

ЭКСТРУЗИОННАЯ ОБРАБОТКА КАК ФАКТОР ПОЛУЧЕНИЯ «ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ» ПРОДУКТОВ ИЗ ЗЕРНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

В статье рассмотрена проблема получения кормов, предназначенных для скормливания сельскохозяйственным животным, путем экструзионной обработки зерноотходов и ВМР с точки зрения их «экологической безопасности», которая оценивается через изменение содержания тяжелых металлов в исходном сырье и полученных образцах.

Проблема получения «экологически чистой» (экологически безопасной) продукции пищевого и кормового назначения из отходов и вторичных материальных ресурсов (ВМР) зерноперерабатывающей и элеваторно-складской промышленности является очень актуальной. В настоящее время существуют способы получения кормов из зерноотходов и ВМР для скормливания сельскохозяйственным животным в следующих видах: рассыпного корма и в виде гранул. Из-за невозможности длительное время хранить комбикорм в рассыпном виде, связанной с его высокой гигроскопичностью, а следовательно, подверженностью слеживаемости, его формуют в гранулы [4].

Формование рассыпного корма технологически осуществляется двумя способами: прессованием в грануляторе и путем экструзионной обработки в шнековом пресс-экструдере.

При производстве кормов в форме гранул все большее распространение получают комбикорма, полученные путем различной экструзионной обработки сельскохозяйственного сырья.

Экструдеры позволяют совместить ряд операций в одной машине, проводить их быстро и непрерывно (в частности, составлять композицию из нескольких компонентов), перемешивать, сжимать, нагревать, стерилизовать, варить и формовать сырье практически одновременно.

Существуют несколько видов экструзионной обработки сырья в зависимости от температуры, при которой она проводится, и создаваемого давления, необходимого для получения продукта той или иной консистенции.

Виды экструзии: процесс экструзии подразделяют на три группы: холодное формование (холодная экструзия); тепловая обработка и формование при низком давлении (теплая экструзия); тепловая обработка и формование при высоком давлении (горячая экструзия) – таблица 1.

Необходимо отметить, что проведение переработки зернового сырья путем «горячей экструзии»

приводит к тому, что в зоне плавления экструдера, при температуре 120-180° С, происходят разрушения полимерной структуры основных компонентов крахмалосодержащего сырья, клейстеризация и желатинизация которого могут быть вызваны действием высокой температуры, возникающей при переходе механической энергии (энергии трения материала о поверхность экструдера и внутреннего трения материала при его перемещении) в тепловую энергию на набухшие зерна крахмала. Тогда как набухание и растворение в воде зерен крахмала ограничены, процессы их термомеханической деструкции в данном случае протекают более активно [10].

В результате экструзии наблюдается сохранение белковых веществ наряду с превращением полисахаридов в более легкоусвояемые олигосахариды. Основная технологическая машина для экструдирования – это пресс-экструдер, в практике известны различные его конструкции со специальной формой рабочих органов и определенными кинематическими и нагрузочными параметрами [7].

Экструдеры могут работать как в автономном режиме, так и с использованием теплоты дополнительных источников. Существует несколько марок экструдеров: КМЗ 2У, КМЗ-2М, КМЗ-2, ПЭК-125*8, экструдер фирмы «TRIPL-F» модель «Insta-pro» и др. Например, в экструдере ПЭК 125*8 сырье нагревается как в результате преобразования механической энергии рабочих органов машины в тепловую энергию, так и вследствие дополнительно регулируемого внешнего источника теплоты электрообогрева [12].

Экструзионная техника, обеспечивающая проведение сложных технологических процессов, является наиболее перспективной во всех отраслях пищевой промышленности. Экструдеры позволяют совместить ряд операций в одной машине, проводить их быстро и непрерывно (в частности, составлять композицию из нескольких компонентов), перемешивать, сжимать, нагревать, стерилизовать, варить и формовать сырье практически одновременно.

