиологии” (г. Пенза, Россия)*

ASSESSING SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL SAFETY AND QUALITY OF SOME TYPES OF LOCAL FOODSTUFF

- © *V.V. Vasiliev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *Yu.V. Korochkina, Testing Laboratory “Centre for Sanitation and Epidemiology” (Penza, Russia)*

В статье дается оценка качества и санитарно-эпидемиологической безопасности продукции местного производства – птицы, мясных и молочных продуктов, реализуемой на рынках Пензенской области за период 2000 – 2009 гг.

ОЦЕНКА САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ...

Ключевые слова: санитарно-эпидемиологическая безопасность, доля некачественной продукции.

The article considers the quality, sanitary and epidemiological safety of local foods – poultry, meat and dairy products – sold at Penza region consumer market in 2000-2009.

Key words: sanitary and epidemiological safety, share of non-quality products.

В связи с развитием концепции обеспечения продовольственного рынка Пензенской области главным образом за счет продовольственного сырья и пищевых продуктов, произведенных на территории области, а также с принятием целевой программы «Развитие и поддержка малого и среднего предпринимательства в Пензенской области на 2009 – 2011 годы», утвержденной Постановлением правительства Пензенской области от 27 октября 2008 г. № 713-пП на плечи Управления Роспотребнадзора ложится задача по санитарно-эпидемиологическому контролю продукции, выпускаемой на территории Пензенской области и реализуемой населению.

Целью настоящей работы является изучение и анализ качества и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов, произведенных и реализуемых на потребительском рынке Пензенской области за 10-летний период, исключая продукты импортного производства.

Задачи для реализации цели выбраны следующие:

- изучение физико-химического состава пищевых продуктов местного производства;
- изучение микробиологической безопасности пищевых продуктов местного производства;
- оценка соответствия продовольственного сырья и пищевых продуктов местного производства, потребляемых населением Пензенской области, нормативной документации.

Проведенные ранее исследования качества и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов за 10-летний период показали, что наиболее неблагоприятными в санитарно-химическом отношении являются алкогольные напитки, консервы, птица и птицеводческие продукты, напитки безалкогольные, пиво, мед и продукты пчеловодства, жировые растительные продукты, дикорастущие, рыба и рыбные продукты, мясо и мясные продукты. Наиболее опасными в микробиологическом отношении являются плоды и ягоды, молоко и молочные продукты, жировые растительные продукты. В рамках поставленных задач наиболее актуальными в плане санитарно-эпидемиологического благополучия нами выбраны следующие группы продуктов питания местного производства:

- птица и птицеводческие продукты – ввиду высокой доли нестандартных проб (5,8 %) по санитарно-химическим показателям при среднем показателе 3,9 % от общего объема исследованных образцов;
- дикорастущие – доля нестандартных проб по санитарно-химическим показателям 4,7 %;
- мясо и мясные продукты – процент неудовлетворительных образцов в среднем за 10-летний период наблюдения составил 4,1 %;

– молоко и молочные продукты – являются одним из основных пищевых продуктов на столе потребителя, наряду с тем, что доля образцов, не отвечающих требованиям микробиологической безопасности, составила 5,5 % при среднем уровне 3,8 % (табл. 1, рис. 1, 2).

Таблица 1 – Характеристика качества и безопасности отдельных групп пищевых продуктов, без учета импортной продукции за период 2000 – 2009 гг.

Группы пищевых продуктов	Количество исследованных образцов, без учета импорта	Количество неудовлетворительных образцов, без учета импорта	Доля неудовлетворительных образцов
по санитарно-химическим показателям			
Птица и птицеводческие продукты	3815	224	5,9
Мясо и мясные продукты	18062	590	3,3
Дикорастущие	391	16	4,1
по микробиологическим показателям			
Молоко и молочные продукты	30379	1363	4,5

В таблице 1 представлено сводное количество отдельных наименований пищевых продуктов, исследованных лабораторно за 10-летний период. Доля нестандартных проб изменилась незначительно. Процент неудовлетворительных образцов птицы и птицеводческих продуктов по санитарно-химическим показателям увеличился с 5,8 в общем объеме до 5,9 при среднестатистическом 3,9 %. По остальным группам пищевых продуктов данный показатель снизился: по мясу, мясным продуктам с 4,1 до 3,3, по дикорастущим с 4,7 до 4,1. Процентное содержание нестандартных проб молока и молочных продуктов по микробиологическим показателям также снизилось с 5,5 в общем объеме до 4,5 при среднестатистическом 3,8 %. Таким образом, доля нестандартных проб по-прежнему остается довольно высокой.

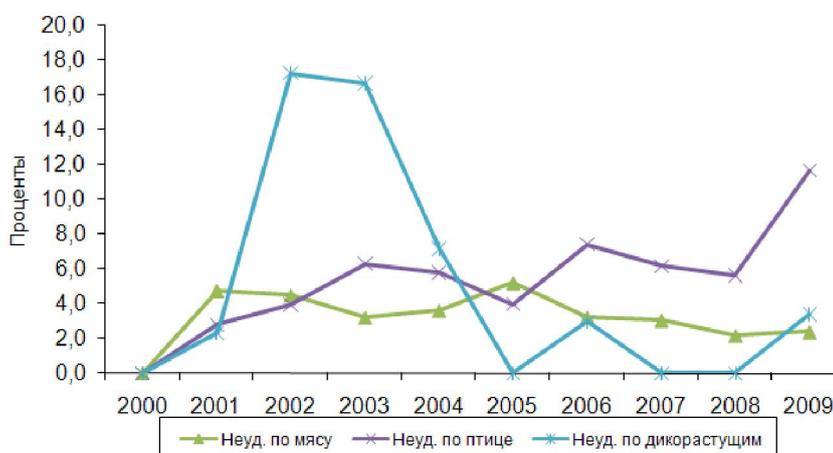


Рис. 1. Динамика доли неудовлетворительных образцов по санитарно-химическим показателям по отдельным группам пищевых продуктов за период 2000 – 2009 гг.

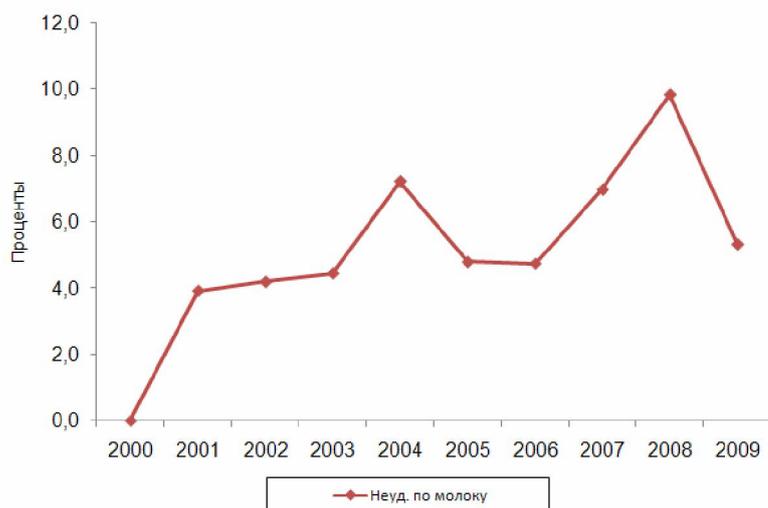


Рис. 2. Динамика доли неудовлетворительных образцов по микробиологическим показателям в молоке и молочных продуктах за период 2000 – 2009 гг.

Анализируя причину выявленных неудовлетворительных образцов, можно констатировать следующее. Неудовлетворительные санитарно-химические исследования мяса, птицы и дикорастущих на протяжении всего изучаемого периода отмечались по показателям качества и соответствия нормативно-технической документации. Чаще всего несоответствия выявлялись по органолептическим показателям (вкус, запах, консистенция), массовой доле фарша в мясных полуфабрикатах, наличию костных включений в фарше птицы, а также наличию посторонних примесей растительного происхождения в дикорастущих пищевых продуктах.

Группа молока и молочных продуктов чаще всего не соответствовала по микробиологическому показателю безопасности БГКП (колиформы). Вероятнее всего, причиной неудовлетворительного качества молочных продуктов является несоблюдение технологического режима пастеризации молока на предприятиях молочной промышленности. При довольно высоком показателе неудовлетворительных проб, можно констатировать неудовлетворительную работу системы производственного контроля выпускаемой продукции. Ранее данную работу координировала и контролировала Межзаводская контрольно-производственная лаборатория объединения «Пензамолпром», которая в середине 90-х гг. перестала функционировать.

Таким образом, сделав анализ качества и санитарно-эпидемиологической безопасности отдельных видов продовольственного сырья и пищевых продуктов, вырабатываемых и реализуемых на территории Пензенской области, можно сделать следующие выводы.

- Отмечается достаточно большое количество и, соответственно, высокая доля пищевых продуктов, не соответствующих требованиям санитарно-эпидемиологической безопасности, а также требованиям соответствия нормативно-технической документации.

- Низкое качество мяса и мясных продуктов, птицы и птицеводческих продуктов, дикорастущих продуктов связано, прежде всего, с органолептическими показателями (вкус, запах, консистенция), массовой долей фарша в мясных полуфабрикатах, наличием костных включений в фарше птицы, а также с наличием посторонних примесей растительного происхождения в дикорастущих.

- Высокий процент выявления неудовлетворительных образцов молока и молочных продуктов по микробиологическому показателю безопасности связан с превышением содержания в них БГКП (колиформы).

- Выявленная неблагоприятная ситуация не связана с низким качеством продовольственного сырья. Основной и наиболее актуальной проблемой в улучшении санитарно-эпидемиологического благополучия на рынке продовольственного сырья и пищевых продуктов местного производства является усиление и качественное проведение производственного контроля выпускаемой продукции на всех этапах технологического процесса, а также на этапе транспортировки и хранения при реализации в розничной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев В.В., Ю.В. Корочкина. Гигиеническая оценка качества и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Статья в данном сборнике.*

УДК 664.10:663

ЗЕРНОВЫЕ ЭКСТРУДАТЫ – ИСТОЧНИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ ДЛЯ БУЛОЧНЫХ И МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

- © *Г.В. Шабурова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *М.О. Волошина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
- © *Е.С. Казакова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

CORN EXTRUDATES AS SOURCE OF FUNCTIONAL FOOD ELEMENTS FOR FANCY BAKED GOODS

- © *G.V. Shaburova, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *M.O. Voloshina, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *E.S. Kazakova, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье приводятся результаты использования экструдатов в производстве хлебобулочных изделий.

Ключевые слова: зерновые экструдаты, хлебобулочные изделия, натуральные обога­тители.

The paper reports the results of applying extrudates in baked goods production.

Key words: corn extrudates, baked goods, natural enrichers.

Хлебобулочные изделия – продукты ежедневного потребления, играющие существенную роль в питании. Повышая их пищевую ценность, обогащая мучные изделия функциональными пищевыми ингредиентами, можно целенаправленно воздействовать на здоровье человека и его трудоспособность. Необходимость увеличения доли производства продуктов массового потребления, создания новых продуктов питания, включая массовые сорта хлебобулочных изделий, обогащенных функциональными пищевыми ингредиентами, является приоритетным направлением государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации.

Одним из перспективных путей обогащения булочных и мучных кондитерских изделий комплексом функциональных пищевых ингредиентов могут служить экструдированные зерновые продукты. Воздействие экструзионной обработки способствует улучшению функциональных свойств зерновых культур [1]. Зерновые экструдаты характеризуются высокой степенью трансформации крахмала, приводящей к повышению усвояемости продукта, денатурацией белковых компонентов под действием термопластической экструзии, повышенной пищевой ценностью, а также технологическими свойствами, обуславливающими целесообразность их широкого применения в производстве продуктов питания, в том числе булочных и мучных кондитерских изделий. Кроме того, следует отметить, что экструзионная обработка зернового сырья способствует повышению микробиологической безопасности сырья и, следовательно, мучных изделий.

Известны исследования о применении экструдированной ржаной муки как компонента рецептуры заварных сортов хлеба [2], способствующего интенсификации биотехнологических процессов.

Нами предлагается использовать для обогащения булочных изделий экструдированные продукты, полученные из целого зерна, не только способствующие интенсификации технологических процессов, но и являющиеся источниками минеральных, витаминных ингредиентов, носителями пищевых волокон и полиненасыщенных жирных кислот.

Такие культуры, как овес, просо являются наиболее полезными злаками, применяемыми в пищевой промышленности. Богатый химический состав и значительные полезные и лечебные свойства обуславливают возможность их использования в качестве источников функциональных пищевых ингредиентов.

В зерне овса и проса содержится больше клетчатки по сравнению с такими зерновыми культурами, как рожь и пшеница. Пищевые волокна овса и проса представлены значительным количеством α -D-глюкана, способствующего снижению холестерина в крови. Овес и просо относятся к продуктам

с низким гликемическим индексом, как гречиха и ячмень. Крахмал этих культур обеспечивает организм “медленной” энергией, что позволяет избежать резкого повышения уровня сахара в крови, что особенно важно для больных диабетом [3]. При этом овес отличается оптимальным процентным соотношением углеводов, белков, жиров и витаминов комплекса В (40 % крахмала, 11-18 % белка, богатых незаменимыми аминокислотами, как триптофан и лизин, 4-6,5 % жиров). В овсе также содержатся эфирные масла, камедь, разнообразные витамины: В1, В2, В6, каротин, витамин К, никотиновая и пантотеновая кислоты. В овсе найдены калий, магний, фосфор, железо, хром, марганец, цинк, никель, фтор, йод и другие [4].

Восстановление ритма сердечной деятельности при включении в диету овса, по-видимому, объясняется тем, что витамины группы В играют важную роль в осуществлении функций нервной системы [5].

Просо по содержанию белка (11-16 %) уступает гороху. Однако по содержанию метионина (3,3 %) и триптофана (1,5 %) просо богаче зерна гороха в 5,5 и 1,5 раза, соответственно. В сравнении с белком гречихи белок проса содержит больше лейцина, треонина и метионина [6].

Просо богато витамином А, в нем содержится значительное количество витаминов РР и группы В. Крахмала в просе больше, чем в овсе, примерно столько же, сколько и в рисе, калия и магния больше, чем в рисе в 4-5 раз. В нем содержится много марганца, никотиновой кислоты и меди. Благодаря этому просо рекомендуют в лечебном питании больным с анемией в связи со способностью стимулировать кроветворение. Магний расширяет сосуды, тем самым, при ежедневном употреблении, способствует и снижению артериального давления. Просо выводит из организма остатки антибиотиков и защищает слизистую кишечника от их вредного воздействия. В связи с этим в качестве лечебного питания людям, получающим антибактериальную терапию, рекомендуется употреблять в пищу продукты переработки проса [7].

Целью наших исследований является изучение химического состава зерновых экструдатов как потенциальных носителей функциональных пищевых ингредиентов. Объектами исследований являются экструдаты овса и проса, полученные на экструдере КМЗ-2У при температуре 120-130 °С, продолжительности экструзионной обработки 15-25 с, с последующим воздействием на выходящее из матрицы экструдера сырье пониженным давлением и дальнейшим измельчением экструдированного зерна на лабораторной мельнице.

Экспериментальные исследования качественных характеристик зерновых экструдатов осуществляли с использованием традиционных и специальных методов анализа. При изучении химического состава зерновых экструдатов определяли следующие показатели: влажность, зольность, содержание сахара, белка (общего азота), крахмала и декстринов, минеральных веществ.

Результаты исследования зерновых экструдатов приведены в табл. 1.

ЗЕРНОВЫЕ ЭКСТРУДАТЫ – ИСТОЧНИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ...

Таблица 1 – Сравнительная характеристика зерновых экструдатов

Наименование показателя	Просо		Овес	
	нативное зерно	экструдат	нативное зерно	экструдат
Массовая доля влаги, %	13,00	6,53	13,20	6,61
Массовая доля протеина, % СВ	12,87	13,00	11,75	12,10
Массовая доля клетчатки, % СВ	9,08	7,10	12,33	9,86
Массовая доля липидов, % СВ	3,48	3,61	7,14	7,28
Массовая доля золы, % СВ	3,33	3,58	3,69	3,82
Массовая доля крахмала, % на СВ	60,57	53,3	42,05	37,5
Массовая доля декстринов, % СВ	0,11	2,2	–	0,5
Массовая доля моно- и дисахаридов, %	1,60	1,91	1,38	1,58
Минеральные вещества, мг в 100 г				
Кальций	52	60	117	121
Фосфор	320	330	361	365
Магний	130	143	135	140
Калий	328	410	421	432
Железо	3,5	3,8	5,5	5,7

Экструдированные зерновые полуфабрикаты отличаются низкой влажностью (6,53-6,61 %), хорошей сыпучестью, имеют вкус и запах, характерный для зернового сырья. Экструдаты характеризуются большим содержанием пищевых волокон. Часть из них в процессе экструзии переходит в растворимую форму.

Наиболее значительные изменения в процессе экструзии претерпевает крахмал. В результате экструзионной обработки создаются условия для клейстеризации крахмала. Крахмалы, подвергнутые клейстеризации, легче расщепляются ферментами в организме человека и, соответственно, лучше усваиваются. Результаты эксперимента свидетельствуют об уменьшении содержания крахмала в экструдированных зернопродуктах на 11-12 %. При этом следует отметить заметное повышение содержания простых сахаров и декстринов в экструдированных образцах зерна, что подтверждает процесс гидролиза крахмала при экструзии.

Экструзионная обработка зерна проса и овса способствовала незначительному повышению содержания белка.

Как следует из результатов исследований, экструдированные зернопродукты обогащаются минеральными веществами. В экструдированном овсе довольно много кальция и железа, что особенно важно с учетом дефицита этих компонентов в структуре питания населения.

Нами исследованы некоторые технологические свойства смесей пшеничной муки с экструдатами зерна. Экструдаты овса и проса вносили в модельные смеси с заменой части пшеничной муки высшего сорта на экструдаты в количестве 5, 10, 15 и 20 % к массе муки. Контрольный образец (без внесения экструдатов зерна) готовили из муки пшеничной высшего сорта с содержанием клейковины 28,0 % и $N_{идк} = 70$ ед. прибора. Водопоглотительную способность можно отнести к основным функциональным свой-

ствам муки, оказывающим влияние на качество полуфабрикатов и готовых изделий. Этот показатель в основном зависит от массовой доли белка, крахмала, пищевых волокон, а также от крупности частиц муки.

В таблице 2 приведены результаты исследований технологических свойств пшеничной муки в смеси с зерновыми экструдатами.

Таблица 2 – Технологические свойства модельных смесей пшеничной муки и зерновых экструдатов

Образцы эксперимента	Водопоглотительная способность модельной смеси, %	Содержание сырой клейковины, %	Качество сырой клейковины, ед. прибора ИДК
Модельная смесь муки пшеничной высшего сорта и экструдата овса			
Образец 1 (контроль)	56,0	28,0	70
Образец 2 (95:5)	60,0	27,1	72
Образец 3 (90:10)	65,2	26,3	67
Образец 4 (85:15)	70,8	25,5	65
Образец 5 (80:20)	81,0	24,6	60
Модельная смесь муки пшеничной высшего сорта и экструдата проса			
Образец 1 (контроль)	56,0	28,0	70
Образец 2 (95:5)	62,0	27,8	73
Образец 3 (90:10)	67,1	26,5	68
Образец 4 (85:15)	72,6	25,7	66
Образец 5 (80:20)	81,5	24,5	61
Образец 1 (контрольный): муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта – 100 %			
Образец 2: муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта – 95 %, муки экструдата зерна – 5 %			
Образец 3: муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта – 90 %, муки экструдата зерна – 10 %			
Образец 4: муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта – 85 %, муки экструдата зерна – 15 %			
Образец 5: муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта – 80 %, муки экструдата зерна – 20 %			

Таким образом, исследования показали, что замена части пшеничной муки на зерновые экструдаты способствует значительному увеличению водопоглотительной способности модельной смеси. Этот показатель, в зависимости от соотношения муки и экструдата в модельной смеси, повышается на 7...44 %. При этом содержание сырой клейковины уменьшается у овса с 28,0 % в контрольном образце до 24,6 % в смеси с заменой пшеничной муки на 20 % экструдата овса, у проса с 28,0 % в контрольном образце до 24,5 %. Следовательно, увеличение дозировки экструдата овса и проса в модельной смеси более чем 20 % нецелесообразно, так как будет способствовать ухудшению хлебопекарных свойств муки и теста из нее. Качество сырой

ЗЕРНОВЫЕ ЭКСТРУДАТЫ – ИСТОЧНИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ...

клейковины, как свидетельствуют полученные данные, в опытных вариантах несколько укрепляется, что можно объяснить активностью фермента липоксигеназы, действующего в присутствии кислорода воздуха на ненасыщенные жирные кислоты с образованием пероксидов и гидропероксидов. В результате происходит укрепление клейковины муки.

Таким образом, использование зерновых экструдатов имеет большие перспективы в связи с необходимостью обогащения хлеба, булочных и мучных кондитерских изделий функциональными пищевыми ингредиентами. Оптимальное количество измельченных зерновых экструдатов, вводимое в рецептуру изделий, может составить 10-15 % взамен части пшеничной муки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Makarski B., Achremowicz B. *Changes in basic nutritional components in extrudates produced with addition of oats* // *Pol. J. Food Nutrit. Sc.*. – 2002. – Vol.11,N 1. – P. 45 – 49.
2. Казанская Л. *Применение в хлебопечении новых видов функциональных добавок и нетрадиционных видов сырья* / Л. Казанская, Н. Синявская, Л. Кузнецова, Н. Белянина // *Хлебопродукты*. 1993. – № 3. – С. 42 – 48.
3. Румянцева В.В. *Применение нетрадиционного зернового сырья в производстве продуктов функционального назначения* // *Пищевая наука, инженерия и технология 2007 (Food science, engineering and technologies 2007)* : Научни трудове на УХТ. – Пловдив, 2007. – Том 54, свитък 2. – С. 112 – 116.
4. Козьмина Н.П. *Биохимия зерна и продуктов его переработки*. – М. : Колос, 1976. – 375 с.
5. Смолкина Е. *На новый уровень качества* // *Сфера – кондитер, хлебопек*. – 2006. – № 3(10). – С. 38 – 39.
6. Camire M.E. *Technological challenges of whole grains* // *Cereal Foods World*; St. Paul, 2004; Vol.49,N 1. – P. 20 – 22.
7. Прокопец А.С., Красина И.Б. *Перспективы использования муки из проса в производстве мучных кондитерских изделий* // *Техника и технология пищевых технологий*. – 2009. – № 4. – С. 34 – 36.

УДК 641

РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ КОМПОНОВОК МНОГОВАЛКОВЫХ ТЕСТОРАСКАТЫВАЮЩИХ МАШИН

© *В.А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

© *В.С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

© *С.А. Никитина, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

LAYING-OUT VERSIONS OF MULTIROLL DOUGH-ROLLING-OUT MACHINE

© *V.A. Avrorov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *V.S. Nikolaev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *S.A. Nikitina, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье приводятся варианты разработанных компоновок многовалковых тестораскатывающих машин, полученных с помощью метода структурного кодирования.

Ключевые слова: компоновка машины, ветвь компоновки, метод структурного кодирования, синтез подвижных блоков, направленный граф.

The paper describes the versions of multiroll dough-rolling-out machines that were developed with the help of structured coding method.

Key words: machine version, layout branch, structured coding method, movable blocks synthesis, directed graph.

E-mail: v_avrorov@bk.ru

При разработке вариантов компоновок будем исходить из результатов проведенных исследований реологических характеристик тестовой массы при ее деформировании и анализа известной информации [1 – 3].

Концептуальная модель и ограничительные требования к тестораскатывающей машине [4]:

- совмещение в одной машине двух технологических операций – раскатывание пласта и формирование из него тестовых заготовок печенья;
- подача тестовой массы с помощью ленточного транспортера;
- многовалковый тестораскатывающий механизм;
- поступательное реверсивное движение тестораскатывающей каретки в горизонтальной плоскости;

РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ КОМПОНОВОК МНОГОВАЛКОВЫХ...

- полуавтоматическая установка и регулирование зазора между валками;
- шаговое движение транспортера при выполнении операции формирования тестовых заготовок печенья из раскатанного пласта;
- циклическое возвратно-поступательное движение формующего устройства машины в вертикальной плоскости;
- недопущение в ветвях компоновки подвижных блоков, совершающих одинаковые движения;
- в ветви раскатывания тестовой заготовки первое место принадлежит раскатывающему органу.

Можно выделить три ветви компоновки многовалковой тестораскатывающей машины:

- ветвь раскатывающей каретки с валками,
- ветвь формующего органа,
- ветвь подачи тестовой массы в зону раскатки.

Схема координатных движений звеньев показана на рис. 1.

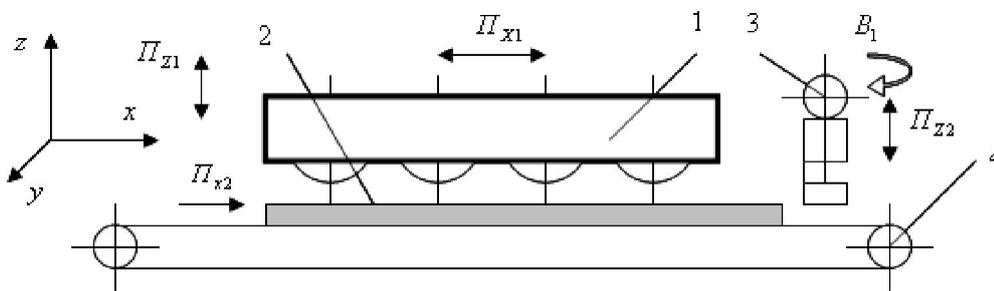


Рис. 1. Схема координатных движений звеньев машины:
1 – тестораскатывающая каретка, 2 – пласт теста,
3 – формующий орган, 4 – транспортер

Можно видеть, что ветвь подачи тестовой массы в зону раскатывания пласта состоит из одного подвижного блока – ленточного транспортера, установленного на несущей системе машины. Лента транспортера совершает поступательное движение (1) вдоль оси X (1), нормаль к плоскости подвижного стыка транспортера с рамой расположена по оси Z (3) без наклона (0). Используется второй тип (2) подвижного стыка (вращение ведущего вала транспортера в подшипниках). Переход через стык к раме осуществляется против направления оси Z (2). Форма элемента компоновки (стола транспортера) призма (1).

Таким образом, имеем следующую запись структурного кода ветви подачи тестовой массы: 1130221 0000000.

Код ветви формующего органа: 1320112 2220222 0000000.

Для получения возможных вариантов ветви раскатывающей каретки воспользуемся направленным графом [4] (рис. 2).

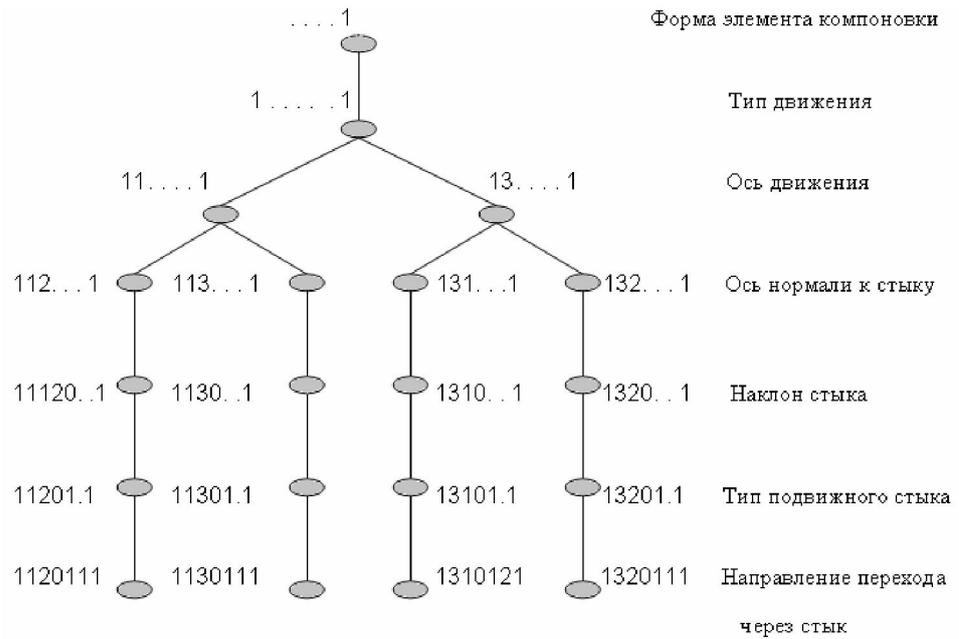
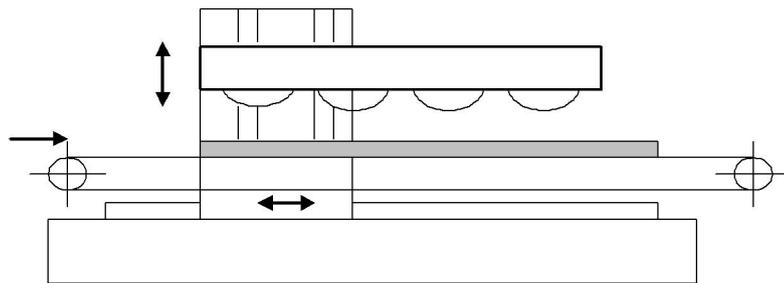


Рис. 2. Направленный граф синтеза ветви раскатывающей каретки

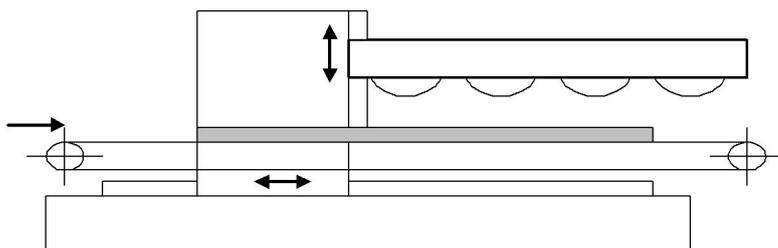
При заданных координатных движениях возможны четыре варианта поступательного движения блоков раскатывающей каретки. Поскольку в одной ветви по принятым ограничениям не может быть блоков с одинаковыми координатными движениями, из $A_4^2 = 12$ вариантов останется только 8 вариантов:

- 1120111 1310121 0000000
- 1120111 1320111 0000000
- 1130111 1310121 0000000
- 1130111 1320111 0000000
- 1310121 1120111 0000000
- 1310121 1130111 0000000
- 1320111 1120111 0000000
- 1320111 1130111 0000000.

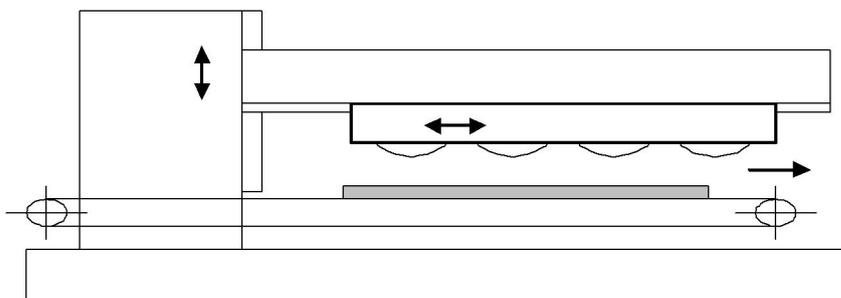
На рис. 3 приведены в качестве примера эскизы некоторых вариантов разработанных компоновок.



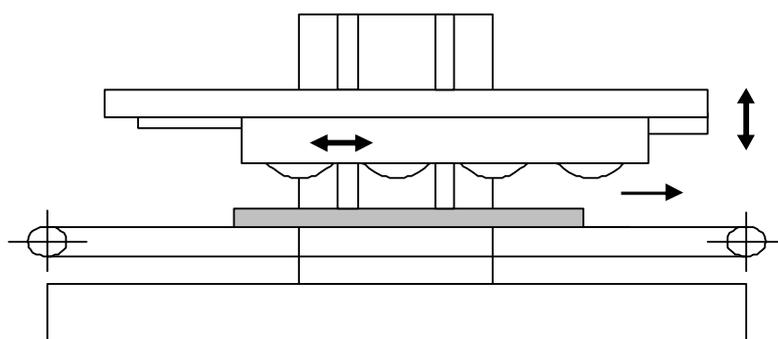
а) 1320111 1130111 0000000



б) 1310121 1130111 0000000



в) 1130111 1320111 0000000



г) 1130111 1320111 0000000

Рис. 3. Примеры вариантов компоновки подвижных блоков ветви раскатывающей каретки

Оценку качества разработанных компоновок вели с учетом силового взаимодействия элементов, т.е. распределения давлений в подвижных соединениях, статических и динамических упругих деформаций, геометрических погрешностей и других факторов.

Для дальнейшего проектирования был выбран вариант 1130111 1320111 0000000 как обеспечивающий наибольшую жесткость конструкции при минимальных ее габаритах. Компоновка несущей системы обеспечивает минимальные геометрические погрешности, и каретка нивелирует их влияние

на толщину раскатываемого теста за счет самоустановки каретки. Силовая нагрузка на раскатывающие валки равномерно распределена по рамке каретки и направлена по нормали к плоскости ее движения.

На рис. 4 приведен общий вид четырехвалковой тестораскатывающей машины [5], экспериментальные испытания которой, в том числе на трудно раскатываемом песочном тесте, подтвердили результаты проведенных ранее теоретических исследований и конструктивных решений.



Рис. 4. Общий вид четырехвалковой тестораскатывающей машины

Данный образец обеспечивает производительность по тестовым заготовкам песочного печенья 60 кг/ч при толщине раскатки пласта от 2 до 15 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П. *Пищевая инженерия. Справочник с примерами расчетов.* – СПб. : Профессия, 2004.
2. Авроров В.А., Сарафанкина Е.А. *Моделирование поведения тестовой массы при ее раскатывании в тонкий равномерный пласт // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы : Сборник статей III Международной научно-практической конференции.* – Пенза : Приволжский дом знаний, 2009. – С. 3 – 7.
3. Авроров В.А., Сарафанкина Е.А. *Об изменении деформаций в пласте теста при его раскатывании на многовалковой машине с возвратно-поступательным движением тестораскатывающей каретки // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы : Сборник статей III Международной научно-практической конференции.* – Пенза : Приволжский дом знаний, 2009. – С. 8 – 12.

4. Хомяков В.С., Давыдов Н.Н. Кодирование компоновок металлорежущих станков при их автоматизированном проектировании // Станки и инструмент. – 1989. – № 9. – С. 8 – 11.

5. Патент РФ № 2408190 Устройство для раскатки пласта теста и формования из него тестовых заготовок.

УДК 631.363; 664.6/7

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКА ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА В ЗОНЕ ЗАГРУЗКИ

© А.А. Курочкин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

© В.В. Новиков, Самарская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

REASONING EFFECTIVE PARAMETERS OF EXTRUDER SCREW IN LOADING ZONE

© А.А. Kurochkin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

© V.V. Novikov, Samara Stats Agricultural Academy (Samara, Russia)

В статье приводится обоснование рациональных параметров шнекового движителя пресс-экструдера.

Ключевые слова: пресс-экструдер, зона загрузки, шнековый движитель.

The article is dedicated to the explanation of effective parameters of extruder screw propelling device.

Key words: extruder, loading zone, screw propelling device.

E-mail: anatolii_kuro@mail.ru

Анализ технологического процесса пресс-экструдера показывает, что его шнек служит как для перемещения обрабатываемого сырья, так и для его уплотнения [1]. В связи с этим он обычно включает нескольких ступеней, каждая из которых имеет свое назначение. Например, в экструдерах типа КМЗ-2 первая из трех ступеней шнека предназначена для работы в зоне загрузки. В этой зоне пресс-экструдера продолжается интенсивное перемешивание (после дозирующего механизма) и перемещение частиц обрабатываемого сырья вдоль оси шнека, а также начинается их уплотнение.

Определение рациональных параметров шнека в зоне загрузки пресс-экструдера представляет собой весьма важную задачу как в теоретическом плане, так и в практическом аспекте. Например, известно, что угол подъема винтовой поверхности шнека, характеризуемый обычно отношением его шага к диаметру, в решающей степени определяет основные показатели работы

шнека – производительность, энергоемкость, а также металлоемкость и габаритные размеры самого пресс-экструдера. Между тем в выпускаемых российскими предприятиями и зарубежными фирмами пресс-экструдерах шаг витков шнеков находится в весьма широких пределах. Объясняется это не только различными физико-механическими свойствами обрабатываемых материалов, но и подходом к решению данного вопроса с различных позиций [2].

Для транспортирующего шнека шаг логично обосновывать с точки зрения его максимальной производительности, что в свою очередь подразумевает максимально возможную в данных условиях скорость поступательного перемещения материала в винтовом канале.

Для шнеков напорной группы более приемлемым считается подход, при котором в процессе работы шнека обеспечиваются минимальные энергозатраты при необходимой его производительности. В этом случае теоретическим обоснованием выбора рационального угла подъема винтовой поверхности часто является его значение, полученное из формулы для определения к.п.д. винтовых пар

$$\alpha = 45 - \frac{\varphi}{2},$$

где φ – угол трения материала о винтовую поверхность.

Поскольку с изменением шага шнека изменяются не только его энергетические показатели, но и транспортирующая способность, более целесообразным следует считать подход к выбору рационального шага шнека с учетом комплекса показателей, т.е. оценивать работу шнека по величине удельных энергозатрат и производительности.

Определим оптимальный шаг шнека в зоне загрузки по величине удельных энергозатрат, определяемых отношением потребляемой мощности привода шнека к его производительности при текущем значении угла подъема винтовой поверхности. Энергетические показатели работы шнека в зоне загрузки в основном определяются мощностью, потребной для преодоления момента сопротивления, возникающего между шнеком и перемещаемой массой при перемещении последней в сторону зоны прессования. Численные значения остальных составляющих потребной мощности привода не оказывают существенного влияния на точность расчета, и при необходимости их можно учитывать специальным коэффициентом.

О величине энергозатрат на привод шнека можно судить по значению момента сопротивления вращению его напорного витка, который определяется по формуле [2]

$$M_k = P \frac{D}{2} \operatorname{tg}(\varphi + \alpha), \quad (1)$$

где P – осевое усилие, необходимое для перемещения обрабатываемого материала, МПа; D – диаметр шнека, м; α – угол наклона винтовой линии шнека, град.; φ – угол трения, $\varphi = \operatorname{arctg} f$.

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКА...

Умножив уравнение (1) на угловую скорость шнека ω и выразив осевое усилие через давление p и площадь поперечного сечения шнека

$S_{\text{ш}} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$, получим выражение для определения потребляемой мощности

$$N = p \cdot \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot \frac{D}{2} \omega \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \alpha),$$

где d – диаметр вала шнека, м.

Производительность шнека в зоне загрузки можно получить, умножив скорость движения материала вдоль оси шнека на площадь живого сечения материала вдоль оси шнека, плотность смеси, коэффициент осевой скорости материала и коэффициент заполнения межвиткового объема шнека [3, 4]

$$Q = \vartheta \frac{S \cdot h}{\sin \alpha} \rho \cdot \psi \cdot \kappa_v,$$

где S – шаг шнека, м; h – глубина канавки шнека, м; ψ – коэффициент заполнения межвиткового объема шнека; κ_v – коэффициент осевой скорости материала.

Учитываем, что шаг шнека является функцией угла подъема его винтовой поверхности

$$S = \pi D \sin \alpha,$$

а коэффициент осевой скорости материала равен

$$\kappa_v = \frac{\cos \alpha \cos(\varphi + \alpha)}{\cos \varphi}.$$

Скорость движения материала вдоль оси шнека можно определить из выражения [4]

$$\vartheta = \frac{(D - h)\omega \sin \alpha}{4}.$$

Тогда производительность шнека в зоне загрузки можно определить на основании уравнения [3, 5]

$$Q = \frac{(D - h)}{4} \cdot \omega \cdot \sin \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot h \cdot \rho \cdot \psi \cdot \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}.$$

Полученное уравнение позволяет установить зависимость производительности шнека в зоне загрузки от его конструктивных параметров.

Кроме этого, производительность шнека в зоне загрузки зависит от коэффициента трения сырья о поверхность шнека ($f_{\text{ш}}$) и коэффициента трения сырья о поверхность цилиндра пресс-экструдера ($f_{\text{ц}}$). В свою очередь значения этих коэффициентов определяются не только механическими свойствами поверхностей шнека и цилиндра пресс-экструдера, но и их температурой [3 – 5].

Удельные затраты энергии при работе шнека в зоне подачи экструдера определим как отношение мощности, потребной для работы шнека к его производительности

$$A = \frac{N}{Q} = \frac{p \cdot (D^2 - d^2) \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \alpha) \cos \varphi}{2(D - h) \cdot \sin \alpha \cdot h \cdot \rho \cdot \psi \cdot \kappa_n \cdot \cos \alpha \cos(\varphi + \alpha)}$$

Анализ полученного уравнения показывает, что удельные затраты энергии при работе шнека в зоне подачи экструдера зависят от угла подъема винтовой линии шнека и физико-механических свойств экструдированного материала.

