

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КРИОГЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Кишкилев С.В., Тимофеева Д.В., Мартынов Н.Н.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме снижения энергоемкости производства и повышения качества получаемой продукции, и, как следствие, приводящей к повышению экономической эффективности [1].

При производстве кормов и кормовых добавок, все активнее применяются экструзионные технологии, включающие: измельчение, смешивание и прессование. Однако в данной технологии подразумевают значительные сырьевые и энергетические затраты. Рациональная технология переработки зернового сырья должна обеспечивать сохранность полезных свойств сырья на каждом этапе его переработки в частности на этапах его измельчения и экструдирования.

В ряде работ имеется сведение о применении криогенных технологий для снижения энергетических связей внутри перерабатываемого сырья (предварительного частичного разрушения перерабатываемого сырья за счет расширения присутствующего в нем свободной влаги при ее переходе из жидкого состояния в твердое). В частности А.И. Наумов, Егоров Г.А, Е.Д. Казаков, В.Л. Кретович исследовали, как влияет температура, а также совместно температура и влажность, и механические характеристики пшеницы сорта Цезиум 31 из Алтайского края. Мучнистую и стекловидную фракции зерна подвергали воздействию отрицательных и положительных температур, а затем измельчению. Было установлено, что низкие температуры действуют не только на оболочки, но и на весь объем зерна. Если температура зерна отрицательна (ниже -10 и ниже), то свободная и связанная влага, всегда находящаяся в порах, капиллярах и межклеточных пространствах зерна, превращаясь в лед и расширяясь, расшатывает структуру зерна и ослабляет связи между его составными частями. В результате этого сопротивляемость зерна измельчению снижается. Кроме того, снижение температуры приводит к уменьшению кинетической энергии поступательного движения молекул вещества, снижает их скорость и длину свободного пробега, зерно становится менее вязким и пластичным, увеличивается его хрупкость.

В связи с вышесказанным имеется возможность создания фундаментальных основ криоэкструзионных технологий переработки растительного сырья с целью превращения его в пищевой или кормовой продукт. Аналогов предлагаемой технологии в данное время не имеется не в России не за рубежом.

Криогенная обработка зернового сырья позволяет в большей степени сохранить биологические ценные вещества сырья (лигнин, целлюлоза и т.д.) и предотвратить образование нежелательных веществ (метиланоидинов и т.д.), характерных для общепринятых экструдированных технологий [2].

Предыдущими исследованиями разработаны различные технологии экструзионной переработки зернового сырья, однако, применение криогенных воздействий в технологии переработки зернового сырья изучено не было. В связи с этим представляется актуальным проведение исследований по разработке технологии переработки зернового сырья с применением как экструзионных так и криогенных технологий.

Объектом исследования является сырье растительного происхождения.

Цель работы: разработка энерго- и ресурсосберегающей технологии производства кормов и кормовых добавок с применением криогенных воздействий на отходы агропромышленного комплекса Оренбургской области.

Научная новизна заключается в разработке технологии получения качественных кормов и кормовых добавок за счет повышения их однородности и предотвращения разрушения целлюлозо- и лигниносодержащего сырья, а также в снижении удельных затрат энергии в процессе их производства на основе криовоздействий на перерабатываемый материал. Актуальным вопросом для потребителя является экономическая эффективность от внедряемой технологии.

В предложенной технологии снижение энергозатрат возможно за счет:

- оптимизации процесса измельчения исходного сырья путем подбора оптимального устройства для измельчения замороженного сырья;
- применения обработки измельченного исходного сырья химическими реагентами [3,4];
- применения измельчения при пониженном давлении воздуха [4,5];
- экструзионной обработки подготовленной смеси.

Для оптимизации операции измельчения в линии по производству кормов и кормовых добавок нами были проведены сравнительные испытания нескольких типов измельчающих машин малой производительности, которые выпускаются предприятиями России.

