

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ СЫРЬЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИИ

На базе экспериментального исследования предлагается разработка энергоресурсосберегающей технологии производства экструдированных продуктов с учетом адгезионно-когезионных взаимодействий, позволяющей снизить энерго- и ресурсозатраты в процессе производства. В работе проведены исследования влияния процесса экструдирования различных видов сельскохозяйственного сырья на изменение физико-химических и структурно-механических свойств перерабатываемых материалов.

Ключевые слова: энергоресурсосбережения, экструзионная обработка, анализ, упруго-вязко-пластичная масса.

Экструдирование широко применяется с целью получения разнообразных продуктов. Так например: вспученных экструдатов, полуфабрикатов вспученных экструдатов, макаронных изделий, пиллет т.д. Имеется достаточно большое количество исследований, направленных на изучение процессов экструзионной обработки материалов. Однако практически все эти исследования направлены на изучение интенсификации процессов движения, смешивания, разогревания и т.д. в экструдере уже спрессованных материалов или же процессов формования экструдированных материалов в матрице экструдера. Не производилось исследований процесса превращения сыпучего продукта, загружаемого в экструдер, в спрессованный однородный материал. Математической модели данного процесса в настоящее время не создано. Интенсификации данного процесса практически не проводилось [1,2].

На сегодняшний день при экструдировании продуктов имеются проблемы, связанные со значительными сырьевыми и энергетическими затратами [3]. Актуальной проблемой является изучение и реализация возможности снижения энергозатрат за счет оптимизации адгезионно-когезионных взаимодействий в процессе превращения сыпучего материала в спрессованный. В связи с вышесказанным, является целесообразным изучение процесса преобразования сыпучего материала, подаваемого в экструдер в упруго-вязко-пластичную массу и разработка конструкции оборудования для более интенсивного осуществления данного процесса.

В животноводческих хозяйствах имеется дефицит комбикормов. Детское и функциональное питание нуждается в продуктах понижен-

ной и энергетической ценности. Вышеприведенные продукты и корма с успехом могут производиться с использованием экструзионных технологий. Однако, применяемые в настоящее время экструзионные технологии подразумевают значительные энерго- и ресурсовложения [4]. Мелкие животноводческие хозяйства заинтересованы в создании собственных мини-комбикормовых, мини-экструзионных и т.д. производств. Вместе с тем, данное производство не должно быть энерго и ресурсоемким. Машиностроительные предприятия России заинтересованы в производстве энергоресурсосберегающих мини-линий для производства кормов, кормовых добавок и вспученных экструдатов, которые, несомненно, будут востребованы потребителями, а так же мелкими и средними животноводческими хозяйствами.

Ведущими представителями, производящими технологии и оборудование для экструзионного воздействия на перерабатываемый материал являются: немецкая фирма «Бюллер», итальянская фирма «Паван-мамримпьянти», французская фирма «Бассано». Вышеперечисленные фирмы разработали достаточно эффективные методы осуществления экструзионных технологий. Однако, несмотря на наличие при фирмах научно-исследовательских центров, технологии, разработанные ими, осуществляются без выхода на оптимальные режимы, не учитывают кинетику изменения структурно-механических свойств и химического состава, а также не учитывают адгезионно-когезионного взаимодействия. Внедрение разрабатываемой авторами конструкции экструзионного оборудования позволит обеспечить стабильное существование машиностроительных

предприятий и улучшить работу небольших фермерских хозяйств. Аналогов предлагаемой конструкции в данное время не имеется не в России не за рубежом.

Целью исследования являлось изучение влияния параметров процесса и конструкции экструдера на изменение агрегатного состояния зернового сырья в процессе его переработки.