Для определения шага винта при подаче материала с известным коэффициентом трения необходимо взять первую производную $\frac{dS}{d\alpha}$ от выражения

$$S = \frac{\operatorname{tg}(\varphi + \alpha) \cos \varphi}{\sin \alpha \cos \alpha \cos(\varphi + \alpha)}$$

и приравнять ее нулю.

Графическим методом эта задача решается путем подстановки текущего значения угла α в формулу (1). На рис. 1 приведена теоретическая зависимость шага шнека от угла наклона его винтовой линии.

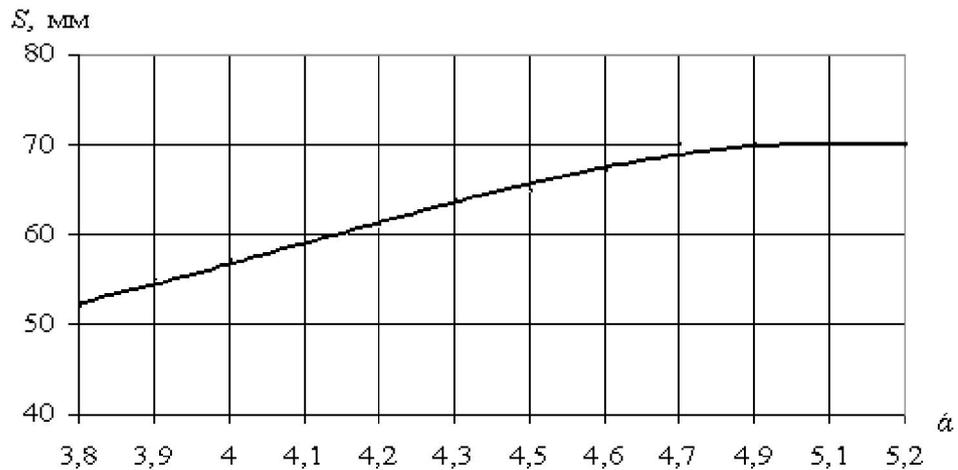


Рис. 1. Теоретическая зависимость шага от угла наклона винтовой линии

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фокин А.В. Обоснование оптимального шага винта шнекового питателя пневмотранспортера // Совершенствование сельскохозяйственной техники, применяемой в животноводстве. – Горький, 1980. – Т. 141. – С. 33 – 38.
2. Особов В.И. Машины для брикетирования растительных материалов. – М. : Машиностроение, 1971. – 252 с.

3. *Игнатъевский Н.Ф. Определение значений коэффициента трения кормовой смеси методом планирования эксперимента // Механизация производственных процессов в животноводстве : сб. науч. тр. ЛСХИ. – Л. : Пушкин, 1977. – Т. 336. – 64 с.*

4. *Новиков В.В. Исследование рабочего процесса и обоснование параметров пресс-экструдера для приготовления карбамидного концентрата : Дисс. ...к.т.н. – Саратов : СИМСХ, 1981. – 157 с.*

5. *Денисов С.В. Определение пропускной способности зоны загрузки пресс-экструдера // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 12. – С. 73 – 76.*

УДК 621.512; 664

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ДИСКА ШАРИКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ С ТЕЛАМИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ШОКОЛАДНОЙ СУСПЕНЗИЕЙ

© *В.С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

© *К.П. Фудин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

© *А.В. Зайцев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

INTERACTION OF A BALL-TYPE MILL ECCENTRIC DISK WITH GROUND BODIES AND SUSPENDED CHOCOLATE

© *V.S. Nikolaev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *K.P. Fudin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *A.V. Zaytsev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье приведено конструктивное обследование шариковой мельницы и дан анализ условий движения обрабатываемой шоколадной массы и тел измельчения в рабочем пространстве мельницы.

Ключевые слова: шариковая мельница, тела измельчения, стальные шарики, валы с дисками.

The paper is concerned with discussing a ball-type mill and analyzing movement conditions of processed chocolate and ground bodies in the mill operating space.

Key words: ball-type mill, ground bodies, steel balls, shafts with disks.

E-mail: cygnus61@yandex.ru

Шариковые мельницы используются в технологическом процессе получения какао-масла и какао-порошка [1 – 3]. Основное назначение мельницы – это переработка жидкой суспензии какао тертое и получение измельчен-

ного продукта с размерами крупинок до 25 мкм, которые должны составлять не менее 98 % от перерабатываемого объема. Такую дисперсность продукта можно получить только путем интенсификации процесса измельчения.

В технической литературе процессы, сопутствующие механическим и физическим воздействиям, происходящим в шариковой мельнице, описаны не достаточно полно. В настоящей работе рассматривается одна из моделей установившегося движения обрабатываемого продукта.

Мельница состоит из чаши помола, установленной в жестком остова, оснащенной системой привода. Чаша помола 1, фрагмент которой в виде емкости с валами показан на рис. 1, выполнена из двух сопряженных полостей цилиндрической формы, по центральным осям которых установлены два вала 2 с дисками. Концентричные диски 4 расположены на валах соосно. Другая группа дисков 3 расположена эксцентрично центральной оси вала, причем диски располагаются относительно друг друга со смещением по винтовой линии. Для обеспечения требуемого температурного технологического режима чаша оснащена рубашкой 6, выполненной в виде винтовых хладоносительных каналов. В местах соединения полых цилиндров дополнительно выполнены вертикальные хладоносительные каналы 5. Чаша сверху и снизу герметично закрыта крышкой и дном, внутри ее свободная полость заполняется телами измельчения – стальными шариками диаметром от 4 до 6 мм, общей массой до 240 кг.

Перерабатываемый продукт в виде жидкой смеси какао тертое непрерывным потоком подается шестеренчатым насосом по трубопроводу и через технологические отверстия дна чаши в емкость, а выход переработанного продукта осуществляется через технологические отверстия крышки, имеющей также специальные уплотнения вращающихся валов.

Сущность процесса интенсивного измельчения заключается в создании вихреобразных движений шоколадной суспензии и тел измельчения (шариков), получаемых за счет их взаимодействий [4]. Два дисковых вала ротора увлекают шоколадную суспензию и тела измельчения в сложное вихреобразное движение, при котором какао тертое и шарики движутся с различными скоростями.

Увеличение градиента скорости между измельчаемыми компонентами суспензии и телами измельчения, относительно вращающихся дисков, приводит к истиранию и ударам разных по массе и прочности тел. Отличие по твердости и другим механическим характеристикам материалов дисков, стенок чаши, металлических шариков и свойств компонентов шоколадной суспензии приводит к изменению структуры перерабатываемого продукта. При этом частички размером 100 – 300 мкм разрушаются на более мелкую фракцию с выделением маслянистой структуры.

Тела измельчения (шарики) входят в контакт с эксцентрично установленными дисками и приобретают сложное движение, что способствует возникновению направленных силовых воздействий на измельчаемые компоненты с одновременным образованием волнообразных движений в замкнутом пространстве. Эксцентричные диски, расположенные с равномерным смещением по высоте вала, при вращении способствуют возникнове-

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ДИСКА ШАРИКОВОЙ...

нию волнообразного движения и взаимодействию волн, образованных от разных дисков, между собой. Такое расположение эксцентрично установленных дисков создает условия образования в емкости как восходящего потока по винтовой линии, так и нисходящих потоков и интенсифицирует силовые воздействия на продукт, благодаря чему ликвидируются застойные зоны во всем объеме емкости.

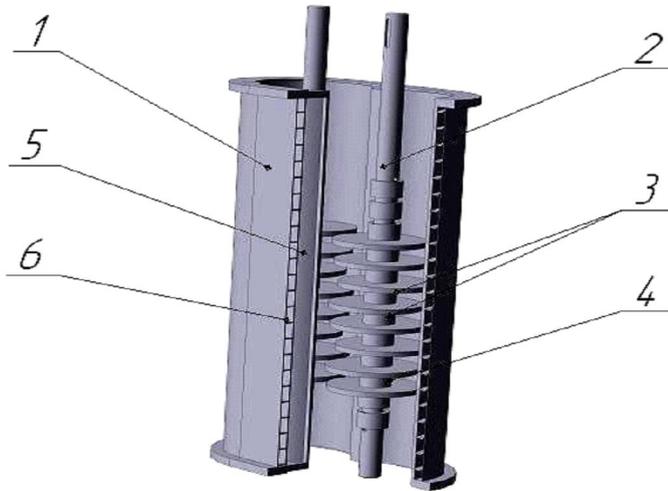


Рис. 1. Фрагмент чаши помола

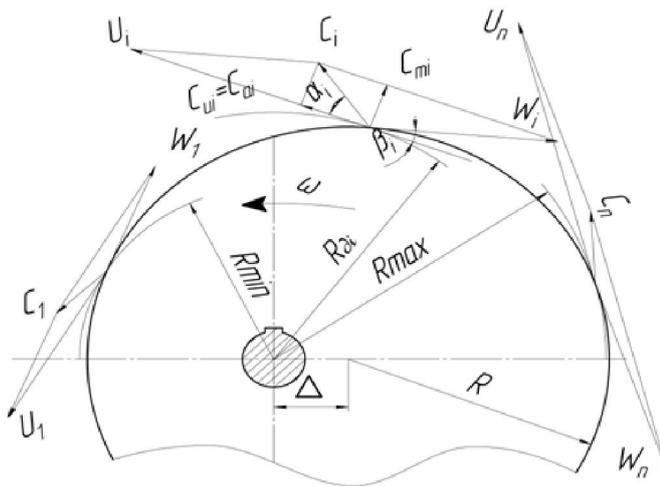


Рис. 2. План скоростей движения частицы жидкой суспензии или шарика

При построении модели рассматривали относительное движение потока жидкой суспензии и шариков с построением треугольников скоростей, как это показано на рис. 2.

Частица жидкой суспензии или шарик, перемещаясь с набегающей плоскости диска, будет находиться одновременно под воздействием *окружной скорости* U и *относительной скорости* W , в результате чего ее *абсо-*

лотная скорость C будет направлена по равнодействующей от геометрически сложенных скоростей (U и W). Элементарные струйки жидкой суспензии и шариков будут сходиться с плоскости диска в направлении абсолютной скорости. Окружная скорость точек, описывающих набегающую плоскость эксцентричного диска, имеет разную величину и может быть определена по зависимости

$$U_i = \frac{\pi n_B R_{\partial i}}{30}, \quad (\text{м/с}),$$

где $R_{\partial i}$ – радиус исследуемого участка набегающей плоскости диска, м ($R_{\partial i} = \overline{R_{\min}, R_{\max}}$); n_B – частота вращения ротора, мин⁻¹.

Отсюда видно, что любая элементарная частица жидкой суспензии или шарик на набегающей плоскости диска могут рассматриваться как находящиеся в установившемся относительном движении.

Введем значение угла α между векторами скоростей C и U (рис. 2) и угла β между касательной плоскости диска и касательной окружности в направлении, обратном к окружной скорости. Поскольку абсолютная скорость C есть результирующая двух скоростей, где одна составляющая совпадает с окружной скоростью U , ее проекция выражается как $C_u = C \cos \alpha$, вторая составляющая направлена по наименьшему радиусу к оси вращения и выражается как $C_m = C \sin \alpha$.

Анализируя движение жидкости по плоскости набегания диска, примем предположение, что движение жидкости струйное.

Работа сил на плоскости набегания на диск до схода с диска приводит к увеличению энергии потока. Основное уравнение работы эксцентрикового диска вала шариковой мельницы, выражаемое зависимостью напора H от частоты вращения ротора и скорости движения жидкости, может быть получено на основе применения закона изменения количества движения. Примем, что установившееся движение потока жидкой суспензии и шарика на исследуемом участке набегающей плоскости ротора постоянно в течение определенного времени.

Момент количества движения жидкой суспензии и шарика равны $M_{ж} = Q \cdot \rho_{ж} \cdot C_i \cdot l_i$ и $M_{ш} = Q \cdot \rho_{ш} \cdot C_i \cdot l_i$, где Q – объемная производительность, м³/с; $\rho_{ж}$, $\rho_{ш}$ – плотность жидкой суспензии и материала шарика, кг/м; l_i – плечо действия до направления абсолютной скорости C_i , м.

Изменение количества движения в направлении потока от точки R_{\min} до точки R_{\max} определяется разностью моментов количества движения массы жидкости.

Следовательно, для жидкой суспензии или твердого шарика момент внешних сил M_k в общем виде можно представить разностью M_{\max} и M_{\min} для продукта плотностью ρ_k :

$$M_k = M_{\max} - M_{\min} = \rho_k Q (C_{\max} l_{\max} - C_{\min} l_{\min}).$$

Из планов скоростей (рис. 2) имеем

$$l_{\min} = R_{\min} \cdot \cos \alpha \quad \text{и} \quad l_{\max} = R_{\max} \cdot \cos \alpha.$$

Решая выражения совместно, получаем

$$M_k = \rho_k \cdot Q (C_{\max} R_{\max} \cdot \cos \alpha_i - C_{\min} R_{\min} \cdot \cos \alpha_i).$$

Умножив обе части уравнения на угловую скорость ω , получим

$$M_k \cdot \omega = \rho_k \cdot Q (C_{u \max} R_{\max} \cdot \omega - C_{u \min} R_{\min} \cdot \omega).$$

Поскольку $U_{\max} = R_{\max} \omega$ и $U_{\min} = R_{\min} \omega$, имеем $M_k \cdot \omega = \rho_k \cdot Q (C_{u \max} \cdot U_{\max} - C_{u \min} \cdot U_{\min})$.

Известно, что $N = M_k \omega = \frac{\rho_k}{g} HQ$, тогда теоретическое значение напора (без потерь), развиваемое диском, в первом приближении примет вид

$$H_T = \frac{C_{u \max} \cdot U_{\max} - C_{u \min} \cdot U_{\min}}{g}.$$

Полезный напор определяется гидравлическим КПД:

$$H_T = \eta_{\Gamma} \frac{C_{u \max} \cdot U_{\max} - C_{u \min} \cdot U_{\min}}{g} = \eta_{\Gamma} \frac{\omega}{g} (C_{u \max} R_{\max} - C_{u \min} R_{\min}).$$

Полученное выражение есть уравнение Эйлера, которое является универсальным для всех дисковых машин (насосов, турбин, лопастей, мешалок), к которым можно отнести и дисковый ротор рассматриваемой нами шариковой мельницы непрерывного действия, причем напор, создаваемый дисковым ротором, не зависит от вида обрабатываемой среды.

Более полная модель процесса измельчения в чаше помола мельницы требует учета дополнительных факторов, влияющих на процесс диспергирования, формализация которых связана с дополнительными теоретическими исследованиями.

Конструкция и принцип работы эксцентричных дисков использован в разработанной конструкции шариковой мельницы модели МШ-2.

Разработка проведена в студенческом конструкторского бюро «Пищевая инженерия» кафедры пищевых производств Пензенской государственной технологической академии. Опытный образец мельницы МШ-2 изготовлен на предприятиях города Пензы и прошел испытания на Пензенской кондитерской фабрике.

Мельница МШ-2 предназначена для тонкого измельчения предварительно размолотой жидкой какао-массы и предназначена для использования в кондитерском производстве в качестве функционального устройства, которое входит в состав технологических линий, а также может применяться и как самостоятельное изделие.

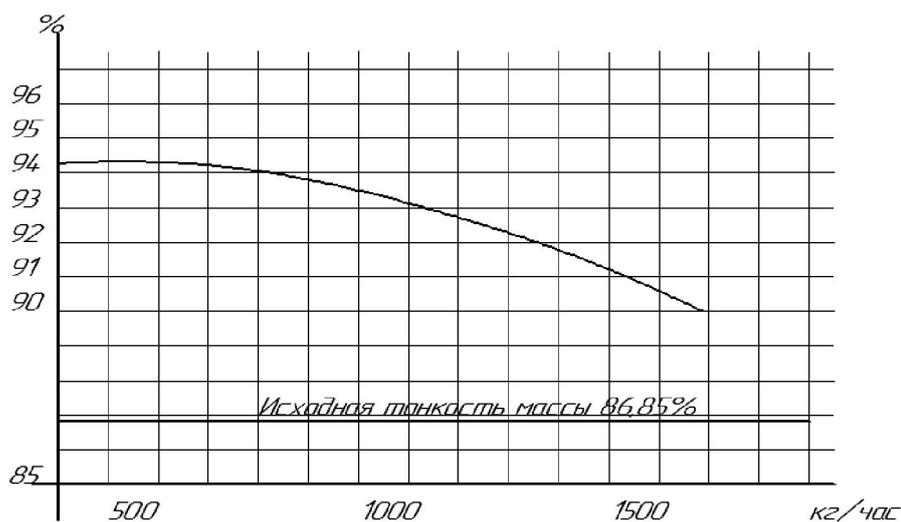
Перерабатываемый какао-продукт, представляющий предварительно размолотую жидкую какао-массу, должен соответствовать требованиям ОСТ 10–06–2000:

– массовая доля влаги, %, не более	2,0
– массовая доля жира, %	28 – 39,0
– содержание какао-веллы, %, не более	1,5
– степень измельчения, %, не менее	84

Основные технические данные мельницы:

– производительность, кг/ч,	1600
– степень измельчения, %, не менее	97,0
– массовая доля влаги, %, не более	2,0
– массовая доля жира, %	28 – 39,0
– расход воды м ³ /ч., не менее:	
горячей 60...70 °С	0,1
холодной 10...15 °С	0,25
– номинальное давление насоса подачи, кгс/см ²	2,5

По экспериментальным данным обработки суспензии какао тертое получены характеристики мельницы по дисперсности измельченного продукта в зависимости от ее производительности. На рис. 3 показан график зависимости степени измельчения предварительно размолотой жидкой какао-массы от производительности и исходной степени измельчения перерабатываемого продукта.



Зависимость степени измельчения от производительности мельницы МШ – 2

— 200 кг шаров (массы тел измельчения)

Рис. 3. Зависимость степени измельчения от производительности мельницы типа МШ-2

Сравнение экспериментальных данных с данными технических характеристик зарубежных аналогов показывает, что опытный образец шариковой мельницы не уступает зарубежным аналогам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мнекин О.В. Пути совершенствования шариковой мельницы для измельчения шоколадных суспензий // *Актуальные проблемы науки и образования : Сборник материалов научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Ч. I. – Пенза : ПГТА, 2008. – С. 264 – 268.*
2. Патент РФ № 2122805. Устройство для обработки шоколадных масс. 1998, № 34.
3. Волков В.В., Николаев В.С., Павлов М.С. Исследование влияния центробежных сил инерции на вибрации остова шариковой мельницы // *Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы : Сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза : ПДЗ, 2009. – С. 20 – 25.*
4. Лысов А.Е., Старостин М.Н. Обоснование конструктивно-технологической схемы дискового вала шариковой мельницы // *Актуальные проблемы науки и образования : Сборник материалов научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Ч. III. – Пенза : ПГТА, 2008. – С. 264.*

УДК 65.047.1 (355); 664.8

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

- © **А.Б. Терентьев**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)
- © **Д.А. Мельник**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)
- © **А.А. Баклин**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

ENERGY-SAVING INSTALLATION FOR BULK MATERIALS DRYING

- © **A.B. Terentjev**, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)
- © **D.A. Melnik**, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)
- © **A.A. Baklin**, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

В статье приведено описание конструкции и области применения спроектированной энергоэффективной сушилки для сушки сельскохозяйственного растительного сырья в восходящем воздушном потоке.

Ключевые слова: сушилка, восходящий тепловой поток, сыпучие частицы.

The article covers the construction description and application of a developed energy-saving dehydrator for drying plant raw materials with the help of upward air flow.

Key words: dehydrator, upward thermal flow, loose particles.

Установка предназначена преимущественно для сушки зерновых и бобовых культур в восходящем нагретом воздушном потоке, генерируемом сопловым блоком [1, 2]. Одновременно, а также в отсутствие процесса сушки установка является источником альтернативной энергии [3, 4], за счет чего она может функционировать автономно и снабжать накапливаемыми энергоресурсами другие объекты агропромышленного комплекса.

Установка [5] содержит (рис. 1) следующие основные узлы и детали: круговой сопловой блок в виде сопрягаемых конических прямоугольных диффузоров – солнечных коллекторов, башню, устройства для загрузки размещения и выгрузки сыпучего материала, ветроэнергетическую установку роторную с вертикальной осью вращения (ВЭУ-РВ), имеющую три яруса горизонтальных и две или более вертикальных лопастей аэродинамической формы, обгонную муфту, электрогенератор, дополнительный галечный аккумулятор тепла, отделенный от грунта теплоизоляционным слоем и листом фольги с гидроизоляционным слоем, откидывающиеся крышки диффузоров, круговые теплоэлектронагреватели.

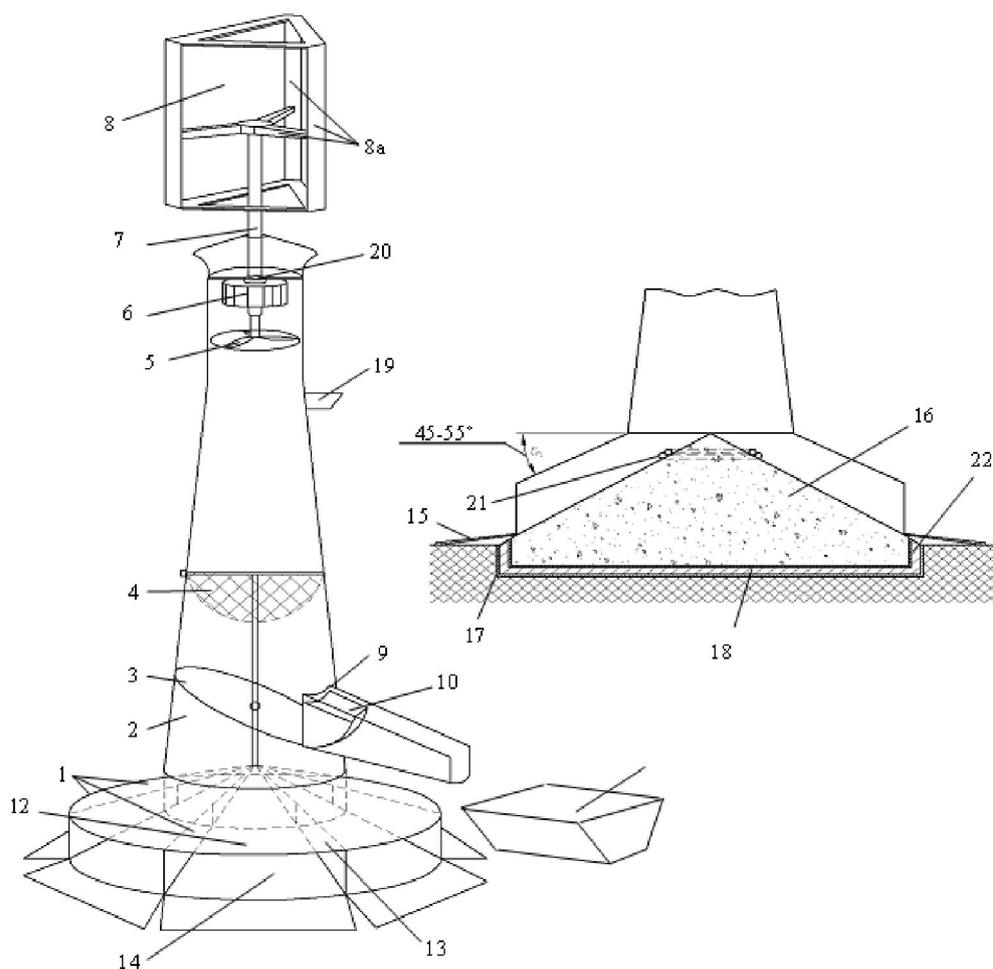


Рис. 1. Установка для сушки сыпучих материалов

В режиме сушки установка работает следующим образом.

Влажный материал через загрузочный бункер 19 подается в коническую башню 2, где размещается на трансформируемой решетке 4. Решетка имеет отверстия для прохождения воздушного потока.

Воздушный восходящий поток формируется, во-первых, за счет естественной тяги, создаваемой перепадом температур на входе и выходе установки; во-вторых, за счет разгона воздушного потока сопловым блоком 1. Круговой сопловой блок выполнен в виде комплекта из 6-16 и более сопрягаемых диффузоров, на входе имеющих прямоугольное сечение, а в месте перехода в коническую башню – треугольное сечение для обеспечения неразрывности потока. Диффузоры кругового соплового блока 1 с откидывающимися крышками диффузоров 15 одновременно являются солнечными коллекторами и служат для нагрева воздушного потока. Верхние сегменты 12 диффузоров выполнены прозрачными для пропускания солнечного света. Боковые 13 и нижние 14 сегменты, откидывающиеся крышки 15 диффузоров, а также поверхность конической башни окрашены черной высокоселективной краской.

Верхний 12 и нижний 14 сегменты расположены под углом 45...55 °С, что является оптимальным для солнечного освещения в средней полосе России.

Откидывающиеся крышки диффузоров 15 в закрытом состоянии препятствуют проходу в сушилку холодного воздуха в ночное время, сохраняя тем самым тепло галечного аккумулятора.

Конструкция башни 2 позволяет дополнительно разогнать воздушный поток, так как тоже имеет форму диффузора. Процесс сушки в “кипящем” слое начинает идти при достижении скорости воздушного потока, равной скорости витания для данного материала. Во время сушки трансформируемая решетка 3 находится в вертикальном положении.

По окончании сушки решетка 4 складывается и материал ссыпается на решетку 3, к концу сушки принимающую наклонное положение по углом 45°. Материал перемещается в псевдооживленном состоянии по решетке 3 к люку 9 и через лоток 10 выгружается в приемный бункер 11. Созданию псевдооживленного слоя материала и, соответственно, интенсификации процесса его выгрузки способствует восходящий поток нагретого воздуха.

Помимо процесса сушки, установка предназначена для выработки электроэнергии за счет использования энергии движущегося потока воздуха и энергии ветра. Для этих целей в верхней части установки размещена турбина 5, получающая вращение от движущегося в башне установки потока воздуха, а также ВЭУ-РВ 8 с вертикальной осью вращения, которая преобразует энергию ветра в электричество. Турбина 5 и ВЭУ-РВ 8 размещены на соосных валах, между ними находится электрогенератор 6 и обгонная муфта 20.

При работе ВЭУ-РВ вращается турбина, создающая дополнительную тягу в башне, интенсифицируя процесс сушки и одновременно генератором вырабатывая электрический ток. При отсутствии ветра генератор переводится в режим двигателя, работая на запасенной энергии в аккумуляторах

(не показаны), тем самым продолжается вытяжка подогретого воздуха из башни. Ветролопасти 8а ВЭУ-РВ 8 в это время не вращаются за счет срабатывания обгонной муфты.

ВЭУ-РВ 8 имеет две или более вертикальные лопасти и три яруса горизонтальных лопастей аэродинамического профиля, создающих при вращении дополнительный крутящий момент и подъемную силу. Подъемная сила снижает нагрузку на подшипник генератора, увеличивая надежность и к.п.д. использования ветра до 0,42.

Вырабатываемая электроэнергия может быть использована для обеспечения работы различных электроприборов, освещения и др., а также для накопления электроэнергии в аккумуляторах. Накопленная электроэнергия используется в пасмурную холодную погоду для нагрева тэнов 21, подогревающих в свою очередь воздух на выходе из кругового соплового блока, когда работа солнечных коллекторов малоэффективна.

Под круговым сопловым блоком 1, имеющим вид диффузоров, имеется дополнительный галечный аккумулятор тепла 16. Он представляет собой слой гальки, изолированный от земли теплоизоляционным материалом 22 и листом фольги 18, отражающим тепловые лучи внутрь галечного аккумулятора. Гидроизоляционный слой 17 фольги 18, обращенный к грунту, препятствует проникновению влаги в галечный аккумулятор 16. Галечный аккумулятор в дневное время позволяет накапливать значительное количество тепла для подогрева воздуха в ночное время при температуре воздуха менее 10 °С.

Следует отметить и высокую экологическую безопасность использования предлагаемой установки в сравнении с прототипами, обусловленную безопасностью используемых и получаемых источников энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. *Процессы и аппараты пищевых производств*. – М. : КолосС, 2006. – 760 с.
2. Антипов С.Т. *Машины и аппараты пищевых производств : В 2-х т. / Антипов С.Т. [и др.]*. – М. : Высшая школа, 2001. – 1384 с.
3. Толмачев В.Н., Орлов А.В., Булат В.А. *Эффективное использование энергии ветра в системах автономного энергообеспечения / Под общ. ред. д.т.н. Орлова А.В.* – СПб. : ВИТУ, 2002. – 203 с.
4. Агафонов А.Н., Сайданов В.О., Гудзь В.Н. *Комбинированные энергоустановки объектов малой энергетики*. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2005.
5. *Автономная энергоэффективная установка для сушки зерна сыпучих материалов. Заявка на изобретение № 2010122992 (932712) от 04.06.2010. Авторы: Терентьев А.Б., Голощанов В.М., Баклин А.А., Мельник Д.А. и др.*

**КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА МОЛОКА И МОЛОЧНЫХ
ПРОДУКТОВ**

- © *А.Б. Терентьев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *Д.А. Мельник, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *А.А. Баклин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *А.Ф. Чамин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

MILK AND DAIRY PRODUCTS COMPLEX PROCESSING

- © *A.B. Terentjev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *D.A. Melnik, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *A.A. Baklin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *A.F. Chamin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена описанию конструкции установки для комплексной обработки молока и молочных продуктов – стерилизации, дезодорации и гомогенизации.

Ключевые слова: молочные продукты, комплексная обработка молочных продуктов, гомогенизатор, завихритель-турбулизатор потока.

The paper describes the construction of an installation for milk and dairy products complex processing that includes sterilization, deodorization and homogenization.

Key words: dairy products, dairy products complex processing, homogenization, flow turbulence stimulator.

Обработка молока и молочных продуктов сопровождается протеканием механических и тепловых процессов. К ним относятся пастеризация, стерилизация, дезодорирование, гомогенизация продуктов и др.

Применяемое в молочной промышленности оборудование для тепловой обработки молока представляет собой, как правило, отдельные аппараты, например пастеризационно-охладительные или стерилизационные установки.

Совершенствование технологического оборудования для стерилизации молока, работающего как по принципу косвенного нагрева, так и в режиме прямой термообработки, является актуальной задачей. Однако нагрев молока до высокой температуры при непосредственном контакте с паром и охлаждение за счет самоиспарения является наиболее прогрессивным способом тепловой обработки молока.

В некоторых пастеризационно-охладительных установках применяют устройства для удаления нежелательных запахов и привкусов – дезодораторы. Дезодораторы бывают с инъекцией острого пара в продукт при атмосферном давлении и вакуумные.

Гомогенизация продуктов осуществляется в гомогенизаторах клапанного типа или роторных гомогенизаторах-пластификаторах. Гомогенизаторы клапанного типа служат для обработки молока и сливок с целью их расшлаивания при хранении. Гомогенизаторы-пластификаторы роторного типа применяются для изменения консистенции таких молочных продуктов, как плавленые сыры и сливочное масло. В обработанном с их помощью сливочном масле водная фаза диспергируется, в результате чего продукт лучше хранится.

Таким образом, перечисленные известные процессы проводятся на различном пищевом оборудовании в различных технологических условиях и с различной эффективностью, при этом обеспечивается проведение только одной технологической операции производства молока.

Недостатками существующего оборудования являются невысокая степень турбулизации потока молочного сырья, а также ограничение процесса проведением только одной технологической операции производства молока. В частности, гомогенизация осуществляется путем организации вихревого приосевого субкавитирующего режима течения в вихревой трубе путем тангенциальной подачи жидкости. Однако тангенциальные завихрители, с помощью которых жидкость вводится в трубу через тангенциальные отверстия, требуют дополнительной установки в трубах осевых завихрителей. Наибольшую крутку непосредственно за собой создают лопаточные завихрители.

Целью исследований является повышение диспергирования продукта за счет усиления процессов турбулизации сырьевого потока, осуществляемых с помощью размещенного в установке аксиально-лопаточного завихрителя, а также обеспечение комплексной механической и тепловой обработки молока за счет размещения в установке парового инжектора и камеры смешения.

Для достижения этой цели предлагается использовать установку для комплексной обработки молока (рис. 1). Установка предназначена для последовательного проведения стадий стерилизации с дезодорированием и гомогенизации.

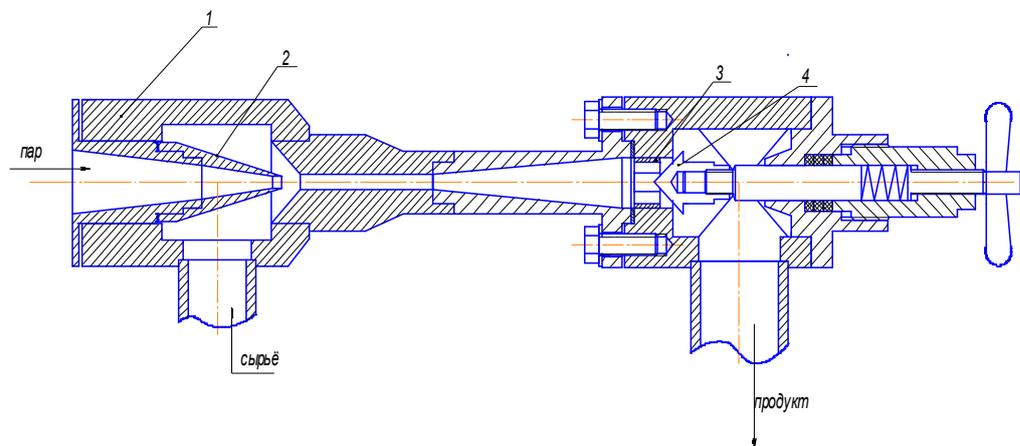


Рис. 1. Установка для комплексной переработки молока:
1 – инжектор, 2 – камера смешения, 3 – сопло Лавалья, 4 – завихритель

Значительных турбулентных пульсаций можно достичь, применяя создание вихревых закрученных потоков. Шарики жира молочных продуктов,

находясь в таком потоке, теряют устойчивость, липидные оболочки разрушаются и шарики делятся.

На рис. 2 представлен аксиально-лопаточный завихритель, который размещается в головке гомогенизатора для усиления турбулентности потока продукта. Закрученный поток в осесимметричных каналах относится к группе пространственных течений в поле центробежных массовых сил. Он характеризуется отношением двух составляющих (осевой и вращательной) скоростей, наличием поперечного и продольного градиентов давления, значительными турбулентными пульсациями.



Рис. 2. Аксиально-лопаточный завихритель

Установка состоит (рис. 1) из парового инжектора 1, камеры смешения 2, сопла Лавала 3, аксиально-лопаточного завихрителя 4 и гомогенизирующей головки.

При работе установки сырье под давлением попадает в камеру смешения 2, где молоко смешивается с поступающим из парового инжектора 1 потоком очищенного водяного пара. В данной части установки протекают процессы стерилизации молока совместно с его дезодорированием. Далее с помощью аксиально-лопаточного завихрителя 4 происходит турбулизация и диспергирование молочного продукта. Конечной стадией гомогенизации является истечение продукта через регулируемый зазор гомогенизирующей головки.

Таким образом, применение установки для комплексной обработки молока существенно повышает гомогенизацию продукта за счет усиления его диспергирования при прохождении через аксиально-лопаточный завихритель, при этом в установке с помощью парового инжектора, камеры смешения и гомогенизирующей головки последовательно проводятся стадии стерилизации, дезодорирования и гомогенизации продукта. Установка может быть применена в любой другой отрасли, решающей аналогичные задачи.

Изготовление установки не требует разработки новых материалов или новых технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов С.Т., Кретов И.Т., Остриков А.Н. *Машины и аппараты пищевых производств.* – М. : Высшая школа, 2001. – 680 с.
2. Терентьев А.Б. *Установка для комплексной обработки молока / Терентьев А.Б. [и др.]. Патент RU 2421983 29.12.2008 г.*

АВТОМАТИЗАЦИЯ И МЕХАНОТРОНИКА

УДК 519.7

МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ПЛАТФОРМА КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© *Д.И. Прошин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

MULTI-COMPONENT INDUSTRIAL PLATFORM AS A BASIS FOR CREATING INTEGRATED RESEARCH COMPLEX

© *D.I. Proshin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена описанию многокомпонентной платформы и программного обеспечения для создания комплекса сетевых автоматизированных лабораторий по автоматизации производственных процессов и производств.

Ключевые слова: программная платформа и обеспечение сетевых лабораторий, управление, мониторинг, контроль.

The article considers multi-component platform and software for creating a set of network laboratories for automation of manufacturing processes.

Key words: software platform and support of network laboratories, administration, monitoring, control.

E-mail: proshin ivan@inbox.ru

Основное требование, предъявляемое к программному обеспечению (ПО) интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий (ИКСАЛ) [1] – это универсальность, расширяемость и открытость (возможность гибкой интеграции с элементами комплекса любых сторонних средств). При этом надо учитывать, что программное обеспечение ИКСАЛ само по себе является объектом исследования лаборатории и его структура должна полностью определяться составом и структурой программного обеспечения, существующего и функционирующего на реальных предприятиях с расширенными возможностями по исследованию самого ПО.

Рассмотрим, в качестве примера, ИКСАЛ для обеспечения дисциплин специальности “Автоматизация технологических процессов и производств”. В основу архитектуры программного обеспечения комплекса положена типовая структура ИАСУП современного предприятия (рис. 1).

Учитывая специальность, особое внимание уделено подсистемам уровня SCADA и MES, а также инструментам, обеспечивающим передачу и преобразование информации для обмена с верхним уровнем – ERP.



Рис. 1. Пирамида типовых подсистем ИАСУП

Весь комплекс программных средств должен быть представлен в ИКСАЛ с точки зрения выполнения определённых функциональных задач лаборатории и как объект исследования. Исходя из этого, можно определить следующую архитектуру программной платформы для построения ИКСАЛ (рис. 2).



Рис. 2. Структура программной платформы ИКСАЛ

Многофункциональные объекты исследования. Нижний уровень системы представлен множеством многофункциональных объектов (МФО) исследования двух типов: первый тип – интеллектуальные, имеющие цифровые интерфейсы на выходе, функционально-законченные приборы и устройства; второй тип – подключаемые к контроллеру датчики и исполнительные механизмы.

Выбор конкретной реализации МФО зависит, в основном, от скорости протекания изучаемых процессов. Если первый тип МФО позволяет интегрировать в систему высокоскоростные процессы (скорость протекания которых измеряется микросекундами), то второй тип предназначен для обработки и ввода достаточно медленно меняющихся сигналов (100-250 миллисекунд). Например, реализация МФО “Синхронный генератор – распределённая сеть” относится к первому типу, в то время как МФО “Интегрированный комплекс технологических процессов” – ко второму.

Если рассматривать реальные промышленные АСУ, то в них мы также можем обнаружить эти два типа подсистем. Так, в электроэнергетике измерители показателей качества электрических сигналов, цифровые электросчётчики, комплексы РЗА и ПА на электрических подстанциях реализуются в виде подсистем первого типа, в то время как автоматизированные системы управления температурой, уровнем, концентрацией, давлением и т.д. на объектах генерации электрической энергии реализуются как второй тип.

Система реального времени контроллера (СРВК) предназначена для управления контроллером и обеспечивает поддержку функциональности распределённых систем управления (DCS): Поддержка внутреннего отказоустойчивого протокола обмена со SCADA-системой; децентрализованная обработка данных. Данные могут обрабатываться на нескольких уровнях системы: в контроллере, в SCADA-сервере, на станциях оператора; Исполнение пользовательских программ, разработанных в интегрированных средах разработки (ИСП) на языках стандарта IEC61131-3; Поддержка алгоритмов регулирования, в том числе реализованных в виде плат расширения контроллера; Ведение оперативной базы данных технологических параметров; Регистрация аварийных ситуаций; Визуализация данных на контроллере; Резервирование контроллеров, отдельных модулей и сети; Горячая загрузка и удалённая отладка пользовательских программ на контроллере; Диагностика и автоматический перезапуск и т.д.

Разработка конкретных технологических программ, а также определение базы данных технологических переменных осуществляются с помощью специализированных интегрированных сред разработки. За загрузку этих данных в контроллер отвечает “станция инжиниринга” – отдельно выделенный АРМ. Эти инструменты, как правило, входят в состав SCADA-систем, поддерживающих построение DCS. Для их изучения в ИКСАЛ используются промышленные имитаторы СРВК.

Уровень мониторинга, контроля и управления МФО в ИКСАЛ. Обмен данными с подсистемами следующего уровня (SCADA-серверами) также определяется существующими общепринятыми стандартами и про-

МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ПЛАТФОРМА...