Основными критериями оценки их эффективности стали их универсальность и возможность адаптации к различным технологическим схемам, работающим как на традиционном, так и на нетрадиционном сырье.

Решающим фактором в оценке эффективности измельчающего устройства ставилась его мобильность с точки зрения изменений в технологическом процессе, например, при переходе с одного вида растительного сырья на другой или перенастройке его технологических параметров.

Был проведен сравнительный анализ качественных и количественных показателей работы измельчителей, представленных на рынке России измельчающих машин определенного типа и класса (таблица 1), который выявил при их работе следующие закономерности и ряд существенных недостатков, существенно ограничивающих применение этих измельчителей в кормоприготовлении.

Таблица 1 - Сравнительный анализ качественных и количественных показателей работы измельчителей, представленных на рынке России (на примере устройства трех типов)

Измельчающая машина	Частота вращения рабочих органов	Зазор	Перестройка режимов работы путем замены	
			ситовой обечайки	рабочих органов
Ножевая («Фермер»)	фиксирована	отсутствует	не предусмотрено	не предусмотрено
Молотковая (ОАО «Долина»)	фиксирована	Фиксирован	не предусмотрено	не предусмотрено
Конусная (на базе мельницы МТМ «Зенит»)	фиксирована	регулируется	отсутствует	сменный комплект рабочих органов

На основании анализа таблицы 1 сделаны выводы об универсальности измельчителей, которые представлены в виде таблицы 2, на основании возможности регулирования процессом измельчения в рассмотренных измельчающих машинах посредством конструктивных или физико-химических свойств измельчаемого сырья. Кроме того из таблицы 2 следует, что все рассмотренные конструкции имеют один существенный недостаток, они ограничены в применении, что касается конструкции дробилки с ротором конусного типа, ее технические возможности имеют более универсальный характер.

Дальнейший анализ работы рассмотренных выше измельчителей проводился на основании экспериментальных исследований.

Для исследования работы дробилок и последующего анализа, в качестве измельчаемого сырья были выбраны следующие зерновые культуры, являющиеся наиболее распространенными компонентами большинства рецептур кормов: пшеница сорта «Саратовская 29» с начальной влажностью 6,3% и увлажненная до влажности 14% и ячмень сорта «Виннер» с начальной влажностью 6,2% и увлажненный до влажности 14%. Кроме того измельчали отходы производства: гречишная и подсолнечная лузга с начальной влажностью 6,2 % и увлажненная до влажности 14% .

Навеску сырья заданной массы измельчали во всех трех типах дробилок. Фракционный состав измельченного продукта анализировался, согласно ГОСТ13496.9-96.

Таблица 2 - Технические и технологические возможности дробилок по управлению качественными и количественными характеристиками процесса измельчения зернового сырья

Технические и технологические возможности	Тип дробилки		
	Роторная («Фермер»)	Молотковая (ОАО «Долина»)	Конусная (на базе мельницы МТМ «Зенит»)
Управление процессом измельчения через конструктивные параметры	условно возможно**	нет*	да
Управление качеством процесса (гранулометрическим составом)	условно возможно**	условно возможно**	да
Управление процессом посредством варьирования физико-химических свойств сырья	нет	условно возможно**	да

*посредством доработки конструкции или внесения конструктивных изменений;

** сменный комплект рабочих органов

Исследованиями установлено, что, например, роторный измельчитель «Фермер» (изготовитель «Уралспецмаш») не зависимо от вида сырья и его физико-химических свойств (культура, влажность) показывает стабильную крупность полученного измельченного продукта в интервале 1,2-1,8 мм, что соответствует только одной группе крупности, который можно скармливать только одному виду с/х животных – КРС, а для откорма свиней или птицы зерно такой крупности уже не будет соответствовать зоотехническим требованиям, предъявляемым к дробленому зерну, что делает широкое использование этого измельчителя проблематичными. Необходимо отметить, что на крупность полученного продукта полученного на измельчителе типа «Фермер» практически не влияет твердость измельчаемой культуры.

