

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ

Кишкилев С.В., Панов Е.И., Панова Д.Т.
Оренбургский государственный университет

Исследования и анализ влияния шоковой заморозки зернового сырья и вторичных материальных ресурсов пищевых производств на качество и энергоемкость процесса измельчения различными типами измельчителей.

Зерно, размол, шелуха, охлаждение, замораживание, энергоемкость.

Исследование процесса проводилось на примере технологии производства кормов из зернового сырья.

Зерновое сырье – основа производства комбикормов на комбикормовых заводах, в кормоцехах, фермах. Для приготовления комбикормов, кроме зерна, все чаще используют отходы (вторичные материальные ресурсы) пищевой промышленности и технических производств. Иногда они составляют до 80% общего объема. Так, в странах Западной Европы в составе комбикормов доля зерновых составляет только 12-15% [1].

Актуальность исследования. В настоящее время в АПК жестко стоит проблема снижения стоимости производства кормов без снижения их качества. Этого можно достичь уменьшением энергоемкости основных производственных процессов путем применения криогенных технологий.

Одним из вариантов решения проблемы может являться производство кормов, кормосмесей или кормовых добавок, основанное на применении нетрадиционных видов сырья (побочные продукты (отходы) мукомольного и крупяного производства, маслоэкстракционных заводов), путем совместного использования пшеничных отрубей и лузги различных крупяных и масличных культур с последующим экструдированием. Необходимо отметить, что эти продукты имеют высокую питательную ценность [2]. Для производства экструдированных комбикормов, кормосмесей и кормодобавок на основе гречишной и подсолнечной лузги на кафедре МАХПП ОГУ разработана оригинальная технологическая линия.

Технологическая линия предусматривает такие основные операции, как измельчение исходного сырья, смешивание, химическая обработка смеси различными реагентами, экструдирование и сушка готового продукта.

Совершенствование процесса получения экструдированных смесей и добавок возможно за счет более эффективной подготовки основных компонентов путем включения такой дополнительной технологической операции, как предварительная шоковая заморозка до температур от минус 100 до минус 130 градусов Цельсия, перед измельчением.

С целью установления температурных пределов охлаждения лузги и влияния температуры на ее технологические качества был проведен анализ литературы, посвященной этому вопросу.

Было выяснено, что в основном проводились исследования влияния низких и высоких температур на механические свойства зерна пшеницы, предназначенной для переработки в муку. Низкие температуры действуют не только на оболочки, но и на весь объем зерна. Если температура зерна отрицательна (-10°C 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 [3]. Сумма этих двух однозначно действующих факторов (расшатывание структуры и повышение хрупкости зерна) обуславливает резкое уменьшение сопротивляемости зерна измельчению [3].

Цель исследования состояла в выявлении наиболее эффективного устройства для измельчения зерна, побочных продуктов переработки и вторичных материальных ресурсов (ВМР), как с точки зрения энергозатрат, так и со стороны качества измельченного продукта, подвергнутого шоковой заморозке.

Оборудование и методика экспериментальных исследований.

Для проведения исследований использовали несколько видов измельчающих устройств: молотковая дробилка, роторная дробилка непрерывного действия (измельчитель зерна «Фермер», конструкция ООО «Уралспецмаш»), роторная дробилка периодического действия, вальцевый станок. Кроме того, для проведения исследований применялась роторная дробилка оригинальной конструкции периодического действия и конусная дробилка. Чтобы дать общее представление об оборудовании, используемом для измельчения, в таблицах 1-4 представлены его основные технические характеристики.

Таблица 1 – Технические характеристики измельчителей зерна «Фермер»

Производительность, кг/ч ($\pm 20\%$)	170
Потребляемая мощность max, кВт	1
Расход электроэнергии, кВт*ч	0,84

Таблица 2 – Технические характеристики дробилки КРП-2

Производительность, кг/ч	130
Установленная мощность, кВт	4
Расход электроэнергии, кВт*ч	4

Таблица 3 – Технические характеристики вальцевого станка

Производительность, кг/ч, ($\pm 20\%$)	40
Потребляемая мощность max, кВт	2,5
Расход электроэнергии, кВт*ч	5,5

Таблица 4 - Технические характеристики конусной дробилки

Производительность, кг/ч, ($\pm 20\%$)	1
Потребляемая мощность max, кВт	0,12
Расход электроэнергии, кВт*ч	0,8

Объектом исследований являлся процесс измельчения следующих видов зерна и побочных продуктов его переработки на перечисленных выше измельчителях:

- пшеница мягких сортов «Саратовская 29» с начальной влажностью 6,3 %;
- ячмень сорта «Виннер» с начальной влажностью 6,2 %;
- пшеничные отруби с начальной влажностью 10,0%;
- лузга подсолнечника с начальной влажностью 7,0%,
- гречишная лузга с начальной влажностью 7,2%.