токолами обмена Modbus, МЭК, OPC и др. Особое место среди них занимает стандарт OPC. Вот какое определение OPC приводится на сайте одного из российских производителей OPC-серверов www.opcserver.ru :

“OPC – набор повсеместно принятых спецификаций, предоставляющих универсальный механизм обмена данными в системах контроля и управления. OPC технология обеспечивает независимость потребителей от наличия или отсутствия драйверов или протоколов конкретных устройств, что позволяет выбирать оборудование и программное обеспечение, наиболее полно отвечающее реальным потребностям бизнеса”.

Спецификация OPC построена на основе клиент-серверного взаимодействия OPC клиента и OPC-сервера (см. рис. 3). Для отдельных МФО реализуются отдельные OPC-серверы, а SCADA и другие подсистемы ИКСАЛ содержат встроенного OPC-клиента для интеграции этих МФО в систему. Такой подход позволяет практически неограниченно расширять количество МФО в системе и обеспечивает доступность данных на любом уровне.

До 2009 года аббревиатура OPC раскрывалась как технология OLE для процессов управления (OLE for Process Control), однако последняя спецификация OPC UA изменила это положение. Из спецификации убраны ограничения, налагаемые ранее на применение технологии обмена данными (OLE), и теперь стандарт определяет только интерфейсы обмена, а с сайта организации OPC Foundation удалена расшифровка аббревиатуры OPC. На сегодняшний день стандарт OPC является наиболее широко применяемым для обмена данными в АСУТП самой различной природы.

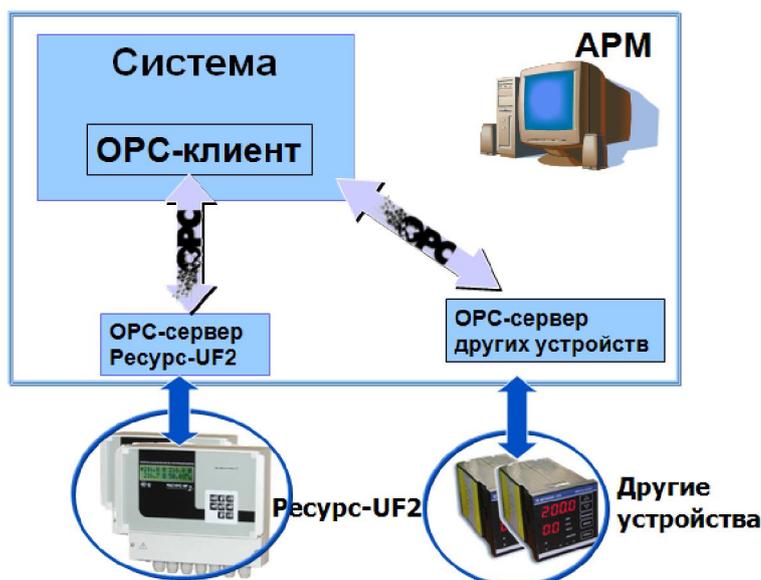


Рис. 3. Использование OPC-технологий

В качестве основных программных интерфейсов МФО в ИКСАЛ приняты несколько основных типов OPC спецификаций: OPC DA – для обмена оперативными данными. OPC-клиент запрашивает у сервера одновремен-

но одно значение параметра (тэг); OPC HDA – для обмена историческими данными. OPC-клиент запрашивает у сервера историю изменения параметра за заданное время; OPC A&E – для обмена событиями и тревогами двух разных подсистем; OPC UA – универсальный OPC; обмен историей, текущими значениями, событиями и тревогами.

Гибкость клиент-серверной технологии OPC позволяет использовать источники данных (МФО) для построения учебных SCADA-систем в любом месте локальной сети учебного заведения. Кроме того, имеется масса имитаторов OPC, которые позволят по максимуму разделить процессы сбора и обработки информации с реальных устройств и процессы изучения OPC как средства взаимодействий различных подсистем.

Помимо открытых интерфейсов и технологий взаимодействия, в ИКСАЛ реализуются глубоко интегрированные закрытые протоколы обмена SCADA-серверов и СРВК. Наличие этих протоколов определяет основу построения распределённых (DCS) систем и обеспечивает единую интегрированную среду для разработки распределённых SCADA проектов.

SCADA-система в ИКСАЛ – это многофункциональная открытая среда для построения учебных систем мониторинга, контроля и управления; среда для создания технологических программ и алгоритмов управления для различных уровней системы (контроллер, SCADA-сервер, станция оператора); инструмент для создания многопользовательских локальных и распределённых HMI интерфейсов различных лабораторных работ; средство обработки и анализа данных с источников МФО и с эмуляторов; реальная АСУ ТП, работающая в лабораторных условиях; основа для исследования различных архитектур АСУ ТП от распределённой до локальной; средство протоколирования и разграничения доступа к МФО; среда для создания гибкой системы отчётности; фундамент для построения подсистем ИКСАЛ верхнего MES-уровня.

Каждый проект, разработанный в SCADA для ИКСАЛ, должен определять атомарность доступа к различным операциям МФО и контролировать очередность их исполнения. Все функции визуализации и обработки информации доступны из internet- и intranet-сетей, что позволяет осуществить поддержку концепции дистанционного обучения.

PIMS (Plant Information Management System) в составе ИКСАЛ. Следующий уровень платформы для построения ИКСАЛ представлен программными продуктами класса PIMS. Основное назначение этих продуктов – это сбор, очистка и консолидация данных из различных источников (SCADA-систем, OPC, XML, реляционных баз данных) в высокоуровневые СУБД.

Одна из основных проблем, решаемых на этом уровне – это преобразование быстроменяющейся информации от технологических источников, хранящейся в специализированных базах данных реального времени, в “медленный” реляционный формат, доступный приложениям уровня MES и ERP.

Типовая архитектура приложений данного уровня представлена на рис. 4. Данные с различных источников через специализированные компоненты связи поступают последовательно вначале на вычислительные модули MDM подсистемы, где проходят предварительную очистку и восстано-

МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ПЛАТФОРМА...

ние (валидацию и достоверизацию), а затем поступают на компоненты обработки – агрегирования данных, превращаясь из текущих значений параметров в усреднённые показатели различных временных срезов. Далее эти значения сохраняются в универсальном открытом формате в высокоуровневых СУБД с возможностью их забора обычными SQL-запросами.

Основные функции, выполняемые подсистемами PIMS в ИКСАЛ: сбор, очистка и консолидация технологических данных из широкого спектра источников (OPC, РБД, XML, SCADA); обеспечение доступа удалённых клиентских приложений к данным системы (MS SQL, Oracle, ODBC, OLE DB); преобразование данных из разнородных источников в единый открытый формат; сохранение архивных и оперативных данных в различных временных срезах; поддержка именованных тегов по стандартам AKS, KKS; удалённое internet- и intranet-конфигурирование; возможность одновременного конфигурирования в единой среде нескольких проектов и нескольких серверов.

Интеграция подсистемы PIMS в ИКСАЛ направлена на решение сразу нескольких задач: обеспечение одновременного доступа к технологическим данным системы всем участникам процесса обучения в любом месте сети без дополнительной нагрузки на оборудование МФО и SCADA-сервер; разделение одних и тех же данных от технологических объектов по произвольным временным срезам с целью предоставить возможность одновременной обработки различных массивов данных и получения единых результатов; создание интуитивно понятной системы именования тегов верхнего уровня; создание информационной платформы для построения расчётных, информационных и аналитических подсистем верхнего уровня.

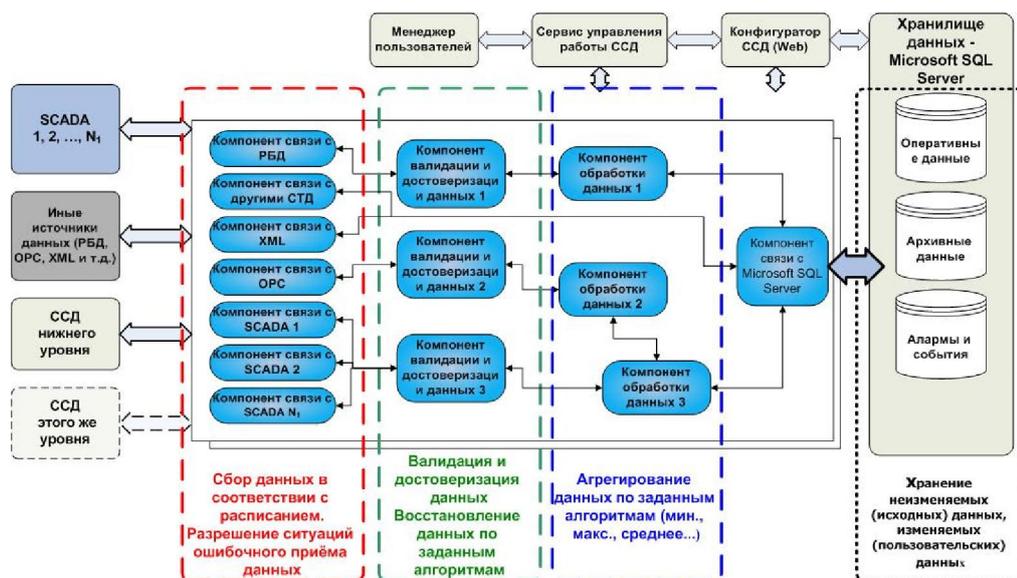


Рис. 4. Архитектура PIMS в ИКСАЛ

Как объекты исследования все подсистемы PIMS представляют большой интерес. Удалённая настройка и гибкое конфигурирование позволяют строить неограниченное число учебных проектов консолидации данных,

не затрагивая функционирование основного проекта на сервере. Различные СУБД для сохранения данных (SQL-сервер, Oracle и т.д.) также являются предметом изучения, поскольку навыки администрирования и настройки этих инструментов на 100 % востребованы в IT-службах практически любого предприятия. ИКСАЛ позволяет на практике оценить полезность и удобство использования данных средств.

Уровень приложений в ИКСАЛ. Верхний уровень ИКСАЛ представлен набором средств построения учебных подсистем диспетчеризации, анализа, отчётности и прогнозирования. На данном уровне рассчитываются основные показатели эффективности работы оборудования, проводится обработка и детальный анализ данных, поддерживаются возможности проведения большого спектра научных и учебных исследований.

Использование аналитических платформ на данном уровне предоставляет уникальные возможности по изучению и исследованию поведения потоковых аналитических алгоритмов для решения сложных задач прогнозирования, поиска закономерностей, построения математических моделей, в том числе нейронных сетей, сетей Кохрена и других задач, решаемых в рамках современных технологий KDD и DataMining.

Подсистемы диспетчеризации в ИКСАЛ реализуются на основе промышленных SCADA/HMI-систем, которые интегрируются на уровне данных с PIMS подсистемами. Обладая клиент-серверной архитектурой, эти подсистемы позволяют строить удалённые АРМ обобщённого мониторинга и контроля процессов и показателей МФО. На этих же средствах реализуется большинство расчетных задач, таких как расчёт энергоэффективности и энергобаланса отдельных МФО, поскольку богатые графические и вычислительные возможности полностью удовлетворяют этим целям.

Выводы. Использование рассмотренной в статье программной платформы для построения ИКСАЛ позволяет добиться максимальной надёжности, гибкости, открытости, масштабируемости и расширяемости комплекса. Различные МФО могут включаться в ИКСАЛ с минимальными затратами и минимальным влиянием на уже функционирующие объекты. Поддержка клиент-серверного взаимодействия на всех уровнях системы обеспечивает возможности доступа и управления данными и объектами ИКСАЛ с любой рабочей станции в сети, при этом все элементы комплекса могут быть разнесены территориально. Максимальная приближённость архитектуры ИКСАЛ к реально-действующим системам на предприятиях даёт уникальные возможности по исследованию различных характеристик процессов сбора, обработки и передачи информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Концепция интегрированных комплексов сетевых автоматизированных лабораторий с использованием виртуально-физической среды / Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – Курск. 2008. № 12. с. 33 – 37.

УДК 519.7

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО
КОМПЛЕКСА СЕТЕВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ЛАБОРАТОРИЙ**

© *Р.Д. Прошина, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**TECHNICAL SUPPORT OF INTEGRATED ASSEMBLY OF NETWORK
COMPUTERISED LABORATORIES**

© *R.D. Proshina, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена вопросам технического обеспечения комплекса сетевых автоматизированных лабораторий по автоматизации производственных процессов и производств.

Ключевые слова: автоматизация технологических процессов и производств, комплекс сетевых автоматизированных лабораторий, техническое обеспечение комплекса.

The paper discusses technical support of a complex of network laboratories for manufacturing processes automation.

Key words: manufacturing processes automation, complex of network laboratories, technical support of complex.

E-mail: proshin ivan @ inbox.ru

Интегрированный комплекс сетевых автоматизированных лабораторий (ИКСАЛ) в соответствии с предлагаемой концепцией представляет собой совокупность аппаратных и программных средств [1]. В состав аппаратных средств ИКСАЛ входят комплекс многофункциональных установок, предназначенный для исследования работы конкретных физических объектов, и персональные вычислительные электронные машины (ПЭВМ), объединенные в единую информационную сеть, управляющий сервер, сервер базы данных.

Нижний уровень (нулевой) интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий объединяет систему объектов исследования, исполнительных механизмов, датчиков и контроллеров в единую сеть. Конструктивно сетевой комплекс расширенных объектов исследования (КРОИ) представляет собой стойку с ячейками, в которых размещаются многофункциональные объекты исследований и которые через микропроцессорные системы управления и контроллеры связаны с сетью компьютеров. Это позволяет использовать информацию о состоянии любого объекта и управлять любым объектом КРОИ с любого рабочего места. В разработанном на кафедре "Автоматизация и управление" Пензенской государственной технологической академии ИКСАЛ в одной лаборатории размещается 30 рабочих мест.

Применительно к специальности "Автоматизация технологических процессов и производств" (Энергетика) разработанный комплекс на нижнем уровне управления объединяет три многофункциональных объекта (рис. 1):

- синхронный генератор – распределённая сеть (СГРС),
- интегрированный комплекс технологических процессов “ИКТП”,
- интегрированный электромеханический комплекс “ИЭМК”.

На рис. 1 приведена структура многофункциональных объектов, ориентированных на профессиональную подготовку по специальности 220301 и блок, объединяющий все дисциплины специальности, при изучении которых применяется каждый объект исследования. Контроллер и в целом автоматизированная система управления (АСУ, АСУТП, АСУП) являются одновременно и средствами проведения исследований и объектами исследования.

Многофункциональный объект “Синхронный генератор – распределённая электрическая сеть”. Многофункциональный объект исследования СГРС представляет собой программно-технический комплекс, направленный на автоматизацию научных исследований и профессиональной подготовки. В его состав входят четыре управляемых от сети компьютеров модуля: модуль управления (МУ), модуль трансформаторов и магнитных пускателей (ТМП-1), тиристорный коммутатор трёхфазных нагрузок (ТКН-3), тиристорный коммутатор однофазных нагрузок (ТКН-1).

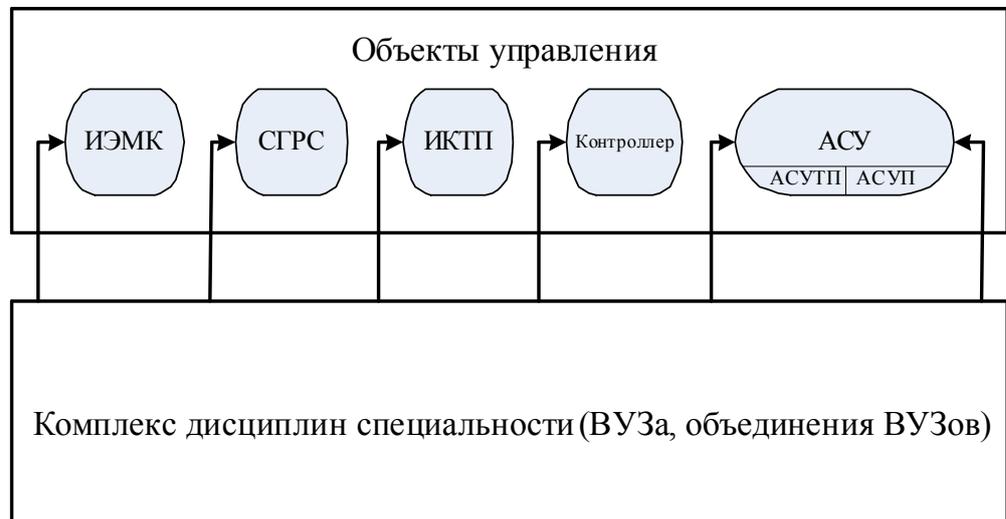


Рис. 1. Структура объектов исследования по специальности “Автоматизация технологических процессов и производств” (Энергетика)

Система СГРС – составная часть ИКСАЛ, предназначена для исследования работы синхронного генератора (СГ) и систем на его основе и позволяет:

- менять режимы управления СГ, типы и конфигурацию его нагрузок;
- осуществлять непрерывный мониторинг параметров выходных цепей синхронного генератора;
- производить непрерывную передачу результатов измерений выходных параметров СГ на ПЭВМ.

Конструктивно управление системой выполнено в четырех узлах (блоках), объединенных по своему функциональному значению. Система управления СГРС обеспечивает управление с панели модуля управления (МУ) и с ПЭВМ. Режимы управления синхронным генератором включают управление в разомкнутой и замкнутой системе управления с заданием законов управления.

Модуль управления. Модуль управления (рис. 2) обеспечивает управление обмоткой возбуждения синхронного генератора (ОВСГ) при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ), а также магнитными пускателями и тиристорами модулей ТМП-1, ТКН-1, ТКН-3.



Рис. 2. Модуль управления

Напряжение на ОВСГ зависит от задаваемого тока. Поддержание заданного уровня выходного напряжения СГ обеспечивается посредством формирования воздействия на ОВСГ по закону ПИД-регулирования. Значения коэффициентов регулятора заносятся в память с панели управления (ПУ) модуля управления или с ПЭВМ. Значение тока в ОВСГ задается пользователем с панели МУ или с ПЭВМ. Результаты измерения напряжения и тока в цепи ОВСГ и напряжений и токов фаз А, В и С генератора отображаются на индикаторе МУ.

Обработка результатов измерений и непрерывная их передача на ПЭВМ обеспечивается по изолированному интерфейсу RS-485. Модуль управления формирует два массива данных, каждый из которых включает в себя результаты измерений напряжения и тока каждой фазы СГ за десять периодов сети по сорок измерений на период, а также результаты измерений тока и напряжения на ОВСГ. Двухсторонний обмен организован в полудуплексном режиме.

Модуль трансформаторов и магнитных пускателей. Модуль трансформаторов и магнитных пускателей (ТМП – 1), представленный на рис. 3, обеспечивает подключение к выходным цепям синхронного генератора (СГ) по командам с модуля управления нагрузок, а также непрерывное измерение параметров напряжений и токов фаз СГ с последующей передачей информации для дальнейшей обработки на измерительные входы МУ.

В состав модуля входят плата измерительная и магнитные пускатели МП1...МП4. Плата измерительная содержит трансформаторы напряжения и трансформаторы тока, вторичные обмотки которых при помощи кабеля подключаются на измерительные входы МУ.



Рис. 3. Внешний вид ТМП-1

Тиристорный коммутатор нагрузок переменного тока ТКН-3. Коммутатор нагрузок переменного тока ТКН-3 предназначен для переключения трёхфазного напряжения 220 вольт на одну из пяти трёхфазных нагрузок распределенной сети. Внутри модуля (рис. 4) расположены пять трёхфазных твердотельных тиристорных переключателей с оптическими управляющими входами, которые закреплены на теплоотводящей алюминиевой пластине.



Рис.4 . Внешний вид ТКН-3

Тиристорный коммутатор нагрузок ТКН-1. Коммутатор нагрузок переменного тока ТКН-1 (рис. 5) предназначен для переключения однофазного напряжения 220 вольт на одну из пятнадцати однофазных нагрузок распределенной сети. Нагрузочная способность каждого из выходов не более 6 ампер.

Внутри модуля расположены пятнадцать однофазных твердотельных тиристорных переключателей с оптическими управляющими входами, которые закреплены на теплоотводящей алюминиевой подложке. На передней стенке находится разъем “ВХОД~220В,1Ф” для подключения однофазного переменного напряжения, а на задней – разъемы “УПР РС” для управления твердотельными реле и “НАГРУЗКА 1...НАГРУЗКА 15” для подключения нагрузок РС.



Рис. 5. Внешний вид ТКН-1

На базе системы СГРС в ИКСАЛ обеспечивается проведение множества исследований по всему комплексу дисциплин специальности, среди которых можно выделить: “Введение в специальность”, “Основы инженерного творчества”, “Информатика”, “Физика”, “Электротехника”, “Электроника”, “Математические основы управления”, “Управляемые вентильно-электромеханические системы”, “Теория автоматического управления”, “Моделирование систем”, “Технические средства автоматизации”, “Переходные процессы в электрических системах”, “Автоматизация оперативных процессов в энергосистемах”, “Автоматизированные системы учёта энергии и мощности в энергосистемах”, “Технические измерения и приборы”, “Электрические сети”, “Энергетические установки электрических станций”, “Электрическая часть станций и подстанций”, “Автоматическое регулирование электрических систем”, “Оптимальное управление” и множество других.

Основная экранная форма при исследовании СГРС включает в себя схему базового модуля объекта, управляющие органы, средства графического и цифрового представления информации и др. (рис. 6).

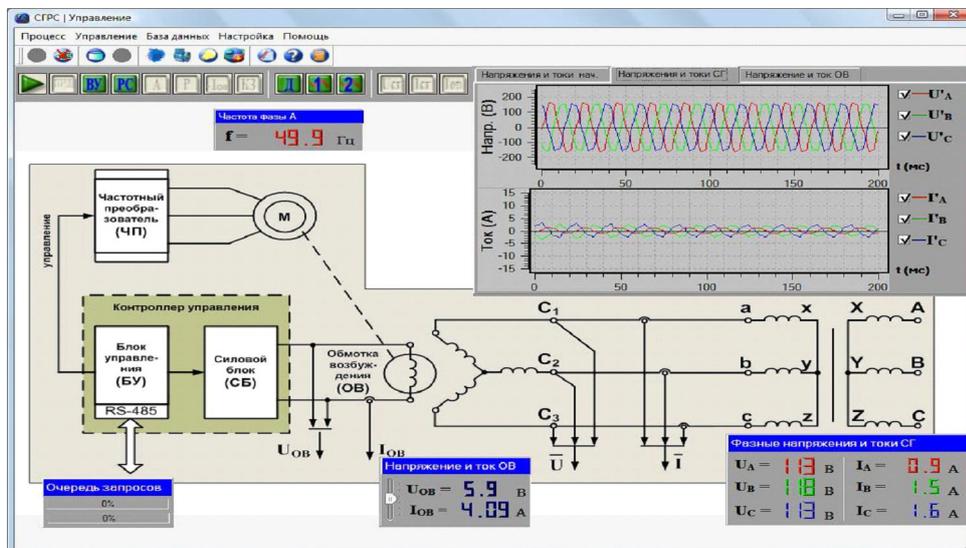


Рис. 6. Основная экранная форма объекта СГРС

Управление режимами многофункционального объекта СГРС включает в себя перевод системы для исследования характеристик генератора (холостого хода, короткого замыкания, регулировочной, внешней и др.), организацию исследований разомкнутой и замкнутой систем управления, оценки показателей качества электрической энергии и системы управления, управление частотным электроприводом, нагрузками и др. Взаимосвязь силовой части МФОИ осуществляется через канал RS-485.

Блок управления (БУ) может находиться в одном из двух рабочих режимов: “Дистанционный” или “Местный”. В режиме “Местный” управление БУ осуществляется с панели управления (ПУ) БУ. ПЭВМ может только запрашивать данные, то есть работать в режиме монитора. В режиме “Дистанционный” управление системой СГРС передается ПЭВМ, которая может запрашивать данные, вводить параметры в память контроллера БУ, управлять подключенным к БУ оборудованием (рис. 7).

В режиме управления системой от ПЭВМ любое изменение данных, находящихся в регистрах, доступных для записи, воспринимается системой СГРС как “Событие”, приводящее к изменению выходных параметров системы. Например, изменение выходного напряжения синхронного генератора (СГ), тока в обмотке возбуждения синхронного генератора (ОВСГ), параметров ПИД-регулятора, подключение нагрузки распределенной сети (РС) и т.п.

При возникновении события для фиксации процесса изменения выходных параметров системы формируются два массива данных. Первый массив данных (буфер 1) содержит значения выходных параметров системы до начала события за определенный период времени. Второй массив данных (буфер 2) содержит значения выходных параметров системы с момента начала события за определенный период времени.

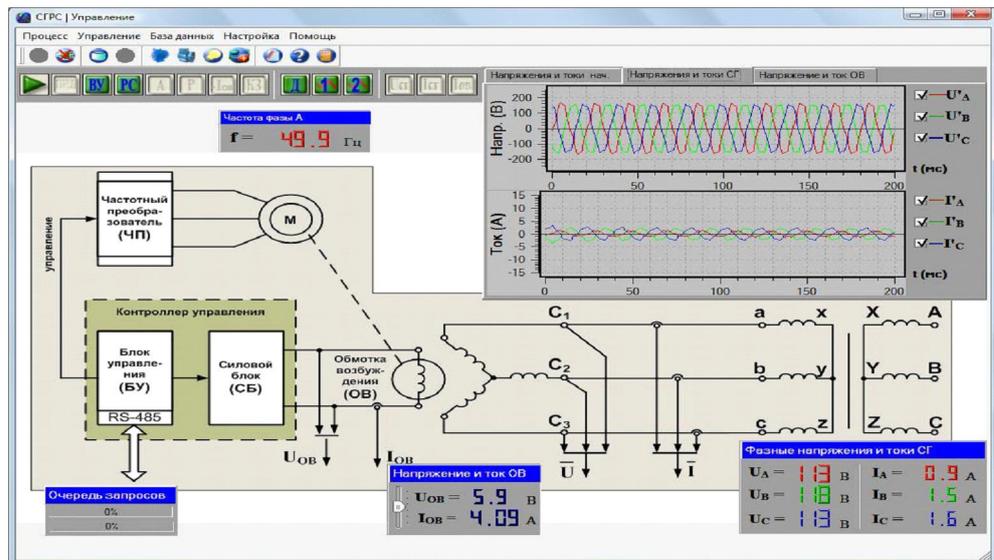


Рис. 7. Управление регуляторами и нагрузками от ПЭВМ

Содержимое буфера 1 и буфера 2 представляет собой следующие данные: мгновенные значения напряжений в фазах А, В, С (2 байта на фазу); мгновенные значения токов в фазах А, В, С (2 байта на фазу); мгновенные значения напряжения и тока в ОВСГ (по 2 байта).

Частота дискретизации – 2 КГц, то есть 40 точек на период сигнала. Всего в одном буфере накапливаются мгновенные значения напряжений и токов за 10 периодов сигналов. Протокол взаимодействия СГРС и ПЭВМ основан на стандарте MODBUS. Режим работы MODBUS – RTU. Скорость передачи данных – 9600 бит/сек. Взаимодействие между ПЭВМ и СГРС организуется по принципу master/slave (ПЭВМ – master, СГРС – slave). Данные по каналу RS-485 передаются 10-битными посылками, состоящими из стартового бита, 8 битов данных, стопового бита. Бит чётности не используется.

При взаимодействии ПЭВМ и СГРС выполняется запись/чтение 16-разрядных регистров СГРС, которые определяют режим работы СГРС и состояние устройства. Данные передаются в целочисленном формате (WORD – 2 байта) или формате с плавающей точкой (FLOAT – 4 байта). Каждому передаваемому четырёхбайтному значению соответствуют 2 регистра. Старший байт следует первым.

Разработанная система многофункциональных объектов исследования с учётом построения ИКСАЛ на базе интеграционного сервера, интегрирующего все подсистемы ИКСАЛ в единую систему, обеспечивает проведение исследований по всем дисциплинам специальности с использованием единых физических и математических моделей на базе концепции профессиональной подготовки по вектору знаний [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Концепция построения интегрированных комплексов сетевых автоматизированных лабораторий // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* – 2009. – № 2. – С. 82 – 87.
2. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Концепция профессиональной подготовки по вектору знаний // *Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов.* – Курск, 2009. – № 2. – С. 66 – 70.

УДК 62-1

МНОГОПОЗИЦИОННЫЙ МЕХАТРОННЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ СЫПУЧИХ И ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

© В.А. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

© Д.А. Мартяшина, Пензенская государственная технологическая
академия (г. Пенза, Россия)

MULTI-POSITION MECHATRONIC DISTRIBUTOR FOR BULK AND FIBROUS MATERIALS

© V.A. Avrorov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

© D.A. Martjashina, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

Статья посвящена описанию новой конструкции многопозиционного мехатронного распределительного устройства сыпучих и волокнистых материалов по накопительным емкостям технологического оборудования химических, пищевых и текстильных производств.

Ключевые слова: многопозиционный распределитель, мальтийский крест, накопительная емкость, продуктопроводы.

The paper deals with the description of the design of multi-position mechatronic device that distributes bulk and fibrous materials in material buffers of equipment for chemical, food and textile production.

Key words: multi-position distributor, maltese cross, material buffer, product pipeline.

E-mail: v_avrorov@bk.ru

Для заполнения накопительных емкостей сыпучими или волокнистыми материалами на комбикормовых и мукомольных предприятиях, приготовительных производствах текстильных предприятий, химических производствах, в стройиндустрии широко используется пневмотранспорт, состоящий из побудителей тяги, продуктопроводов и ряда распределяющих устройств (рис. 1) [1].

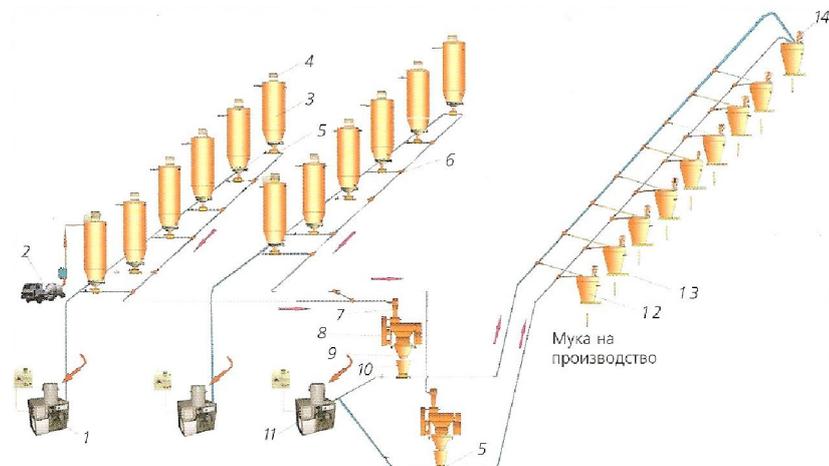


Рис. 1. Пневмосистема заполнения и распределения сыпучих материалов по накопительным емкостям

МНОГОПОЗИЦИОННЫЙ МЕХАТРОННЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ...

Транспортирование сыпучих материалов осуществляется сжатым воздухом, получаемым, как правило, на центральной компрессорной станции или с помощью специальных устройств (рис. 2).



Рис. 2. Побудитель тяги

В качестве распределяющих механизмов воздушно-материальных потоков используются преимущественно двухпозиционные распределители, работающие по принципу “включено-выключено”. К недостаткам известных систем пневмотранспортирования и распределения сыпучих материалов по накопительным емкостям можно отнести громоздкую систему управления, обусловленную большим количеством распределяющих механизмов.

Использование одного многопозиционного распределяющего устройства вместо ряда двухпозиционных распределителей у каждой емкости может явиться более перспективным и технически рациональным конструктивно-технологическим решением.

В Пензенской государственной технологической академии на базе запатентованного устройства [1] выполнена инновационная разработка по созданию новой конструкции многопозиционного мехатронного устройства для распределения сыпучих материалов по накопительным емкостям. В предлагаемом устройстве в качестве исполнительного органа используется мальтийский механизм (рис. 3). Со всеми накопительными емкостями имеется информационная связь, обеспечивающая срабатывание механизма в зависимости от запроса той или иной емкости. Устройство может также работать по обтекающей системе пополнения емкостей сыпучим материалом.

Принцип работы данной инновации заключается в следующем: сыпучий материал от побудителя тяги перемещается в центральном продуктопроводе, который транспортирует его к патрубку верхнего диска мальтийского механизма. По запросу конкретной емкости (от датчика уровня) включается привод кривошипа мальтийского механизма, и контроллер отслеживает число позиций, останавливая привод и, соответственно, центральный продуктопровод точно против продуктопровода, соединяющего нижний диск и емкость, проскакивая при этом остальные отверстия нижнего диска, соединенные продуктопроводами с другими емкостями.

При работе по обегаяющей системе обслуживания центральный продуктопровод останавливается в каждой позиции, равной числу пазов мальтийского механизма.

Конструктивное исполнение многопозиционного распределителя по числу обслуживаемых позиций (накопительных емкостей) может составлять от 2 до 12 и более.

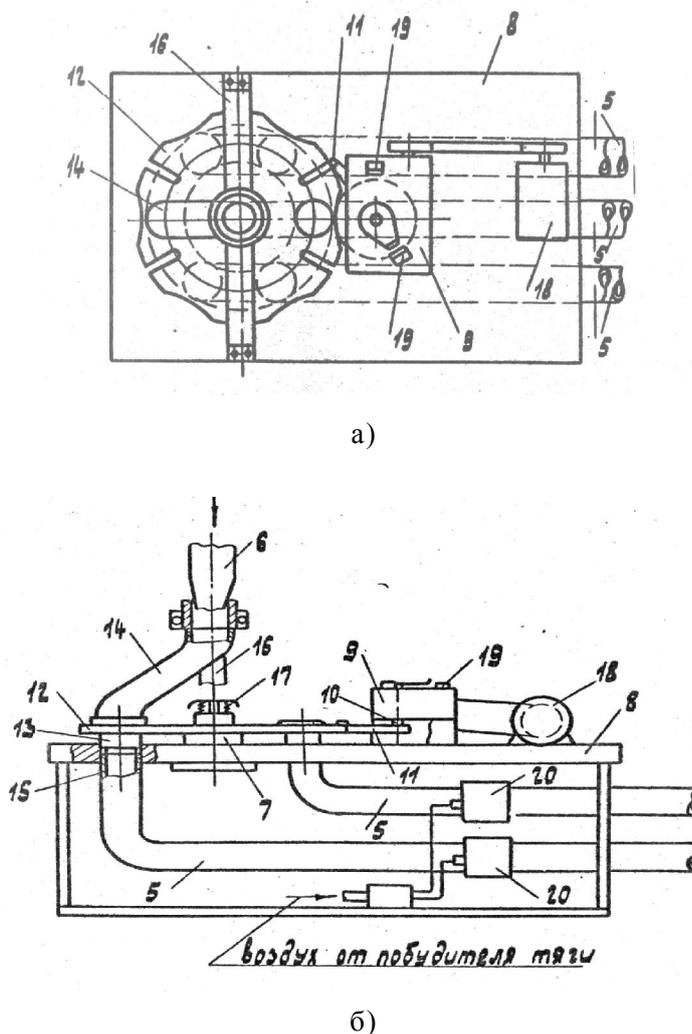


Рис. 3. Конструктивная схема многопозиционного распределителя сыпучих материалов:

5 – продуктопроводы накопительных емкостей, 6 – центральный продуктопровод, 7 – ось, 8 – основание, 9 – редуктор, 10 – выходной вал редуктора, 11 – кривошип, 12 – мальтийский крест, 13 – кольцо, 14 – патрубок, 15 – соединительные патрубки, 16 – кронштейн, 17 – регулировочная гайка, 18 – электродвигатель, 19 – датчик положения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авроров В.А. Устройство для питания волокном прядильных мест. Авт. св. СССР № 1796698, 1990.

УДК 62-1; 641.518; 664

**КОМПОНОВКА АВТОМАТА ДЛЯ ФОРМОВКИ И УПАКОВКИ
ПЛАСТИЧНЫХ И ВЯЗКОУПРУГИХ ПИЩЕВЫХ МАСС**

© *В.С. Николаев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

© *А.В. Зайцев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**COMPONENTS OF AN AUTOMATIC MACHINE FOR PLASTIC AND
VISCO-ELASTIC FOODSTUFF SHAPING AND PACKING**

© *V.S. Nikolaev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *A.V. Zaytsev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена описанию конструкции автомата для фасовки и упаковки сливочного масла, спрэдов, дрожжей и других вязкоупругих пищевых продуктов.

Ключевые слова: схема упаковки, структура автомата.

The article considers the design of automatic machine for shaping and packing such foodstuff as butter, spread, yeast and others.

Key words: packing scheme, automatic machine design.

E-mail: cygnus61@yandex.ru

Известные конструкции фасовочно-упаковочного оборудования пластичных пищевых материалов в отдельные пачки представляют собой высокопроизводительное оборудование с программным управлением, довольно сложное по устройству и требующее высококвалифицированных специалистов для его наладки и технического обслуживания [1]. Это оборудование в основном предназначено для крупных специализированных предприятий, таких как крупные молокозаводы, мясокомбинаты и др. Применение такого оборудования в условиях небольших по мощности предприятий экономически не целесообразно из-за его чрезмерной стоимости, небольшого коэффициента технического использования и отсутствия специалистов для обслуживания и наладки.

Новое решение ориентировано на небольшие перерабатывающие предприятия и представляет собой относительно простой по устройству автомат, выполняющий все операции преобразования бесформенных пищевых пластичных сред в отформованные, дозированные и упакованные брикеты. Исполнительные органы предлагаемого агрегата разработаны на базе проверенных надежных механизмов и известных в теории механизмов и машин технических решений, дающих в сочетании новые технико-экономические преимущества, в частности высокую надежность функционирования автомата из-за жесткой цикловой связи механизмов, простоты наладки и технического обслуживания каждого по отдельности механизма, не требующего высокой квалификации. Выпуск данного автомата доступен любому машиностроительному предприятию региона.

Задача повышения качества упаковки консистентных пищевых масс в настоящее время является актуальной с позиций не только гигиенических требований, но и сохранности продукта, его эстетического вида, влияющего на формирование и повышение потребительского спроса.

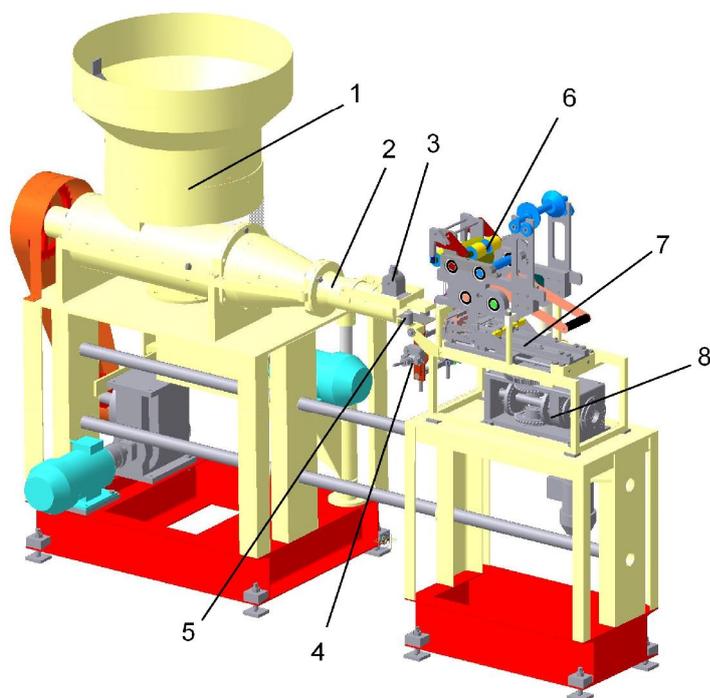
Другой важной задачей является экономическая составляющая, заключающаяся в минимизации выпуска бракованных изделий в виде недовеса и перевеса, т.е. задача обеспечения точности дозирования.

Минимизация погрешности, как показывает расчёт [1], может быть обеспечена небольшой инерционностью исполнительных элементов и низким уровнем флуктуаций в приводе.

Поэтому одной из целей проектирования энергосберегающего высокопроизводительного и точного автомата является разработка такого привода, механизмы исполнительных элементов которого обладали бы низкими значениями флуктуаций в кинематических связях, что позволит повысить точность управления скоростью процессов упаковки и дозирования продукта в соответствии с изменениями скоростей движения пищевых масс.

Проектируемый автомат формовки и упаковки может быть использован при упаковке дрожжей, сливочного масла и других пластичных и вязкоупругих продуктов.

Один из вариантов компоновки разрабатываемого автомата приведен на рис. 1.



