



Хобин, В. А. Эффективное управление процессом экструдирования биополимеров: проблемы, имитационные модели, структуры и алгоритмы САУ [Текст] : монография / Хобин Виктор Андреевич, Егоров Виктор Богданович ; Одес. нац. акад. пищевых технологий. - Херсон : Гринь Д.С., 2013. - 236 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 198-210. - ISBN 978-617-7123-37-7.

В монографии представлено обоснование и новое решение научно-технической задачи повышения эффективности САУ процессом экструдирования биополимеров (ЭБП). Ее цель - средствами автоматического управления гарантировать соблюдение регламентов ТП ЭБП, повысить качество экструдатов, обеспечить устойчивость и высокую производительность процесса, снизить удельные затраты энергии. Такие САУ помимо традиционных функций регулирования реализуют новую функцию - гарантированного соблюдения ограничений регламента. Она позволяет преодолеть противоречие между повышением эффективности технологического процесса (в данном случае - энергоэффективности) и потерями, связанными с нарушением ограничений. Рассмотрены особенности этих процессов, включая характерные ограничения, и последствия их нарушений, математические модели процессов как объектов управления и их реализация в имитационной форме, вопросы повышения эффективности функций регулирования существующих САУ, разработка систем гарантирующего управления.

Книга предназначена для научных работников и инженеров, занимающихся разработкой эффективных систем автоматического управления широким классом объектов, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

ВВЕДЕНИЕ

Экструдирование (от лат. *extrusion* - выталкивание) - процесс термомеханической обработки пищевого сырья путем выдавливания через формуемое отверстие рабочего органа с целью получения изделий заданной формы, структуры и физико-химических свойств. Впервые червячный экструдер был создан в 1869 году в Англии фирмой «Follows & Vate» и применялся для изготовления колбасных изделий. Первый патент на

экструдер с применением архимедового винта был выдан М. Грею (Англия) в 1879 году [19]. Массовое производство экструзионной техники и ее использование в пищевой промышленности относится к 60-м годам XX века, причем ее применение расширялось: экструдеры стали применять не только в качестве прессов, но и для физико-химической обработки с целью придания продуктам новых функциональных свойств [164].

На сегодняшний день ведущими зарубежными фирмами, которые специализируются на выпуске экструзионной техники и поставляют на рынок широкий ассортимент экструдеров, являются фирмы «Wenger», «Anderson», «Sprout - Matador» (США), «Werner & Pfleiderer», «Weber», «Walter» (Германия), «Glextral», «Crezaux - Loire» (Франция), «Grondona Nimet», «Paganì» (Италия), «Buhler», «Buss» (Швейцария), «Cincinnati» (Австрия), «Toshibe» (Япония) и др. [19].

Ассортимент выпускаемой в различных странах мира пищевой продукции, полученной методами экструзии, охватывает большинство пищевых отраслей и включает в себя такие продукты, как «сухие завтраки», модифицированные крахмалы, «взорванные» кукуруза и рис, соевые текстураты, текстурированная желатиновая резинка, формованные кондитерские и макаронные изделия, хрустящие хлебцы, кукурузная соломка, мясные колбасы, формованные сливочное масло, творожные пасты, рыбо-растительные изделия, комбикорма и многое другое [164].

Процессы экструдирования биополимеров (ЭБП) растительного происхождения реализуются при производстве продуктов питания и комбикормов, причем сфера их применения расширяется. Этому способствует уникальное сочетание различных факторов воздействия на перерабатываемый продукт: пластические деформации, перемешивание, высокие температура и давление, его резкий сброс до атмосферного, изменения агрегатного состояния воды, интегрированной в продукт. За счет этого происходят глубокие изменения в составе питательных веществ исходных продуктов - крахмал частично расщепляется до декстринов и сахаров, протеины подвергаются денатурации, в результате чего питательные вещества лучше усваиваются и людьми и животными. Кроме того, после экструдирования существенно улучшаются механические и вкусовые качества продуктов, происходит инактивация ингибиторов ферментов, нейтрализация некоторых токсинов, и уничтожение их продуцентов, что обеспечивает санитарную безопасность экструдата. В настоящее время в качестве сырья наиболее широко используют соевую муку, изоляты и концентраты, зерновые культуры (рисовые, овсяные и кукурузные крупы), картофель, а также вторичное сырье мясной, рыбной и молочной промышленности [19].