В нашем случае сравнение дробилок трех типов по производительности носит достаточно условный характер, это связано с тем, что получаемый на выходе из этих дробилок измельченный продукт как видно из сказанного выше не всегда соответствует зоотехническим требованиям, предъявляемым к такому виду продукта:

по модулю крупности, %

остатка на сите диаметром 3 мм;

наличие переизмельченной фракции;

неоднородности продукта

Таблица 3 – Сравнительные характеристики по производительности и энергозатратам для рассматриваемых трех типов дробилок (крупность помола - средняя)

Измельчающая машина	Установленная мощность электродвигателя, кВт	Паспортная производительность, кг/час	Фактическая производительность, кг/час	Энергоемкость, кВт час/кг	Качество измельченного продукта	
					М, мм	Содержание переизм. фракции, %
Роторная («Фермер»)	1	170	107,1	0,009	1,21	8,4
Молотковая (ОАО «Долина»)	4	130	102,9	0,029	2,85	2,7
Конусная (на базе мельницы МТМ «Зенит»)	0,12	1	0,36	0,5	2,97	1,8

На основании результатов испытаний дробилок было установлено, что несмотря на более высокую производительность и достаточно низкую удельную энергоемкость, предложенная конструкция дробилки позволяет получать измельченный продукт более высокого качества, удовлетворяющего требованиям ГОСТ.

Следует также отметить, что дробилка с ротором конусного типа более безопасна в работе, так как имеет менее оборотистый ротор и мощный корпус и поэтому не представляет серьезной опасности в случае аварийной ситуации, например, поломка в ходе эксплуатации ножевого ротора, заклинивание ротора в молотковой дробилке и т.д.

Такой фактор, как безопасность в эксплуатации устройства также играет достаточно роль при проектировании современных дробилок.

Результаты исследований показали, что наиболее эффективно с точки зрения энергозатрат, измельчение проводить на роторной дробилке (конструкция ООО «Уралспецмаш») так при практически одинаковой производительности роторная дробилка менее энергоемка, причем эта закономерность характерна для обоих видов измельчаемого зерна. Применение роторной дробилки от ООО «Уралспецмаш» возможно в разработанной линии производства экструдированных комбикормов с добавлением операции смешивания продукта для наилучшего увлажнения (патент на изобретение

№2489946). В линии также возможно применение роторного измельчителя, расчет технико-экономических показателей возможно с учетом разрежения воздуха в рабочей камере.

Линия производства экструдированных комбикормов работает следующим образом.

Исходные сыпучие компоненты, хранящиеся в емкостях 1, дозаторами 2, которые установлены в нижней части бункеров подаются в строго определенной порции на установку шоковой заморозки 4. После шоковой заморозки сыпучий компонент подается в молотковую дробилку 5 и роторную дробилку 6 затем измельченный компонент подается через трубопровод 13 на ленточный транспортер 9 для дальнейшего увлажнения. Как только измельченный компонент, находящийся на транспортере 9, достигнет бункеров для хранения жидких компонентов 6, включается привод объемных дозаторов 2, установленных в нижней части бункеров 6 и при этом, каждый из жидких компонентов в строго определенном количестве подается в соответствующие форсунки 8. Затем жидкие компоненты с помощью форсунок 8 распыляются над поверхностью измельченного компонента, находящегося на ленте транспортера 9. В процессе перемещения измельченный компонент смешивается с жидкими компонентами. При этом происходит насыщение измельченного компонента жидкими компонентами. Далее полученная смесь подается в смеситель 10, где активно перемешивается. Затем перемешанная смесь поступает в рабочую камеру экструдера 11. Включается привод и вращающейся шнек экструдера 11 начинает захватывать и перемещать продукт, который последовательно проходит через зоны загрузки, смешивания, гомогенизации и дозирования. По мере продвижения смесь перемешивается в зоне смешивания, нагревается и размягчается до получения однородной среды. При дальнейшем ее продвижении, происходит уплотнение в зоне сжатия, за счет уменьшающегося свободного объема, ограниченного стенками корпуса и поверхностью рабочих органов и продукт разогревается. Далее в зоне гомогенизации происходит превращение размягченных гранул в расплав, за счет возрастания давления, при этом плавное уменьшение межвиткового объема шнека в сторону предматричной зоны обеспечивает дегазацию и постепенное увеличение давления продукта. В зоне гомогенизации смесь окончательно переходит из твердой фазы в вязкопластичную; здесь происходит плавление в результате преобразования механической энергии рабочих органов машины в тепловую энергию и за счет внутреннего трения в самом продукте. Давление расплава экструдата в зоне дозирования достигает желаемого значения, происходит окончательное расплавление мелких включений и образуется расплав, однородный по структуре и температуре. Это позволяет для нормальной работы экструдера 11 иметь заданную, однородную по сечению температуру расплава продукта. Затем он попадает в предматричную зону и дозируется через отверстия матрицы экструдера 11. После выхода продукта из матрицы в результате резкого перепада температуры и давления происходит мгновенное испарение влаги, аккумулированная им энергия высвобождается со скоростью, примерно равной скорости взрыва, что приводит