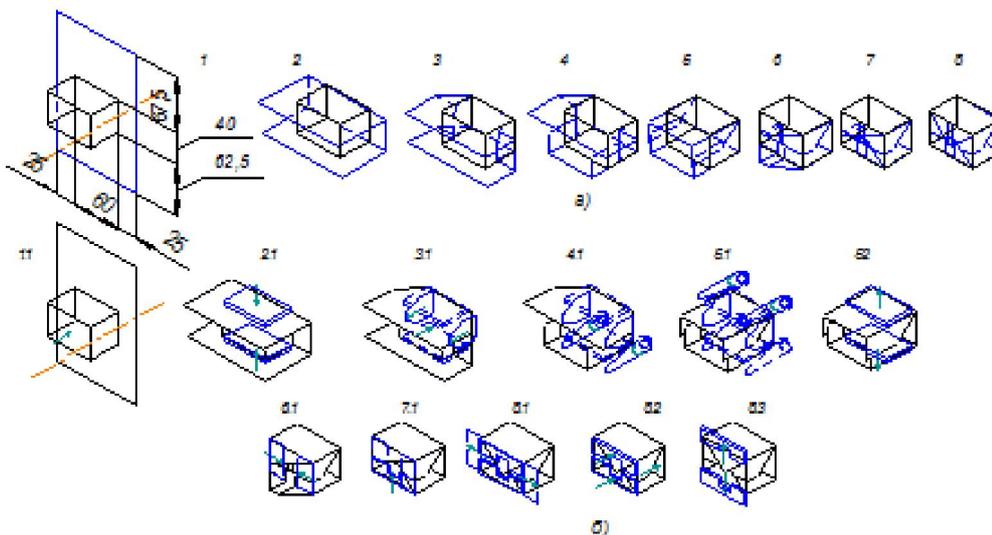
*Рис. 1. Вариант компоновки разрабатываемого автомата:
1 – бункер питателя; 2 – формующая головка; 3 – устройство обкатки бруска; 4 – устройство схвата бруска; 5 – устройство резки бруска; 6 – устройство подачи и резки бумаги из рулона; 7 – механизм упаковки бруска; 8 – регулируемый привод*

КОМПОНОВКА АВТОМАТА ДЛЯ ФОРМОВКИ И УПАКОВКИ...

Принцип работы автомата заключается в следующем: масса поступает в бункер 1, где происходит перемешивание и равномерная подача её на шнек. Шнек спрессовывает массу и подаёт её в формующую зону (формующий патрубок 2), где масса приобретает определенное сечение. Спрессованная и сформованная масса выходит из формователя и проходит по направляющей под обкатчиком 3, следящим за соблюдением длины отрезаемого бруска от потока. Резка бруска происходит при помощи струнного ножа 5. После отрезки брусок попадает в механизм схвата 4, который переносит его в зону упаковки. Упаковка осуществляется в бумагу, подаваемую специальным устройством 6 размотки и резки рулона в требуемый размер. Брусок и бумага соединяются в начале зоны упаковки, а затем происходит автоматическое сворачивание бумаги вокруг бруска. На выходе появляется полностью готовое изделие, которое по жёлобу скатывается на конвейер.

В качестве привода механизмов размотки и резки бумаги из рулона, схвата, завертывания бруска служит регулируемая механическая система. Регулировка скорости вращения выходного вала осуществляется с помощью электромагнита, подсоединённого к вилкам, которые перемещают диски с полусферами. Тем самым происходит изменение передаточного отношения последней ступени привода и обеспечивается минимальная погрешность в дозировании массы бруска в пределах $\pm 0,3$ г.

Схема упаковки приведена на рис. 2.



а) Технологическая последовательность обертки;
б) положение исполнительных рабочих элементов относительно обрабатываемого продукта

Рис. 2. Схема упаковки продукта

Механизм подачи и отрезки упаковочного материала показан на рис. 3.

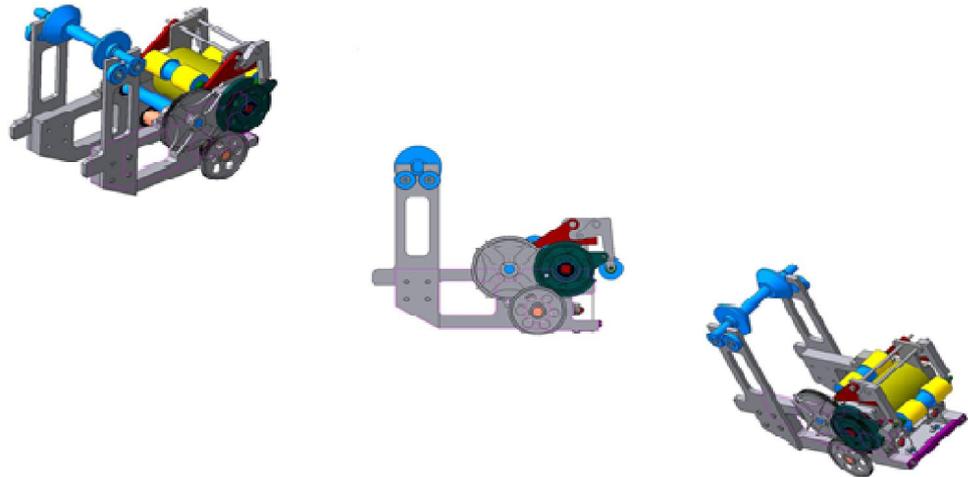


Рис. 3. Блок подачи и отрезки упаковочного материала

Кинематическая схема модуля упаковки представлена на рис. 4.

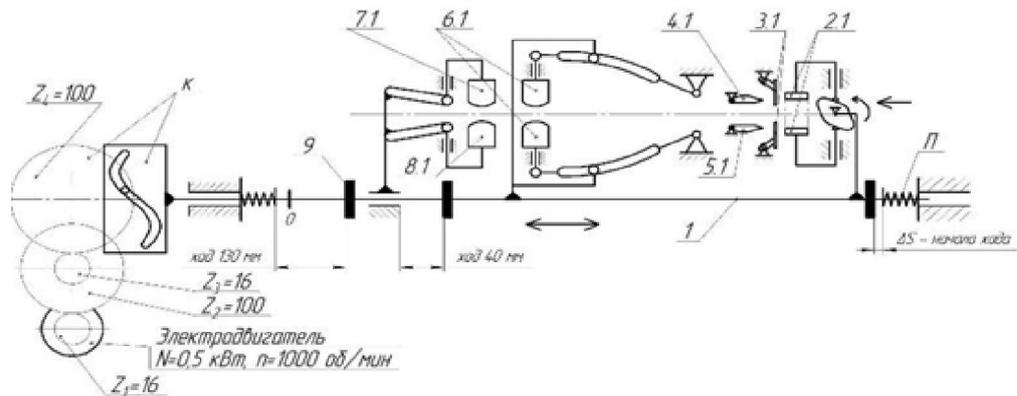


Рис. 4. Кинематическая схема блока упаковки автомата

Технические характеристики автомата приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Технические характеристики автомата

Параметры	Значения
Производительность, брикетов/мин	40-60
Общая потребляемая мощность, кВт	2,15
Габариты, м	2,5 x 1,7 x 0,85
Масса, кг	1447

В отличие от аналогов, проектируемый автомат представляет две соединенные механические системы, одна из которых выполняет функцию дозирования и формования продукта, другая служит для упаковки сформованных брусков и содержит оригинальные регулируемые механизмы исполнительных органов.

Такая компоновка облегчает техническое обслуживание и упрощает наладку цикла, обеспечивая высокий показатель надёжности автомата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев А.В. *Повышение эффективности процесса формования пластичных пищевых продуктов с разработкой компоновки механизмов привода фасовочно-упаковочного автомата* : Маг. дисс. – Пенза : ПГТА, 2011. – 100 с.

УДК 62-1

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ И УМЕНЬШЕНИЯ РАЗБРОСА УСИЛИЙ ЗАТЯЖКИ ГРУППОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ

© *А.Н. Потёмкин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

PRESERVING ACCURACY AND REDUCING DISPERSION OF TIGHTENING EFFORTS OF GROUP SCREW JOINTS WHILE PERFORMING MECHANIZED ASSEMBLING

© *A.N. Potemkin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье рассматриваются факторы, влияющие на надёжность резьбовых соединений при механизированной сборке технологического оборудования.

Ключевые слова: групповые резьбовые соединения, момент затяжки, гайковерты, надёжность соединений.

The article covers the factors influencing dependability of screw joints made during mechanized assembling of technological equipment.

Key words: group screw joints, tightening torque, screw gun, joints dependability.

Сборка является завершающим этапом производственного процесса в машиностроении во многом определяющим качество изготавливаемой продукции. Особое место в конструкциях и технологии сборки машин занимают резьбовые соединения (РС), которые во многих случаях являются ответственными элементами конструкций, требующими строго нормированной затяжки. Характерными примерами широкого использования в пищевых производствах резьбовых соединений являются теплообменные аппараты, ректификационные колонны и др.

Технические требования к сборке РС предусматривают их равномерную затяжку для исключения перераспределения усилий в болтах и на стыках соединяемых деталей, что особенно важно при сборке групповых РС. Несоблюдение этого требования может привести к перегрузке РС, перекосам и деформациям закрепляемых деталей, нарушению плотности стыка,

разрушению прокладок, поломкам деталей и, как следствие, к нарушению работоспособности изделия в целом. Поэтому, помимо обеспечения высокой производительности сборочной операции, которая обеспечивается применением разнообразного механизированного и автоматизированного резьбосборочного оборудования (пневматических гайковертов), необходимо обеспечивать требуемое качество её выполнения.

Из всего многообразия применяемого технологического оборудования для сборки РС (гайковертов, винтовертов и т.д.) наибольшее распространение получили устройства, основу которых составляют пневматические двигатели ротационного типа. При их использовании в пневматических гайковертах статического действия разброс момента затяжки достигает до $\pm 25 \div 35\%$ [1] и, следовательно, требуемое качество сборки не всегда обеспечивается.

В последние годы большое внимание уделяется исследованиям, связанным с разработкой нового и совершенствованием существующего технологического оборудования для сборки и контроля затяжки РС. На первый план выдвигается необходимость разработки резьбосборочного оборудования (пневматических гайковертов), обеспечивающего заданную точность и минимальный разброс затяжки каждого РС. Данный вопрос необходимо рассматривать с учетом конструкторского и технологического направлений.

Одним из подходов к повышению качества сборки РС является совершенствование технологии посредством установления влияния различных факторов на процесс формирования качества сборки РС.

В этой связи установлено, что на качество сборки РС оказывают влияние следующие группы факторов:

- связанные с особенностями изготовления резьбового узла, применяемых материалов и покрытий;
- связанные с особенностями используемого резьбосборочного оборудования (гайковертов), стабильностью его работы и скоростью сборки РС;
- связанные со средствами контроля.

Совершенствование технологии сборки РС за счет резьбосборочного оборудования (пневматических гайковертов) может быть осуществлено двумя путями:

- за счет применения систем активного контроля [1];
- путем совершенствования конструкции существующего резьбосборочного оборудования, в частности за счет изменения конструктивных параметров пневматического двигателя [2].

Отметим, что к настоящему времени вопрос о влиянии конструктивных параметров пневматического двигателя гайковерта на стабильность его работы, а вследствие его динамических взаимосвязей с затягиваемым РС, на формирование показателей качества сборки остается открытым. Это обстоятельство объясняется тем, что ранее с позиций технологии машиностроения данная проблема рассматривалась недостаточно. Отметим также, что до настоящего времени не было предложено методики, позволяющей

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ И УМЕНЬШЕНИЯ...

учитывать совместное влияние на разброс момента затяжки РС $\Delta M_{\text{зат}}$ как конструкторских, так и технологических факторов. Сказанное выше объясняет актуальность проведения исследований в данном направлении.

Теоретические и экспериментальные исследования [2] проводились в два этапа.

На первом этапе исследовалось влияние конструктивных параметров ротационного пневматического двигателя гайковерта (РПД), таких как число лопаток, эксцентриситет, углы подачи сжатого воздуха и начала выхлопа, и других, на стабильность его работы.

В результате исследований, с точки зрения обеспечения стабильности рабочих характеристик гайковерта, а в итоге для обеспечения требуемых критериев качества сборки РС, были выявлены нежелательные сочетания указанных конструктивных параметров РПД, а также установлена нецелесообразность применения двигателей с величиной относительного эксцентриситета менее $P_e = 0,16$.

На втором этапе исследовалось влияние конструкторских и технологических факторов на разброс момента затяжки $\Delta M_{\text{зат}}$ групповых РС. Диапазоны изменения факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Факторы и диапазоны их изменения

Значения	Факторы			
	Число лопаток РПД z , шт.	Эксцентриситет (относительный эксцентриситет) e (P_e), мм	Угловая скорость шпинделя гайковерта, ω , рад/с	Средний диаметр резьбы винта d_2 , мм
Max	6	2,75 (0,17)	25,13	5,324
Min	4	2,50 (0,16)	18,85	5,114

Для получения более полной информации, а также для проверки достоверности и обобщенности выводов эксперименты проводились на резьбовых парах, составленных как из одинаковых (сталь – сталь), так и из разных материалов (винт – сталь, плита – алюминиевый сплав АМг6 и винт – сталь, плита – медь М4).

На рис. 1,а,б представлены зависимости влияния указанных выше факторов на разброс момента затяжки $\Delta M_{\text{зат}}$ при завинчивании резьбовых пар, составленных из одинаковых (сталь – сталь) материалов; на рис. 2,а,б – при завинчивании резьбовых пар, составленных из разных материалов (сталь – алюминиевый сплав АМг6), на рис. 3,а,б – при завинчивании резьбовых пар, составленных из разных материалов (сталь – медь М4).

По сравнению с резьбовыми парами из одинаковых материалов, было отмечено общее снижение среднего уровня затяжки РС $M_{\text{зат}}$ на $1 \div 8$ % при общем увеличении разброса момента затяжки $\Delta M_{\text{зат}}$ РС на $1 \div 3$ % (для резьбовых пар, составленных из материалов сталь – алюминиевый сплав) и, соответственно, на $3 \div 6$ % и $1 \div 11$ % для резьбовых пар, составленных из материалов сталь – медь (рис. 4).

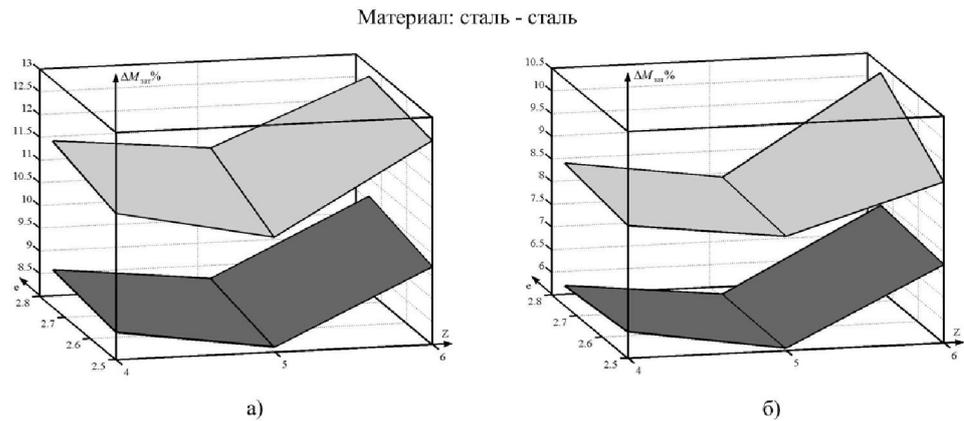


Рис. 1. Влияние конструктивных параметров пневматического двигателя гайковерта (числа лопаток z и эксцентриситета e) на разброс момента затяжки РС $\Delta M_{\text{зат}}$ при угловой скорости $\omega = 25,13$ рад/с (рис. 1,а), угловой скорости $\omega = 18,85$ рад/с (рис. 1,б) и среднем диаметре резьбы винта $d_2 = 5,114$ мм (верхняя ломаная плоскость), $d_2 = 5,324$ мм (нижняя ломаная плоскость)

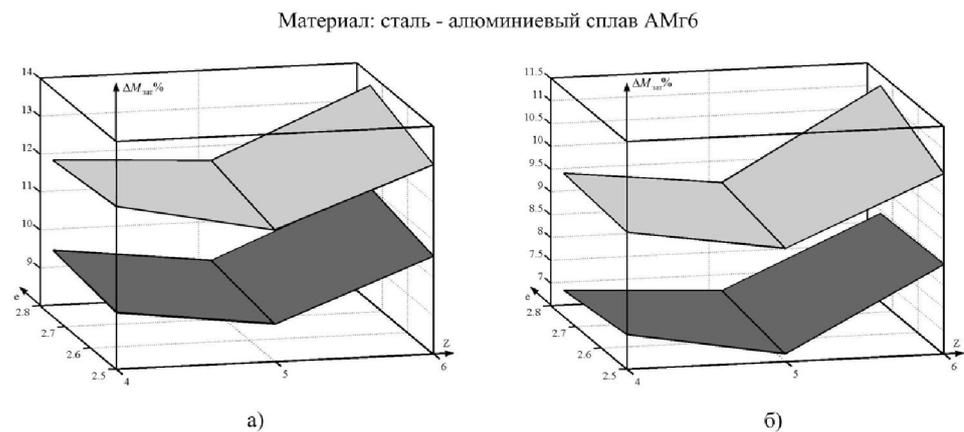


Рис. 2. Влияние конструктивных параметров пневматического двигателя гайковерта (числа лопаток z и эксцентриситета e) на разброс момента затяжки РС $\Delta M_{\text{зат}}$ при угловой скорости $\omega = 25,13$ рад/с (рис. 2,а), угловой скорости $\omega = 18,85$ рад/с (рис. 2,б) и среднем диаметре резьбы винта $d_2 = 5,114$ мм (верхняя ломаная плоскость), $d_2 = 5,324$ мм (нижняя ломаная плоскость)

Материал: сталь - медь М4

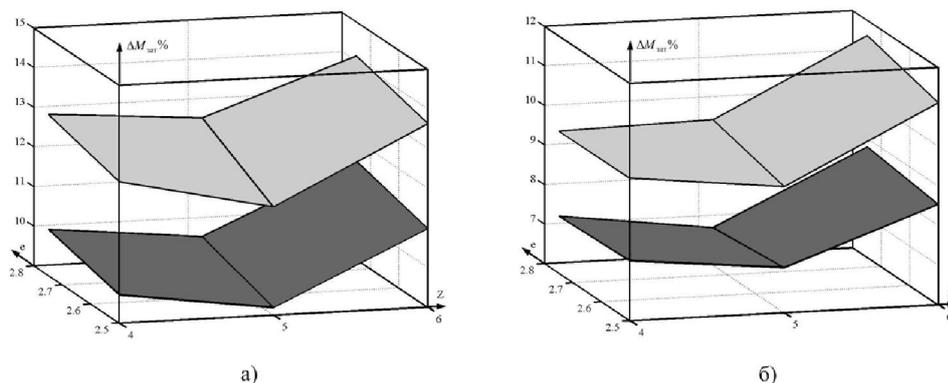


Рис. 3. Влияние конструктивных параметров пневматического двигателя гайковерта (числа лопаток z и эксцентриситета e) на разброс момента затяжки РС $\Delta M_{\text{зат}}$ при угловой скорости $\omega = 25,13 \text{ рад/с}$ (рис. 3,а), угловой скорости $\omega = 18,85 \text{ рад/с}$ (рис. 3,б) и среднем диаметре резьбы винта $d_2 = 5,114 \text{ мм}$ (верхняя ломаная плоскость), $d_2 = 5,324 \text{ мм}$ (нижняя ломаная плоскость)

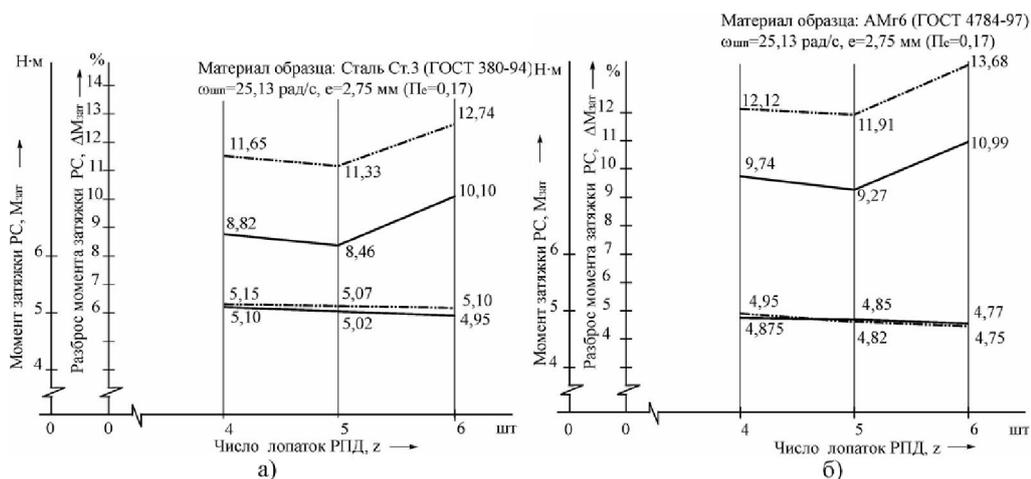


Рис. 4. Влияние числа лопаток двигателя гайковерта на величину момента затяжки РС $M_{\text{зат}}$ и его разброс $\Delta M_{\text{зат}}$ при затяжке стальных винтов М6×1, средний диаметр резьбы винта $d_2 = 5,324 \text{ мм}$ (сплошная линия), средний диаметр резьбы винта $d_2 = 5,114 \text{ мм}$ (прерывистая линия)

Анализ полученных результатов показал, что выявленные закономерности влияния конструкторских и технологических факторов на разброс момента затяжки РС $\Delta M_{\text{зат}}$, полученные на резьбовых парах, составленных из одинаковых материалов, характерны и для резьбовых пар, составленных из разных материалов (сталь – алюминиевый сплав АМг6 и сталь – медь М4).

Было также установлено, что при изменении числа лопаток z пневматического двигателя гайковерта от $z = 6$ до $z = 5$, при прочих постоянных условиях, наблюдается уменьшение разброса момента затяжки РС $\Delta M_{\text{зат}}$, которое проявляется при всех комбинациях исследовавшихся факторов. Кроме того, влияние числа лопаток двигателя z на разброс момента затяжки РС $\Delta M_{\text{зат}}$ имеет нелинейный характер, имеющий место также при всех комбинациях исследовавшихся факторов, а увеличение разброса момента затяжки РС $\Delta M_{\text{зат}}$ при $z = 4$ и $z = 6$ объясняется конструктивными особенностями РПД гайковерта, вызывающими нестабильность его работы. Число лопаток $z = 5$, вместо наиболее часто применяемых $z = 4$ и $z = 6$, при определенном сочетании конструктивных параметров (эксцентриситета e , углов подачи и выхлопа воздуха γ и других) позволило повысить удельную мощность двигателя на $10 \div 11 \%$.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований установлено, что добиться эффективного управления качеством сборки РС пневматическими гайковертами (снижения разброса момента затяжки $\Delta M_{\text{зат}}$) представляется возможным только при совместном воздействии на конструкторские и технологические факторы.

Полученные результаты могут быть использованы при осуществлении мероприятий по конструктивному усовершенствованию пневматических двигателей вновь проектируемых гайковертов, а также при назначении оптимальных, с точки зрения обеспечения требуемых критериев качества сборки РС, условий и режимов сборки, при использовании уже существующего резьбосборочного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланциков А.В., Моисеев В.Б. *Технология и оборудование автоматизированной сборки резьбовых соединений* : Монография. – Пенза : ПГУ, 1999. – 216 с.
2. Потемкин А.Н. *Обеспечение качества сборки резьбовых соединений пневматическими гайковертами // Актуальные проблемы науки и образования : Труды Международного юбилейного симпозиума.* – Пенза : ПГУ, 2003. – С. 115 – 118.

УДК 62-1

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

© *А.В. Ланщикова*, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

TECHNOLOGY OF SCREW JOINTS AUTOMATED ASSEMBLING

© *A.V. Lanshikova*, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

В статье рассматриваются технологические операции и инструментарий для механизированной сборки резьбовых соединений.

Ключевые слова: резьбовые соединения, гайковерты, винтоверты.

The paper considers technological operations and tools for screw joints mechanized assembling.

Key words: screw joints, screw gun, nut gun.

В машиностроении отсутствуют серийно выпускаемые устройства (приборы) для настройки гайковертов и контрольно-диагностические стенды, хотя необходимость их наличия в сборочном производстве очевидна для обеспечения качественной сборки. Устройства для затяжки резьбовых соединений (гайковерты и винтоверты) даже передовыми предприятиями (например, ВАЗ и КАМАЗ) производятся только для собственных нужд по устаревшей документации западных фирм. Поэтому для повышения технического уровня и конкурентоспособности действующего сборочного производства требуются новые технические решения.

Положительное решение проблемы качества автоматизированной сборки представляется возможным на основе анализа жизненного цикла резьбовых узлов, конкретизации полученной модели формирования их качества [1], уточнения механизма образования погрешностей и использования технологических методов повышения технического уровня выполнения сборочных операций. На стадии подготовки операций автоматизированной сборки обязательна настройка гайковертов, а для ответственных резьб – полное диагностирование узла на предмет фактических запасов по плотности стыков и установления настроечных параметров гайковертов. Для выполнения стадии затяжки следует использовать технические решения, гарантирующие повышение качества сборки.

В Пензенской государственной технологической академии за последние 20 лет выполнены исследования и получены положительные результаты по созданию технологии и патентно-чистого оборудования, в совокупности решающих проблему обеспечения качества. На рис. 1 – 7 приведены некоторые конструкции, предназначенные для повышения технического уровня подготовки и выполнения сборочных операций.

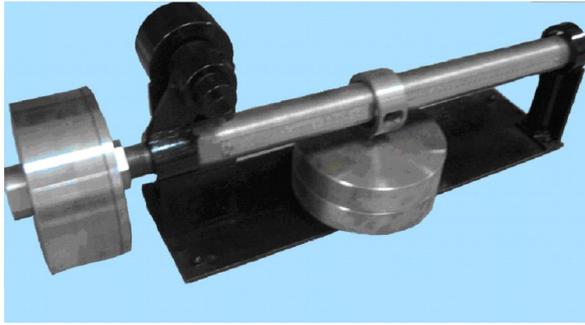


Рис. 1 Стенд для калибровки динамометрических и предельных ключей

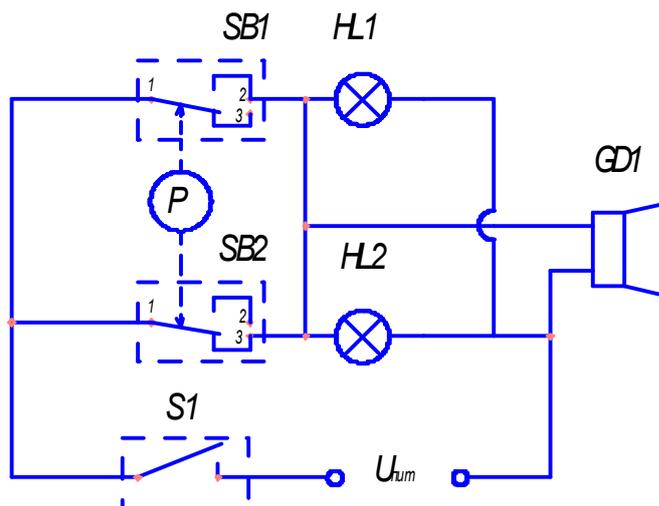


Рис. 2. Электрическая схема стенда для калибровки



Рис. 3. Устройства для настройки гайковертов по крутящему моменту (патенты РФ 2199099 и 2112639)



*Рис. 4. Контрольно-диагностические стенды
(патент РФ 2337336).*



*Рис. 5. Пневматические поршневые шуруповерты для резьб M2-M5
(А.с.1551540 и 1775286)*



*Рис. 6. Пневматические поршневые гайковерты
для резьб M6-M16 (А.с.1551539,1632761,1726230)*

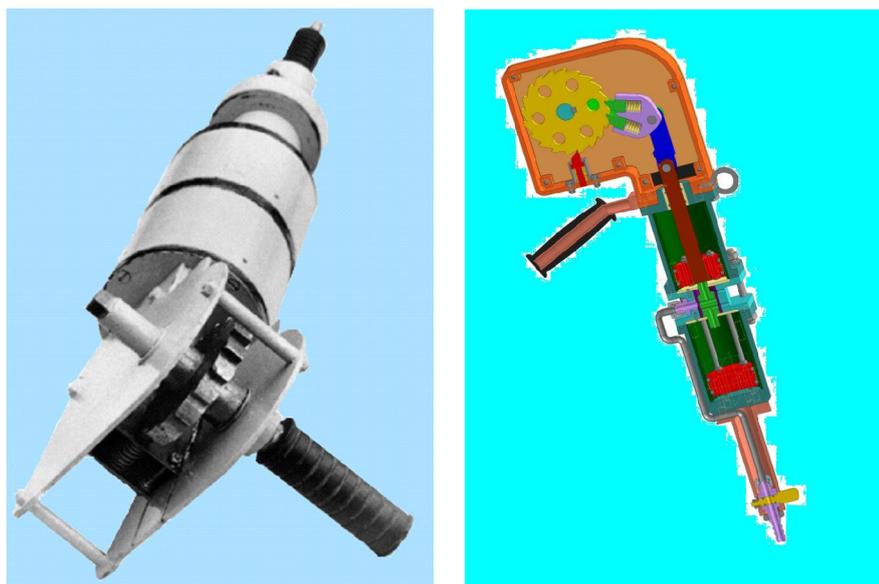


Рис. 7. Пневматические поршневые гайковерты для резьб М12-М42 (А.с. 1609634, 1632761)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланциков А.В., Моисеев В.Б. Технология и оборудование автоматизированной сборки резьбовых соединений : Монография. – Пенза : ПГУ, 1999. – 260 с.
2. Ланциков А.В. Формирование качества резьбовых соединений на стадиях проектирования и изготовления // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2003. – № 12. – С. 27 – 36.
3. Ланциков А.В. Обеспечение качества операций сборки резьбовых соединений // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 11. – С. 47 – 48.

УДК 531.65

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ**

© *Н.А. Симанин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

© *В.В. Голубовский, Пензенская государственная технологическая
академия (г. Пенза, Россия)*

© *А.М. Прохоров, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**DEFINING REGULATION CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC
MEASURING CONVERTER OF LINEAR ACCELERATION**

© *N.A. Simanin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *V.V. Golubowski, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *A.M. Prohorov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье описывается конструкция измерительного преобразователя линейных ускорений.

Ключевые слова: система автоматического управления, ускорение, методика расчета характеристик преобразователя, измерительный преобразователь.

The paper describes the design of measuring converter of linear acceleration.

Key words: automatic control, acceleration, techniques of converter characteristics working out, measuring converter.

Одной из главных составных частей любой системы автоматического управления является измерительный преобразователь (чувствительный элемент), который представляет собой техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования величины измеряемого параметра в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Выбор типа измерительного преобразователя для проектируемой системы управления определяется следующими факторами: видом используемой энергии; требуемой чувствительностью; гарантированной точностью измерения; требуемыми пределами измерения контролируемого параметра; возможностью настройки на различные значения контролируемого параметра; желательным видом преобразования выходной величины; влиянием на работу чувствительного элемента внешних условий; допустимым расстоянием, на которое может быть передана информация (сигнал) от преобразователя; другими специальными требованиями.

Разработанный авторами измерительный преобразователь линейных ускорений служит в качестве источника информации о ходе технологичес-

кой операции и в значительной мере определяет качество переходных процессов в системе автоматического управления гидравлическим приводом технологического оборудования при поступательном движении рабочих органов. Стабилизация управляемого параметра, в данном случае скорости движения рабочего органа станка, достигается путем выработки автоматическим регулятором системы управляющего воздействия, направленного на скорейший переход от ускоренного или замедленного движения рабочего органа к установившемуся движению с постоянной скоростью.

Для непосредственного восприятия регулируемой величины служит первичный преобразователь ускорений (акселерометр).

Принцип действия большинства акселерометров основан на использовании второго закона Ньютона. Основными конструктивными элементами преобразователей ускорений являются: инерционная масса, упругие элементы, демпфирующие элементы и устройства и т.д.

Конструктивная схема инерционного измерительного преобразователя ускорений типа “сопло – заслонка” приведена на рис. 1.

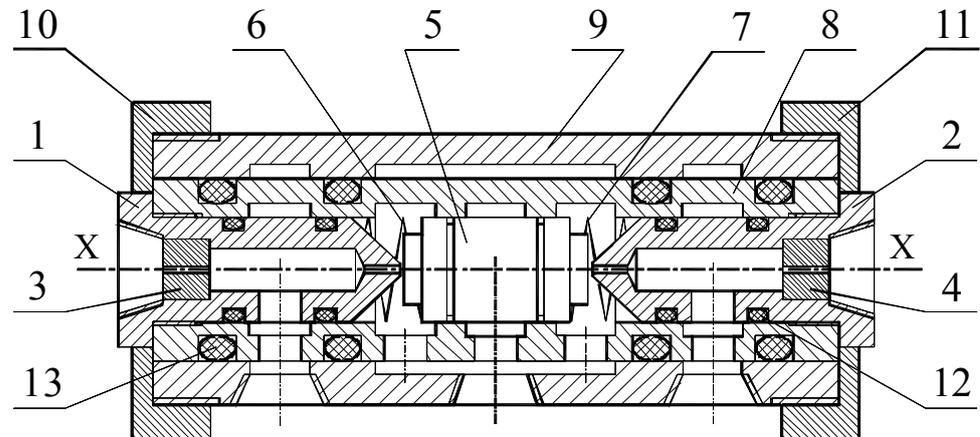


Рис. 1. Конструктивная схема инерционного измерительного преобразователя ускорений типа “сопло – заслонка”

Преобразователь смонтирован в сборном корпусе, который содержит втулку 9 и крышки 10 и 11. Чувствительный элемент, или собственно преобразователь, состоит из сопел 1 и 2, дросселей 3 и 4 с постоянным проходным сечением, инерционной заслонки 5, центрирующих пружин 6 и 7, втулки 8 и четырех пар уплотнительных колец 12 и 13 для устранения внутренних утечек жидкости.

Измерительный преобразователь линейных ускорений работает следующим образом.

В исходном положении, когда силы инерции в направлении оси чувствительности $X - X$ отсутствуют, рабочая жидкость (масло) из напорной линии поступает через постоянные дроссели 3 и 4 в рабочие камеры сопел 1 и 2, а затем, пройдя сопротивления в виде зазоров между торцами сопел и заслонки 5, сливается в бак. Инерционная заслонка находится в равновесии, за-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК...

нимая при этом симметричное положение в центре втулки 8, под действием упругих сил создаваемых центрирующими пружинами 6 и 7. Это приводит к созданию одинаковых сопротивлений истечению рабочей жидкости из сопел 1 и 2, что обеспечивает равенство давлений в рабочих камерах ($p_1 = p_2$).

При возникновении линейного ускорения движения контролируемого объекта, направленного вдоль оси чувствительности (например, вправо), под действием силы инерции $F_{ин}$ заслонка 5 перемещается влево и изменяет гидравлические сопротивления сопел 1 и 2. Сопротивление истечению масла из сопла 1 увеличивается, а из сопла 2 уменьшается, что приводит к соответствующему изменению давлений ($p_1 > p_2$) в рабочих камерах сопел 1 и 2. Возникающая разность давлений (перепад) $\Delta p = p_1 - p_2$ используется как управляющий сигнал на входах управляющего элемента, например дросселирующего золотникового распределителя.

При изменении направления ускорения объекта на противоположное происходит перемещение заслонки 5 вправо. Сопротивление истечению масла из сопла 2 увеличивается, а из сопла 1 уменьшается, что приводит к возникновению соответствующего перепада давлений $\Delta p = p_2 - p_1$ в рабочих камерах сопел 1 и 2.

При исчезновении ускорения инерционная заслонка 5 под действием упругих сил пружин 6 и 7 возвращается в начальное положение, что приводит к выравниванию давлений в рабочих камерах сопел 1 и 2. Преобразователь возвращается в исходное положение.

Особенностью конструкции измерительного преобразователя является возможность его переналадки и настройки на требуемый диапазон ускорений, что достигается за счет изменения массы инерционной заслонки 5 и жесткости центрирующих пружин 6 и 7 путем их замены. Для настройки требуемых статических характеристик преобразователя (по расходу, по давлению в рабочих камерах и т.д.) предусмотрена регулировка зазоров между торцами сопел и заслонкой путем осевого смещения сопел по резьбе в корпусе.

Схема элемента “сопло – заслонка” с последовательно включенным постоянным сопротивлением показана на рис. 2.

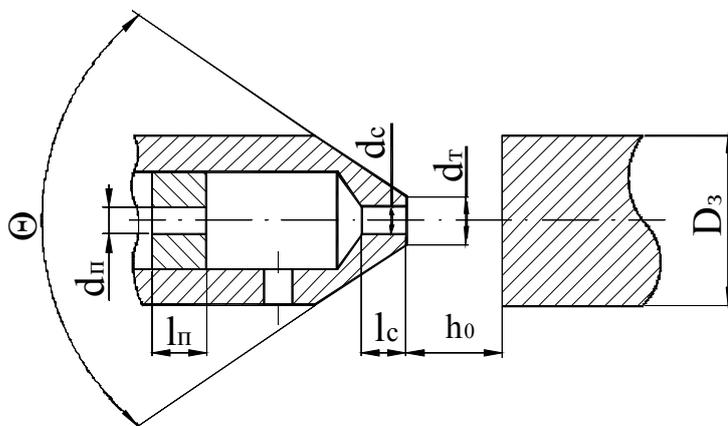


Рис. 2. Схема элемента “сопло – заслонка” с последовательно включенным постоянным сопротивлением

Благодаря сравнительно небольшим габаритным размерам и массе измерительный преобразователь линейных ускорений может легко устанавливаться на подвижные органы технологического оборудования в любом удобном месте, вне рабочей зоны.

В гидравлических системах автоматического управления наибольшее применение нашли гидравлические усилители типа “сопло – заслонка”, выполненные по мостовой схеме. При этом исполнительный механизм (ИМ), например золотниковый дросселирующий распределитель, включают в диагональ моста (рис. 3).

Разработка методик расчета статических характеристик измерительных преобразователей вызвана необходимостью получения аналитических зависимостей, позволяющих на стадии проектирования определять параметры и характеристики преобразователей и их элементов. Расчеты позволяют определить диапазоны изменения параметров и характеристик или установить их оптимальные значения при использовании преобразователей в системах автоматического управления. К таким характеристикам можно отнести: характеристики элементов, входящих в состав преобразователей (расходная характеристика, потери давления на регулируемых и постоянных дросселях) и характеристики самих преобразователей (расходная, перепадная, силовая).

В данной работе приведена методика определения регулировочных характеристик измерительного преобразователя ускорений.

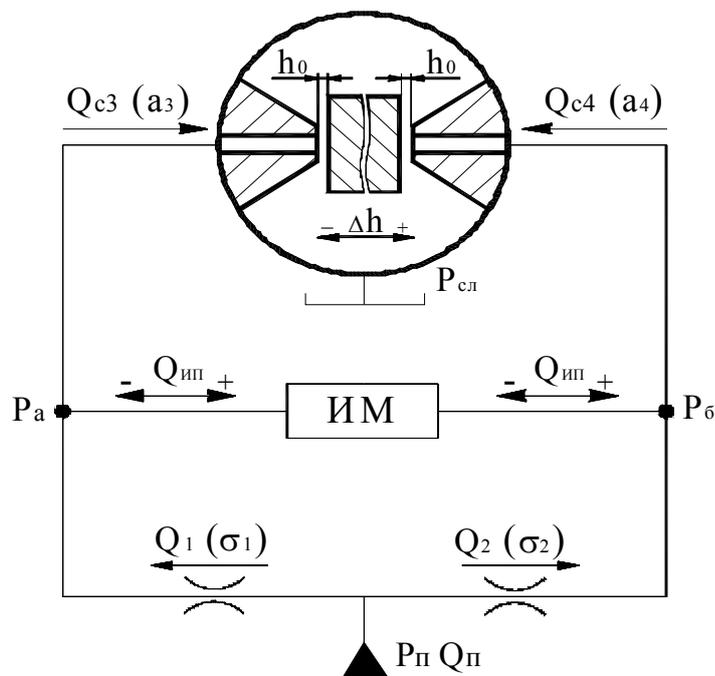


Рис. 3. Схема двухцелевого гидроусилителя типа “сопло – заслонка”

Расход жидкости $Q_{c3,4}$ через сопла 3 и 4 (рис. 3) характеризует утечку (расход жидкости), неизбежную в этом типе гидравлического усилителя:

$$Q_{с3,4} = 2\mu_c \pi d_c h_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_0 - p_{сл})}, \quad (1)$$

где p_0 – давление жидкости в междроссельных камерах сопел 3 и 4 ($p_0 = p_a = p_б$); $p_{сл}$ – давление на выходе из преобразователя.

Расход и давление в междроссельной камере, зависящие от положения заслонки и входного давления, могут быть определены экспериментально или рассчитаны теоретически.

При неподвижном исполнительном механизме ИМ можно записать:

$$\left. \begin{aligned} Q_{с3} &= Q_1 \\ Q_{с4} &= Q_2 \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $Q_{с3}$ и $Q_{с4}$ – расходы жидкости, соответственно, через сопла 3 и 4; Q_1 и Q_2 – расходы через постоянные дроссели 1 и 2.