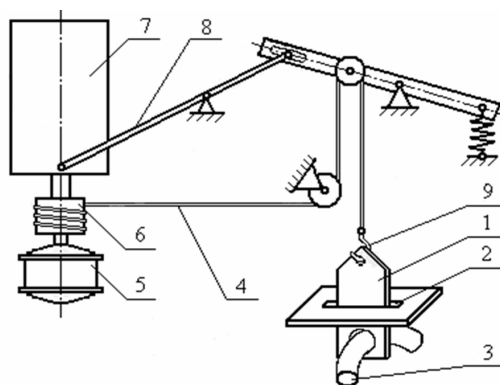
Задачи исследования:

- анализ существующего оборудования, выявление недостатков и особенностей узлов уплотнения перерабатываемых материалов;
- разработка конструкции лабораторной установки для изучения адгезионно-когезионных свойств исследуемых материалов;
- изучение эффективности работы типового одношнекового экструдера с точки зрения изменения плотности перерабатываемого сырья, при его продвижении вдоль шнека экструдера;
- оптимизация процесса производства макаронных изделий с целью повышения их прочности, за счет изменения технологических параметров процесса и кинематических параметров экструдера.

Был проведен анализ существующих математических моделей, используемых при экструдировании, в частности для макаронных изделий. [3-7]. При смешивании используются модели уравнения баланса мощностей с учетом гидравлических коэффициентов смеси, а для прессования макаронного теста используются реологические модели, основанные на реологических критериях. Из чего можно сделать вывод, что нет единого описания для экструдирования, в частности макаронных изделий, и отсутствует математическая модель описания преобразования сыпучего материала в упруго-вязко-пластичное тело.

В работе была использована лабораторная экструзионная установка, разработанная на факультете пищевой биотехнологии и инженерии.

Также в работе были использованы разработанные ранее устройство для определения физико-механических свойств готовых экструдированных изделий (рисунок 1) и устройство для определения когезионных и адгезионных



1 – планка с отверстием; 2 – опорная пластина; 3 – образец макаронного полуфабриката; 4 – нить; 5 – электродвигатель; 6 – барабан; 7 – измерительный цилиндр; 8 – стрелка; 9 – крючок.

Рисунок 1. Устройство для определения относительной прочности получаемых экструдатов

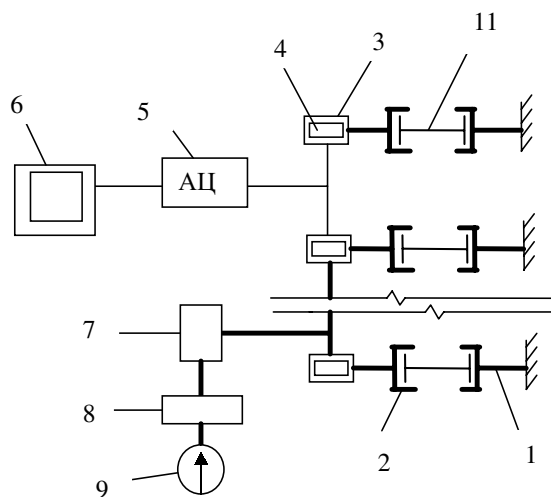


Рисунок 2. Устройство для определения когезионных и адгезионных напряжений возникающих при растяжении и сжатии исследуемых материалов

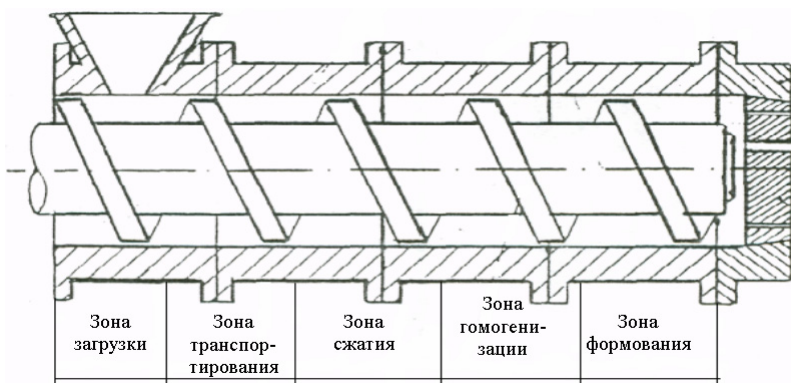


Рисунок 3. Рабочий узел шнековой камеры пресс-экструдера

напряжений, возникающих при растяжении и сжатии материалов, извлекаемых из зон экструдера (рисунок 2).