Методика проведения экспериментального исследования заключалась в следующем. Отвешивали навеску зерна заданной массы – 1 кг. Для конусной дробилки, в виду ее малых габаритов и небольшой производительности, навеска составляла 100 грамм. Далее полученную навеску увлажняли в течение 30 минут до влажности 14, 16, 18 и 20% с последующим отволаживанием в течение 18 часов. Подготовленные таким образом образцы измельчали на перечисленных видах измельчающих машин. Во время работы дробилок измеряли производительность и потребляемую мощность.

Кроме того, в ходе исследований сырье замораживали до температуры минус 100 °С и минус 130 °С. Заморозку осуществляли с применением жидкого

азота в промышленном морозильнике. Контроль температуры осуществлялся с помощью газового манометрического термометра. Предварительно перед заморозкой сырье увлажняли в диапазоне 14-20% в течение 18 часов с последующим отволаживанием.

Методика работы на дробилках осуществлялась по следующей схеме.

1. Закрывали заслонку и наполняли бункер зерном, запускали дробилку. После выхода двигателя на рабочий режим заслонку открывали.

2. Засекали секундомером время, за которое все зерно эвакуировалось из рабочей камеры дробилки. Размер фракции регулировали заслонкой.

3. После того как все зерно из бункера измельчено, закрывали заслонку; выключали дробилку.

Измельчение зерна на роторной дробилке периодического действия осуществляли в течение 60 с.

Оценивали качество измельчения стандартными методиками. Гранулометрический состав измельченного продукта определяли согласно ГОСТ 13496.8-72 «Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений».

Производительность измельчителя. Производительность измельчителя Q определялась массой зернового продукта, загруженного в рабочую камеру измельчителя, и временем, в течение которого она подвергалась разрушению под воздействием рабочих органов до крупности заданной оператором, т.е.

$$Q = \frac{m}{t}, \quad (1)$$

где m – масса навески зерна, загруженного в рабочую камеру измельчителя, кг;

t – время измельчения, час.

Энергоемкость процесса измельчения. Энергоемкость процесса измельчения показывает, какое количество энергии необходимо подвести к продукту для обеспечения заданной производительности. Энергоемкость процесса измельчения определяли как количество энергии, затраченной на проведение процесса измельчения заданной массы продукта до необходимой крупности.

Энергоемкость процесса измельчения рассчитывается по известной формуле [4]:

$$w = \frac{N_1 + N_2}{Q}, \quad (2)$$

где N_1 – мощность процесса измельчения, кВт;

N_2 – мощность процесса заморозки, кВт;

Q – производительность процесса измельчения, кг/час.

Результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Результаты исследований показали, что наиболее эффективно, с точки зрения энергозатрат, измельчение проводить на роторной дробилке (конструкция ООО «Уралспецмаш»). Из анализа таблиц 5-6 можно сделать вывод, что при практически одинаковой производительности роторная

дробилка наименее энергоемка. Причем эта закономерность характерна для обоих видов измельчаемого зерна и при измельчении лузги.

На вальцевом станке зерно измельчается при затратах энергии сопоставимых с роторной дробилкой, но при меньшей производительности, причем прослеживается достаточно четкая тенденция: с увеличением влажности зерна от 14 до 20 % производительность вальцевого станка падает, например для ячменя с 26,3 до 16,9 кг/ч.

Необходимо отметить, что роторная дробилка, используемая в наших исследованиях более компактна, менее энергоемка, металлоемка и мобильна. Немаловажные достоинства роторной дробилки – более простая замена рабочего органа, в случае его износа, и менее трудоемкая операция балансировки ротора.