Систему уравнений (2) можно представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} Q_{с3} &= \mu_3 f_3 \sqrt{\frac{2}{\rho} p_a} \\ Q_{с4} &= \mu_4 f_4 \sqrt{\frac{2}{\rho} p_б} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

или

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \mu_1 f_1 \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_n - p_a)} \\ Q_2 &= \mu_2 f_2 \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_n - p_б)} \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Тогда, с учетом выражений (3) и (4), уравнение (2) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \mu_3 f_3 \sqrt{\frac{2}{\rho} p_a} &= \mu_1 f_1 \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_n - p_a)} \\ \mu_4 f_4 \sqrt{\frac{2}{\rho} p_б} &= \mu_2 f_2 \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_n - p_б)} \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где μ_1 и μ_2 – коэффициенты расхода дросселей 1 и 2 с постоянным проходным сечением; μ_3 и μ_4 – коэффициенты расхода через сопла 3 и 4 с переменным проходным сечением; f_1 и f_2 – площади проходных сечений постоянных дросселей 1 и 2; f_3 и f_4 – площади проходных сечений щелей

между соплами 3 и 4 и заслонкой; p_a и p_b – давления в междроссельных камерах сопел 3 и 4; p_{Π} – давление питания преобразователя; ρ – плотность рабочей жидкости.

При малых смещениях заслонки от среднего положения за площади проходного сечения между соплами и заслонкой принимают площади боковых поверхностей цилиндров, которые определяют по формулам:

$$\begin{aligned} f_3 &= \pi d_c (h_0 - \Delta h), \\ f_4 &= \pi d_c (h_0 + \Delta h), \end{aligned} \quad (6)$$

где d_c – диаметр отверстий сопел; h_0 – начальный зазор между соплами и заслонкой; Δh – смещение заслонки, считающееся положительным при перемещении заслонки вправо (к соплу 4).

Постоянные дроссели в частном случае могут иметь площади проходных сечений:

$$f_{1,2} = \pi d_{\Pi}^2 / 4, \quad (7)$$

где d_{Π} – диаметр отверстий дросселей с постоянным проходным сечением.

Введем обозначения:

$$\sigma_{1,2} = \mu_{\Pi} \frac{\pi d_{\Pi}^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho}}, \quad (8)$$

$$\sigma_{3,4} = \mu_c \pi d_c \sqrt{\frac{2}{\rho}}. \quad (9)$$

Уравнение (8) представляет собой гидравлическую проводимость дросселей с постоянным проходным сечением, а уравнение (9) – относительную проводимость дросселей с переменным проходным сечением “сопло – заслонка”.

Подставив уравнения (6) – (9) в выражения (5) и решая их относительно p_a и p_b , получим формулы для определения давления в междроссельных камерах сопел 3 и 4:

$$p_a = \frac{\sigma_1^2 p_{\Pi}}{\sigma_1^2 + a_3^2 (h_0 - \Delta h)^2}, \quad (10)$$

$$p_b = \frac{\sigma_2^2 p_{\Pi}}{\sigma_2^2 + a_4^2 (h_0 + \Delta h)^2}. \quad (11)$$

Выражения (10) и (11) записаны для случая, когда смещение заслонки отрицательно (влево от центра, см. рис. 3). При этом давление p_a больше давления p_b , а перепад давлений в междроссельных камерах (в диагонали моста) определяется зависимостью:

$$\Delta p_{\text{инп}} = p_a - p_b = \left[\frac{\sigma_2^2}{\sigma_2^2 + a_4^2 (h_0 - \Delta h)^2} - \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + a_3^2 (h_0 + \Delta h)^2} \right] p_{\text{п}}. \quad (12)$$

Выражение (12) представляет собой регулировочную (статическую) характеристику $(\Delta p_{\text{инп}})_{Q=0} = f(h)$ измерительного преобразователя ускорений типа “сопло – заслонка”.

Если заслонка сместилась влево на некоторую величину $\Delta h \leq h_0$ и давление p_a стало больше давления p_b , то расход, подводимый к исполнительному механизму ИМ, равен:

$$Q_{\text{инп}} = a_3 (h_0 - \Delta h) \sqrt{p_a} - \sigma_1 \sqrt{p_{\text{п}} - p_a}; \quad (13)$$

$$Q_{\text{инп}} = \sigma_2 \sqrt{p_{\text{п}} - p_b} - \sigma_4 (h_0 + \Delta h) \sqrt{p_b}. \quad (14)$$

Из выражений (13) и (14) можно определить расход жидкости при отсутствии управляющего воздействия на золотник ИМ, когда $\Delta p_{\text{инп}} = p_a - p_b = 0$. В этом случае $p_a = p_b = p_{a0} = p_{b0}$ и сложение выражений (13) и (14) дает:

$$2Q = (\sigma_2 - \sigma_1) \sqrt{p_{\text{п}} - p} + [(a_3 - a_4)h_0 + (a_3 + a_4)h] \sqrt{p}, \quad (15)$$

где p – начальное давление в междроссельных камерах сопел при условии, что $\Delta h = 0$.

Если пренебречь зависимостью коэффициентов расхода μ_1 и μ_2 от режима течения жидкости, то для идентичных дросселей с постоянным проходным сечением имеем:

$$p_a = p_{\text{п}} \frac{1}{1 + \left(1 - \frac{\Delta h}{h_0}\right)^2}, \quad (16)$$

$$p_b = p_{\text{п}} \frac{1}{1 + \left(1 + \frac{\Delta h}{h_0}\right)^2}. \quad (17)$$

Соответственно,

$$\Delta p_{\text{инп}} = p_a - p_b = p_{\text{п}} \left(\frac{1}{1 + \left(1 - \frac{\Delta h}{h_0}\right)^2} - \frac{1}{1 + \left(1 + \frac{\Delta h}{h_0}\right)^2} \right). \quad (18)$$

Линеаризацию полученного уравнения произведем разложением правой части уравнения в ряд Маклорена для функции $\Delta h / h_0$ вокруг нулевых значений. В результате уравнение (18) примет вид

$$\Delta p_{\text{инп}} = K_p \Delta h, \quad (19)$$

где K_p – коэффициент усиления по давлению; $K_p = \frac{p_{\text{п}}}{h_0}$.

Расход $Q_{\text{инп}}$ жидкости в диагонали моста:

$$Q_{\text{инп}} = \frac{1}{2}(Q_{\text{с4}} - Q_{\text{с3}}), \quad (20)$$

где $Q_{\text{с3}}$ и $Q_{\text{с4}}$ выражаются уравнением (1), причем $p_a = p_b = p_{\text{п}}/2$. Тогда из соотношения (20) получаем следующее линейное уравнение регулировочной характеристики по расходу:

$$Q_{\text{инп}} = \mu_{\text{с3}} \pi d_{\text{с}} \sqrt{\frac{p_{\text{п}}}{\rho} \Delta h}$$

или

$$Q_{\text{инп}} = K_{Qh} \Delta h, \quad (21)$$

где K_{Qh} – коэффициент усиления по расходу; $K_{Qh} = \mu_{\text{с3}} \pi d_{\text{с}} \sqrt{\frac{p_{\text{п}}}{\rho}}$.

Выражение (21) показывает, что коэффициент усиления по расходу и, следовательно, быстродействие измерительного преобразователя ускорений возрастает с увеличением диаметра сопла $d_{\text{с}}$ и давления питания $p_{\text{п}}$, а значит и расхода жидкости через сопла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симанин Н.А. Гидравлические системы автоматического управления технологическими операциями в машиностроении : Монография / Н.А. Симанин, В.В. Голубовский. – Пенза : ПГТА, 2009. – 155 с.
2. Патент 2150116 РФ. Измерительный преобразователь ускорений типа “сопло – заслонка” / Трилисский В.О., Симанин Н.А., Демин С.Б., Голубовский В.В. Оpubл. 27.05.2000, Бюл. № 15.
3. Патент 2293994 РФ. Адаптивный измерительный преобразователь ускорений типа “сопло – заслонка” / Трилисский В.О., Истомина Ю.В., Демин С.Б., Голубовский В.В., Симанин Н.А. Оpubл. 20.02.2007, Бюл. № 5.
4. Патент РФ на полезную модель № 102265. Измерительный преобразователь ускорений типа “сопло – заслонка” / Симанин Н.А., Голубовский В.В., Прохоров А.М. – Оpubл. 20.02.2011, Бюл. №5.

УДК 531.65; 532.5

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТИПА
“СОПЛО – ЗАСЛОНКА” ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИВОДОВ
ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

© *Н.А. Симанин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

© *В.В. Голубовский, Пензенская государственная технологическая
академия (г. Пенза, Россия)*

© *А.Н. Расстегаев, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**FLAPPER NOZZLE MEASURING CONVERTER FOR HYDRAULIC
SYSTEMS OF SELF-REGULATING DRIVES FOR INDUSTRIAL
EQUIPMENT**

© *N.A. Simanin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *V.V. Golubowski, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *A.N. Rasstegaev, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье описывается конструкция измерительных преобразователей типа “сопло – заслонка”, используемых в гидравлических системах.

Ключевые слова: гидравлические системы, измерительные преобразователи.

The article describes the design of flapper nozzle measuring converters that are used in hydraulic systems.

Key words: hydraulic systems, measuring converters.

Анализ известных конструкций измерительных преобразователей, используемых в системах автоматического управления гидравлическими приводами промышленного оборудования, показывает, что все они имеют общие недостатки: слабый выходной сигнал, который нельзя напрямую использовать для управления работой автоматического регулятора, и необходимость преобразования (зачастую неоднократного) выходного сигнала из одного вида энергии в другой. Указанные недостатки приводят к усложнению структуры систем управления за счет обязательного использования в них усилительных и преобразовательных элементов [1].

В наибольшей мере перечисленным выше требованиям удовлетворяют устройства на базе гидравлического усилителя типа “сопло – заслонка”, которые могут быть использованы для создания измерительных преобразователей различного назначения.

Авторами разработаны оригинальные конструкции измерительных преобразователей типа “сопло – заслонка”, которые могут служить основой для создания универсальных гидравлических систем автоматического управления приводами различных типов технологического оборудования машиностроительных производств [2 – 5].

Конструктивная схема инерционного измерительного преобразователя линейных ускорений типа “сопло – заслонка” приведены на рис. 1.

Преобразователь смонтирован в сборном корпусе, который содержит втулку 9 и крышки 10 и 11. Чувствительный элемент, или собственно преобразователь, состоит из сопел 1 и 2, дросселей 3 и 4 с постоянным проходным сечением, инерционной заслонки 5, центрирующих пружин 6 и 7, втулки 8 и четырех пар уплотнительных колец 12 и 13 для устранения внутренних утечек жидкости.

Измерительный преобразователь линейных ускорений работает следующим образом.

В исходном положении, когда силы инерции в направлении оси чувствительности $X - X$ отсутствуют, рабочая жидкость (масло) из напорной линии поступает через постоянные дроссели 3 и 4 в рабочие камеры сопел 1 и 2, а затем, пройдя сопротивления в виде зазоров между торцами сопел и заслонки 5, сливается в бак. Инерционная заслонка находится в равновесии, занимая при этом симметричное положение в центре втулки 8, под действием упругих сил создаваемых центрирующими пружинами 6 и 7. Это приводит к созданию одинаковых сопротивлений истечению рабочей жидкости из сопел 1 и 2, что обеспечивает равенство давлений в рабочих камерах ($p_1 = p_2$).

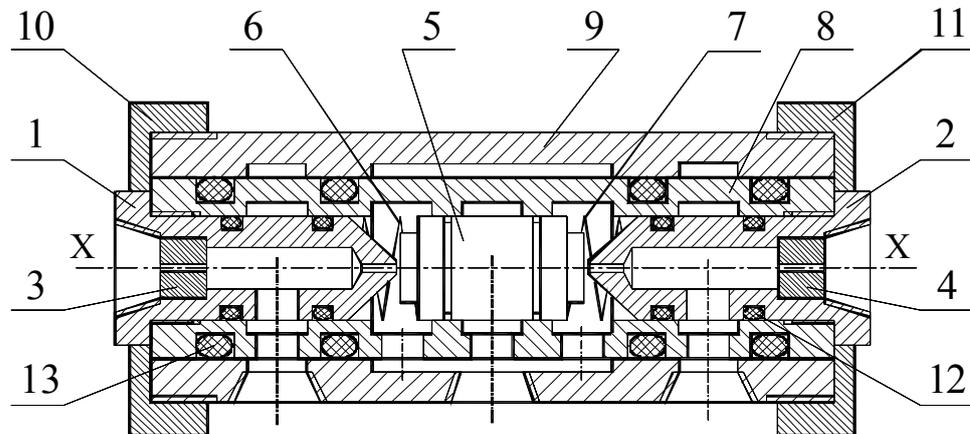


Рис. 1. Конструктивная схема инерционного измерительного преобразователя ускорений типа “сопло – заслонка”

При возникновении линейного ускорения движения контролируемого объекта, направленного вдоль оси чувствительности (например, вправо), под действием силы инерции $F_{ин}$ заслонка 5 перемещается влево и изменяет гидравлические сопротивления сопел 1 и 2. Сопротивление истечению масла из сопла 1 увеличивается, а из сопла 2 уменьшается, что приводит к соответствующему изменению давлений ($p_1 > p_2$) в рабочих камерах сопел 1 и 2. Возникающая разность давлений (перепад) $\Delta p = p_1 - p_2$ ис-

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТИПА “СОПЛО – ЗАСЛОНКА”...

пользуется как управляющий сигнал на входах управляющего элемента, например, дросселирующего золотникового распределителя.

При изменении направления ускорения объекта на противоположное происходит перемещение заслонки 5 вправо. Сопротивление истечению масла из сопла 2 увеличивается, а из сопла 1 уменьшается, что приводит к возникновению соответствующего перепада давлений $\Delta p = p_2 - p_1$ в рабочих камерах сопел 1 и 2.

При исчезновении ускорения инерционная заслонка 5 под действием упругих сил пружин 6 и 7 возвращается в начальное положение, что приводит к выравниванию давлений в рабочих камерах сопел 1 и 2. Преобразователь возвращается в исходное положение.

Особенностью конструкции измерительного преобразователя является возможность его переналадки и настройки на требуемый диапазон ускорений, что достигается за счет изменения массы инерционной заслонки 5 и жесткости центрирующих пружин 6 и 7 путем их замены. Для настройки требуемых статических характеристик преобразователя (по расходу, по давлению в рабочих камерах и т.д.) предусмотрена регулировка зазоров между торцами сопел и заслонкой путем осевого смещения сопел по резьбе в корпусе.

Следует отметить, что применение сопел с резьбой ведет к некоторому увеличению радиальных размеров деталей. В то же время, установка сопел в корпус с натягом делает невозможной регулировку хода заслонки и снижает ремонтпригодность всей конструкции.

Благодаря сравнительно небольшим габаритным размерам и массе измерительный преобразователь линейных ускорений может легко устанавливаться на подвижные органы технологического оборудования в любом удобном месте вне рабочей зоны.

Одним из основных факторов, ограничивающих чувствительность рассмотренного выше измерительного преобразователя, является наличие сил трения между инерционной заслонкой и корпусом чувствительного элемента. Сила сухого трения заслонки о стенки корпуса возникает вследствие радиальной неуравновешенности сил, действующих на заслонку, в результате несоосного расположения заслонки относительно корпуса, а также некорректности геометрических форм заслонки и отверстия в корпусе.

С целью повышения чувствительности (путем уменьшения сил сопротивления) в конструкции измерительного преобразователя может использоваться магнитный подвес инерционной заслонки [2, 3].

Магнитный подвес может быть реализован двумя парами кольцевых магнитов. Как показали испытания макета преобразователя, «взвешенная» заслонка сохраняет устойчивое положение в рабочей зоне. При этом уменьшается трение заслонки о корпус преобразователя и повышается чувствительность к инерционным воздействиям. Кроме того, предлагаемая конструкция магнитного подвеса позволяет производить регулировку сил магнитного удержания в осевом направлении путем смещения наружных магнитов относительно внутренних. Это дает возможность регулировать чув-

ствительность измерительного преобразователя и изменять диапазон измеряемого ускорения. Применение пассивного магнитного подвеса (с помощью постоянных магнитов) позволяет сделать преобразователь автономным и экономичным (с точки зрения потребления энергии) и, тем самым, расширить область его применения.

Конструктивная схема измерительного преобразователя линейных ускорений с магнитным подвесом инерционной заслонки приведена на рис. 2.

Измерительный преобразователь содержит сопла 1 и 2, дроссели 3 и 4 с постоянным проходным сечением, инерционную массу (заслонку) 5, внутренние постоянные магниты 6 и 7, внешние постоянные магниты 8 и 9, втулку 10, корпус 11, две крышки 12 и 13, четыре пары уплотнительных колец 14 и 15.

Работа измерительного преобразователя линейных ускорений с магнитным подвесом заслонки аналогична работе преобразователя, приведенного на рис. 1, отличие заключается лишь в том, что в данной конструкции инерционная заслонка 5 занимает симметричное положение между соплами 1 и 2 и удерживается во “взвешенном” состоянии под действием сил магнитного удержания.

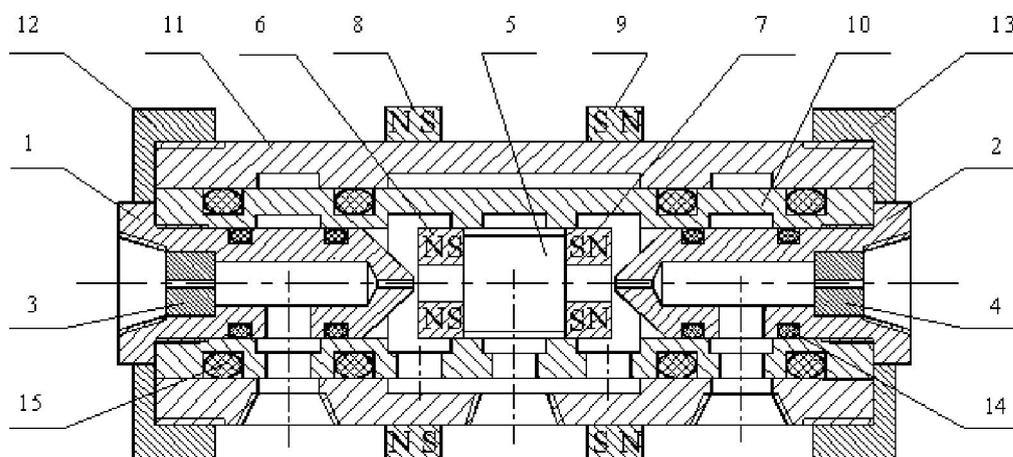


Рис. 2. Измерительный преобразователь линейных ускорений с магнитным подвесом инерционной заслонки

Обязательным условием при изготовлении такого измерительного преобразователя является то, что все детали должны быть изготовлены из немагнитных материалов (бронза, латунь и др.).

Для достижения высокой чувствительности измерительного преобразователя целесообразно использовать кольцевые магниты с радиусом $R_1 = 0,5R_2$ (где R_1 и R_2 – соответственно, внутренний и наружный радиусы магнита) и менее. При больших значениях радиуса R_1 можно получить заметное повышение чувствительности преобразователя путем значитель-

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТИПА “СОПЛО – ЗАСЛОНКА”...

ного увеличения толщины D магнита, что ведет к увеличению размеров и массы устройства. Оптимальным является использование магнитных колец с параметрами $R_1 = 0,5R_2$ и $D = 0,5R_2$. При этом максимальный ход заслонки не должен превышать величины $0,25D$.

Анализ конструкции измерительного преобразователя линейных ускорений, приведенного на рис. 1, показывает, что он может быть использован и для измерения угловых ускорений. В этом случае ось вращения объекта, перпендикулярная оси чувствительности $X - X$, должна находиться на некотором расстоянии e от геометрического центра корпуса преобразователя.

Измерительный преобразователь угловых ускорений предназначен для стабилизации скорости вращения рабочих органов в гидравлических приводах технологического оборудования, которая достигается за счет непрерывного регулирования расхода жидкости, поступающей к гидравлическому двигателю привода или отводимой от него, в зависимости от изменения нагрузки.

Конструкция измерительного преобразователя угловых ускорений показана на рис. 3.

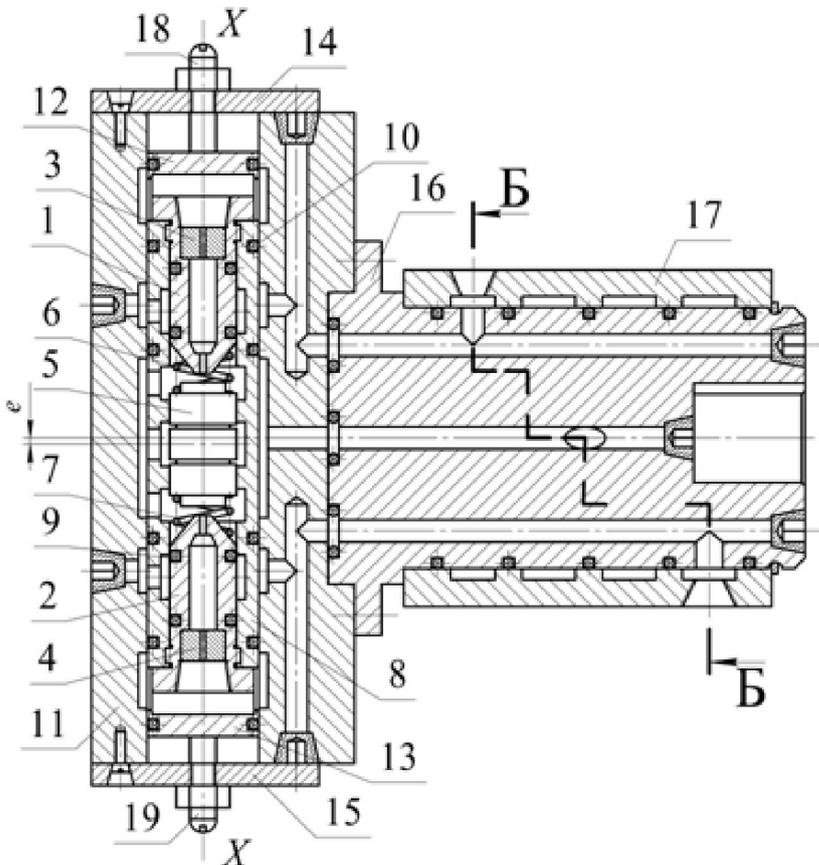


Рис. 3. Конструкция измерительного преобразователя угловых ускорений типа “сопло – заслонка”

Измерительный преобразователь угловых ускорений содержит те же детали 1, ..., 8 и уплотнительные резиновые кольца, что и преобразователь линейных ускорений, показанный на рис. 1.

Преобразователь встраивается в полумуфту, шкив, маховик или другую деталь привода, установленную на конце вала. В состав преобразователя входят корпус 11, стаканы 12 и 13 (которые определяют положение преобразователя в корпусе 11), крышки 14 и 15, вал 16, коллектор 17, регулировочные винты 18 и 19 (которые позволяют перемещать измерительный преобразователь внутри корпуса 11 вдоль оси $X - X$).

Перед работой преобразователь настраивается на заданную угловую скорость, которой соответствует определенное значение эксцентриситета. Величина e определяет чувствительность преобразователя. Изменяя эксцентриситет, можно настраивать преобразователь на различные диапазоны измерения углового ускорения.

Измерительный преобразователь угловых ускорений работает следующим образом.

Инерционная заслонка в отсутствие углового ускорения находится в равновесии, занимая при этом симметричное положение в центре корпуса 8 под действием упругих сил, создаваемых центрирующими пружинами 6 и 7. Это приводит к созданию одинаковых сопротивлений истечению рабочей жидкости из сопл 1 и 2, что обеспечивает равенство давлений в рабочих камерах.

При изменении момента от действия сил нагрузки на валу рабочего органа машины происходит изменение угловой скорости гидравлического мотора, приводящее к возникновению углового ускорения. Инерционная заслонка 5 перемещается на некоторую величину в направлении, обратном направлению действия возмущающего ускорения, и изменяет сопротивление истечению рабочей жидкости из сопл 1 и 2, что приводит к возникновению разности (перепада) давлений в рабочих (междроссельных) камерах сопл. Данная разность давлений используется для управления дросселирующим золотником распределителя системы автоматического управления, который изменяет расход рабочей жидкости, поступающей к гидравлическому мотору, вследствие чего происходит стабилизация угловой скорости выходного звена машины.

При исчезновении внешнего возмущающего ускорения инерционная заслонка 5 под действием упругих сил центрирующих пружин 6 и 7 возвращается в начальное положение, что приводит к выравниванию давлений в рабочих камерах сопл 1 и 2.

Конструкция преобразователя позволяет осуществлять его переналадку и настройку на требуемый диапазон измеряемых ускорений, что обеспечивается за счет изменения массы инерционной заслонки 5 и (или) жесткости центрирующих пружин 6 и 7. Для настройки требуемых статических характеристик преобразователя (по расходу, по давлению в рабочих камерах и т. д.) существует возможность изменения зазора между торцами сопл 1 и 2 и заслонкой 5 путем смещения сопл по резьбе в корпусе.

Благодаря небольшим размерам и массе чувствительного элемента измерительный преобразователь может быть непосредственно встроен в де-

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТИПА “СОПЛО – ЗАСЛОНКА”...

тали, придающие вращение рабочим органам технологического оборудования (шкив, муфта, маховик и т. д.), или использоваться в виде отдельного устройства, установленного на вращающихся частях машины в любом удобном месте.

Недостатком преобразователя, приведенного на рис. 3, является невозможность его установки на сплошном валу между опорами.

В металлорежущих станках достаточно большое применение находят различного рода системы автоматического регулирования, функционирующие на основе информации о силовых параметрах процесса резания. Важным элементом таких систем является динамометрическое устройство (измерительный преобразователь силовых параметров процесса резания).

На рис. 4 изображен вариант устройства для измерения вращающего момента на валу с использованием чувствительного элемента типа “сопло – заслонка” в разрезе и дифференциальная схема соединения сопл.

Устройство работает следующим образом.

При постоянном давлении p_0 рабочая жидкость поступает от источника питания к дросселям 14 и 15, проходит через коллекторы 12 и 13 к соплам 10 и 11 и через зазоры между заслонкой 6 и соплами истекает в окружающую среду с атмосферным давлением. Перемещением сопел 10 и 11 по резьбе достигается установка номинальных зазоров между торцами и заслонкой 6, при которых давления p_1 и p_2 в полостях управляющего элемента 16 будут равны. Настройка номинального вращающего момента на валу осуществляется за счет регулирования винтами 9 предварительного натяга трех или четырех равномерно расположенных по окружности пружин 8.

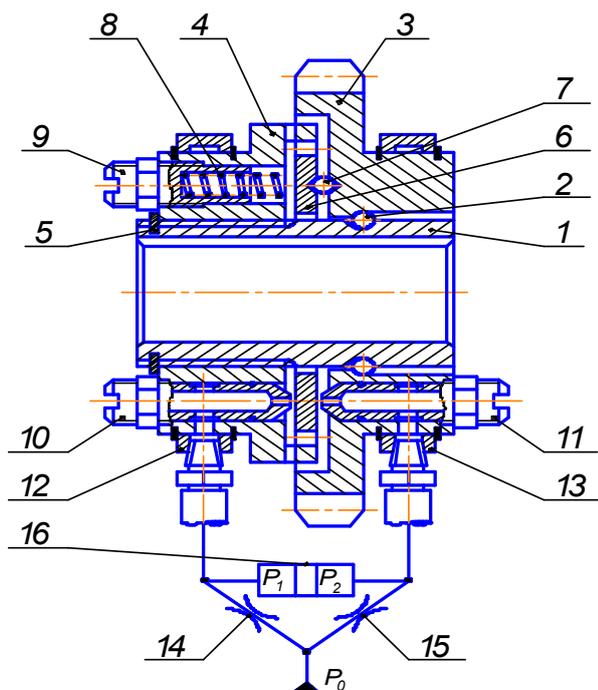


Рис. 4. Динамометрическое устройство с осевым перемещением заслонки и двумя соплами

При превышении настроенного вращающего момента на валу происходит относительный поворот ведущего элемента 3, связанного с приводом главного движения станка, и ведомого элемента 4, неподвижно установленного на валу. Вследствие этого шарики 7, расположенные в каплевидных впадинах, отжимают заслонку 6 в направлении сопла 10, что вызывает разнонаправленное изменение зазоров между соплами и заслонкой, а значит и изменение давлений p_1 и p_2 в полостях управляющего элемента 16. При этом p_1 будет увеличиваться, а p_2 уменьшаться. Возникающий перепад давлений приводит в действие управляющий элемент 16, например золотник дросселирующего гидравлического распределителя, системы автоматического управления режимом обработки.

Конструкции преобразователей с подвижной заслонкой не обеспечивают высокую точность измерения вращающего момента, так как в процессе их работы не сохраняется перпендикулярность поверхности заслонки к оси сопла.

Для устранения указанного недостатка авторами предложена конструкция измерительного преобразователя, у которого для повышения точности измерения вращающего момента сопло выполнено подвижным, а плоская заслонка жестко закреплена перпендикулярно оси сопла [5].

На рис. 5 изображен общий вид динамометрического устройства с осевым перемещением сопла.

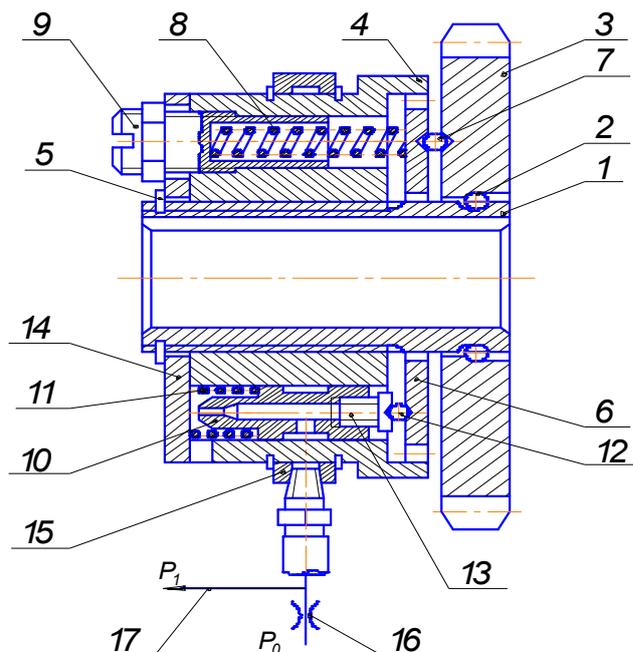


Рис. 5. Динамометрическое устройство с подвижным соплом

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТИПА “СОПЛО – ЗАСЛОНКА”...

Устройство содержит жестко закрепленную на валу втулку 1, на которой на опоре качения 2 установлен ведущий элемент 3. Ведомый элемент 4 расположен на втулке 1 на шлицах и зафиксирован стопорным кольцом 5.

Механизм преобразования момента в линейное перемещение выполнен в виде промежуточного фланца 6, который связан посредством зубчатых шлицев с ведомым элементом 4 и через три шарика 7, размещенные равномерно по окружности между торцами в каплеобразных впадинах, с ведущим элементом 3. Фланец 6 поджат через шарики 7 к ведущему элементу 3 тремя пружинами 8, предварительный натяг которых задан регулировочными винтами 9. Преобразователь линейного перемещения в выходной сигнал содержит сопло 10, подвижно установленное в цилиндрической расточке ведомого элемента и поджатое пружиной 11 через шарик 12 и регулировочный винт 13 к промежуточному фланцу 6. На ведомом элементе 4 перпендикулярно оси сопла 10 жестко закреплена плоская заслонка 14.

Рабочая среда от источника питания подведена к соплу 10 через коллектор 15 и дроссель 16. Каналом 17 преобразователь соединен с полостью управляющего элемента системы автоматического регулирования.

Устройство работает следующим образом.

При постоянном давлении p_0 рабочая среда поступает от источника питания (насоса) к дросселю 16, проходит через коллектор 15 к соплу 10 и через зазор между заслонкой 14 и соплом истекает в окружающую среду с атмосферным давлением. Установка номинального зазора между торцом сопла 10 и заслонкой 14 производится регулировочным винтом 13. При этом давление p_1 в канале 17 и, следовательно, в полости управляющего элемента системы автоматического регулирования равно половине величины давления p_0 .

Настройка номинального вращающего момента на валу осуществляется регулировочными винтами 9 путем изменения предварительного натяга пружин 8.

При нагружении вала моментом сил сопротивления происходит относительный поворот ведущего элемента 3, связанного с приводом вращения, и ведомого элемента 4, установленного на валу. Вследствие этого шарики 7 отжимают промежуточный фланец 6 в направлении ведомого элемента 4. Линейное перемещение через шарик 12 и регулировочный винт 13 передается соплу 10. Сопло, преодолевая усилие пружины 11, перемещается в направлении заслонки 14. Последнее вызывает уменьшение зазора между соплом 10 и заслонкой 14 и, следовательно, увеличение давления p_1 в канале 17. Возросшее давление приводит в действие управляющий элемент системы автоматического регулирования режима обработки.

Направление вращения преобразователя не влияет на точность измерения.

На рис. 6 показан измерительный преобразователь вращающего момента с угловым перемещением заслонки, отличающийся от ранее рассмотренного.

ренных преобразователей простотой и надежностью конструкции, что достигается устранением ряда промежуточных и вспомогательных элементов, преобразующих вращающий момент в линейное перемещение сопла или заслонки [4].

Устройство содержит жестко закрепленный на валу ведомый элемент 1 с фигурной головкой (крестовиной), в диаметрально противоположных тангенциальных цилиндрических расточках которой однонаправленно размещены неподвижные сопла 2 и 3. Ведущий элемент 4 с корпусом, в котором выполнены упоры, взаимодействующие с соплами, концентрично установлен на ведомом элементе 1 на опоре качения 5. Ведущий и ведомый элементы связаны между собой через четыре упругих элемента (винтовые или тарельчатые пружины) 6, установленные в цилиндрических тангенциальных расточках корпуса. Предварительный натяг упругих элементов 6 задан регулировочными винтами 7. Рабочая жидкость от источника питания подведена к соплам 2 и 3 через коллекторы 8 и 9. Сопла 2 и 3 соединены по дифференциальной схеме, включающей в себя постоянные дроссели 10 и 11 и управляющий элемент 12 (дросселирующий гидравлический распределитель) системы автоматического регулирования.

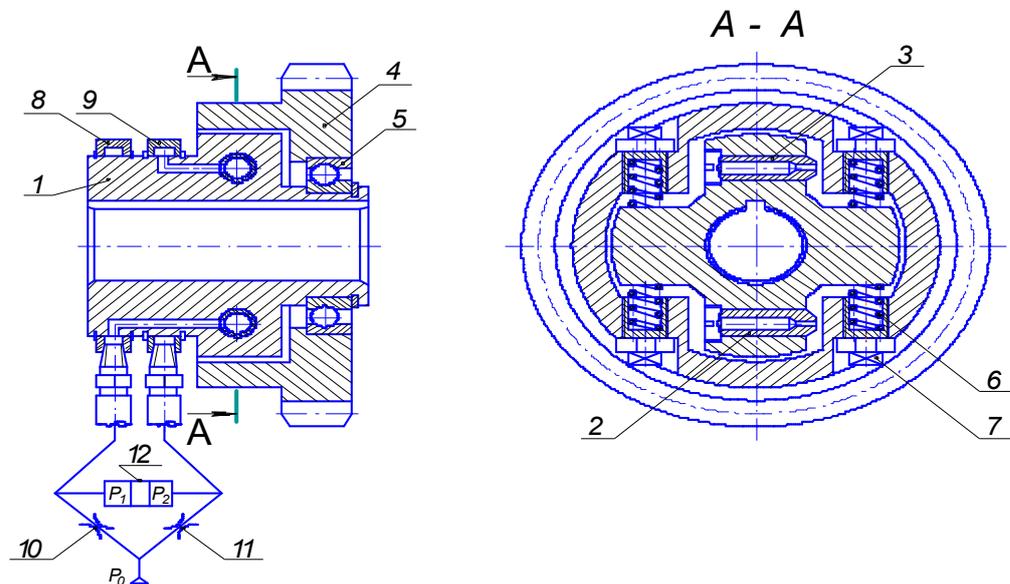


Рис. 6. Динамометрическое устройство с угловым перемещением заслонки

Устройство работает следующим образом.

При постоянном давлении P_0 рабочая жидкость поступает от источника питания (насосной станции станка) к дросселям 10 и 11, проходит через коллекторы 8 и 9 к соплам 2 и 3 и через зазоры между упорами корпуса ведущего элемента 4 и соплами истекает в окружающую среду с атмосферным давлением. Установка одинаковых начальных зазоров между упорами веду-

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТИПА “СОПЛО – ЗАСЛОНКА”...

щего элемента и торцами сопел, а также настройка номинального вращающего момента на валу осуществляется регулировочными винтами 7 за счет изменения предварительного натяга упругих элементов 6, при этом давления P_1 и P_2 в полостях управляющего элемента 12 должны быть равны.

При нагружении вала вращающим моментом происходит относительный поворот ведущего элемента 4, связанного с приводом вращения, и ведомого элемента 1, неподвижно установленного на валу, что вызывает разнонаправленное изменение зазоров между торцами сопел 2 и 3 и упорами корпуса ведущего элемента. Изменение зазоров вызывает изменение давлений P_1 и P_2 в полостях управляющего элемента 12. Возникающий перепад давлений рабочей жидкости приводит в действие управляющий элемент 12 системы автоматического регулирования режима обработки. В качестве последнего обычно используют золотниковый дросселирующий распределитель, регулирующий соответствующим образом расход жидкости на входе и выходе гидравлического двигателя привода подачи.

Разработанные конструкции измерительных преобразователей обладают достаточно мощным выходным сигналом, что позволяет использовать его без преобразования и усиления для управления исполнительным механизмом системы автоматического регулирования или управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симанин Н.А., Голубовский В.В. Гидравлические системы автоматического управления технологическими операциями в машиностроении : Монография. – Пенза : ПГТА, 2009. – 155 с.

2. Патент 2150116 РФ. Измерительный преобразователь ускорений типа “сопло – заслонка” / Трилисский В.О., Симанин Н.А., Демин С.Б., Голубовский В.В. Оpubл. 27.05.2000, Бюл. № 15.

3. Патент РФ на полезную модель № 102265. Измерительный преобразователь ускорений типа “сопло – заслонка” / Симанин Н.А., Голубовский В.В., Прохоров А.М. Оpubл. 20.02.2011, Бюл. № 5.

4. Патент РФ на полезную модель № 99163. Измерительный преобразователь вращающего момента / Симанин Н.А., Голубовский В.В., Блохин А.А., Вострокнутов Е.В. Оpubл. 10.11.2010, Бюл. № 31.

5. Патент РФ на полезную модель № 99164. Измерительный преобразователь вращающего момента / Симанин Н.А., Голубовский В.В., Блохин А.А., Устинов Е.М. Оpubл. 10.11.2010, Бюл. № 31.

УДК 338.147 (075.8)

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО РЫНКА И ЗАДАЧИ БРЕНДИНГА МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

- © *Н.В. Моряхина, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *Н.С. Елисеева, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*
- © *Е.В. Таранцова, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

ANALYSIS OF THE LOCAL MARKET SITUATION AND GOALS OF BACKED CONFECTION BRANDING

- © *N.V. Moryhina, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *N.S. Eliseeva, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*
- © *E.V. Taranzova, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье приводится анализ состояния регионального рынка мучных кондитерских изделий.

Ключевые слова: мучные кондитерские изделия, региональный рынок, брендинг мучных кондитерских изделий.

The paper discusses the situation on the local backed confection market.

Key words: backed confection, local market, backed confection branding.

Сегодня производство мучных кондитерских изделий – это значительная и динамически развивающаяся отрасль кондитерской промышленности.

По данным маркетинговых исследований, проведенных компанией “Прорыв”, емкость российского рынка мучных кондитерских изделий (МКИ) в денежном выражении составляет примерно 45 млрд. рублей при его годовом росте в 8,2 %.

Анализ рынка нашего региона показывает, что для него характерны традиционные виды МКИ при преобладании печенья и пряников местного производства (рис. 1) [1]. Видовой ассортимент регионального рынка, несмотря на появившийся за последние два-три года ряд минипекарен в супермаркетах и некоторый рост числа малых предприятий, специализирующихся на выпечке и производстве МКИ, пока еще довольно узок. В продаже не наблюдается значительного разнообразия данных видов продукции.