Слежение за процессом экструзии осуществляется путем контроля как минимум трех параметров:

- влажности экструдированного материала,
- температуры в различных зонах экструдера,
- скорости вращения шнека экструдера.

При этом в экструдере выделяют несколько основных зон – зона питания, зона плавления и дозирования, а также – головку экструдера с фильером.

Таблица 1. Параметры и виды экструзии

Параметры экструзии	Виды экструзии		
	холодная	тепловая	горячая
Массовая доля влаги, %	30-60	20-320	10-20
Температура, °С	20-70	70-130	130-250
Давление, мПа	6-10	8-14	12-25
Число оборотов шнека экструдера, мин	10-80	40-120	80-250

Каждая из зон характеризуется тем, что позволяет изменять физико-химические и структурно-механические свойства обрабатываемого материала. Назначение зоны питания заключается в подаче в зону сжатия холодного дисперсного материала, поступающего через загрузочное устройство. Так как производительность экструдера лимитируется зоной дозирования, то очень важно, чтобы эта зона была способна подавать количество материала, достаточное для ее постоянного заполнения. Следует отметить, что транспортирование таких материалов, как крахмалопродукты, имеющих низкую сыпучесть и насыщенную массу, представляет собой большие трудности, и для обеспечения непрерывной и равномерной подачи сырья в машину питатели оборудуются различными устройствами – вибраторами, механическими перемешивателями и т. п. Для этих целей используют также двухшнековые экструдеры, конструкция которых позволяет решить проблему транспортировки и подачи сырья [10].

В зоне дозирования происходит выпрессование, обрабатывание материала под давлением, через отверстия матрицы, и в результате за счет перепада давления и температуры в прессе по отношению к окружающей среде происходит вспучивание материала и образуется высокопористая структура. Наиболее интенсивно процесс образования биополимеров протекает под действием сил сдвига и растяжения в головке экструдера и в фильере, что обусловлено изменением реологических условий течения сырья в этих зонах [8].

В зависимости от конструкций фильеров можно получить экструдаты всех типов микроструктур – пористой, волокнистой, однородной. Экструдаты пористой структуры получают, используя короткие неохлажденные фильеры. При выходе биополимеров через такую фильеру происходит резкий сброс давления, так называемое «взрывное» испарение воды и образование пористой микроструктуры. Волокнистую охлажденную микроструктуру получают, используя охлаждаемые фильеры [11].

Одним из основных достоинств экструдеров является то, что они имеют большой коэффициент теплоотдачи, то есть в течение короткого времени (30 сек.) в них возможен гомогенный теплообмен. Многие продукты питания чувствительны к термическому воздействию, поэтому подвергать их нагреву нужно быстро. Кроме того, в экструдере можно получить высокое давление сжатия до 10 МПа без применения дополнительных воздействий. Благодаря особенностям конструкций происходит быстрое перемешивание материала в экструдере, а совмещение в нем нескольких операций позволяет сократить время всего технологического процесса, а также снизить трудоемкость и энергопотребление. [11]

Горячее экструдирование осуществляется при высоких нагрузках, давлении и температуре. Здесь имеет место регулируемый подвод тепла извне, как

непосредственно в продукт, так и через стенки корпуса экструдера. Такая обработка приводит к различным по глубине изменениям в сырье. Относительно сухой материал (10-20% влаги) переходит в пластическую массу, способную течь, а содержащийся в сырье крахмал почти полностью клейстеризуется. При выходе массы из матрицы происходит «взрывание» продукта и разрыхление его структуры в результате резкого падения давления и температуры [9].

Влияние влаготермической обработки на свойства основных компонентов сырья. Для оптимизации технологического процесса производства экструдированных продуктов необходимо знать свойства перерабатываемых материалов и их возможные изменения в процессе переработки.

Помимо свойств экструдированного материала на консистенцию продукта оказывает влияние эффект полного взаимодействия целого ряда факторов, таких как частота вращения шнека и температура. Это подтверждает положение о том, что экструзия является процессом комплексного воздействия на материал влаготермических напряжений.