Существующие системы автоматического управления (САУ) процессами экструдирования биополимеров, реализуют, в лучших случаях, только функции регулирования (стабилизации) тока нагрузки приводного электродвигателя (ПЭД) экструдера и температурного режима обработки сырья. Практика показывает, что такие САУ не могут обеспечить устойчивое

функционирование экструдера в энергетически эффективных режимах и высокие показатели качества готового продукта. Главные причины этого - динамично изменяющиеся характеристики компонентов сырья, их состав в рецептуре производимых продуктов, износ рабочих органов, колебания напряжения питающей сети, наличие ограничений, накладываемых регламентом ведения процесса экструдирования биополимеров на диапазоны изменения его параметров, нарушение которых приводит к возникновению аварийных ситуаций (АС).

Проведенный анализ содержания исследований и разработок в области повышения эффективности САУ процессами экструдирования биополимеров и сделанные по нему выводы позволяют утверждать, что, несмотря на большое количество научных разработок в этой области, актуальность задачи повышения эффективности таких САУ сохраняется.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
РАЗДЕЛ I ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЭКСТРУДИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	6
1.1. Технология экструдирования, как современный этап развития технологий производства пищевых продуктов и комбикормов. Оборудование для экструдирования	6
1.1.1. Общие понятия об экструдировании	6
1.1.2. Классификация экструзионных продуктов питания	8
1.1.3. Классификация оборудования для экструдирования	9
1.2. Процессы преобразования сырья при экструдировании, переменные, характеризующие процессы преобразования, влияние характеристик сырья и условий экструдирования.....	17
1.2.1. Основные представления о поведении биополимеров в процессе термопластической экструзии.....	17
1.2.2. Роль воды в процессе термопластической экструзии биополимеров	20
1.2.3. Механизм формирования микроструктуры экструдатов.....	23
1.2.4. Влияние реологического поведения гетерофазного расплава биополимеров на структуру экструдатов	25
1.2.5. Физико-химическая сущность процесса экструзии кормов и факторы процесса, влияющие на их питательную ценность.....	27

1.2.6. Энергозатраты на процесс экструдирования биополимеров.....	29
1.3. Модели, описывающие процесс экструзии.....	30
1.3.1. Общие замечания.....	30
1.3.2. Моделирование процессов движения и теплообмена нелинейных полимерных сред в условиях фазового перехода в каналах экструзионного оборудования [59].....	31
1.3.3. Моделирование процесса экструдирования как ОУ при переработке материалов растительного происхождения [60].....	35
1.3.4. Разработка моделей процесса экструдирования растительного сырья на основе экспериментального подхода.....	39
1.4. Функции, алгоритмы и особенности реализации существующих САУ процессами экструдирования биополимеров.....	44
1.4.1. Общие замечания.....	44
1.4.2. Особенности САУ процессами экструдирования химических полимеров.....	45
1.4.3. Функции САУ процессами ЭБП.....	46
1.5. Выводы по разделу 1.....	56

РАЗДЕЛ II КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ БИОПОЛИМЕРОВ.....