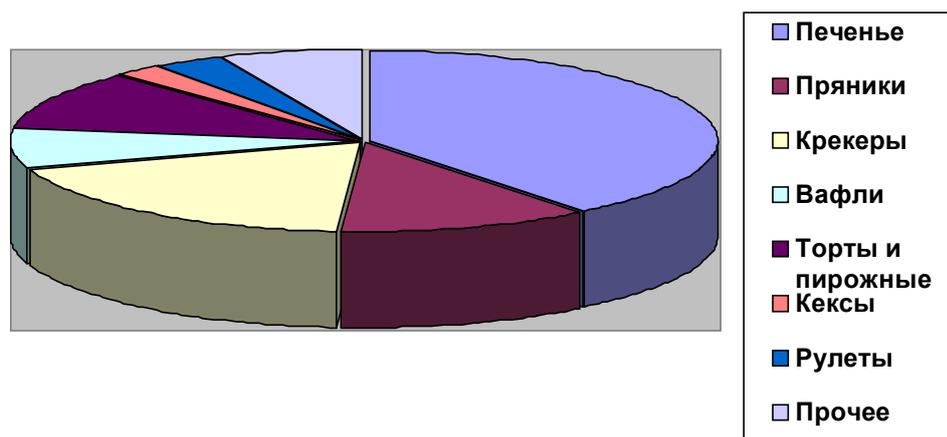


Рис. 1. Распределение МКИ по видовым сегментам на региональном рынке

С одной стороны, это свидетельствует об отставании разработок по созданию новых видов МКИ, отсутствию качественной технологии их производства и высококвалифицированных специалистов, надлежащего контроля качества выпускаемой продукции и необходимого современного оборудования. С другой стороны, об этом же свидетельствует и отсутствие на местном рынке надлежащей конкурентной среды практически по всем сегментам МКИ. Например, малые предприятия, специализирующиеся на выпуске бисквитных тортов, печенья или пряников, не оказывают практически серьезной конкуренции местным монополистам в лице городских хлебозаводов. Доля на рынке небрендируемой и немарочной мучной кондитерской продукции, например, такой как, печенье местного производства с начинками, многослойное, глазированное, сдобное и др. составляет практически все 100 %. Местные производители не формируют собственные бренды, поэтому покупатели недостаточно осведомлены об ассортименте и качестве выпускаемой продукции. Наши региональные марки, по сути, не позиционированы на рынке и малоизвестны даже в своем городе и области, не говоря уже о ближайшем окружении. Видимо, единственное исключение составляет крекерная продукция Кузнецкого ОАО «Визит». Кроме того, в ряде случаев мелкие производители не особенно утруждают себя повышением качественных показателей выпускаемой продукции. Так, некоторые виды сдобного печенья с начинкой из вареного сгущенного молока имеют приторно сладкий вкус, неопределенную форму и непривлекательный внешний вид. Низкое качество отмечено и у ряда пряников – небрежная глазировка, низкие вкусовые показатели заварного теста, отклонения в размерах.

Существующее положение в данной области неизбежно приведет к завоеванию местного рынка продукцией других регионов с более продвинутыми брендами (а после вступления в ВТО не исключено, что и зарубежной продукцией), так как конкурентное давление местных производителей продукции практически отсутствует.

Наибольшим сегментом МКИ является сегмент печенья. Для нашей области характерно преобладание традиционных видов печенья: сахарного, крекерного (сухого), овсяного и сдобного (рис. 2).

Менее распространены комбинированные виды печенья с разными видами начинок, числа слоев, видов глазировки и т.п. Практически отсутствуют региональные МКИ с натуральными лечебно-профилактическими добавками, не выпускается замороженная выпечка по аналогу с продукцией фирмы “Робин-сдобин” (г. Воронеж). При производстве МКИ мал объем использования местного сырья – овощей, фруктов, меда и ягод, о чем свидетельствует полное отсутствие местных брендов (за исключением продукции с брендом “Ковригово”).

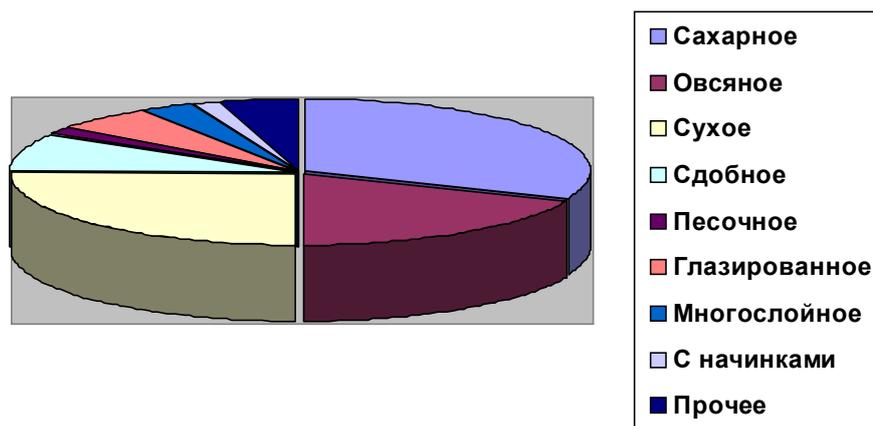


Рис. 2. Распределение печенья по видам

Из мировой практики хорошо известно, что при производстве комбинированного печенья с добавлением шоколада, карамели, кремов и других начинок получается продукт с нетрадиционной вкусовой гаммой, более широкой по сравнению с традиционными классическими видами печенья.

Это обстоятельство при наличии качественного бренда и рекламы, отработанной формы и структуры МКИ, использовании только высококачественного сырья, малой расфасовки и красочной упаковки, позволит существенно расширить сегмент комбинированного печенья и уверенно завоевать свою рыночную нишу.

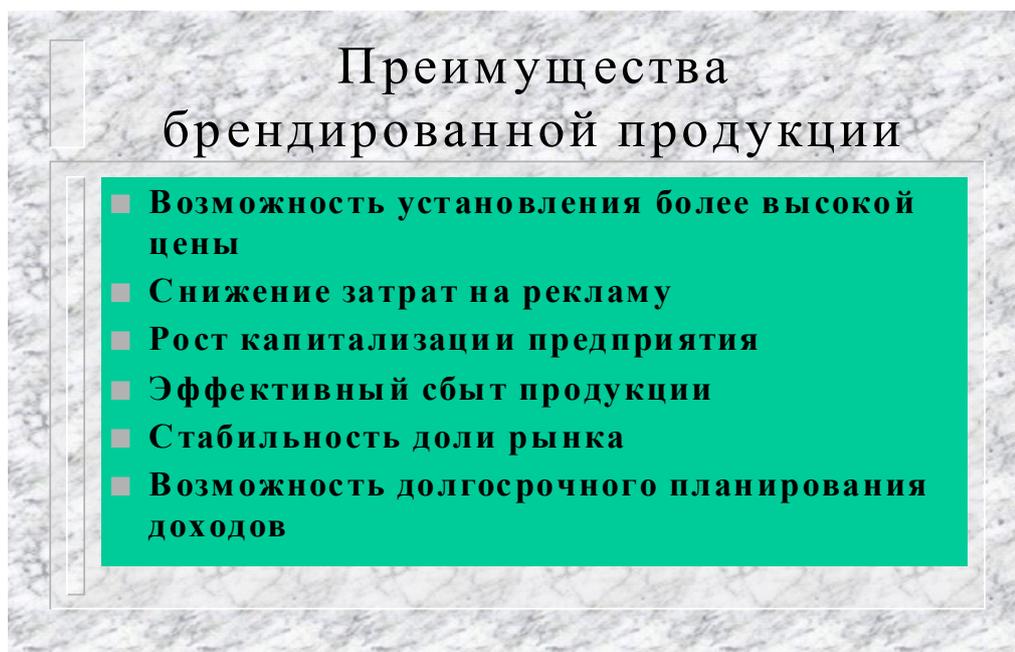
Об этом свидетельствует характерный пример фирмы *Bahlsen* (ФРГ), выпускающей сдвоенное печенье “*PicUP*”, состоящее из двух прямоугольных песочных половинок, склеенных шоколадной глазурью. Фирма импортирует свои продукты в 80 стран мира, имея годовой оборот около 525 млн. евро. Печенье “*Soft Cake*” фирмы *Griesson & DeBeukelaer*, занимающей первую позицию на рынке сладких мучных изделий ФРГ, состоит из трех компонентов и выпускается в различных модификациях с варьированием вкусовых характеристик различными видами начинок.

Комбинирование компонентов открывает перед производством широкие возможности, поскольку при сохранении существующей технологии

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО РЫНКА И ЗАДАЧИ...

и рецептов любое изменение структуры, добавки или начинки дает новый вид и сорт печенья, который принимается рынком, несмотря на некоторое увеличение цены.

Анализ продаж показывает, что даже при незначительных объемах выпуска комбинированного печенья выручка от его реализации составляет около 40 % всего рынка печенья, что свидетельствует о больших потенциальных возможностях данного вида продукции, поэтому задачи расширения ассортимента и брендинга при продвижении этого ассортимента на региональный и всероссийский рынки являются необходимым условием устойчивого положения фирмы-производителя и улучшения экономики региона в целом.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авроров В.А., Авроров Г.В., Сарафанкина Е.А. Моделирование операций обработки сырья и получения полуфабрикатов для мучных кондитерских изделий : Электронное учебное пособие. – Пенза : ПГТА, 2011. – 137 с.

УДК 338.147 (075.8)

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ СПРОСА НА МОЛОКО И МОЛОЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ

© *В.М. Зимняков, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)*

STRATEGY OF ASSESSMENT OF MILK AND DAIRY PRODUCTS DEMAND

© *V.M. Simniakov, Penza Stats Agricultural Academy (Penza, Russia)*

В статье приводится анализ состояния регионального рынка молока и молочной продукции и предлагается методология оценки спроса на данную продукцию.

Ключевые слова: молоко и молочная продукция, состояние рынка, методология оценки спроса.

The paper analyses the situation on the local milk and dairy products market and discusses the assessment strategy for such goods demand.

Key words: milk and dairy products, situation on the market, strategy of demand assessment.

В условиях развитого рынка спрос, безусловно, является определяющим конъюнктурным фактором, испытывая при этом на себе влияние множества как объективных, так и субъективных причин. Каждый рациональный покупатель стремится максимизировать совокупную полезность от потребления благ, которые он получает за счет своего бюджета. Так называемая линия бюджетного ограничения есть следствие движения доходов потребителя и цен товаров, двух важнейших факторов спроса.

Отсюда рынок сбыта молока и молочной продукции определяется не рациональной потребностью данных продуктов, а платежеспособным спросом на них, а значит размером среднедушевого дохода, уровнем розничных цен на молоко и молочные продукты, а также динамикой цен на прочие продукты питания и на продовольственные товары и услуги и др. При этом расширение спроса на молоко и молочные продукты имеет определенные пределы насыщения, обусловленные физиологическими границами. Кроме того, важное значение имеет также физическая и экологическая доступность условия удовлетворения спроса.

Официальный показатель числа россиян, живущих за чертой бедности, составил 13,4 %. По критериям, принятым для официальной аналитики в нашей стране, семья оказывается за чертой бедности, если ее среднедушевой совокупный доход оказывается ниже прожиточного минимума. Однако “субъективный уровень бедности”, то есть оценка того, как сами люди оценивают свои социальные позиции, считают они себя бедными или нет, по России составляет более 40 %. И именно этот фактор способствует росту социальной напряженности в обществе.

Для оценки уровня жизни в Российской Федерации методологией Росстата используются понятия прожиточного минимума (ПМ), минималь-

ного потребительского бюджета (МПБ), бюджета высокого достатка (БВД).

Минимальный потребительский бюджет (МПБ) позволяет на минимально необходимом уровне удовлетворять потребности человека в питании, приобретении жизненно необходимого набора непродовольственных товаров и платных услуг, уплачивать налоги.

МПБ обеспечивает восстановительный уровень потребления. Прожиточный минимум ниже МПБ на сумму налогов и ограничен более жестким набором продуктов питания (25 наименований) и непродовольственных товаров.

Бюджет высокого достатка (БВД) позволяет удовлетворять в основном рациональные физические и духовные потребности населения и обеспечивает развивающий характер потребления.

Доля бедного населения с доходами ниже прожиточного минимума имеет тенденцию к росту и зависит это от опережения инфляции над доходами населения. Дифференциация населения по доходам в различных регионах отличается существенно и продолжает увеличивать неравенство. Если разбить население по 10 процентным группам (от 10 % граждан с самыми низкими доходами до 10 % – с самыми высокими), то доходы, например, “самых богатых” москвичей превысят доходы “самых бедных” в 52 раза. Иными словами, лучше быть бедным в окружении богатых в Москве.

Однако методика расчета даже бюджета высокого дохода не предусматривает такие расходы граждан, как покупка жилья (жилищный кодекс определяет основным способом обеспечения граждан жильем – его покупку за собственные средства), обучение, платное медицинское обслуживание. Однако затраты населения на эти цели ежегодно увеличиваются и уже являются объективной необходимостью существования. И если доходы населения оценивать по той же схеме, но с учетом затрат перспективного развития (жилье, образование) и качественного бытия (здоровье, жилье), то уровень бедности в нашей стране и в регионе в том числе будет значительно выше официальной статистики.

При рассмотрении так называемого паритета покупательной способности россиян, если основываться на используемых российской статистикой курсах пересчета средней российской заработной платы в доллары США, то она составляет менее 10 % от среднемесячного заработка работника в США. Пересчитанные в доллары средние розничные российские цены по отношению к американским (без учета качества и т. п.) составили: по хлебо-булочным изделиям – около 15 %, муке, крупам, макаронным изделиям – 40-50 %; говядине – 60-70 %; свинине, колбасным изделиям и молоку – около 40 %, яйцам – 70 %, курам – 80 %; картофелю и яблокам – около 30 %. Таким образом, если не считать хлебо-булочных изделий, то российские цены находятся в интервале 30-80 % от американских, то есть значительно выше, чем доходы наших людей по сравнению с американскими.

Динамика спроса населения области на основные продукты питания такова, что за последние девять лет имеет место как абсолютное уменьшение потребления продуктов четырех основных товарных групп в среднем

на 30-35 %, так и структурные сдвиги в пользу низкокалорийных “товаров Гиффена” с высокой степенью взаимозаменяемости последних.

Среди других регионов Пензенская область по потреблению молока и молочных продуктов занимает 30 место. В то же время следует отметить более высокий уровень потребления молока и молочных продуктов в сравнении со среднероссийским показателем и некоторыми соседними регионами. Насколько оно изменилось относительно других товаров и услуг, позволяет сказать изучение динамики доли расходов на молоко и молочную продукцию в денежном доходе. Последняя находится под влиянием как кратковременных тенденций (в изменении регионального дохода, прожиточного минимума, ценах и их соотношении на прочие товары), которые, в свою очередь, также взаимообусловлены, так и факторов более длительного действия. Например, в течение периода с 1995 по 2007 г. спрос постепенно переключается на более качественные, с точки зрения покупателей, продукты из данной группы при сокращении расходов на цельное молоко в общих расходах с 48 до 24 %. Более детально вопросы формирования спроса на молочную продукцию рассмотрены нами ниже.

Важную роль в изучении возможных реакций со стороны экономических агентов на изменение значимых факторов признаков спроса играет аппарат эластичности, предполагающий, в частности, исследования зависимости между величиной спроса, уровнем доходов населения и цен на молочную продукцию. Для каждого отдельного года корреляцию между этими признаками можно изучать, используя показатель размера среднедушевого денежного дохода в текущих ценах. Однако для целей дальнейшего анализа и прогнозирования необходимо элиминировать инфляционный фактор. Сопоставимость данных за разные годы можно обеспечить путем выражения динамики доходов в отношении прожиточного минимума для данного года или исчислением размеров реального дохода. Последний представляет собой номинальный денежный доход, уменьшенный на сумму обязательных платежей и скорректированный на среднегодовой индекс потребительских цен. Величина спроса численно определяется как через показатель потребления молока и молочных продуктов в среднем на душу населения в месяц в натуральном выражении, так и через показатель денежного расхода на покупку данного товара в месяц или его доли в общей сумме месячного дохода.

Методикой Госкомстата РФ не предусмотрена разбивка товарной группы “молоко и молочные продукты в пересчете на молоко” на отдельные виды, что заведомо усиливает связь “доход – потребление” (спрос на сыр, масло животное, молочный сахар, мороженое характеризуется, как правило, большей эластичностью по цене и доходу). Если в 1998 г. номинальный денежный доход превышал прожиточный минимум в Пензенской области в 1,1 раза, то уже через 10 лет разрыв увеличился до 1,46 раза, причем в среднем по России за аналогичный период увеличение данного показателя составило 35 %.

Результаты исследований за 2000 – 2010 годы показывают, что факторное влияние дохода имеет наибольшую силу против ценовых колебаний. Так, в среднем однопроцентный рост номинальных денежных дохо-

дов населения приводит к увеличению расходов на покупку молока и молочных продуктов на 1,76 %, рост розничных цен реализации молочных продуктов на 1 % приводит лишь к 0,42 % сокращения объема их покупок в стоимостном выражении [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимняков В.М. *Молочнопродуктовый подкомплекс региона (теория, методология, практика) : Автореф. дисс. ...док. эконом. наук: 08.00.05. – М. : 2009. – 47 с.*

УДК 338.5

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЦЕНЫ НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ

© В.М. Зимняков, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

© Е.А. Алмакаева, ОАО Пензтяжпромarmатура (г. Пенза, Россия)

METHODOLOGICAL APPROACH TO DAIRY PRODUCTS PRICING

© V.M. Simniakov, Penza Stats Agricultural Academy (Penza, Russia)

© E.A. Almakayeva, Penztiaghpromarmatura (Penza, Russia)

В статье приводится анализ формирования цены на молочную продукцию.

Ключевые слова: молоко и молочная продукция, структура цены.

The article is dedicated to dairy products pricing.

Key words: milk and dairy products, price structure.

В сложившейся правовой и экономической ситуации в АПК России давно назрела необходимость в едином методологическом подходе при обосновании цены продукции, вырабатываемой участниками продуктовой цепи по производству, переработке и реализации молока.

Целью оптимизации экономических отношений участников рынка молочного подкомплекса и ценового регулирования произведенной ими продукции является обеспечение равновыгодности взаимодействия каждого звена этой цепи.

На основе проведенных нами исследований разработана методика формирования гарантированных цен на молочную продукцию на каждом участке цепи, которая позволяет определять ценовые соотношения как для региона в целом, так и для отдельных хозяйствующих субъектов [1, 2].

В первом случае ценовые соотношения являются средними по совокупности сельскохозяйственных, перерабатывающих и торговых предприя-

тий всего региона, во втором – по совокупности предприятий, входящих в состав различных формирований, в том числе и объединений сельскохозяйственных потребительских кооперативов.

Методикой предусматривается два варианта определения экономических взаимоотношений доли участников рынка:

1. На основе отношения оптовой, отпускной и розничной цен к стоимости сырья, затраченного на производство единицы продукции.

2. На основе структуры розничной цены, характеризующей стоимостные доли сельскохозяйственного производства, переработки и торговли.

Результаты расчетов приведены в табл. 1, при этом стоимость сырья принята за единицу.

Специфическими факторами, влияющими на эффективность производства молочной продукции, являются соотношение различных стадий производства конечного продукта, сложность и длина продуктовой цепи.

Для настоящего периода, когда рыночные отношения в стране находятся на начальной стадии эволюции, характерно усложнение продуктовой цепи “производство – переработка – реализация молока и молочных продуктов”.

Таблица 1 – Структура розничной цены и соотношения стоимости сырья, оптовых, отпускных и розничных цен на молочную продукцию

Вид продукции	Коэффициенты соотношения цен и стоимости сырья				Структура розничной цены, %		
	оптовая цена	отпускная цена	розничная цена		с.-х. производство	переработка	торговля
			по оптовым ценам	по отпускным ценам			
Масло крестьянское	1,080	1,189	1,230	1,353	73,9	13,9	12,2
Сыры жирные	1,239	1,363	1,607	1,767	56,6	20,5	22,9
Молоко цельное	1,347	1,481	1,658	1,824	54,8	26,4	18,8
Сметана	1,117	1,229	1,297	1,427	70,1	16,0	13,9
Творог жирный	1,244	1,368	1,386	1,524	65,6	24,2	10,2
Кисломолочная продукция	1,403	1,543	1,628	1,792	55,8	30,4	13,8
Всего	1,191	1,310	1,404	1,544	64,8	20,1	15,1

Прохождение отдельных молочных продуктов звеньев цепи через стадию оптовой реализации в определенной мере зависит от территориального разделения мест производства, удаленности друг от друга стадий технологии (звеньев цепи) и реализации, а также от видов производимых продуктов.

Крупные перерабатывающие предприятия традиционно применяют три канала сбыта молочной продукции: через дистрибьюторов, самостоятельная доставка продукции в точки продажи, а также поддержка складов, с которых продавцы розничной торговли могут забирать товар.

Более мелкие молочные заводы обычно сами поставляли свою готовую продукцию непосредственно в розничную торговлю. Вместе с тем в

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЦЕНЫ...

последнее время многие региональные молокоперерабатывающие предприятия используют и такое промежуточное звено, как оптовая торговля.

Для сельскохозяйственных предприятий, которые организовали переработку молока в местах его получения, наиболее выгодно осуществлять продажу своей продукции без посредников. На рис. 1 приведены схемы реализации молочных продуктов от сельскохозяйственных производителей к потребителю.

Такой уровень цен является наиболее выгодным и для конечного потребителя (покупателя) молочной продукции, который приобретает молоко по более низкой цене.

Рассчитанные ценовые пропорции могут быть использованы для анализа и регулирования ценовых межотраслевых взаимоотношений. Они также являются и ценовой защитой экономических интересов сельскохозяйственных товаропроизводителей в молочнопродуктовом подкомплексе.

Кроме этого, данная методология с успехом может быть применена для ценового регулирования членов сельскохозяйственных потребительских кооперативов по производству молока, его переработке и реализации.

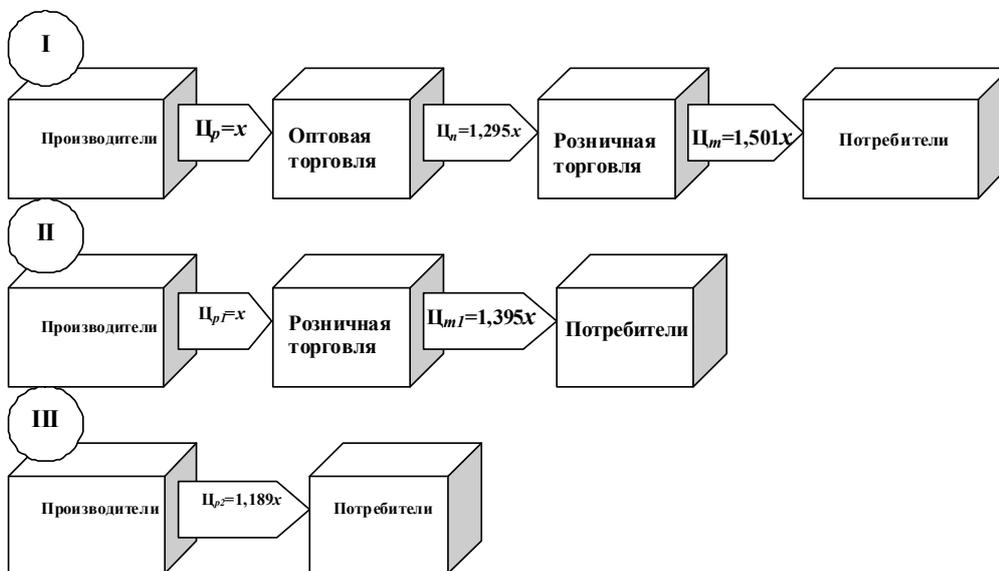


Рис. 1. Схемы реализации молочных продуктов от сельскохозяйственных производителей к потребителю:

C_p – цена реализации молока сельскохозяйственными товаропроизводителями молочным заводам, руб.; C_{p1} – цена реализации сельскохозяйственными товаропроизводителями в торговую сеть, руб.; C_{p2} – цена реализации непосредственно покупателю, руб.; C_n – оптовая цена, руб.; C_m – розничная цена, руб.; C_{m1} – цена, по которой предприятие торговли реализует молочные продукты покупателям, получив их непосредственно от товаропроизводителя, осуществляющего собственную переработку молока непосредственно в хозяйстве, руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимняков В.М. Методология исследования экономических отношений в молочнопродуктовом подкомплексе // Вестник кадровой политики, аграрного образования и инноваций. – 2009. – № 1. – С. 12 – 15.
2. Зимняков В.М. Молочнопродуктовый подкомплекс региона (теория, методология, практика) : Автореф. дисс. ...док. эконом. наук: 08.00.05. – М., 2009. – 47 с.

УДК 316

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ
ОТРАСЛЯХ АПК (ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОДХОД)**

© *А.В. Новикова, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT IN AGRICULTURAL
PROCESSING INDUSTRIES (EVOLUTION APPROACH)**

© *A.V. Novikova, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье приводится эволюционный анализ НТП в агропромышленном производстве и определены тенденции его развития.

Ключевые слова: агропромышленное производство, научно-технический прогресс, тенденции развития АПК.

The paper is concerned with evolution analysis and trends of technological development in agricultural manufacturing.

Key words: agricultural manufacturing, technological development, trends of agriculture development.

Эволюция НТП в обществе исследуется многими отечественными и зарубежными учеными, и в настоящее время общепризнана теория цикличности, основанная на том, что в экономической системе освоение имеющихся научно-технических достижений и накопление научных знаний происходят параллельно и в определенный момент происходит замена имеющихся средств производства на качественно новые. Параллельность накопления новых и расходования достигнутых ранее знаний определяет волновую природу научно-технического прогресса в обществе, причем отмечено, что каждая волна НТП, именуемая циклом Кондратьева, имеет продолжительность около полувека. Отправной точкой развития научно-технического прогресса принято считать промышленную революцию конца 18 века, когда появились первые машины для замены ручного труда (не мускульной силы, а действия), и, начиная с этого времени, выделяют не менее четырех технологических циклов.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ...

Характеристики элементов, формирующих технологические циклы НТП, выявлены многими авторами в зависимости от объекта и предмета своего исследования (Глазьев С., Кушлин В., Санду И. и др.). Мы, в свою очередь, опираясь на имеющиеся разработки, рассмотрим общепринятые этапы НТП (1790 – 1840 гг.; 1840 – 1890 гг.; 1890 – 1940 гг.; 1940 – 1990 гг.; с 1990 г. по настоящее время) применительно к пищевым производствам, выделив в каждом из них ряд значимых элементов, характерные особенности которых на каждом этапе НТП приведены в табл. 1.

Таблица 1

Этапы	Производство с/х сырья для пищевых производств	Научные открытия	Промышленность (машины и аппараты)
1790 – 1840 гг.	Возникновение крупных хозяйств для товарного производства молока-сырья	Интенсивное развитие естественных наук	Первые машины для механизации трудоемких процессов при производстве пищевой продукции
1840 – 1890 гг.	Организация артельных товарных хозяйств	Специализация науки по отдельным направлениям	Организация первых промышленных производств по выпуску пищевой продукции
1890 – 1940 гг.	Повышение урожайности с/х культур и продуктивности с/х животных	Возникновение научных отраслей, специализирующихся на проблемах производства конкретной продукции (пищевые технологии, процессы и аппараты пищевых производств)	Индустриализация пищевых производств
1940 – 1990 гг.	Комплексная механизация и химизация с/х работ в целях увеличения производства сырья	Превращение науки в отрасль народного хозяйства, возникновение новых научных направлений (1950 – биотехнология)	Создание автоматизированных технологических линий по производству всех видов пищевой продукции
С 1990 г. по настоящее время	Производство с/х сырья с заданными технологическими свойствами	Наука – движущая сила прогресса в производстве. Новые научные направления – пищевая химия, реология пищевых продуктов	Создание технологических линий по комплексной переработке сырья и производству продукции с заданными потребительскими свойствами

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод, что на первом этапе НТП изменения в науке косвенно повлияли на сферу производства сырья, что выразилось в развитии его товарного производства, но практически не отразилось на сферах переработки и машиностроения. Однако уже в 1840 – 1890 гг. на основе достигнутых ранее знаний был создан ряд революционных технических изобретений (вакуумный доильный аппарат, сепаратор, куттер, холодильная машина, ректификационное оборудование и др.), которые обусловили интенсивное наращивание производства различных видов

сельскохозяйственного сырья с целью его дальнейшей переработки, создав тем самым предпосылки для организации первых перерабатывающих предприятий промышленного типа. Также именно в этот период были сделаны фундаментальные открытия в области микробиологии, биохимии и органической химии, что дало импульс к изучению процессов, происходящих при производстве многих пищевых продуктов.

Дальнейшее развитие науки и техники позволило в 1890 – 1940 гг. разработать промышленные технологии и оборудование для производства хлебобулочных изделий, кисломолочной продукции, масла животного, макаронных изделий, сахара и др. Вторая половина 20-го века ознаменовалась особым этапом НТП – научно-технической революцией (НТР), обусловившей появление множества новых научных дисциплин и тенденций к междисциплинарному подходу в решении научно-технических проблем, что позволило значительно усовершенствовать имеющиеся производственные процессы и создать предприятия высокой мощности, уровень механизации и автоматизации которых достигал 80-90 %.

К началу 90-х годов достижения НТР привели к осознанию необходимости трансформирования существующей концепции массового промышленного производства, что связано не только с новыми достижениями в науке и технике, но и с изменениями в обществе, предъявляющим к потребляемой продукции новые требования (не только количество, но также качество и разнообразие).

Проведенный эволюционный анализ НТП в агропромышленном производстве позволяет увидеть некоторые закономерности ее развития, что может помочь спрогнозировать деятельность предприятий перерабатывающих отраслей в дальнейшем. В настоящее время общество находится в начале пятой волны 50-летнего цикла Кондратьева и это означает, что предприятия только начинают осуществлять нововведения, основанные на имеющихся прогрессивных научно-технических решениях, основная масса которых реализуется в промышленное производство ориентировочно к 2030 году. Если сейчас доминирующей производственной технологией является комплексная механизация и частичная автоматизация, то в перспективе следует ожидать таких способов производства, при которых технологические процессы будут самодействующими, саморегулирующимися и самовоспроизводящимися. Существующие в пищевых производствах технологии, основанные на научно-технических достижениях конца 19 – начала 20 в. и максимально развитые, уже во многом исчерпали себя и для обеспечения населения пищевыми продуктами требуются кардинальные нововведения, основанные на использовании новых источников энергии, достижений биотехнологии, нанотехнологии, генной инженерии, пищевой химии, реологии, аграрно-пищевых технологий.

Обобщая вышесказанное, отметим следующие особенности НТП в перерабатывающих отраслях АПК:

– НТП в АПК связан с широким применением на предприятиях достижений фундаментальной и прикладной науки в области производства пищевых продуктов в целях полного удовлетворения потребностей населения;

– НТП в АПК подчиняется общим закономерностям развития НТП в обществе, а именно, периодической смене технологических этапов, подтверждением чему служит проведенный эволюционный анализ;

– смена укладов НТП в АПК происходит в том случае, когда все возможности производства исчерпаны и не могут обеспечить имеющиеся в обществе потребности в продукции того или иного вида;

– предпосылки к смене укладов закладываются в сфере науки, причем принципиально новые научно-технические решения, как правило, появляются в результате междисциплинарного подхода к решению существующих проблем;

– накопление знаний имеет опережающий характер, а их реализация в конкретных технологиях и технике соответствует нынешним потребностям промышленного производства;

– результатом НТП в отрасли является наращивание объемов производства традиционных продуктов питания и появление новых видов продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санду И.С. *Научно-техническое развитие агропромышленного комплекса России (состояние и перспективы) : Коллективная монография / Санду И.С. [и др.]. – М. : Экономика и информатика, 2001 – 322 с.*

2. Кушлин В.И. *Инновационность хозяйственных систем / Кушлин В.И. [и др.]. – М. : Эдиториал УРСС, 2000. – 205с.*

3. Ильенкова С.Д. *Инновационный менеджмент : Учебник для вузов / С.Д. Ильенкова, Л.М. Гохберг [и др.]. – М. : Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. – 327 с.*

4. Клинов В. *Волновая природа научно-технического прогресса и большие циклы конъюнктуры мирового хозяйства // Общество и экономика. – 2002. – № 6. – С. 3 – 33.*

УДК 338.45; 664

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© **А.В. Новикова**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

© **Е.В. Таранцова**, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

PROGRESS TRENDS OF BAKING INDUSTRY

© **A.V. Novikova**, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

© **E.V. Taranzova**, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

В статье приводятся результаты анализа состояния и перспективы развития хлебопекарной отрасли отечественной пищевой промышленности.

Ключевые слова: хлебопечение, состояние отрасли хлебопечения, тенденции развития.

The paper is dedicated to discussing the present state and trends of bakery branch of national industry.

Key words: breadbaking, bakery industry state, progress trends.

Важнейшей социально-экономической задачей государства является обеспечение населения продовольствием в достаточном количестве и надлежащего качества. Хлеб, наравне с мясом и молоком, является основным продуктом питания. Производство хлебобулочных изделий обеспечивает хлебопекарная промышленность, объединяющая крупные хлебозаводы и малые пекарни. Состояние отрасли на современном этапе [1, 2] характеризует динамика объемов производства продукции за период 1990 – 2010 гг. (табл. 1).

Таблица 1. Производство хлебобулочных изделий в РФ в 1990 – 2010 гг.

Показатели	1990 г.	2000 г.	2010 г.	2010 г. в % к 1990 г.
Производство, млн. т	18,2	8,8	7,1	39,0

Таким образом, за период 1990 – 2010 гг. объемы производства хлебобулочных изделий на предприятиях отрасли сократились более чем в 2,5 раза.

В 2009 г. производство хлебобулочных изделий в РФ составило 52 кг на человека. При этом по данным Госкомстата РФ потребление хлебопродуктов, которое включает хлебобулочные изделия в пересчете на муку, крупы и бобовые, на протяжении многих лет держится на уровне 119 кг в год на душу населения, т.е. хлебопекарная отрасль обеспечивает не более 50 % потребления. Таким образом, у предприятий имеются значительные перспективы расширения производства, однако этого не происходит. Как отмечают специалисты ГНУ ГОСНИИХП, важнейшей задачей на перспективу до 2015 г. является стабилизация производства на уровне 7,5 – 10 млн. т в год, при этом достичь этого можно только при условии инновационного развития отрасли. [3].

К хлебопекарной промышленности на современном этапе относятся крупные хлебозаводы, введенные в эксплуатацию до 1990 г., и малые пекарни, образовавшиеся в период становления рыночных отношений. На долю крупных предприятий в 2009 г. приходилось 72 % от общего объема производства, причем отмечается тенденция снижения этой доли (в 2009 г. произведено продукции на 5 % меньше, чем в 2008 г.) [4]. Постепенное перераспределение долей участников рынка свидетельствует о наличии конкуренции, которая побуждает товаропроизводителей либо свертывать производство, либо искать конкурентные преимущества. Приобретение конкурентных преимуществ неразрывно связано с инновационной деятельностью предприятий, в основе которой лежит, во-первых, ожидание получения прибыли, во-вторых, наличие жизненного цикла товара, предполагающего неизбежность обновления производства. Тот факт, что крупные товаропроизводители уступают свои позиции, указывает на то, что они не готовы к инновационной деятельности.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

По нашему мнению, это объясняется тем, что материально-техническая база предприятий, сформировавшаяся во второй половине XX в., ориентирована на выпуск продукции по определенной технологии и во многом морально устарела. Модернизировать энергоемкие и ориентированные на определенный вид продукции технологические линии практически невозможно, а для инновационного перевооружения требуются значительные средства. Поэтому хлебозаводы в лучшем случае идут по пути оптимизации ассортимента: например, за счет производства рентабельной сдобы компенсируют затраты на производство основного ассортимента.

В то же время малые предприятия сразу ориентированы на инновации, например, приобретают энергосберегающее оборудование для производства традиционных изделий или осваивают выпуск принципиально новой продукции. Эффективности инноваций в малом бизнесе способствуют его особенности, а именно: лучшая адаптация к рыночным условиям; небольшие объемы производства не требуют больших финансовых затрат и снижают риск потерь; оперативность управления; небольшой коллектив мобильнее воспринимает и генерирует новые идеи. Однако и на многих малых предприятиях инновационные процессы скорее исключение, чем правило.

Низкая инновационная активность товаропроизводителей в значительной мере определяется отсутствием отечественных завершенных научно-технических разработок. Еще в середине 90-х годов прошлого века были определены приоритетные направления научных исследований для хлебопекарного производства, в т.ч. применение новых видов сырья и улучшителей в технологии хлебопечения, разработка технологий хлебобулочных изделий лечебно-диетического и профилактического назначения, хлебобулочных изделий длительного хранения и для населения экологически неблагоприятных зон [5]. Анализ научных публикаций в ведущих отраслевых изданиях по хлебопекарному производству за 2007 – 2010 гг. подтверждает активную реализацию первых двух направлений. Однако практического применения имеющиеся научные разработки часто не находят, что, в частности, подтверждается постоянством структуры группового ассортимента хлебобулочных изделий, который с годами практически не меняется, а производство диетических и витаминизированных изделий даже сокращается [4].

К сожалению, в отечественной практике существует разрыв между наукой и производством, который определяет замедление темпов научно-технического развития отрасли. Структура научно-исследовательского процесса в области пищевых производств такова, что на долю фундаментальных исследований приходится 2 %, на прикладные исследования – 90 %, а на опытно-конструкторские разработки – 8 %, т.е. многочисленные прикладные исследования, с одной стороны, имеют дефицит фундаментальных базовых знаний, с другой стороны – не обеспечены опытно-конструкторскими и проектно-технологическими разработками [5]. Разрыв между наукой и производством приводит к тому, что научные организации, особенно академические и вузовские, практически не оказывают положительного влияния на инновационную деятельность предприятий.

Основным недостатком отечественных научно-технических продуктов является то, что товаропроизводителю, помимо затрат на приобретение технологии, требуется привлечение дополнительных ресурсов для адаптации ее к реальному производству. Необходимым условием инновационной деятельности предприятий является наличие таких научно-технических разработок, в которых новая технология обеспечена как нормативно-технической документацией, так и соответствующим сырьем, ингредиентами и оборудованием. Именно поэтому товаропроизводители предпочитают сотрудничать с зарубежными фирмами, предлагающими уже хорошо зарекомендовавшие себя разработки. Так, многие предприятия успешно применяют в традиционных технологиях различные хлебопекарные смеси, поставляемые фирмами *Ireks, Backaldrin, Lesaffre* и др., и оборудование для производства хлебобулочных изделий из “мягкого” дрожжевого теста.

Выбранные направления инновационного развития, ориентированные на изучение новых видов сырья и разработку новых технологий, к сожалению, практически не затрагивают масштабную модернизацию материально-технической базы крупных хлебопекарных предприятий. Хотя именно здесь требуются нововведения: необходимо не только ускорять процессы тестоприготовления за счет использования различных улучшителей и расширять ассортимент, но также внедрять энергосберегающее оборудование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров А.М. Состояние пищевой промышленности России на рубеже веков // *Пищевая промышленность*. – 2001. – № 5. – С. 30 – 31.
2. Производство важнейших видов продукции пищевой и перерабатывающей промышленности за январь-декабрь 2010 г. // *Пищевая промышленность*. – 2011. – № 3. – С. 7.
3. Шапошников И.И. Концепция и прогноз развития хлебопекарной промышленности России в 2011 – 2015 гг. // *Хлебопечение России*. – 2011. – № 1. – С. 4 – 7.
4. Чубенко Н.Т., Шлеленко Л.А. Развитие ассортимента хлебобулочных изделий в Российской Федерации // *Хлебопечение России*. – 2011. – № 1. – С. 8 – 10.
5. Основы управления инновациями в пищевых отраслях АПК (наука, технология, экономика) / Под ред. Тужилкина В.И. – М. : Изд. комплекс МГУПП, 1998. – 844 с.

**ИННОВАЦИИ В ОРГАНИЗАЦИИ ПИТАНИЯ ПАССАЖИРОВ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ КАК ФАКТОР
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УСЛУГ И РОСТА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИТАНИЯ**

© *Т.Д. Коваленко, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**INNOVATIONS IN THE ORGANIZATION OF POWER PASSENGERS
ON THE RAILWAY TRANSPORT AS A FACTOR OF IMPROVING THE
QUALITY OF SERVICES AND INCREASE OF EFFICIENCY OF
ACTIVITY OF THE ENTERPRISES OF POWER**

© *T.D. Kovalenko, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена исследованиям, связанным с применением инноваций в деятельности предприятий питания на железнодорожном транспорте с целью повышения качества услуг, оказываемых пассажирам, и роста эффективности деятельности этих предприятий.

Ключевые слова: инновации, предприятия пищевой промышленности, организация питания пассажиров на железнодорожном транспорте, on-train кейтеринговые компании, технология Cook&Chill.

The article is devoted to research related to the application of innovations in the activity of enterprises of the power supply on rail transport with a view to improving the quality of services, rendered to the passengers, and increase of efficiency of activity of these enterprises.

Key words: innovation, enterprises of food industry, catering for passengers at railway transport, on-train catering companies, technology Cook&Chill.