Наибольшим изменениям в процессе экструзионной обработки подвергается углеводный комплекс сырья, особенно крахмал. Степень изменения крахмала в этом случае зависит от ряда факторов: свойств исходного сырья; скорости и предела повышения температуры нагрева; интенсивности механического воздействия; состояния крахмальных полисахаридов; количества воды.

Соотношение основных параметров экструдирования и индивидуальные особенности обрабатываемого сырья определяют глубину изменения его свойств.

Таким образом, мы видим, что получение кормов для скормливания сельскохозяйственным животным в экструдированном виде позволяет решить многие проблемы, связанные с усвояемостью животными данного корма при кормлении и важной задачей длительного хранения произведенного корма.

Кроме перечисленных выше положительных биохимических превращений, происходящих в зерновых продуктах при экструзионной обработке, необходимо выяснить, какое воздействие на исходное зерновое сырье оказывает экструзия с позиций поведения одерживающихся в этом сырье тяжелых металлов (ТМ).

Что происходит с ТМ, не оказывает ли экструзия негативное влияние на их содержание, химическую активность и можно ли говорить о том, что полученный продукт безопасен с экологической точки зрения?

Формование корма при высоком давлении и температуре приводит к повышению качества исходного продукта, а именно способствует снижению степени обсемененности кормовых смесей микроорганизмами; модификации и клейстеризации крахмала; уменьшается содержание неусвояемых соеди-

нений; улучшаются сенсорные (органолептические) показатели корма [2].

Как мы видим, целесообразность использования того или иного способа формования определяется только технологическими и экономическими соображениями, экологический аспект выбора получения корма упускается из виду.

Необходимо отметить, что в отходах и ВМР зерноперерабатывающих предприятий, как в любых других продуктах растительного происхождения, содержатся токсичные вещества, и в частности тяжелые металлы.

Тяжелые металлы относятся к приоритетным загрязняющим веществам, наблюдение за которыми обязательно во всех природных средах.

Термин «тяжелые металлы», характеризующий широкую группу загрязняющих веществ, получил в последнее время значительное распространение, к сожалению, в нашей стране тяжелые металлы стали постоянными загрязнителями продукции растительного происхождения [1].

В работах, посвященных проблемам загрязнения окружающей природной среды и экологического мониторинга, на сегодняшний день к тяжелым металлам относят более 40 металлов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 40 атомных единиц (ртуть, свинец, медь, железо, хром, цинк, олово и др.). По классификации Н.Ф. Реймерса тяжелыми считаются металлы с плотностью более 8 г/см³ [1].

При этом немаловажную роль в категорировании тяжелых металлов играют следующие условия: их высокая токсичность для живых организмов при относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомагнификации [3].

Все тяжелые металлы подразделяются на 3 группы опасности. В первый класс опасности включены: Pb, Hg, Zn и др. (ГОСТ 17.4.1. 02-83). Ко второму классу опасности отнесены Ni, Cu, Cr и др.

Несмотря на то, что практически все металлы, попадающие под определение тяжелых, активно участвуют в биологических процессах, входят в состав многих ферментов, и они довольно ядовиты [1].

Попадая в живой организм и взаимодействуя с рядом ферментов, они подавляют их активность. Особенно опасны тяжелые металлы из-за их способности к биоаккумуляции, так, незначительные дозы, получаемые в течение длительного периода животными или человеком и кажущиеся совершенно безвредными, накапливаются в организме, создавая повышенную (иногда чувствительную для него) концентрацию,

Токсичные металлы требуют особого внимания. Они обладают высокой токсикологической активностью, олигодинамическим действием, кумулятивными свойствами, наличием специфичес-