к образованию пористой структуры и увеличению объема экструдата.

Затем экструдат подается в ленточную сушилку 12. Включается привод транспортера с регулируемой скоростью движение ленты, и одновременно в сушилку 12 подается теплоноситель, который пронизывает слой продукта по ленте, высушивает его и удаляется из сушилки 12.

Линия может быть дополнительно снабжена смесителем 14 для смешивания измельченных компонентов (при включении в рецептуру комбикорма, как лузги, так и мучнистого сырья), располагаем между трубопроводом 13 и ленточным транспортером 9. Использование смесителя 14 позволяет получить более однородный по составу и влажности экструдированный комбикорм.

Анализ полученных результатов показал, что при экструдировании смесей состоящих из 80% отрубей пшеничных + 20% лузги подсолнечника, обработанные раствором 3, 4 и 5% Na_2CO_3 с влажностями $W=18, 20$ и 22% для экструдирования лучше всего использовать исходную смесь вторично измельченную на роторной дробилке, обработанную раствором в 4% Na_2CO_3 с влажностью $W=22\%$ при $n=105$ об/мин шнека экструдера.

Результаты экспериментальных исследований процесса измельчения подсолнечной лузги влажностью 15 % при сравнении производительности и энергоемкости при разных температурных режимах (при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ и $-120\text{ }^\circ\text{C}$) для разных конструкций измельчителей (таблицы 4,5) показали, что наибольшее снижение удельной энергоемкости наблюдается у роторной дробилки с 0,07 до 0,013 кВт·ч/кг при охлаждении продукта до температуры $-120\text{ }^\circ\text{C}$, а производительность повышается с 99 до 145 кг/ч.

Меньшее влияние пониженной температуры на показатели эффективности процесса измельчения наблюдается у молотковой дробилки, значение удельной энергоемкости снижается на 3%, а производительность повышается на 13,2%. В кормопроизводстве наиболее популярны роторные дробилки, которые широко распространены в средних и мелких фермерских хозяйствах. Они имеют небольшие габариты, низкую стоимость при высокой производительности и широком диапазоне регулировке технологических параметров.