Конструкция шнековой камеры экструдера была разбита на пять зон (рисунок 3): зона загрузки, зона транспортирования, зона сжатия, зона гомогенизации и зона формования. Изучено преобразование материала в каждой зоне с точки зрения его плотности и, как следствие, прочности.

Результаты исследований для типового одношнекового экструдера представлены в таблице 1.

Результаты свидетельствуют о недостаточном уплотнении материала в зоне сжатия 1100 г/см³, по сравнению с 1300 г/см³, которые получаем на выходе из экструдера. А также о недостаточной плотности материала на выходе из экструдера 1300 г/см³, по сравнению с 1400 г/см³, достигаемых на гидравлических прессах, при использовании аналогичного сырья. Вышеприведенные данные, вероятно, объясняются неэффективной работой шнековой камеры пресс-экструдера в зоне сжатия, при использовании традиционной конструкции шнековой камеры.

В работе были использованы разработанные ранее математические методы оптимизации биотехнологических объектов на основе математического планирования экспериментов, которые были апробированы при определении удельной прочности получаемых экструдатов. При этом в соответствии с планом эксперимента было проведено экструдирование пшеничной муки с получением макаронных изделий типа лапши и определялась удельная прочность на

разрез на приборе ПМ2. После серии экспериментов был разработан план полного факторного эксперимента ПФЭ²³, с включением ключевых точек с целью получения уравнений второго порядка. Значения исследованных факторов в плане представлены в условных единицах. Ключевые точки плана эксперимента в условных единицах и натуральных значениях представлены в таблице 2.

План эксперимента ПФЭ²³ в условных единицах представлен в таблице 3.

Для обеспечения требуемой точности все опыты проводились в трех повторностях. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

По результатам эксперимента было получено уравнение регрессии, адекватно описывающее зависимость удельной прочности от массовой доли влаги в экструзионной смеси, частоты вращения шнека экструдера и температуры обработки материала:

$$Y_n = 10,70027 + 0,595186 \cdot X_1 - 0,375 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,443704986 \cdot X_1^2 - 1,443704986 \cdot X_2^2 + 0,513807551 \cdot X_3^2, \quad (1)$$

где X_1, X_2, X_3 – соответственно массовая доля влаги, частота вращения шнека экструдера и температура обработки материала представлены в условных единицах.

Для подстановки исходных факторов в натуральных значениях в вышеприведенное уравнение могут быть использованы зависимости:

$$\begin{aligned} X_1 &= 0,3333 \cdot W - 10,3333, \\ X_2 &= 0,0333 \cdot \omega - 2,3333, \\ X_3 &= 0,0333 \cdot t - 1,6667. \end{aligned} \quad (2)$$

Таблица 1. Плотность материала в зонах шнековой камеры экструдера

Зоны шнековой камеры	Зона загрузки	Зона транспортирования	Зона сжатия	Зона гомогенизации	Зона формования
Плотность, г/см ³	750	760	1100	1200	1300

Таблица 2. Значения исследованных факторов

Массовая доля влаги в экструзионной смеси			
Условные единицы, X_1	-1	0	1
Натуральные значения, W %	28	31	34
Частота вращения шнека экструдера			
Условные единицы, X_2	-1	0	1
Натуральные значения, ω об/мин	40	70	100
Температура обработки материала			
Условные единицы, X_3	-1	0	1
Натуральные значения, t °C	20	50	80

где W – массовая доля влаги в экструзионной смеси, %;

ω – частота вращения шнека экструдера, об/мин;

t – температура обработки материала, °С.

По уравнению регрессии были построены плоскости отклика для температуры обработки материала 20 °С, 50 °С и 80 °С. Плоскость отклика для t 20 °С представлена на рисунке 4.

Анализ плоскостей отклика позволяет сделать вывод о том, что с целью достижения наибольшей удельной прочности (а как следствие наилучшего качества макарон) необходимо использовать массовую долю влаги от 0 до 0,5 условных единиц (31-32,5 %), частоту вращения шнека экструдера от -0,4 до 0,4 условных единиц (58-82 об/мин) и температуру обработки материала 20 °С.