ких, в том числе избирательных, эффектов влияния на организм. Согласно докладам ЮНЕП/ФАО/ВОЗ свинец, кадмий, ртуть и мышьяк представляют наиболее реальную опасность и значительную угрозу здоровью человека в связи со способностью накапливаться в организме и вызывать заболевания, развивающиеся постепенно, без ярко выраженных симптомов. При увеличении суточной дозы до 600-700 мкг могут появляться симптомы, свойственные свинцовому астеновегетативному синдрому. Комитет экспертов ФАО/ВОЗ установил, что допустимая доза свинца не должна превышать 3 мг в неделю (или 430 мкг в сутки). Необходимы мероприятия по снижению поступления свинца в первую очередь с консервированными пищевыми продуктами, продуктами детского питания [1].

Присутствие кадмия в пищевых продуктах представляет собой серьезную проблему для здравоохранения. Поэтому необходимо принимать соответствующие меры, направленные на снижение до минимума его содержания в пищевых продуктах. В таблицах 2 и 3 приведены естественный уровень и предельно допустимые величины содержания токсичных элементов в пищевых продуктах [1].

В результате формования зерноотходов происходит комплекс процессов: термическая обработка, нагревание смеси реакционно-активных веществ, их смешивание и разрушение клеточных элементов – и создаются идеальные условия для химических реакций, в ходе которых токсичность полученных веществ может измениться. Возникает закономерный вопрос, как изменяется содержание тяжелых металлов в результате экструзии или гранулирования корма и не становится ли полученный продукт более опасен с экологической точки зрения?

Ответ на данный вопрос позволит в каждом конкретном случае учитывать свойства сырья и специфику производства и применять тот или иной способ получения формованного кормового продукта с учетом его «экологической безопасности».

С этой целью подвергались экструдированию отобранные на оренбургских зерноперерабатывающих предприятиях (КХП №1 и КХП №3) следующие продукты: рассыпная кормосмесь («смесь кормовая для жвачных животных», содержание белка не менее 7% и не менее 40 кормовых единиц), зерноотходы и отруби пшеничные.

Исходные продукты предварительно увлажняли до влажности $W=26\%$, а затем экструдировали методом «горячей экструзии» в течение 8-10 секунд при температуре 140-150° С, при давлении 12 Мпа на универсальном малогабаритном одношнековом пресс-экструдере малой производительности.

Полученные после экструзионной обработки образцы сравнивались с исходными и гранулированными продуктами на предмет изменения содержания тяжелых металлов до и после экструзии.

Таблица 2. Результаты испытаний на влияние содержания токсичных элементов экструзионной обработки зерноотходов (метод атомно-абсорбционной спектроскопии и способ мокрой минерализации)

Наименование характеристики	Наименование НД (нормативные документы) на методы испытаний	Обозначение НД на продукцию	Значение характеристики		
			По НД (мг/кг)	При испытаниях (мг/кг)	
				До экструзии	После экструзии
Пшеничные отходы: Содержание токсичных элементов: цинк свинец	ГОСТ 26932-86 26934-86	-	-	36,5 0,44	34,0 0,44
Отруби пшеничные: Содержание токсичных элементов: цинк свинец	ГОСТ 26932-86 26934-86	ГОСТ 7169-66	130,0 1,0	46,87 0,21	46,6 0,25

Таблица 3. Влияние экструзионной обработки на содержание тяжелых металлов в исходных образцах и полученных продуктах

Наименование тяжелых металлов	Отруби (КХП №1)		Зерноотходы (КХП №1)		Зерноотходы (КХП №3)	
	Исх.	Экстр.	Исх.	Экстр.	Исх.	Экстр.
Sr, мг/кг	9,5	7,7	8,1	7,93	8,1	9,86
Rb, мг/кг	4,43	3,6	3,27	-	2,83	3,06
Zn, мг/кг	23,03	35,9	16,03	16,90	17,23	17,23
Mn, мг/кг	0,04	0,04	0,04	0,036	0,043	0,044
Ni, мг/кг	-	-	-	6,18	-	-

С этой целью исследовалось изменение ТМ в исходном сырье и полученных образцах различными методами химического анализа:

1) Непосредственно в исходных и проэкструдированных продуктах методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно ГОСТ 7169-66 и способом мокрой минерализации ГОСТ 26574-85 (определялись изменения содержания кадмия и свинца).