2.1. Цель и проблемы эффективного управления, актуальность задачи и направления совершенствования системы автоматического управления процессом экструдирования биополимеров.....	62
2.1.1. Особенности процесса ЭБП как ОУ и задачи управления процессом.....	62
2.1.2. Актуальность задачи и направления совершенствования САУ процессом ЭБП.....	67
2.2. Концептуальная модель процесса экструдирования биополимеров как объекта управления.....	70
2.2.1. Структурная схема концептуальной модели ОУ.....	70
2.2.2. Анализ и формализованное описание взаимосвязей переменных каналов преобразования управляющего воздействия u_p	73
2.2.3. Анализ и формализованное описание взаимосвязей переменных каналов преобразования управляющих воздействий u_{ni}	79
2.2.4. Анализ и формализованное описание взаимосвязей переменных каналов преобразования управляющего воздействия u_3	81
2.2.5. Анализ и формализованное описание взаимосвязей переменных в каналах формирования показателей качества готового продукта.....	82
2.3. Концепция построения систем автоматического	

управления процессом экструдирования биополимеров	84
2.3.1. Анализ концептуальной модели процесса ЭБП	84
2.3.2. Перспективная функциональная организация САУ процесса ЭБП.....	87
2.3.3. Варианты структурных схем САУ, реализующих выбранную функциональную организацию.....	89
2.4. Выводы по разделу II.....	101

**РАЗДЕЛ III КОМПЛЕКС ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПРОЦЕССОМ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ
БИОПОЛИМЕРОВ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА КАК ОБЪЕКТА
УПРАВЛЕНИЯ**

3.1. Интеллектуальный канал видеоинформации для автоматического измерения показателей экструдата, характеризующих его качество.....	103
3.1.1. Актуальность задачи получения непрерывной информации о качестве экструдата и пути ее решения.....	103
3.1.2. Программно-техническая реализация экспериментального варианта канала видеоинформации о характеристиках экструдата.....	106
3.2. Автоматизированное рабочее место исследователя процесса экструдирования биополимеров	107
3.2.1. Основные задачи исследований, решаемые в рамках АРМ, и его функции.....	107
3.2.2. Программно-техническое обеспечение АРМ и его интерфейсы.....	109
3.3. Идентификация математических моделей процесса экструдирования биополимеров как объекта управления.....	112
3.3.1. Проблемы идентификации и обоснование пути их преодоления.....	112
3.3.2. Экспериментальные исследования процессов ЭБП и идентификация моделей его отдельных компонентов	119
3.3.3. Реализация ММ процесса ЭБП на экструдере Е-150 в среде имитационного моделирования, ее тестирование и заключение об адекватности модели ОУ.....	130
3.4. Выводы по разделу III.....	144

**РАЗДЕЛ IV ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ, АНАЛИЗ И
РЕАЛИЗАЦИЯ БАЗОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ
БИОПОЛИМЕРОВ.....**

4.1. Базовая система автоматического управления процессом	146
---	-----

экструдирования биополимеров, ее особенности, задачи параметрического синтеза и анализа	146
4.2. Параметрический синтез и анализ подсистем регулирования с типовыми алгоритмами.....	149
4.2.1. Параметрический синтез подсистемы регулирования тока нагрузки ПЭД экструдера.....	149
4.2.2. Параметрический синтез альтернативных вариантов подсистемы регулирования температурного режима обработки сырья в экструдере.....	150
4.2.3. Анализ работы подсистем регулирования с типовыми алгоритмами	154
4.3. Параметрический синтез и анализ подсистемы гарантирующего управления нагрузкой ПЭД экструдера	164
4.3.1. Повышение запасов устойчивости (робастности) подсистемы регулирования тока нагрузки ПЭД экструдера.....	164
4.3.2. Параметрический синтез и анализ подсистемы гарантирующего управления степенью нагрева ПЭД экструдера.....	172
4.4. Реализация и испытания базовой системы автоматического управления процессом экструдирования биополимеров	181
4.4.1. Реализация алгоритмов базовой САУ в среде SCADA- системы ADAM View	181
4.4.2. Испытания макетного образца базовой САУ процессом ЭБП	181
4.5. Выводы по разделу IV	194
ВЫВОДЫ	196
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	198
ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	211
Приложение А Технические характеристики экструдеров моделей E-150 E-1000.....	212
Приложение Б Исходный код реализации алгоритмов базовой системы гарантирующего управления	216