E-mail: tatyana_kovalenko@bk.ru

В настоящее время развитие пищевой промышленности России тесно связано с активизацией использования инноваций в производственной сфере. С позиции деятельности как предприятий пищевой промышленности в целом, так и предприятий общественного питания, занимающихся организацией питания пассажиров на железнодорожном транспорте, инновацию предлагаем рассматривать как коммерциализированное новшество, которое характеризуется введением на рынок продукции и услуг с новыми потребительскими свойствами для качественного повышения эффективности производственных процессов.

Железнодорожный транспорт в Российской Федерации является составной частью единой транспортной системы Российской Федерации [1]. Основными типами предприятий общественного питания в пассажирских поездах являются вагон-ресторан, вагон-кафе, вагон-бар, вагон-буфет. При организации питания в пассажирских поездах особое внимание уделяется как разнообразию, так и качеству услуг общественного питания в пассажирских поездах [2]. Практика показывает, что в современных условиях деятельность в этой сфере невозможна без выработки концептуальных решений, идей, при-

званных повысить уровень ее конкурентоспособности. С целью изучения вопроса активизации внедрения инноваций в процесс организации питания пассажиров на железнодорожном транспорте и разработки дальнейшей стратегии развития вагонов-ресторанов ОАО «РЖД», автором совместно с руководством вагона-ресторана фирменного поезда «Сура», следующего по маршруту «Пенза – Москва», было проведено маркетинговое исследование методом анкетирования по оценке и контролю качества продукции общественного питания, а также услуг, предоставляемых в фирменных поездах.

В рамках данного исследования был составлен портрет среднестатистического посетителя вагона-ресторана, на которого направлены услуги предприятия, и разработана методика оценки качества обслуживания пассажиров питанием в поездах. В результате анализа ответов потребителей выявлено, что:

- вагон-ресторан посещает 57 % мужчин и 43 % женщин;
- средний возраст посетителей составляет от 30 до 50 лет (80 %);
- основной контингент потребителей имеет высшее образование (79 %), а также являются руководители высшего (61 %) и среднего звена (10 %);
- основными целями поездки опрошенных посетителей вагона-ресторана являются путешествие (51 %), командировка (36 %);
- за поездку посещает вагон-ресторан 1-2 раза (47,6 %), более 3 раз за поездку посещает вагон-ресторан 35,2 % опрошенных респондентов;
- среди потребителей наиболее популярно стандартное меню завтраков, обедов и ужинов – 46,7 %; также используется меню заказных блюд – 33,2 %, 13,3 % опрошенных предпочитают пользоваться вегетарианским (постным) меню, 6,8 % используют детское меню для своих детей.

Ответы на вопрос о времени посещения вагона-ресторана фирменных поездов позволили составить график загрузки вагона-ресторана во время завтрака, обеда и ужина (рис. 1).

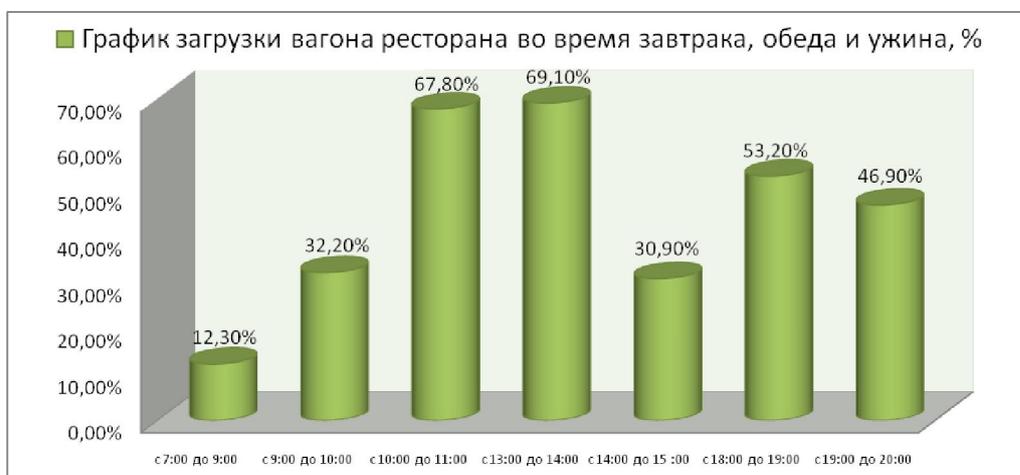


Рис. 1. График загрузки вагона-ресторана во время завтрака, обеда и ужина, %

ИННОВАЦИИ В ОРГАНИЗАЦИИ ПИТАНИЯ ПассаЖИРОВ...

Загрузка вагона-ресторана во время ужина сравнительно одинаковая. Таким образом, можно внести коррективы в работу вагона-ресторана во время завтрака и обеда. С этой целью рекомендуем администрации перенести время завтраков на 9.30 – 11.30, обедов – 12.30 – 15.00.

Интерьер вагона-ресторана фирменного поезда “Сура” посетителей вполне устраивает – 85,7 % опрошенных дали положительный ответ на данный вопрос, остальные считают, что в интерьере не хватает “домашнего уюта”, все слишком “официально”.

Качество обслуживания, по мнению посетителей, находится на среднем уровне – 52 % ответов; 48 % респондентов отметили высокий уровень качества обслуживания (рис. 2).



Рис. 2. Уровень качества обслуживания, по мнению посетителей фирменного поезда “Сура”

Более половины посетителей (54 %) считают, что качество блюд вагона-ресторана находится на среднем уровне, 46 % – на высоком, результаты представлены на рис. 3.

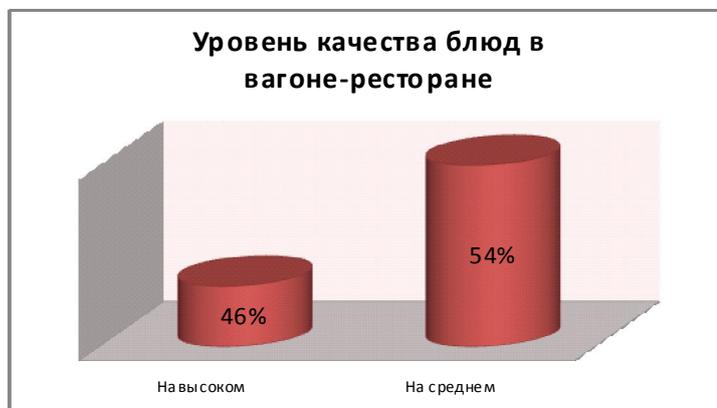


Рис. 3. Уровень качества блюд по мнению посетителей фирменного поезда “Сура”

Ассортимент предлагаемой вагоном-рестораном продукции устраивает 39 % респондентов, остальные посетители хотят чаще видеть в меню свежие фрукты, овощи, более разнообразные гарантированные наборы питания.

Ответы потребителей на вопрос о перспективе развития ресторана включают следующие пожелания:

- расширение ассортимента блюд в меню завтраков, обедов и ужинов;
- снижение цен на блюда и некоторые напитки;
- проведение различных маркетинговых мероприятий, направленных на потребителя (скидки в день рождения, подарки от ресторана и т.п.).

Все высказанные в анкетах пожелания следует учитывать при разработке дальнейшей стратегии развития вагонов-ресторанов ОАО «РЖД». Повышение качества предоставляемых услуг является задачей первостепенной важности для руководства ОАО «РЖД» [5]. Одним из важнейших действий в системе управления качеством продукции и услуг со стороны ОАО «РЖД» является применение инновационной технологии организации питания на транспорте с использованием возможностей on-train кейтеринговых компаний.

Предлагаемая технология организации питания на транспорте с использованием возможностей on-train кейтеринговых компаний представлена на схеме 1.

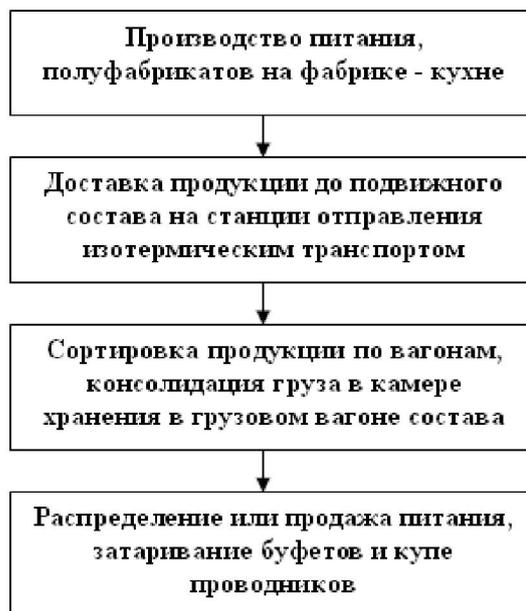


Схема 1. Технология организации питания на транспорте с использованием возможностей on-train кейтеринговых компаний

Следует отметить, что на мировом рынке появляются также и инновационные технологии производства кулинарной продукции для организации питания пассажиров на железнодорожном транспорте. При этом по-

вышение качества продукции становится возможным вследствие внедрения организации системы поэтапного контроля, начиная от приемки сырья по качеству с последующим контролем отдельных стадий производства и качества выпускаемой продукции. Применение инновационных технологий и установление оптимальных режимов производства кулинарных продуктов позволяет внедрять современное оборудование, способное не только доводить продукт до готовности в короткие сроки, но и уменьшить отрицательное влияние тепловой обработки продуктов. Технология Cook&Chill (“Кук энд Чилл” – приготовь и охлади, англ.) является одной из наиболее современных и интересных с точки зрения организации питания пассажиров на железнодорожном транспорте.

Инновационная технология Cook&Chill представляет собой цепочку технологических процессов, выполняемых с помощью современного теплового и холодильного оборудования. Она предусматривает как использование достаточно привычных единиц оборудования (пароконвекционного или микроволнового принципа действия, пищеварочных котлов различной емкости), так и достаточно новых для кухонь предприятий общественного питания вакуумных аппаратов, шкафов шокового охлаждения и замораживания.

Эта технология позволяет получать готовые продукты высокого качества (как по органолептическим характеристикам – вкус, цвет, запах, так и по микробиологическим показателям), увеличить их сроки хранения, а также за счет снижения общего времени приготовления и увеличения выхода продукта снижать его себестоимость [4]. В результате использования инновационной технологии, что наиболее важно при организации питания пассажиров в предприятиях питания железнодорожного транспорта, не только сохраняются безупречные вкусовые и питательные качества продукции, но и значительно снижаются расходы на производство и хранение продуктов массового питания.

Следовательно, повсеместное сокращение расходов, поиск новых форм предоставления услуг при сохранении их качества, а также повышение уровня предоставляемого сервиса на сегодняшний день работает на потребителя, неизбежно формируя более современное и профессиональное сообщество кейтеринговых компаний в России [6].

Таким образом, ОАО “РЖД” в настоящее время в целом находится на достаточно высоком уровне развития, обусловленном обеспеченностью кадрами, совокупностью комплексных услуг в одном месте, наличием стабильного притока потребителей. Однако в работе вагонов-ресторанов существуют и недостатки, связанные с уровнем качества кухни и сервиса, постоянным совершенствованием интерьера вагонов-ресторанов и меню, снижающие конкурентоспособность ОАО “РЖД”. Применение в деятельности предприятий питания на железнодорожном транспорте таких инноваций, как предлагаемая технология организации питания на транспорте с использованием возможностей on-train кейтеринговых компаний, технология Cook&Chill с целью повышения качества услуг, оказываемых пассажирам, будет тесно связано с ростом эффективности данных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закона “О железнодорожном транспорте в Российской Федерации”.
2. ОСТ 32.57-96 “Услуги общественного питания в пассажирских поездах. Общие требования. Классификация предприятий общественного питания в пассажирских поездах”.
3. Распоряжение “О совершенствовании системы контроля и оценки качества услуг питания в поездах” № 130р от 22 мая 2007 г.
4. Денисов Г.А., Каменецкий М.И., Остапенко В.В. Прикладная наука и инновационная деятельность. Экономика и управление. – М. : Диалог-МГУ, 2011. – 312 с.
5. Хотяшова О.М. Инновационный менеджмент : Учебное пособие. – СПб. : Питер, 2011. – 318 с.
1. 6. Твисс Б. Управление научно-техническими нововведениями. – М. : Экономика, 2011. – 217 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 658.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ ОБУЧАЮЩИЙ КОМПЛЕКС “ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ”

© *П.И. Артамонов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© *В.В. Моисеев, Средняя образовательная школа № 77 г. Пензы (г. Пенза, Россия)*

© *Б.Л. Свистунов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

SOFTWARE AND HARDWARE TEACHING COMPLEX “ELEMENTS OF MATHEMATIC SIMULATION IN GENERAL PHYSICS COURSE”

© *P.I. Artamonov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

© *V.V. Moiseev, Secondary school №77 (Penza, Russia)*

© *B.L. Svistunov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности обучения основам физики, более глубокому пониманию физических явлений и основам обучающего комплекса по элементам математического моделирования.

Ключевые слова: общая физика, программно-обучающий комплекс, элементы математического моделирования.

The paper considers the problem of teaching physics effectiveness and students' deeper insight into physical phenomena, it also discusses a teaching complex with elements of mathematical simulation.

Key words: general physics, teaching software, elements of mathematical simulation.

Лабораторный практикум по физике реализуется, как правило, на базе традиционного дидактического подхода [1], который ограничивает возможности формирования комплексных профессиональных компетенций инженера.

Недостаточна мотивация к изучению физики и других естественных наук, так как востребованность их положений в дальнейшем обучении и, тем более, профессиональной деятельности студентам младших курсов далеко не очевидна [2].

Стремление найти решение обозначенных вопросов привело к разработке в Пензенской государственной технологической академии междисциплинарного лабораторного практикума, ориентированного на студентов, обу-

чающихся по направлению “Информационно-коммуникационные технологии”. В адаптированном виде комплекс используется в учебном процессе средней школы № 77 г. Пензы.

Предварительно обучающимися формируются математические модели изучаемой физической системы.

Физическая часть практикума включает в себя экспериментальное исследование с целью определения параметров модели по экспериментальным данным, т.е. решение задачи идентификации.

Из постановки задачи вытекает выбор переменных, характеризующих состояние объекта. Параметры состояния как переменные в уравнениях должны быть введены так, чтобы их значения, взятые в некоторый момент времени, однозначно определяли их же значения в любой последующий момент времени. Должны быть определены входы, выходы (реакции), управления, а также “мешающие” факторы (помехи, возмущения, паразитные связи и др.).

Необходимо, чтобы полученная модель – система уравнений допускала существование и единственность решений для начальных значений переменных состояния хотя бы из некоторой фиксированной области.

Задачей практикума является прежде всего освоение методики экспериментального изучения физических и технических систем, поэтому выбранное для исследования объектов, как правило, пробы. В частности, это классические колебательные системы: математический и физический маятники, электрический колебательный контур, экосистема.

В качестве примера приведем одно из заданий практикума [3].

1. Формирование математической модели объекта. Маятником называется материальная точка или твердое тело, совершающие под действием приложенных сил колебания около неподвижной точки или вокруг оси.

1.1. Пружинный маятник. Пружинный маятник состоит из пружины с коэффициентом упругости k ; один конец пружины жестко закреплен, на втором находится груз массой m (рис. 1).

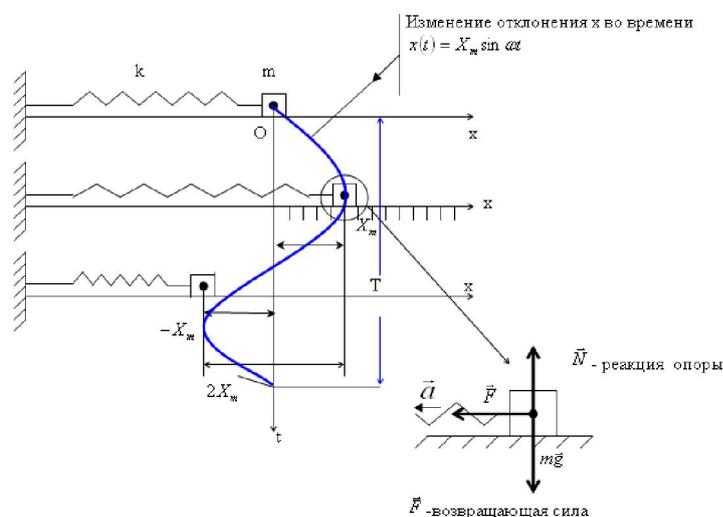


Рис. 1

В модели предполагается, что масса маятника сосредоточена в его центре масс, трение отсутствует, пружина невесомая, идеально упругая.

Если под действием внешней – вынуждающей – силы груз выводится из положения равновесия, то под действием упругой – возвращающей – силы он совершает колебания около этого положения. Эти колебания определяются только параметрами маятника, т.е. являются свободными.

Математическая модель колебаний пружинного маятника описывает изменение во времени отклонения x груза от положения равновесия. Возвращающая сила по закону Гука $F = -kx$. Эта сила создает ускорение \vec{a} . По закону Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$. Модуль ускорения a есть вторая производная по

времени от отклонения x : $a = \frac{d^2x}{dt^2}$.

Таким образом, $ma = -kx$, $m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx$, или

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -x \cdot k/m. \quad (1)$$

Уравнение (1) есть уравнение, моделирующее движение пружинного маятника.

Решение уравнения (1) есть гармоническая функция

$$x(t) = X_m \sin(\omega t + \varphi_0). \quad (2)$$

В уравнение (2) входят основные характеристики колебательного движения:

а) x – смещение груза (его центра масс) от положения равновесия в момент времени t ;

б) X_m – амплитуда: модуль максимального смещения груза от положения равновесия;

в) T – период – время одного полного колебания;

г) ν – линейная частота колебаний – число колебаний в единицу времени;

$$\nu = n/t = 1/T;$$

д) ω – циклическая, или круговая частота; число полных оборотов (1 оборот = 2π рад) за единицу времени: $\omega = \frac{2\pi}{T}$; $\omega = 2\pi\nu$;

е) $\varphi = \omega t + \varphi_0$ – фаза колебаний; определяет состояние колебательной системы в некоторый момент времени t (определяется в радианах);

φ_0 – начальная фаза (значение фазы в момент времени $t = 0$).

Линейные скорость V и ускорение a груза в произвольный момент времени t определяются соотношениями:

$$V(t) = \frac{dx(t)}{dt}; \quad a(t) = \frac{d^2x(t)}{dt^2}.$$

Например, выражение для ускорения a можно получить, дважды дифференцируя уравнение (2)

$$a(t) = \frac{d^2x(t)}{dt^2} = -\omega^2 X_m \sin(\omega t + \varphi). \quad (3)$$

Подставив в (1) выражение (3), получим

$$-\omega^2 X_m \sin(\omega t + \varphi) = -k/m X_m \sin(\omega t + \varphi).$$

Это уравнение справедливо при $\omega^2 = k/m$; частота $\omega = \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ есть собственная частота осциллятора.

Уравнение вида

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 \quad (4)$$

есть уравнение классического гармонического осциллятора, т.е. является математической моделью любого гармонического осциллятора. Эта модель описывает не только поведение груза на пружине, но и другие колебательные процессы, зачастую имеющие совершенно иную природу: колебания уровня жидкости в U-образном сосуде или изменение силы тока в колебательном контуре. Таким образом, изучая одну математическую модель, мы изучаем сразу целый класс описываемых ею явлений.

1.2. Математический маятник также является идеализированной моделью механического осциллятора. Он представляет собой материальную точку (частицу), подвешенную на невесомой нерастяжимой нити; частица совершает колебания около вертикального положения устойчивого равновесия. Трение в точке подвеса и сопротивление среды, в которой колеблется маятник, предполагаются очень малыми.

Для определения положения колеблющейся частицы в любой момент времени достаточно использовать только один параметр – линейное (x) или угловое (α) отклонение от положения равновесия.

Уравнение движения математического маятника ищем в виде (1). Возвращающая сила \vec{F} представляет собой тангенциальную составляющую силы тяжести $m\vec{g}_\tau$ (рис. 2). Из рисунка видно, что

$$F = mg \sin \alpha = mg \sin \frac{x}{\ell}, \text{ тогда уравнение движения}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -g \sin \frac{x}{\ell}. \quad (5)$$

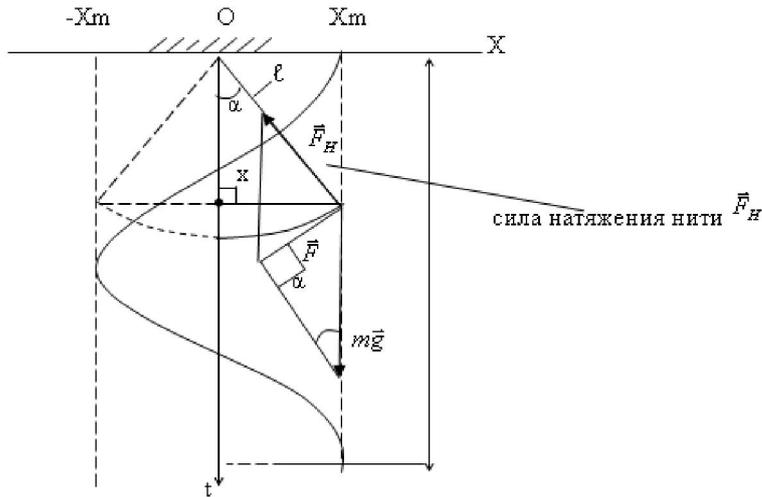


Рис. 2

По сравнению с уравнением (1) в правую часть уравнения (5) входит не x , а $\sin x$, т.е. в общем случае колебания не являются гармоническими.

Однако если отклонения x достаточно малы, так, что $\sin \frac{x}{\ell} \approx \frac{x}{\ell}$, то уравнение колебаний математического маятника принимает вид

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{g}{\ell} \cdot x, \quad (6)$$

и колебания можно считать гармоническими. Собственная частота колебаний

$\omega_0 = \sqrt{g/\ell}$, их период

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\ell/g}. \quad (7)$$

Формула (7) носит название формулы Гюйгенса.

Если рассматривать в качестве параметра колебаний угол отклонения α , то уравнение (5) запишется в виде

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \omega_0^2 \sin \alpha = 0. \quad (5')$$

А уравнение (6) – при малых углах отклонения $\sin \alpha \approx \alpha$ – в виде

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \omega^2 \alpha = 0. \quad (6')$$

Решением уравнения (6') является функция

$$\alpha = \alpha_m \sin(\omega_0 t + \ell_0). \quad (8)$$

В уравнениях (5'), (6'), (8) $\omega_0 = \sqrt{g/\ell}$, и период колебаний математического маятника определяется также формулой Гюйгенса (7). При малых углах α отклонения маятника от положения равновесия период колебаний математического маятника не зависит от амплитуды колебаний α_m , а определяется только его длиной ℓ и географическим положением на Земле (или на других небесных телах), т.е. значением g .

Такое свойство колебаний называют изохронностью.

2. Определение зависимости периода колебаний математического маятника от амплитуды колебаний

Важно знать, насколько малой должна быть амплитуда колебаний маятника, чтобы колебания можно было считать изохронными, т.е. можно пользоваться формулой (7) для расчета периода колебаний.

2.1. Эксперимент

Для проведения эксперимента используется лабораторная установка "Определение ускорения свободного падения с помощью математического маятника", входящая в состав учебного оборудования "Научные развлечения" [4].

Регистрирующий колебания оптоэлектрический датчик размещен таким образом, чтобы качающийся шарик пересекал оптическую ось датчика. При запуске измерений показания оптического датчика фиксируют моменты перекрытий оптической оси датчика.

Период колебаний определяется по интервалу между передними либо задними фронтами ближайших четных либо нечетных импульсов.

Для определения зависимости периода колебания от амплитуды α_m при различных значениях длины нити выполняется несколько серий измерений. Эти зависимости целесообразно представить в нормированном

виде, как
$$\frac{T}{2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}} = \frac{T}{T_0} = f(\alpha_m)$$

Типовые результаты эксперимента приведены на рис. 3. Видно, что период колебаний монотонно увеличивается с ростом угловой амплитуды. При малых амплитудах эта зависимость выражена слабо: так, при увеличении амплитуды от предельно малых углов до $\alpha_m = 60^\circ$ увеличение периода колебаний составляет около 20%. Затем наблюдается резкое увеличение периода колебаний.

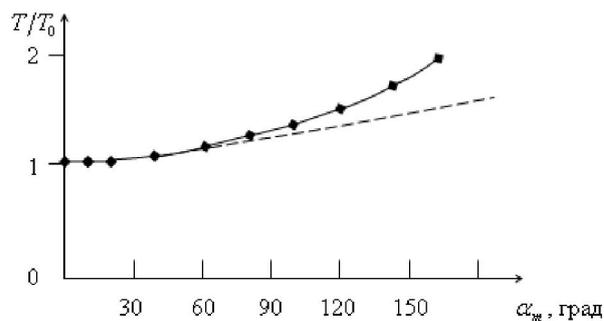


Рис. 3

2.2. Уточнение математической модели

Как указывается в литературе, например [5], для произвольных углов отклонения α решить уравнение (5') в элементарных функциях не удастся. Однако уравнение можно решить численно. Существуют различные алгоритмы решения. Самый простой алгоритм может быть осуществлен следующим образом.

Зададим некоторые значения угла: $\alpha = \alpha_1$ и угловой скорости: $\frac{d\alpha}{dt} = \omega_1$ в начальный момент времени. При помощи уравнения (5') вычислим угловое ускорение $\beta_1 = \frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\omega_0^2 \sin \alpha_1$ в этот начальный момент и рассчитаем угол α_2 и угловую скорость ω_2 через малый промежуток времени Δt :

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \omega_1 \Delta t + \frac{\beta_1 \Delta t^2}{2}, \quad \omega_2 = \omega_1 + \beta_1 \Delta t.$$

Далее вычислим угловое ускорение $\beta_2 = -\omega_0^2 \sin \alpha_2$ в момент $t = \Delta t$, а затем угол и угловую скорость в следующий момент времени $t = 2 \Delta t$:

$$\alpha_3 = \alpha_2 + \omega_2 \Delta t + \frac{\beta_2 \Delta t^2}{2}, \quad \omega_3 = \omega_2 + \beta_2 \Delta t \text{ и так далее [6].}$$

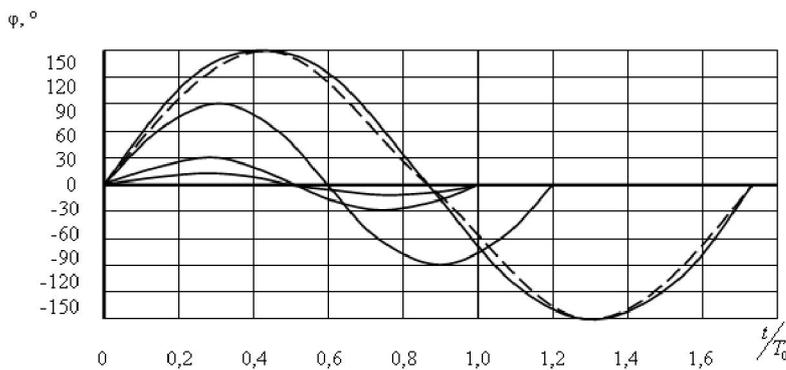


Рис. 4

На рис. 4 приведены результаты численного решения уравнения (5') для нескольких значений угловой амплитуды α_m ; форма колебаний остается близкой к синусоидальной даже при больших амплитудах. Так, при $\alpha_m = 150^\circ$ отклонения от синусоидальной формы весьма незначительны (штриховая кривая на рис. 4).

Для получения приближенного выражения для периода колебаний, учитывающего зависимость периода от угловой амплитуды, нужно взять более точное приближение для $\sin \alpha$. Для любого угла α (здесь и далее он

выражен в радианах) $\sin \alpha$ можно представить в виде суммы бесконечного числа слагаемых (ряда Тейлора вблизи точки $\alpha = 0$).

$$\sin \alpha = \alpha - \frac{\alpha^3}{3!} + \frac{\alpha^5}{5!} - \frac{\alpha^7}{7!} + \dots$$

Ограничимся рассмотрением углов из диапазона $-\pi \leq \alpha \leq \pi$. Тогда слагаемые в сумме быстро убывают, и для достижения заданной точности обычно достаточно вычислить сумму всего нескольких слагаемых.

Если сохранить в сумме (9) лишь первое слагаемое, то получим уравнение (6') в виде гармонических колебаний с независимым от амплитуды периодом. Если сохранить и второе слагаемое, то решение будет более точным за счет учета зависимости периода колебаний от амплитуды. Уравнение (5') в этом случае принимает вид

$$\frac{d^2 \alpha}{dt_2^2} + \omega_0^2 \left(\alpha - \frac{\alpha^3}{6} \right) = 0. \quad (9)$$

Допустим, что колебания имеют синусоидальную (или близкую к ней) форму

$$\alpha \approx \alpha_m \sin \omega t \quad (10)$$

с неизвестной частотой ω , зависящей от амплитуды α_m . Основанием для такого приближения являются приведенные на рис. 4 результаты численных расчетов.

Частоту ω можно было бы искать из условия обращения уравнения (9) в тождество при подстановке решения (10). Но, так как последнее выполняется лишь приближенно, то тождество при подстановке (10) в (9) некорректно. Левая часть уравнения (9) (обозначим ее $f(t)$) равна

$$f(t) = (\alpha_m \sin \omega t)^2 + \omega_0^2 \alpha_m \sin \omega t - \frac{\omega_0^2}{6} \alpha_m^3 \sin^3 \omega t.$$

Используя тригонометрическое тождество

$$\sin^3 \omega t = \frac{3}{4} \sin \omega t - \frac{1}{4} \sin 3\omega t,$$

после преобразований получим

$$f(t) = \alpha_m \omega_0^2 \left(-\frac{\omega^2}{\omega_0^2} + 1 - \frac{\alpha_m^2}{8} \right) \sin \omega t + \frac{\omega_0^2 \alpha_m^3}{24} \sin 3\omega t.$$

Нужно выбрать такое значение частоты ω , чтобы отклонение $f(t)$ от нуля было минимальным. Это достигается при

$$\left(-\frac{\omega^2}{\omega_0^2} + 1 - \frac{\alpha_m^2}{8} \right) = 0.$$

Отсюда следует

$$\frac{T}{T_0} = \frac{\omega_0}{\omega} \approx \frac{1}{\sqrt{1 - (\alpha_m^2/8)}}$$

Воспользовавшись разложением в ряд

$$\left(\frac{1}{\sqrt{1-x}} = 1 + (1/2)x + (1 \cdot 3/2 \cdot 4)x^2 + \dots \text{при } x^2 < 1 \right),$$

получим

$$\frac{T}{T_0} \approx 1 + \frac{\alpha_m^2}{16} \quad (11)$$

Эта приближенная формула описывает зависимость периода колебаний любого физического маятника от его угловой амплитуды. Соответствующий график изображен на рис. 4 штриховой линией. Видно, что при $\alpha_m < \pi/2$ из (11) получаются значения периода, очень близкие к результатам точного расчета [7].

2.3. Компьютерный эксперимент

Эксперимент состоит в моделировании реальной установки “Математический маятник” в соответствии с уравнением (11) [8].

Вид интерфейса лабораторной установки показан на рис. 5. В нее входят: 1 – маятник в виде металлического шарика, подвешенного на нити; 2 – электромагнит, предназначенный для удержания шарика в начальном положении; 3 – источник тока для питания электромагнита; 4 – оптический датчик для фиксации моментов времени прохождения маятника через положение равновесия.

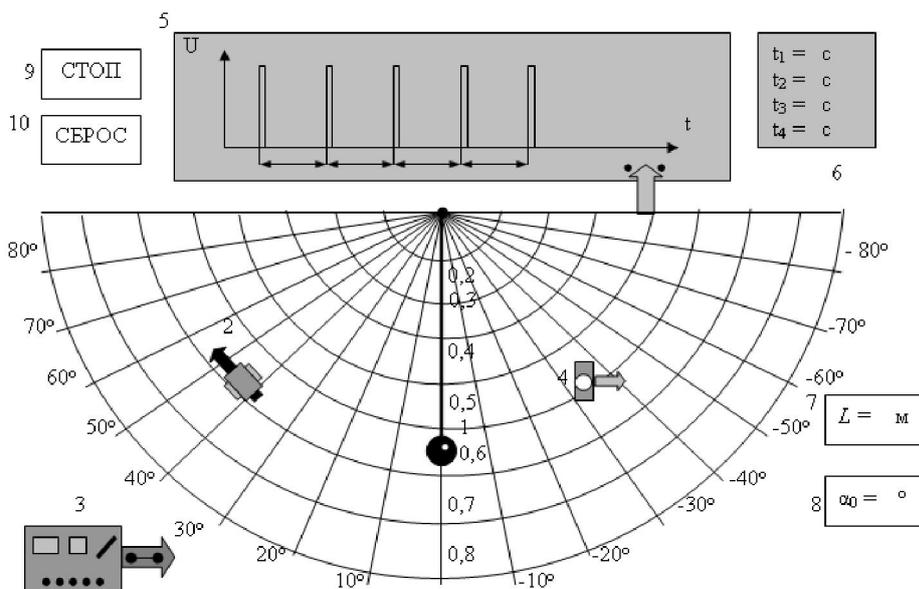


Рис. 5

В верхней части символически показан экран 5 запоминающего осциллографа, на котором появляются импульсы от оптического датчика. Справа от него расположено табло 6 для измерения промежутков времени между импульсами. В правом нижнем углу расположены окна 7 и 8, с помощью которых задается длина маятника L (в метрах) и начальный угол отклонения α_0 (в градусах). Клавиша 9 предназначена для остановки колебаний маятника, клавиша 10 – для сброса результатов измерений. Нажатие на клавиши производится с помощью курсора мыши.

Стрелки, идущие от источника тока и электромагнита, символизируют электрическую связь между ними. На источнике изображен ключ. С помощью мыши можно производить замыкание и размыкание этого ключа. Когда ключ замкнут, ток от источника проходит через обмотку электромагнита. При этом стрелка красного цвета, и электромагнит будет удерживать шарик маятника, если с помощью курсора мыши подвести его к электромагниту. Если разомкнуть ключ, питание электромагнита отключается, маятник начинает совершать колебания. При этом стрелки становятся зелеными.

Сигнал от оптического датчика поступает на вход осциллографа. Эта связь также символически изображена в виде стрелок желтого цвета.

Если оптический датчик установлен точно на вертикали под точкой подвеса маятника, то значения времен t_1, t_2, t_3, t_4 должны получаться одинаковыми. Но вследствие неточности установки датчика эти значения будут несколько различными. Период колебаний маятника можно найти как

$$T = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{2}. \quad (12)$$

Алгоритм эксперимента

1. Задать длину маятника L . Для этого в окне $L =$ м с помощью клавиатуры набрать значение длины в метрах.

2. Задать начальное положение маятника α_0 (угловую амплитуду колебаний).

3. Включить питание электромагнита щелчком мыши на изображении ключа.

4. С помощью курсора подвести маятник к электромагниту, который должен удерживать его.

5. Выключить питание электромагнита щелчком мыши на изображении ключа. Маятник начнет совершать колебания. При этом на экране последовательно появятся пять импульсов, а на табло справа от экрана – четыре значения времени t_1, t_2, t_3, t_4 . Записать эти значения в таблицу. Для остановки маятника нажать на клавишу СТОП. Для стирания результатов нажать клавишу СБРОС.

6. Повторить пп.3 – 6 для других значений амплитуды колебаний α_0 из ряда ($10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ \dots 80^\circ$).

7. Построить график зависимости $\frac{T}{T_0} = f(\alpha)$.

Результаты компьютерного эксперимента хорошо совпадают с расчетной кривой рис. 4.

Описанный натурно-виртуальный эксперимент входит в состав лабораторно-демонстрационного комплекса по курсу физики [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов П.И., Свистунов Б.Л. ЕГЭ, профильное обучение, “Наша новая школа”: проблемы и предложения // *Образование и общество*. – 2010. – № 5(64). – С. 22 – 26.
2. Артамонов П.И., Горин Ю.В. Мотивация изучения физики как основы творческой квалификации будущего инженера // *Физическое образование: проблемы и перспективы развития : Материалы X Международной научно-методической конференции*. – М. : МПГУ, 2011. – С. 47 – 51.
3. Ахмаев В.А., Моисеев В.В. Особенности реализации эксперимента по физике с компьютерной обработкой // *Актуальные проблемы науки и образования : Сб. научн. тр.* – Пенза : ПГТА, 2010. – С. 316 – 318.
4. <http://td-school.ru/index.php.page=1973>.
5. Алешкевич В.А. *Колебания и волны*. – М. : МГУ, 2001.
6. Тарасевич Ю.Ю., Водолазская И.В. *Колебания и волны*. – Астрахань, АГУ, 2004.
7. Артамонов П.И. Обучающая программа “Элементы математического моделирования в курсе общей физики” // *Инновационные технологии в экономике, информатике и медицине : Сб. научн. тр.* – Пенза, ПГТА, 2010. – С. 87 – 100.
8. Ахмаев В.А., Бочкарёва Ю.Г., Горябина А.С., Свистунов Б.Л. *Лабораторно-демонстрационный комплекс по курсу физики // Среднее специальное образование*. – 2010. – № 8. – С. 26 – 28.

УДК 658.5.012.7; 658.562

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЯСНОГО СЫРЬЯ

© З.А. Бочкарёва, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

COMPUTER TECHNOLOGIES IN QUALITY OF FRESH MEAT MONITOR AND CONTROL SYSTEM

© Z.A. Bochkareva, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

Статья посвящена вопросам использования информационных технологий в системе контроля и управления качеством мясного сырья.

Ключевые слова: информационные технологии, мясоперерабатывающая отрасль, контроль и управление качеством.

The article is concerned with applying IT for quality of fresh meat monitoring and control.

Key words: IT, meat-processing industry, quality monitoring and control.

Использование новейших достижений в области информационных технологий для совершенствования автоматизированных систем управления технологическим производством является актуальной проблемой современности. Подготовка и повышение квалификации инженеров-технологов пищевой промышленности требует широкого использования компьютерных технологий, особенно в системе контроля и управления качеством сырья и готовой продукции.

Мясо – сложная система, функциональные свойства которой зависят от соотношения тканей, содержания в них специфических белков, жиров, воды других компонентов [1]. В связи с этим особо важное значение приобретает информация о функционально-технологических свойствах различных видов основного сырья и его компонентов: о влагосвязывающей, жиро- и водоудерживающей, гелеобразующей способностях и т.д.

Одной из важнейших характеристик технологических свойств мясных систем является влагосвязывающая способность. Вода – естественный компонент мяса, образующий структурированные системы с другими его частями. Вся влага в мясных продуктах удерживается различными формами связи и выступает как обычная составная часть ткани или продукта – в таком случае она считается связанной.

От влагосвязывающей и водоудерживающей способности белков мяса зависит влажность мясных изделий и потери сока в процессе изготовления и подготовки к употреблению.

Для определения влагосвязывающей способности (ВСС) мяса используются различные методы, в том числе метод Грау, Хамм в модификации Воловинской (прессования), основанный на определении площади влажного пятна, оставляемого на фильтровальной бумаге влагой, выделяющейся из мяса при легком прессовании. Размер площади пятна зависит от влагосвязывающей способности мяса. Поскольку при прессовании отделяется раствор, содержащий белки, и лишь сравнительно небольшая часть связанной влаги, этот метод применяется в основном для получения сравнительных характеристик таких образцов, которые мало различаются по упругоэластическим свойствам и степени разрушения гистологической структуры. Данный способ отличается необходимостью измерения площадей пятен, оставляемых на фильтровальной бумаге фаршем и содержащейся в нём влагой, с помощью планиметра [1]. Полученные значения площадей вместе с данными о массе мяса и мясопродуктов до высушивания и после высушивания используются для вычисления влагосвязывающей способности.

Для упрощения исследований по определению ВСС возникла необходимость создать компьютерную программу, которая бы работала со стандартным форматом изображений и была удобна в использовании.

Поиск информации о программах, которые позволяли бы находить площадь изображения, не привел к желаемому результату. Программа, опи-

санная в [2], требует использования сложного комплекса устройств и работает с собственным форматом файлов. В этой связи была исследована возможность использования компьютера и связанных с ним цифровых устройств обработки изображений, например сканера. С помощью сканера легко можно получить цифровую копию изображения пятна и использовать ее для дальнейшей обработки на компьютере.

Программа для определения ВСС мяса была нами разработана с использованием широко распространенной среды разработки программ Borland Delphi.

Работа с программой не требует обучения, но файлы с изображениями пятен необходимо предварительно подготовить.

Прежде всего изображение должно быть отсканировано с разрешением 200 dpi (точек на дюйм) (рис. 1).