Проведены исследования процесса экструдирования различных видов сельскохозяйственного сырья (пшеничная мука, рис, рисовая сечка, гречневая крупа, продел гречки и подсолнечника) на изменение физико-химических и структурно-механических свойств перерабатываемых материалов. Особое внимание при этом уделялось изучению явления когезии и адгезии.

По результатам исследования:

– изготовлена лабораторная установка со сменным узлом уплотнения;

– изготовлена лабораторная установка для изучения агрегатного состояния перерабатыва-

емого сырья с точки зрения его когезионно-адгезионных свойств;

– изучено изменение плотности материала в зонах шнековой камеры типового одношнекового экструдера (зона загрузки, зона транспортирования, зона сжатия, зона гомогенизации и зона формования). Результаты свидетельствуют о недостаточном уплотнении материала в зоне сжатия 1100 г/см³, по сравнению с 1300 г/см³, которые получаем на выходе из экструдера. А также о недостаточ-

Таблица 4. Результаты эксперимента

№ опыта	Удельная прочность г/мм ²		
	повторность		
	№ 1	№ 2	№ 3
1	9	10	8
2	10	11	9
3	11	12	10
4	10,5	10	11
5	9,001	10,001	8,001
6	10,001	11,001	9,001
7	11,001	12,001	10,001
8	10,501	10,001	11,001
9	9,5	9	10
10	10,75	10,5	11
11	10	9	11
12	10,25	10	10,5
13	13	13,5	12,5
14	13,1	13,5	12,5
15	12,9	13,5	12,5

Таблица 3. План эксперимента

№ опыта	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	-1
2	-1	1	-1
3	1	-1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	-1	1	1
7	1	-1	1
8	1	1	1
9	-1,215	0	0
10	1,215	0	0
11	0	-1,215	0
12	0	1,215	0
13	0	0	-1,215
14	0	0	1,215
15	0	0	0

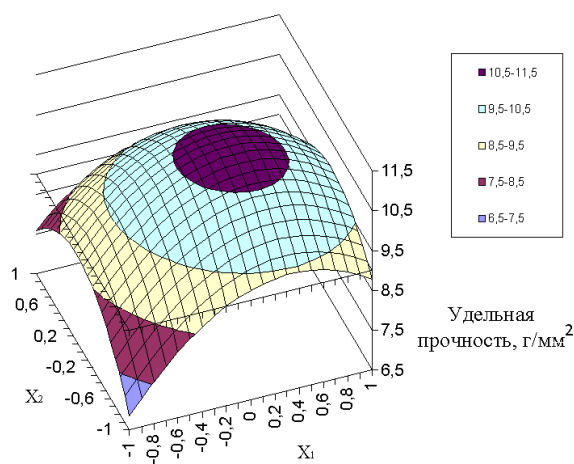


Рисунок 4. Влияние массовой доли влаги в экструзионной смеси (x_1) и частоты вращения шнека экструдера (x_2) при относительной температуре 20 °С (x_3) на удельную прочность г/мм²

ной плотности материала на выходе из экструдера 1300 г/см³, по сравнению с 1400 г/см³, достигаемых на гидравлических прессах, при использовании аналогичного сырья. Вышеприведенные данные, вероятно, объясняются неэффективной работой шнековой камеры пресс-экструдера в зоне сжатия, при использовании традиционной конструкции шнековой камеры;

– проведена оптимизация технологических параметров процесса и кинематических параметров экструдера с целью повышения прочности макаронных изделий. Выявлено, что наибольшую прочность имеют изделия, с массовой долей влаги от 0 до 0,5 условных единиц (31-32,5%), частотой вращения шнека экструдера от -0,4 до 0,4 условных единиц (58-82 об/мин) и температурой обработки материала 20 °С.

