

24-5833

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

О.А. Ткачев, С.Ю. Шубкин,  
С.В. Шахов, И.Н. Сухарев

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ВАКУУМ-ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО КОПЧЕНИЯ  
ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ

Монография

24-05833

Елец – 2024

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЕЛЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.А. БУНИНА»**

**О.А. Ткачев, С.Ю. Шубкин,  
С.В. Шахов, И.Н. Сухарев**

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ВАКУУМ-ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО КОПЧЕНИЯ  
ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ**

**Монография**

**Елец – 2024**

УДК 664.923:539.8

ББК 36.81

Т 48

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина  
от 29.02.2024, протокол №1

Рецензенты:

**ГЛОТОВА Ирина Анатольевна**, доктор технических наук, профессор кафедры технологий хранения и переработки сельскохозяйственной продукции Воронежского государственного аграрного университета им. императора Петра I;

**ЗАХАРОВ Вячеслав Леонидович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции Елецкого государственного университета им. И. А. Бунина.

**О. А. Ткачев, С. Ю. Шубкин, С. В. Шахов, И. Н. Сухарев**

**Т 48** Разработка и исследование процесса вакуум-электростатического копчения экструдированных продуктов: монография. – Елец: ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», 2024. – 184 с.

ISBN 978-5-00151-431-2

В монографии представлен анализ современного состояния теории, технологии и техники копчения экструдированных продуктов. Приведены результаты экспериментальных исследований кинетики насыщения экструдированных продуктов ароматическими компонентами дымовоздушной смеси в процессе вакуум-электростатического копчения. Особое внимание уделено синтезу и анализу математической модели получения дымовоздушной смеси с индуктивным подводом энергии и вакуум-электростатического копчения экструдированных продуктов, а также термодинамической оценке эффективности процессов, обеспечивающих насыщение ароматическими компонентами дымовоздушной смеси экструдированных продуктов в электростатическом поле. Предложенные технические решения позволяют реализовать высокоэффективные процессы дымогенерации и вакуумного насыщения коптильными компонентами экструдированных продуктов в электростатическом поле и обеспечить высокую точность автоматического управления данными процессами.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников, аспирантов и студентов, занимающихся исследованиями, расчетами и проектами нового оборудования для термической обработки.

УДК 664.923:539.893

ББК 36.81

ISBN 978-5-00151-431-2

© ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ КОПЧЕНИЯ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ.....	7
1.1. Экструдированные продукты как объекты исследований процесса копчения.....	7
1.1.1. Химический, фракционный состав, физико-химические и функционально-технологические свойства экструдатов.....	11
1.1.2. Комплексная оценка экструдированных белковых мясорастительных продуктов.....	18
1.1.3. Оценка пищевой и биологической ценности комбинированных экструдированных мясорастительных продуктов.....	21
1.2. Анализ существующих способов копчения продуктов и оборудования для его осуществления.....	26
1.3. Теоретическое описание процессов, обеспечивающих насыщение экструдированных продуктов коптильными компонентами.....	40
1.3.1. Влияние развитой структуры экструдированных продуктов на эффективность осаждения коптильных компонентов.....	40
1.3.2. Влияние основных параметров на процесс осаждения коптильных компонентов.....	51
1.3.3. Особенности улавливания коптильных компонентов в экструдированных продуктах, имеющих зернистую развитую структуру.....	53
1.3.4. Осаждение коптильных компонентов в условиях электростатического поля.....	55
1.4. Цель и задачи исследования.....	57
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМ-ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО КОПЧЕНИЯ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ.....	59
2.1. Исследование процесса вакуум-электростатического копчения экструдированных продуктов.....	59
2.1.1. Лабораторная установка для вакуум-электростатического копчения экструдированных продуктов.....	59
2.2. Исследование характеристик дыма.....	61
2.2.1. Разработка датчика оптической плотности.....	61

2.3. Определение влияния различных параметров на процесс вакуум-электростатического копчения экструдированных продуктов.....	66
2.4. Исследование эффективности процесса вакуум-электростатического копчения экструдированных продуктов.....	71
2.4.1. Методика проведения исследований.....	71
2.4.2. Расшифровка результатов измерений.....	73
<b>ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЫМОГЕНЕРАЦИИ С ИНДУКТИВНЫМ ПОДВОДОМ ЭНЕРГИИ И ВАКУУМ-ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО КОПЧЕНИЯ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ.....</b>	<b>77</b>
3.1. Постановка задачи.....	77
3.2. Характеристика процесса дымогенерации.....	79
3.2.1. Описание модели дымогенератора.....	79
3.2.2. Оценка максимальной скорости движения азотовоздушной смеси.....	82
3.2.3. Оценка температуры азотовоздушной смеси.....	84
3.2.4. Теплообмен между газом, насадкой и материалом в барабане.....	86
3.2.5. Программа теплового расчета дымогенератора.....	92
3.2.6. Анализ результатов математического моделирования процессов барабанного дымогенератора.....	94
3.2.7. Анализ результатов моделирования тепловых режимов дымогенератора.....	97
3.3. Дымопоглощение сферической частицей продукта.....	107
3.3.1. Численное моделирование процесса дымопоглощения сферической частицей продукта.....	109
3.3.2. Распределение частиц дыма в частице продукта.....	112
<b>ГЛАВА 4. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВАКУУМ-ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО КОПЧЕНИЯ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ.....</b>	<b>120</b>
4.1. Энергетический анализ процесса вакуум-электростатического копчения экструдированных продуктов.....	121
4.2. Эксергетический анализ процесса вакуум-электростатического копчения экструдированных продуктов.....	129

<b>ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>142</b>
5.1. Установка для дымогенерации.....	142
5.2. Установка для получения копченых экструдированных продуктов и внешней подачей дыма.....	147
5.3. Установка для получения копченых экструдированных продуктов и внутренней подачей дыма.....	149
5.4. Система автоматического управления процессом получения копченых экструдированных продуктов и внутренней подачей дыма.....	155
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>166</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>167</b>