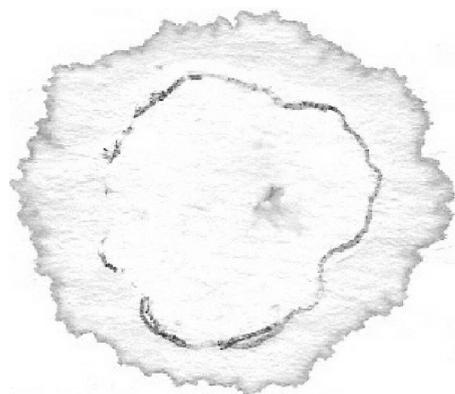


Рис. 1. Сканированное изображение пятна

Затем это изображение необходимо отредактировать в какой-либо программе обработки изображений, например Microsoft Paint. Цель редактирования состоит в том, чтобы обеспечить контраст областей внутреннего пятна (от фарша) и внешнего (от адсорбированной влаги) (рис. 2). Отредактированное изображение должно быть сохранено в формате *.bmp.

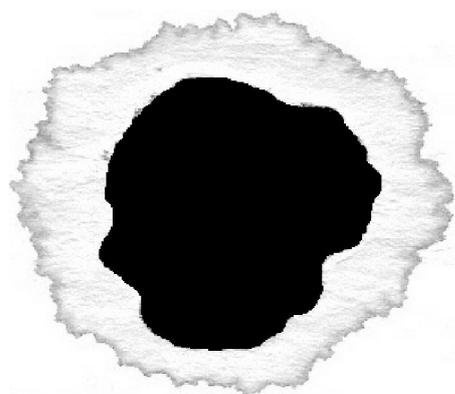


Рис. 2. Изображение с контрастом внутреннего пятна

Непосредственная работа с программой заключается в том, что в соответствующие поля окна программы вводится необходимая информация, после чего при нажатии кнопки “Изображение” выбирается обрабатываемый файл. Программа выводит изображение пятна, подсчитывает площадь влажного пятна в см² и показатели влагосвязывающей способности. Перед тем как обрабатывать следующий файл, необходимо снова ввести требуемые сведения (массу навески и массу мяса). Результат работы программы представлен на рис. 3.

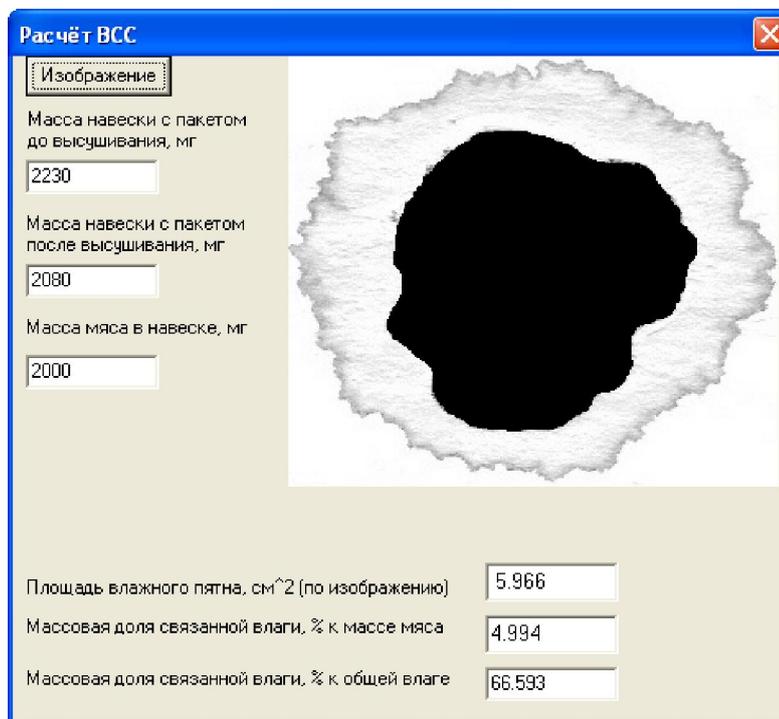


Рис. 3. Результат работы программы по определению влагосвязывающей способности модельной системы

Таким образом, анализ изображения пятна и расчет площадей с использованием компьютерной технологии не только сокращает затраты, но и повышает точность определения и объективность результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса мясных продуктов. – М. : КолосС, 2004.
2. Мункуева С.Д. Использование компьютерных технологий при определении влагосвязывающей способности мяса / Мункуева С.Д., Жимбуева Л.Д., Базарова М.В. [и др.] // Мясная индустрия. – 2004. – № 5.

УДК 378.

**О ЗАДАЧАХ ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ
СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ
СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

© *Н.В. Моряхина, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)*

**THE TASK OF TRAINING SKILLED SPECIALISTS FOR FOOD
INDUSTRY OF MIDDLE VOLGA REGION**

© *N.V. Morjahina, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена проблеме подготовки высококвалифицированных компетентных специалистов для отраслей пищевой промышленности.

Ключевые слова: целевая элитная подготовка, центр подготовки, направления подготовки.

The paper deals with training skilled specialists for food industry.

Key words: target elite training, training centre, directions of training.

Современный рынок с каждым годом выдвигает все более высокие требования к качеству подготовки специалистов начального, среднего и высшего профессионального образования. Во многом повышение требований объясняется увеличением числа компаний – участников рынка, большой номенклатурой предлагаемой к реализации продукции одинакового назначения и вследствие этого неизбежной жесткой конкуренцией между товарами и их производителями. Данные факторы вынуждают компании не только активней проводить переоснащение производств современным технологическим оборудованием, внедрять ресурсо- и энергосберегающие технологии, совершенствовать логистику, заниматься маркетингом и брендингом выпускаемой продукции, но и более активно проводить кадровую политику, осуществлять тренинги и реализовывать постоянное повышение квалификации своих сотрудников.

Для многих компаний становится ясным, что без привлечения молодых специалистов и целевой подготовки будущих выпускников учебных заведений на конкретные рабочие места, организации у себя практик и стажировок все труднее добиться заметного успеха на рынке. В притоке молодых квалифицированных кадров нуждаются не только производственные структуры, но и другие подразделения компаний – маркетинга, логистики, информатики, сервиса и пр.

Оснащение предприятий АПК современным оборудованием с программным управлением и компьютеризированными поточными линиями требует от выпускников технических специальностей образовательных учреждений не только глубоких знаний общей и специальной технологии по трансформации сырья в готовую продукцию и знаний конструктивного ус-

тройства машин и систем управления, но и умения их грамотной эксплуатации, технического обслуживания и наладки.

Сегодня требования к выпускникам со стороны работодателей затрагивают не только чисто профессиональные знания и навыки (в т.ч. знания специализации). Все чаще работодатели требуют знания иностранных языков, основ бизнеса, владения информационными технологиями, умения творчески мыслить и работать в команде. Инженер-механик все более становится инженером-мехатроником с глубокими знаниями в области свойств материалов, технологии их переработки, менеджмента и организации производства. При этом после окончания учебного заведения он должен быть готов быстро адаптироваться в производство.

Эта задача в технических вузах сегодня может быть успешно решена только *целевой элитной подготовкой* будущих выпускников, осуществляемой учебным заведением в тесном взаимодействии с работодателями. Ситуация, когда учебное заведение осуществляет подготовку специалистов по традиционной схеме по утвержденным образовательным программам без учета конкретных условий и заявок работодателей, не отвечает требованиям сегодняшнего дня. Может быть поэтому, как отмечается в [1], молодые выпускники очень часто сталкиваются с различными сложностями при устройстве на работу, несмотря на большое количество вакансий на рынке труда.

Если после базовой подготовки на первых курсах компания будет заинтересована вместе с учебным заведением проводить целевую подготовку будущего специалиста по согласованным учебным программам с организацией действенной практики в своих подразделениях и финансировать эту целевую подготовку, то, во-первых, эта компания получит технически грамотного специалиста, способного немедленно включиться в производственный цикл. Во-вторых, молодой специалист должен будет отработать в компании какое-то время для компенсации затрат на его целевую подготовку, что также выгодно для компании с позиций сокращения текучести кадров.

Очевидно, что такая схема повышает степень востребованности молодого специалиста, способствует гарантированному устройству его на работу по полученной специальности с перспективой карьерного роста и достаточно высокой оплатой труда.

Для придания процессу подготовки специалистов целенаправленного характера Правительством РФ было принято постановление № 942 “О целевой подготовке специалистов с высшим и средним специальным образованием” (XIV, ст. 3777). Задача целевой подготовки заключается в обеспечении предприятий молодыми специалистами, подготовленными по индивидуальным планам и специальностям. Реализация целевой подготовки возможна только при заинтересованности самих предприятий в совместной деятельности с учебными заведениями.

Внедрение адаптированных учебных программ, привлечение к обучению высококвалифицированных работников предприятий или организация специализированных кафедр на предприятиях, как форм целевой подготовки, позволит предприятиям динамично реагировать на меняющиеся усло-

вия развития отрасли. Пока же многие предприятия не проявляют должного интереса к такой форме сотрудничества, считая, что при избытке выпускников всегда можно заполнить вакантные места, а потом сетовать, что учебные заведения готовят специалистов, которым требуется длительный период становления.

Одним из эффективных звеньев целевой подготовки специалистов для отраслей промышленности региона может явиться организация элитной подготовки. Элитная подготовка – это особая система образовательного, научного и воспитательного процесса, его организации, обеспечения и реализации [1], ведущая к обладанию глубокими фундаментальными, гуманитарными и профессиональными знаниями, направленная на повышение творческого потенциала, способность решения научно-производственных задач и эффективное использование деловых качеств работников.

Примером реализации подобной формы может служить Центр элитной подготовки и содействия трудоустройству выпускников, созданный при Московском государственном университете пищевых производств на основании приказа Министерства образования РФ № 600 от 09.03.99 г. “О создании системы содействия занятости студентов и выпускников учреждений профессионального образования”.

Основными направлениями деятельности этого Центра являются:

- анализ конъюнктуры рынка для изучения потребности в специалистах и совершенствования образовательных программ;
- анализ форм взаимодействия вуза с работодателями для максимального удовлетворения требований промышленности к качеству подготовки молодых специалистов;
- содействие трудоустройству выпускников;
- разработка системы оценки личностных и профессиональных характеристик выпускников;
- реализация целевой подготовки специалистов;
- организация и проведение выставок и презентаций;
- информационная поддержка студентов.

Пензенская государственная технологическая академия, как бывший вуз, имеет положительный опыт в проведении целевой подготовки кадров, однако этот опыт затрагивает преимущественно машиностроение и не достаточен для других отраслей региона, по которым проводится обучение специалистов. Поэтому использование такой формы, как организация в академии Центра элитной подготовки, может иметь положительное значение, поскольку создание, устойчивое функционирование и развитие системы тесного взаимодействия ПГТА и работодателей способно в большей мере удовлетворить интересы и потребности труда, производства и образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малофеева Ю.Н., Тарасова В.В. Центр элитной подготовки и содействия трудоустройству выпускников // *Пищевая промышленность*. – 2009. – № 1. – С. 32 – 33.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 532.5

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ СПОСОБОМ КАСКАДНОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ СРЕД *)

© С.А. Харлашкин, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

HOW TO RECEIVE SUPRACOLLOIDAL SYSTEMS BY MEANS OF CASCADED PULSATING DISPERSION OF FOODSTUFF

© S.A. Harlashkin, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

Статья посвящена проблеме сверхтонкого измельчения пищевых сред в роторном пульсирующем поле.

Ключевые слова: пищевые среды, сверхтонкое измельчение, роторная высокоскоростная установка, вихревое пульсирующее поле.

The article is dedicated to the problem of ultrafine foodstuff grinding in rotatory pulsating field.

Key words: foodstuff, ultrafine grinding, high-speedy rotatory installation, swirling pulsating field.

Многие пищевые материалы представляют собой неоднородные дисперсные системы, состоящие из двух частей: сплошной, называемой *дисперсионной средой*, и входящей в нее в качестве содержимого – *дисперсной фазой*.

В зависимости от степени дисперсности системы делят на грубодисперсные с размером частиц дисперсной фазы менее 10^{-2} мм, микрогетерогенные ($10^{-2} \dots 10^{-4}$ мм), ультрамикрогетерогенные ($10^{-4} \dots 10^{-6}$ мм), наносистемы ($10^{-8} \dots 10^{-9}$ мм) [1].

Довольно широкий класс различных материалов представляют суспензии, эмульсии, пены, аэрозоли и порошки, которые относятся к микрогетерогенным системам.

Суспензии содержат твердую дисперсную фазу, находящуюся в жидкой дисперсионной среде. Эмульсии представляют собой нерастворимые друг в друге жидкие дисперсионную фазу и дисперсионную среду, обладающие разными свойствами. Типичными примерами эмульсий служат, например, жидкие молочные продукты в пищевой промышленности, различные кремы и гели в парфюмерии, смазочные масла и другие аналогичные системы.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ...

Важным фактором повышения стойкости суспензий и эмульсий является размер частиц дисперсной фазы и ее равномерное распределение в среде, что осуществляется как принятой технологией измельчения частиц, так и тщательным перемешиванием и гомогенизацией. Для повышения стойкости эмульсий к разделению сред из-за слияния капелек дисперсной фазы часто используют поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые адсорбируются на поверхности капелек, уменьшая их поверхностное натяжение и препятствуя слиянию. Однако использование ПАВ является в ряде случаев нежелательным, особенно при производстве продуктов питания.

Для повышения качественных показателей эмульсий может оказаться эффективным уменьшение размеров частиц дисперсной фазы от 10^{-4} до 10^{-9} мм.

Уменьшение размеров частиц дисперсной фазы до уровня наночастиц может привести к существенному изменению физико-механических свойств известных продуктов, которые не наблюдаются в ультрамикрорегетерогенных системах, не говоря уже про микрогетерогенные и грубодисперсные системы. Например, может существенно увеличиться стабильность и сохраняемость продуктов, могут появиться новые качества, например, по направленности воздействия на те или иные органы человека, если это касается пищевых продуктов, или по эффективности применения парфюмерных средств и пр. В любом случае необходимо проведение всесторонних исследований в этой области.

Получение микрогетерогенных частиц дисперсной фазы не представляет особых технических трудностей, и существующие технологии обеспечивают получение таких сред.

Дальнейшее повышение степени дисперсности требует применения иных подходов.

Одним из таких подходов является предложение о применении последовательной каскадной технологии высокоскоростного измельчения путем создания осциллирующих напряжений, возникающих в частицах и ведущих к измельчению их до уровня наночастиц [1] (рис. 1).

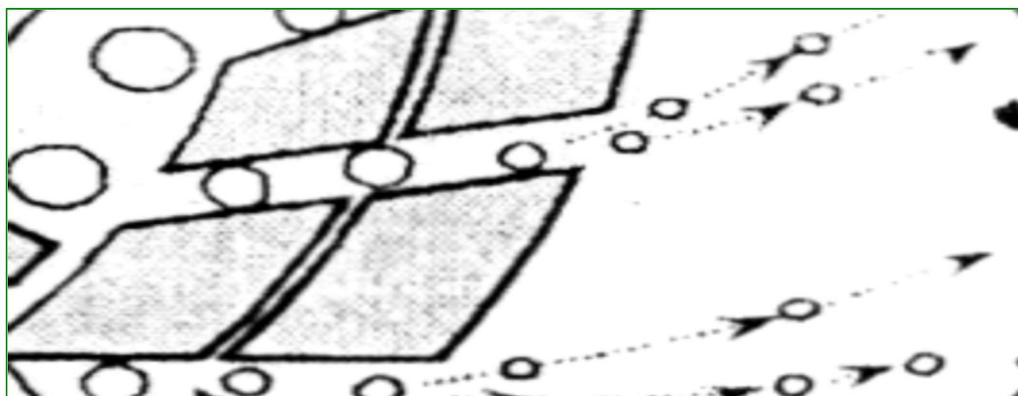


Рис. 1. Иллюстрация взаимодействия высокоскоростного ротора с корпусом устройства

Такая технология разрабатывается в настоящее время в Пензенской государственной технологической академии применительно к пищевым продуктам.

Для экспериментальных исследований предполагается на конечной стадии измельчения использовать высокоскоростные устройства с частотой вращения до 100 тыс. оборотов в минуту и выше (рис. 2).



Рис. 2. Высокоскоростной ротор для устройства измельчения

*) Работа выполнена под руководством д.т.н. В.А. Авророва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авроров В.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции : Электронный курс лекций. – Пенза : ПГТА, 2011. – 270 с.
2. Патент РФ № 2422213, 2011.

УДК 531.355

ОБ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКЕ ПРИ ВЫБОРЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ОБРАБОТОК КОНТАКТИРУЮЩИХ ПАР В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ *)

© *А.П. Смольянова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

RAPID ASSESSMENT FOR CHOOSING ANTIFRICTION TREATMENT OF CONTACT PAIRS UNDER DRY FRICTION

© *A.P. Smoljanova, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена проблеме объективной оценки и выбора оптимального сочетания антифрикционных обработок пар трения узлов технологического оборудования пищевых производств.

Ключевые слова: сухое трение, пары трения, антифрикционные обработки, выбор оптимального сочетания антифрикционных обработок.

The article covers objective assessment and choice of effective mix for antifriction treatment of contact pairs in parts of food industry equipment.

Key words: dry friction, friction pair, antifriction treatment, choice of effective mix for antifriction treatment.

Эффективность работы современных предприятий пищевой промышленности во многом зависит от надежной работы технологического оборудования, которая в свою очередь во многом определяется рациональным назначением и применением износостойких материалов, покрытий и антифрикционных обработок элементов контактирующих пар и узлов трения, существенно увеличивающих показатели безотказности и долговечности машин и аппаратов пищевых производств.

В отличие от других отраслей промышленности особенности технологического оборудования пищевых производств обуславливаются спецификой применяемых технологий переработки пищевого сырья и требованиями абсолютной безопасности получаемых продуктов питания. Поэтому, несмотря на то что многие элементы пищевого оборудования работают в тяжелых условиях эксплуатации или в агрессивных средах, применение различных смазывающих и протекторных средств не допускается вовсе или предъявляются очень жесткие требования к конструкции узлов трения по их герметизации и полной изоляции от соприкосновения с пищевыми ингредиентами.

В связи с этим проблема поиска и выбора эффективных и безопасных сочетаний антифрикционных обработок узлов трения, позволяющих увеличить ресурс машин и аппаратов и исключающих применение смазочных материалов, имеет актуальное значение [1].

Основная задача, возникающая при разработке методики исследований триботехнических характеристик узлов трения машин, состоит не только в получении достоверной оценки с высокой доверительной вероятностью, но и, что не менее важно, в интенсификации процесса испытаний, т.е. в сокращении его длительности и объема, что оказывает влияние на экономические показатели при создании нового оборудования.

Интенсификации процессов трения в контактирующей паре можно добиться созданием постоянных условий по нагрузке при существенном увеличении скорости относительного перемещения сопряженных элементов.

В зависимости от вида и сочетания антифрикционных обработок измерительной системой установки фиксируется непрерывно момент силы трения и дополнительно после окончания испытаний в динамике может быть определена величина износа менее жесткого элемента на аналитических весах. Такой подход позволяет оценить эффективность того или иного сочетания антифрикционных обработок комплексно сразу по нескольким параметрам и рекомендовать оптимальные сочетания для производственной проверки в реальных условиях. При выборе материалов для проверки учитывали их склонность к схватыванию. Например, известно, что полное схватывание

характерно для таких пар трения: Pb-Cu; Zn-Cu; Al-Ag; Al-Cu; Cu-Fe, Mg-Al и др. Частичное схватывание отмечается у следующих пар: Cu-Ag; Al-Fe; Zn-Al; Mn-Al; Al-Ni и др. Не наблюдается схватывания у пар Ag-Fe; Mg-Fe.

Для измерения момента силы трения контактирующих элементов и определения величины износа была создана компактная установка, содержащая вертикально установленный в подшипниках и подпятнике быстро-вращающийся шпindel 1, вокруг которого на трех упругих пластинчатых пружинах 2 подвешивается испытываемая деталь в виде кольца 3 с бортиком, служащим опорной поверхностью для вращения второй детали, выполненной в виде скобы 4. На шпindel устанавливаются два хомута с прикрепленной к ним гибкой прочной нитью 5, заправленной под скобу и служащей для передачи ей вращения от шпинделя. Возникающий при вращении момент силы трения в зоне фактического касания скобы и кольца воздействует на тензодатчик, приклеенный на одной из тензобалочек. Сигнал с тензодатчика передается на усилитель 6 и самописцем 7 записывается на ленте. Тарировка устройства проводится с помощью груза, воздействующего на тензобалочку, перед каждым циклом измерения.

Схема экспериментальной экспресс-установки для измерения момента силы трения приведена на рис. 1.

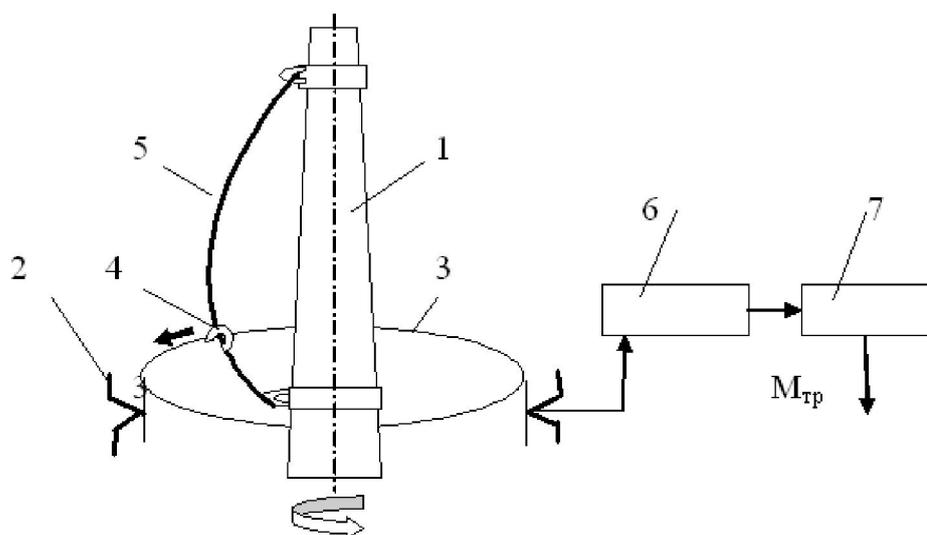


Рис. 1. Схема экспресс-установки для измерения момента силы трения на деталях вращения:

1 – шпindel, 2 – пластинчатая пружина с тензодатчиком, 3 – деталь кольца, 4 – деталь скобы, 5 – нить, 6 – тензоусилитель, 7 – самописец

Привод установки осуществляется от электродвигателя типа КД 25 через ременную тесемочную передачу. Частота вращения шпинделя до 30 тыс. об/мин (в эксперименте 10-15 тыс. об/мин).

Предварительный эксперимент по исследованию момента силы трения проводился на установке на контактирующих парах с разными видами антифрикционных обработок. Для этого поочередно подвешивали кольца

на упругих балочках установки, устанавливали на кольцо скобу с соответствующим видом антифрикционной обработки, проводили тарировку установки и затем в течение одной минуты запись момента силы трения, возникающей при вращении шпинделя и скобы по кольцу.

В качестве примера на рис. 2 приведена кривая изменения момента трения.

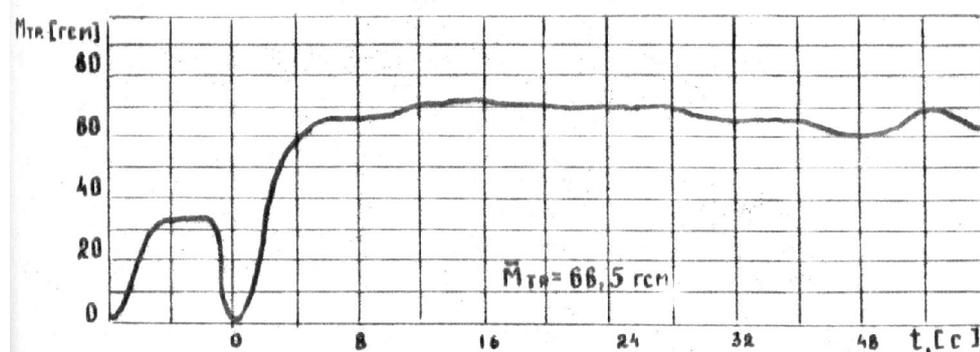


Рис. 2. Изменение момента силы трения в зависимости от обработки контактирующих пар

Дальнейшую экспериментальную проверку вида антифрикционных обработок, отобранных по меньшей величине момента трения, проводили по величине износа вращающихся скоб [1].

Обработка результатов многофакторного эксперимента с восемью видами антифрикционных обработок колец и четырьмя видами обработок скоб показала, что наименьший износ скоб в условиях сухого трения обеспечивают меднооловянистое покрытие колец типа “Белая бронза” в сочетании с никелированными скобами, а также объемная физико-химическая обработка колец и скоб. Данные сочетания были рекомендованы для промышленных испытаний.

Результаты проведенных исследований отмечены дипломом Министерства образования и науки РФ по конкурсу в области технических наук для пищевой промышленности [2].

*) Работа выполнена под руководством д.т.н. В.А. Авророва в рамках гранта Союза инновационно-технологических центров России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смольянова А.П. Отчет НИР по гранту Союза инновационно-технологических центров России “Исследование взаимодействия контактирующих пар, создание экспресс-установки для оценки влияния антифрикционных обработок на износостойкость узлов трения технологического оборудования пищевых производств и выбор оптимального сочетания антифрикционных обработок узлов трения”. – Пенза : ПГТА, 2011.

2. Ефграфова Т.Н. Диплом открытого конкурса НИРС МО РФ. – Краснодар : КГУ, 2009.

УДК 664.664

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ВИДОВ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАТУРАЛЬНЫХ ОБОГАТИТЕЛЕЙ

© Г.В. Авроров, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

© Н.С. Елисеева, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

© Е.В. Таранцова, Пензенская государственная технологическая академия
(г. Пенза, Россия)

CREATING NEW TYPES OF BAKED GOODS WITH ADDITION OF NATURAL ENRICHERS

© G.V. Avrorov, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

© N.S. Eliseeva, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

© E.V. Taranzova, Penza State Technology Academy (Penza, Russia)

Статья посвящена созданию новых рецептов и освоению выпуска хлеба и хлебобулочных изделий функционального назначения и здорового питания в условиях малого инновационного предприятия при вузе.

Ключевые слова: функциональное и здоровое питания, хлеб и хлебобулочные изделия, создание новых рецептов.

The paper discusses new formulas of bread and producing specialized and healthy cooking baked goods at a small-scale enterprise.

Key words: specialized and healthy cooking, bread and baked goods, creating new formulas.

В современных экологических условиях продукты питания должны обладать не только повышенной биологической и пищевой ценностью, но и выполнять профилактические функции. Хлеб – это продукт повседневного спроса, поэтому актуально обогащение хлебобулочных изделий различными добавками функционального назначения.

Целью проведенных в МИП ООО НТЦ ИНТАГРО (ПГТА) являлось определение целесообразности использования в хлебопекарном производстве порошка, полученного из высушенного березового гриба чага.

Березовая чага содержит много кислот и минеральных веществ, среди которых калий, магний, марганец, железо, натрий, кальций, цинк и другие, а также соли указанных элементов (особенно много солей калия) и клетчатку. В ней присутствуют тритерпеновые, оксифенолкарбоновые и органические кислоты (в т.ч. щавелевая), гуминоподобная чаговая кислота, растворимые хромогены, стероидные и стеринные соединения, свободные фенолы, лигнин и полисахариды.

При проведении исследований применяли смесь муки пшеничной хлебопекарной 1-го сорта и муки ржаной хлебопекарной и порошок гриба чаги, вырабатываемый по ТУ 9197-006-83960513-09 “Биоактивная добавка

к пище “Телиос “Чага”. Технические условия” и рекомендуемый в качестве биологически активной добавки к пище – источника полифенольных соединений. Содержание биологически активных веществ, %, не менее: полифенольные соединения в пересчете на галловую кислоту – 3,0. Рекомендации производителя по применению: 1 чайную ложку (3 г) залить 1 стаканом кипятка (200 мл), настоять 20 минут. Принимать взрослым по 1/2 стакана 2 раза в день во время еды. Таким образом, рекомендуется прием БАД в количестве не более 3 г в сутки [1].

Средняя норма потребления хлеба для взрослого человека составляет 300 г в сутки, т.е. обогащение хлеба БАД не должно превышать 1 г на 100 г изделия. Исследовали влияние количества вносимого БАД на качество хлеба. Для определения оптимальной дозировки БАД вносили в тесто в смеси с мукой в количестве 0,5 и 1 % от массы муки. Лабораторные выпечки изделий проводили безопарным способом по общепринятой методике. Тесто замешивали влажностью 44 % и создавали условия для брожения. Тестовые заготовки укладывали в смазанные маслом формы, подвергали расстойке и выпекали при температуре 220 °С в течение 32 мин. Контрольной пробой являлся хлеб без добавления БАД “Телиос “Чага”. Анализ качества хлеба проводили через 14-16 ч после выпечки. Согласно полученным данным, внесение различных количеств БАД неоднозначно влияло на показатели качества готовых изделий. Основные физико-химические свойства опытных образцов (влажность, кислотность, пористость, формоустойчивость) изменялись незначительно в сравнении с контролем. Наиболее существенно изменялись такие органолептические показатели, как цвет, вкус и запах.

Для сравнительной оценки потребительских достоинств хлеба применяли балльную оценку качества изделий, разработанную на кафедре технологии хлебопекарного производства МГУПП [2]. Анализ полученных результатов свидетельствует, что наилучшими потребительскими свойствами обладали пробы хлеба, приготовленные с добавлением 0,5 % БАД “Телиос “Чага”, так как имели максимальное количество баллов – 87. Образцы хлеба, выпеченные с добавлением большего количества БАД, имели темную окраску мякиша и корок, ярко выраженные вкус и аромат грибов по сравнению с контрольной пробой. У образцов, выпеченных с добавлением 0,5 % БАД, практически не изменялся цвет мякиша и появлялся приятный грибной привкус.

В результате проведенных исследований установлено, что использование БАД “Телиос “Чага” принципиально возможно в производстве хлебобулочных изделий. Применение данной добавки перспективно в технологии получения лечебно-профилактических продуктов и позволит расширить ассортимент функциональных продуктов питания. На основе разработанной рецептуры и технологического процесса разработаны технологическая инструкция и технические условия на производство хлеба ржано-пшеничного “Белокаменского” с чагой (ТУ 9113-001-65042162-11).

*) Работа выполнена под руководством д.т.н. В.А. Авророва и к.э.н. А.В. Новиковой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТУ 9197-006-83960513-09 “Биологически активная добавка к пище “Гелиос “Чага”.
2. Пучкова Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства. – СПб. : ГИОРД, 2004. – 264 с.

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АКАДЕМИИ**

© **В.Б. Моисеев**, д.п.н., профессор, ректор ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГОЙ
ТЕСТОВОЙ МАССЫ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ВАЛКОВОЙ
ТЕСТОРАСКАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ**

© **В.А. Авроров**, д.т.н., заведующий кафедрой “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Е.А. Сарафанкина**, старший преподаватель кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Н.С. Елисеева**, инженер МИП ООО НТЦ ИнфотехАГРО ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.В. Ловцева**, инженер МИП ООО НТЦ ИнфотехАГРО ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ
НЕПРЕРЫВНОГО ФОРМОВАНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ
ПИЩЕВЫХ СРЕД**

© **А.В. Зайцев**, магистр техники и технологии, аспирант ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**О ПЕРЕМЕЩЕНИИ ВЛАГИ В КОЛЛОИДНЫХ
КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ
ПРИ ИХ ВЫСУШИВАНИИ**

© **Г.В. Авроров**, магистр техники и технологии, директор МИП ООО НТЦ ИнфотехАГРО ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ
КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ПРИ ВЫСУШИВАНИИ
КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

© **Г.В. Авроров**, магистр техники и технологии, директор МИП ООО НТЦ ИнфотехАГРО ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
СУШКИ ТЫКВЫ**

© **А.Ф. Чамин**, к.т.н., доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.Н. Гусева**, магистр техники и технологии, ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Г.В. Авроров**, магистр техники и технологии, директор МИП ООО НТЦ ИнфотехАГРО ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ
РАСТИТЕЛЬНОГО КРАХМАЛСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

© **А.А. Курочкин**, д.т.н., профессор кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Г.В. Шабурова**, д.т.н., доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.В. Новиков**, к.т.н., докторант Самарской государственной сельскохозяйственной академии

© **С.В. Денисов**, к.т.н., докторант Самарской государственной сельскохозяйственной академии

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ
В ВИДЕ СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

© **В.А. Авроров**, д.т.н., заведующий кафедрой “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **С.А. Харлашкин**, аспирант кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.В. Ловцева**, инженер МИП ООО НТЦ ИнфотехАГРО ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ
СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

© **В.А. Авроров**, д.т.н., заведующий кафедрой “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **С.А. Харлашкин**, аспирант кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.В. Ловцева**, инженер МИП ООО НТЦ ИнфотехАГРО ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АНАЛИТИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ**

© **А.Н. Бормотов**, д.т.н. ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **И.А. Прошин**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой “Автоматизация и управление” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

© **В.Ю. Зайцев**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой “Теоретическая и прикладная механика” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПЕКЛ-ГОЛОГРАФИИ

© **И.В. Волков**, к.т.н. кафедры “Теоретическая и прикладная механика” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Е.М. Бородин**, инженер кафедры “Теоретическая и прикладная механика” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.Ю. Зайцев**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой “Теоретическая и прикладная механика” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **А.Ю. Кирсанов**, инженер кафедры “Теоретическая и прикладная механика” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ВИДЕ СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

© **В.С. Николаев**, доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.А. Авроров**, д.т.н., заведующий кафедрой “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.В. Волков**, к.т.н., профессор кафедры “Теоретическая и прикладная механика” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”, Почетный работник высшего профессионального образования РФ

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

© **В.С. Николаев**, доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Н.Н. Короткова**, инженер кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОЙ МАШИНЫ

© **В.С. Николаев**, доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТВЕРДЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА СУШИЛКАХ КАМЕРНОГО ТИПА**

© **Е.А. Жистин**, к.т.н., доцент кафедры “Пищевые производства”
ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Н.В. Дмитриев**, инженер кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ
ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Е.В. Паужолис**, инженер кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ
ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

© **В.В. Васильев**, д.т.н., профессор кафедры “Пищевые производства”
ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Ю.В. Корочкина**, инженер испытательного лабораторного центра
ФГУЗ “Центр гигиены и эпидемиологии”

**ОЦЕНКА САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ПИЩЕВЫХ
ПРОДУКТОВ МЕСТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

© **В.В. Васильев**, д.т.н., профессор кафедры “Пищевые производства”
ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Ю.В. Корочкина**, инженер испытательного лабораторного центра
ФГУЗ “Центр гигиены и эпидемиологии”

**ЗЕРНОВЫЕ ЭКСТРУДАТЫ – ИСТОЧНИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ ДЛЯ БУЛОЧНЫХ И МУЧНЫХ
КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

© **Г.В. Шабурова**, к.т.н., доцент кафедры “Пищевые производства”
ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **М.О. Волошина**, инженер, аспирант кафедры “Пищевые производ-
ства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Е.С. Казакова**, инженер, аспирант кафедры “Пищевые производ-
ства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ КОМПОНОВОК МНОГОВАЛКОВЫХ
ТЕСТОРАСКАТЫВАЮЩИХ МАШИН**

© **В.А. Авроров**, д.т.н., заведующий кафедрой “Пищевые производ-
ства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.С. Николаев**, доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ
ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **С.А. Никитина**, инженер кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ
ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКА ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА В ЗОНЕ ЗАГРУЗКИ

© **А.А. Курочкин**, д.т.н, профессор кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.В. Новиков**, к.т.н., докторант “Самарской государственной сельскохозяйственной академии”

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ДИСКА ШАРИКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ С ТЕЛАМИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ШОКОЛАДНОЙ СУСПЕНЗИЕЙ

© **В.С. Николаев**, доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **К.П. Фудин**, старший преподаватель кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **А.В. Зайцев**, магистр техники и технологии, аспирант ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

© **А.Б. Терентьев**, к.т.н., доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Д.А. Мельник**, инженер кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **А.А. Баклин**, начальник центра учебно-научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА МОЛОКА И МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

© **А.Б. Терентьев**, к.т.н., доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Д.А. Мельник**, инженер кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **А.А. Баклин**, начальник центра учебно-научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **А.Ф. Чамин**, к.т.н., доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ПЛАТФОРМА КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© **Д.И. Прошин**, к.т.н. кафедры “Автоматизация и управление” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО
КОМПЛЕКСА СЕТЕВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ЛАБОРАТОРИЙ**

© **Р.Д. Прошина**, к.т.н. кафедры “Автоматизация и управление”
ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**МНОГОПОЗИЦИОННЫЙ МЕХАТРОННЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ
СЫПУЧИХ И ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

© **В.А. Авроров**, д.т.н., заведующий кафедрой “Пищевые производ-
ства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Д.А. Мартяшина**, аспирант кафедры “Пищевые производства”
ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**КОМПОНОВКА АВТОМАТА ДЛЯ ФОРМОВКИ И УПАКОВКИ
ПЛАСТИЧНЫХ И ВЯЗКОУПРУГИХ ПИЩЕВЫХ МАСС**

© **В.С. Николаев**, доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ
ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **А.В. Зайцев**, магистр техники и технологии, аспирант ФГБОУ ВПО
“Пензенская государственная технологическая академия”

**К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ И УМЕНЬШЕНИЯ
РАЗБРОСА УСИЛИЙ ЗАТЯЖКИ ГРУППОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ**

© **А.Н. Потёмкин**, к.т.н., доцент кафедры “Теоретическая и приклад-
ная механика” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая
академия”

**ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ
РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

© **А.В. Ланщиков**, д.т.н., профессор кафедры “Технология общего и
роботизированного производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государствен-
ная технологическая академия”

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ**

© **Н.А. Симанин**, к.т.н., профессор кафедры “Технология общего и ро-
ботизированного производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная
технологическая академия”

© **В.В. Голубовский**, к.т.н., заместитель заведующего кафедрой “Тех-
нология общего и роботизированного производства” ФГБОУ ВПО “Пен-
зенская государственная технологическая академия”

© **А.М. Прохоров**, инженер кафедры “Технология общего и роботизи-
рованного производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная тех-
нологическая академия”

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТИПА
“СОПЛО – ЗАСЛОНКА” ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ПРИВОДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

© **Н.А. Симанин**, к.т.н., профессор кафедры “Технология общего и роботизированного производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.В. Голубовский**, к.т.н., заместитель заведующего кафедрой “Технология общего и роботизированного производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **А.Н. Расстегаев**, инженер кафедры “Технология общего и роботизированного производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО РЫНКА И ЗАДАЧИ
БРЕНДИНГА МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

© **Н.В. Моряхина**, к.ф.н., доцент кафедры “Экономика и менеджмент” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Н.С. Елисеева**, инженер МИП ООО НТЦ ИнфотехАГРО ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Е.В. Таранцова**, инженер МИП ООО НТЦ ИнфотехАГРО ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ СПРОСА НА МОЛОКО
И МОЛОЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ**

© **В.М. Зимняков**, д.т.н., профессор ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ
ЦЕНЫ НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ**

© **В.М. Зимняков**, д.т.н., профессор ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Е.А. Алмакаева**, инженер ОАО “Пензтяжпромарматура”

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ
ОТРАСЛЯХ АПК (ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОДХОД)**

© **А.В. Новикова**, к.э.н., доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

© **А.В. Новикова**, к.э.н., доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **Е.В. Таранцова**, инженер МИП ООО НТЦ ИнфотехАГРО ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**ИННОВАЦИИ В ОРГАНИЗАЦИИ ПИТАНИЯ ПАССАЖИРОВ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ КАК ФАКТОР
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УСЛУГ И РОСТА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИТАНИЯ**

© **Т.Д. Коваленко**, к.с.н, доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ ОБУЧАЮЩИЙ КОМПЛЕКС
“ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ”**

© **П.И. Аргамонов**, аспирант кафедры физики ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

© **В.В. Моисеев**, ученик средней образовательной школы № 77 г. Пензы

© **Б.Л. Свистунов**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой физики ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
МЯСНОГО СЫРЬЯ**

© **З.А. Бочкарёва**, к.т.н., доцент кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**О ЗАДАЧАХ ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ
СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ
СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

© **Н.В. Моряхина**, к.ф.н., доцент кафедры “Экономика и менеджмент” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ
СИСТЕМ СПОСОБОМ КАСКАДНОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО
ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ СРЕД**

© **С.А. Харлашкин**, аспирант кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

**ОБ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКЕ ПРИ ВЫБОРЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ
ОБРАБОТОК КОНТАКТИРУЮЩИХ ПАР В УСЛОВИЯХ
СУХОГО ТРЕНИЯ**

© **А.П. Смольянова**, к.т.н., старший преподаватель кафедры “Пищевые производства” ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего** *плюс*

Научное периодическое издание

Серия: Технические науки.
Пищевые производства

ISSN 2221-951X



Редактор Л.Ю. Горюнова
Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Н.Н. Зосимовой

Сдано в производство . Формат 60x84 ¹/₁₆
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Суг.
Усл. печ. л. , . Уч.-изд. л. , . Заказ № . Тираж .

Пензенская государственная технологическая академия.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1^а/11.