12.02.2013

Список литературы:

1. Абрамов О. В. Исследование основных закономерностей процесса экструзии при производстве комбинированных продуктов питания / О. В. Абрамов // Хранение и переработка сельхозсырья, 2007. - N 6. - С. 69-72. - Библиогр.: с. 72 (3 назв.).
2. Остриков А. Н. Экструзия в пищевой технологии / А. Н. Остриков, О. В. Абрамов, А. С. Рудометкин. - СПб.: ГИОРД, 2004. - 288 с. : ил. - Библиогр.: с. 263-281 - ISBN 5-901065-62-X.
3. Платов К. В. Научное обеспечение процесса получения зерновых палочек на одношнековом экструдере: дис. ... к.т.н. [Электронный ресурс Оренбургского государственного университета] / К. В. Платов. – Воронеж, 2004. – 169 с. [Официальный сайт, ограниченный доступ]. URL: <http://dlib.rsl.ru/01002637808> (дата обращения: 24.11.2012).
4. Фисенко К. А. Оптимизация процесса экструдирования кормов с учетом изменения геометрических и режимных параметров рабочего пространства шнекового прессующего механизма: автореф. дис. ... к.т.н. [Электронный ресурс Оренбургского государственного университета] / К. А. Фисенко. Оренбург, 2000 – 17 с. [Официальный сайт, ограниченный доступ]. URL: <http://dlib.rsl.ru/01000765516> (дата обращения: 25.11.2012).
5. Атыханов А. К. Оптимизация процесса экструдирования при производстве кормовых добавок для жвачных животных: дис. ... к.т.н. [Электронный ресурс Оренбургского государственного университета] / А. К. Атыханов. – Алма-Ата, 1984. – 211 с. [Официальный сайт, ограниченный доступ]. URL: <http://dlib.rsl.ru/01004025243> (дата обращения: 8.12.2012).
6. Плотников Д. А. Обоснование и разработка автономной установки для производства пеллет с энергообеспечением от перерабатываемого сырья: автореф. дис. ... к.т.н. [Электронный ресурс Оренбургского государственного университета] / Д. А. Плотников. – Ижевск, 2008. – 131 с. 61 08-5/1400 [Официальный сайт, ограниченный доступ]. URL: <http://dlib.rsl.ru/01003447159> (дата обращения: 15.12.2012).
7. Гаврилов Н. В. Обоснование конструктивно-режимных параметров экструдера при переработке кормосмеси: дис. ... к.т.н. [Электронный ресурс Оренбургского государственного университета] / Н. В. Гаврилов. - Оренбург, 2005. – 121 с. [Официальный сайт, ограниченный доступ]. URL: <http://dlib.rsl.ru/01002746936> (дата обращения: 23.12.2012).

Сведения об авторах:

Тимофеева Дарья Владимировна, аспирант кафедры пищевой биотехнологии Оренбургского государственного университета, e-mail: Timofeeva-Daria89@yandex.ru

Зинюхина Анна Георгиевна, аспирант кафедры пищевой биотехнологии Оренбургского государственного университета, e-mail: ziggi9090@mail.ru
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 3215

Попов Валерий Павлович, заведующий кафедрой пищевой биотехнологии Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 3104^А, тел. (3532) 37 24 65, e-mail: ppbt@mail.osu.ru

Коротков Владислав Георгиевич, декан факультета прикладной биотехнологии и инженерии Оренбургского государственного университета, профессор, доктор технических наук 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 3121

Антимонов Станислав Владиславович, доцент кафедры машин и аппаратов химических и пищевых производств Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 3115

UDC 658.5:621.7.04

Timofeeva D.V., Zinyukhina A.G., Popov V.P., Korotkov V.G., Antimonov S.V.

Orenburg state university, e-mail: ppbt@mail.osu.ru**OPTIMIZATION OF THE CHANGES OF THE AGGREGATIVE STATE OF MATERIALS IN THE EXTRUSION PROCESS**

On the basis of the pilot research is proposed to develop Saving Technologies extruded products including adhesive-cohesive interactions permits substantive reduce energy and resource consumption in the production process. This paper investigated the effect of extrusion process various kinds of agricultural raw materials to changes in the physical-chemical, structural, and mechanical properties of the materials being processed.

Key words: energy saving, extrusion processing, analysis, elastic-visco-plastic mass.