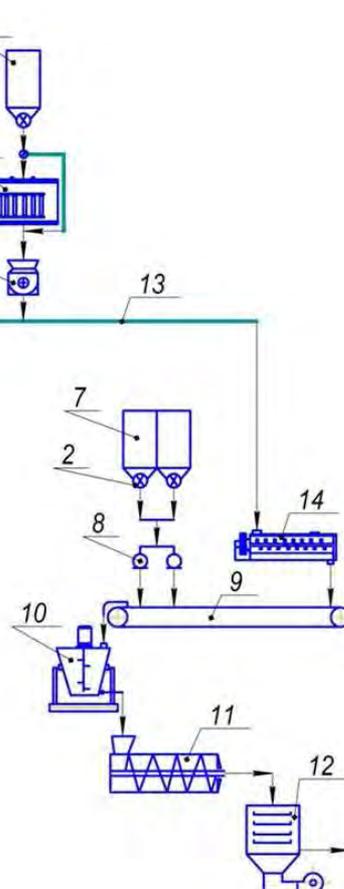


Рисунок 1- Линия производства экструдированных комбикормов

Таблица 4 - Измельчение подсолнечной лузги с влажностью $W= 15\%$

Конструкция измельчителя	Производительность Q , кг/ч	Энергоемкость, кВт·ч/кг
Молотковая дробилка	68	0,256
Роторная дробилка	99	0,07
Вальцовый станок	45	0,358

Таблица 5 - Измельчение предварительно охлажденной подсолнечной лузги с влажностью $W= 15\%$ ($t= -120^\circ\text{C}$)

Конструкция измельчителя	Производительность Q , кг/ч	Энергоемкость, кВт·ч/кг
Молотковая дробилка	90	0,25
Роторная дробилка	145	0,013
Вальцовый станок	80	0,16

Как показал расчет экономической эффективности при применении шоковой заморозки сырья в предложенной линии производства кормов и

кормовых добавок при приобретении оборудования в лизинг – срок окупаемости составит 2 года ежемесячный платеж 5035,76 USD, доход за 36 месяцев 0,9 млн. USD по состоянию цен на сентябрь 2014 г. Рентабельность от внедрения новой технологии составит 32%.

Выводы:

Как показали результаты исследований по оптимизации процесса измельчения зернового и лигноцеллюлозного сырья путем подбора оптимального устройства для измельчения замороженного сырья наиболее эффективно с точки зрения энергозатрат, измельчение проводить на роторной дробилке (конструкция ООО «Уралспецмаш»), так как при практически одинаковой производительности роторная дробилка менее энергоемка.

Предложенная конструкция дробилки позволяет получать измельченный продукт более высокого качества, удовлетворяющего требованиям ГОСТ.

В технологической линии получения экструдированных комбикормов для экструдирования лучше всего использовать исходную смесь вторично измельченную на роторной дробилке, обработанную раствором в 4% Na₂CO₃ с влажностью W=22% при n=105 об/мин шнека экструдера.

Список литературы

1. *Измельчение и охлаждение сырья при получении экструдированных кормов и добавок / Коротков В.Г., Кишкилев С.В., Антимонов С.В., Попов В.П. // Хранение и переработка сельхоз сырья. - 2013. - № 3. - С. 17-20.*

2. *Разработка технологии экструдированных кормов на основе отходов пищевой промышленности с охлаждением двухкратно измельчаемого сырья [Электронный ресурс] / Кишкилев С.В., Попов В.П., Коротков В.Г., Антимонов С.В. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф., 29-31 янв. 2014 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург : ООО ИПК "Университет", 2014. – С. 978-981.*

3. *Соловых, С.Ю. Комплексный подход к технологии получения кормов и добавок на основе традиционного сырья и отходов / С.Ю. Соловых, С.В. Антимонов, Д.С. Кобылкин, Е.В. Ганин // Сборник статей 7 Международной научно-практической конференции Экология и ресурсо- и энергосберегающие технологии на предприятиях народного хозяйства (промышленность, транспорт, сельское хозяйство) : материалы 7 Международной научно-практической, Пенза / АНОО «Приволжский дом знаний», – 2007. – С. 31-33.*

4. *Измельчение под вакуумом в технологии получения экструдированных кормосмесей и добавок / Д.С. Кобылкин, С.В. Антимонов, В.Г. Коротков, Е.В. Ганин // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2008. - №6. - С.27-29.*