В основе метода атомно-абсорбционной спектроскопии лежит эффект резонансного поглощения излучения определенной длины волны (так называемой резонансной линии) свободными ато-

мами определяемого элемента при прохождении этого излучения через атомный пар исследуемого образца [5].

Способ мокрой минерализации основан на полном разрушении органических веществ пробы продукта при нагревании с серной и азотной концентрированными кислотами с добавлением хлорной кислоты или перекиси водорода или при нагревании только с перекисью водорода и предназначен для всех видов сырья и продуктов [5].

В результате исследования полученных образцов установлено, что происходит снижение содержания металлов кадмия и свинца в подверженных экструзии зерноотходах и отрубях по сравнению с неэкструдированными, данные исследований приведены в таблице 1.

2) Путем озоления (ускоренным методом) экструдированных и неэкструдированных согласно ГОСТ (Р 50436-92; 28418-89*).

Измерения содержания в озоленных продуктах тяжелых металлов при экструзионной обработке и гранулировании проводились при помощи рентгенофлуоресцентного метода. По полученным результатам строились калибровочные графики, и на основании полученных калибровок определялась концентрация тяжелых металлов в озоленных образцах и в 1 кг сырья.

Предварительные результаты исследований представлены в таблице 2, из анализа которой можно констатировать, что в результате экструзионной обработки только в отрубях содержание Zn, мг/кг, в полученном продукте увеличивается вдвое, по остальным элементам существенных значительных изменений не происходит.

Необходимо отметить, что полученные результаты носят только промежуточный характер и о каких-то закономерностях по влиянию экструзионной обработки и гранулирования на изменение содержания тяжелых металлов при производстве кормовых продуктов из ВМР и зерноотходов можно будет говорить только после проведения дополнительных исследований.

Список использованной литературы:

1. Бориская М.А и др. Оборудование комбикормовых заводов.: Справочник – М.: Агропромиздат, 1986. – 175 с.
2. Братерский Ф.Д., А.Д. Пелевин. Оценка качества сырья и комбикормов. М.: 1983 «Агропромиздат» 180 с.
3. Бутковский, А.И. Мерко, Е.М. Мельников «Технологии зерноперерабатывающих производств», М.: 1990 «Агропромиздат» С. 179; 116
4. Ермаченко Л.А., Атомно-абсорбционный анализ в санитарно-гигиенических исследованиях / Чебоксары 1997, С. 7-10, С.84, 99.
5. Орлов А.И., Н.М. Подгорнова. Производство комбикормов с применением экструзионной технологии / – М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, 1990. –53 с.: ил.
6. Саид Н.В. Экструдеры «Инста – Про» в производстве комбикормов //Комбикормовая промышленность. – 1998. – №4. – С.17-19.
7. Соколов А.Я Комбикормовые заводы. – М.: Колос, 1969. – 431 с.: ил.
8. Цыбикова Г.В. Технологические основы повышения экологической чистоты и качества зерна и зернопродуктов /автореф. на соиск. уч. ст. д.т.н. – М, 1992.
9. Шарло Г. «Методы аналитической химии количественный анализ неорганических соединений. Изд. «Химия».1969.
10. Щелкунов Л.Ф. «Пища и экология».– Одесса: Оптимум, 2000. – 517 с.
11. Экспандирование и экструдирование в производстве кормовых смесей (зарубежная практика) // Комбикормовая промышленность. – 1997. – №1. – С. 15-16.
12. Schwermetalle in Muhlennachprodukte. «Getreide, Mehl und Brot», ФРГ, №4, 1997, С. 100.