Таблица 5 – Измельчение зерна пшеницы «Саратовская 29» с исходной влажностью $W=6,3\%$

Конструкция измельчителя	Вре-мя t , с	Мас-са m , кг	Энергоем-кость, кВт·ч/кг	Произ-водитель-ность Q , кг/ч
Молотковая	35	1	0,0278	102,9
Роторная	28	1	0,0075	128,6
Конусная	374	0,1	0,2435	0,96
Вальцевый станок	99	1	0,0547	36,5

Таблица 6 – Измельчение зерна пшеницы «Саратовская 29» с влажностью $W=14\%$.

Конструкция измельчителя	Вре-мя t , с	Мас-са m , кг	Энергоем-кость, кВт·ч/кг	Произ-водитель-ность Q , кг/ч
Молотковая	22,4	1	0,0183	160,7
Роторная	33,6	1	0,0091	107,1
Конусная	505	0,1	0,5683	0,72
Вальцевый станок	106,4	1	0,0589	33,8

В результате исследований измельчения зерна при шоковой заморозке были получены следующие данные: не для каждого измельчающего устройства заморозка сырья положительно влияет на производительность и обеспечивает снижение удельной энергоемкости. Это можно объяснить не только биохимическим составом продукта, но и видом воздействия, с помощью которого происходит измельчение.

В таблицах 15-16 приведены результаты измельчения замороженного ячменя, а в таблицах 17-20 – результаты измельчение замороженной лузги подсолнечника в трех видах дробилок.

Таблица 15 – Измельчение предварительно охлажденного зерна ячменя сорт «Виннер» с влажностью $W=14\%$ ($t=-100\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Конструкция измельчителя	Производительность Q , кг/ч	Энергоемкость, кВт·ч/кг
Молотковая	96,4	0,03
Роторная	100	0,01
Вальцевый станок	22,5	0,09

Таблица 16 – Измельчение предварительно охлажденного зерна ячменя сорт «Виннер» с влажностью $W=16\%$ ($t=-100\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Конструкция измельчителя	Производительность Q , кг/ч	Энергоемкость, кВт·ч/кг
Молотковая	98,2	0,03
Роторная	91,5	0,01
Вальцевый станок	17,6	0,12

В результате экспериментальных исследований установлено, что в некоторых случаях, например, при измельчении ячменя отрицательные температуры оказывают существенное влияние на производительность дробилок и удельные энергозатраты по сравнению с незамороженным зерном.

Производительность роторной дробилки на зерне ячменя несколько выше, чем молотковой при стандартной влажности 14%. Например производительность молотковой дробилки – 68,7 кг/ч, а для роторной 84,7 кг/ч. Причем для замороженного ячменя эта тенденция также имеет место. Указанную особенность можно объяснить следующим: ячмень содержит

значительное количество клетчатки, которая находится в наружных пленках. Поэтому для кормления молодняка животных и птиц используют шелушенное зерно, полученное различными способами механического воздействия. Их можно разделить на три группы: сжатие и сдвиг; трение об абразивную терочную поверхность; удар, вызывающий раскалывание оболочек. По-видимому, удар рабочего органа в роторной дробилке наиболее эффективен.

При повышенной влажности (более 16 %) замороженный ячмень измельчается лучше на молотковой дробилке, что можно объяснить изменением механизма разрушения зерновки. Указанная особенность объясняется, видимо, превращением свободной влаги при наличии отрицательных температур в кристаллическую структуру, разрушающую клетки измельчаемого продукта.

Измельчение замороженной подсолнечной лузги также приводит к росту производительности дробилок. При этом молотковая дробилка имеет более высокую производительность, что можно объяснить конструктивными особенностями рабочих органов и химическим составом сырья.

На вальцевом станке ячмень и лузга измельчаются при более высоких затратах энергии и при меньшей производительности, причем прослеживается достаточно четкая тенденция: с увеличением влажности зерна от 14 до 20 % и заморозке, производительность вальцевого станка падает.

Выводы:

1. Наиболее эффективно применять в линии экструдированных кормов для измельчения исходного сырья дробилку роторного типа.

2. Полученные результаты показали эффективность применения разработанной установки.

3. Заморозка исходного сырья с последующим измельчением перед основными технологическими операциями позволяет проводить технологический процесс более эффективно, снизить энергозатраты на получение продукции.

4. На основании результатов исследований предложена конструкция дробилки с возможностью применения в ней шоковой заморозки сырья (рис. 1). Данная установка позволяет объединить в одной машине несколько воздействий на зернопродукты.

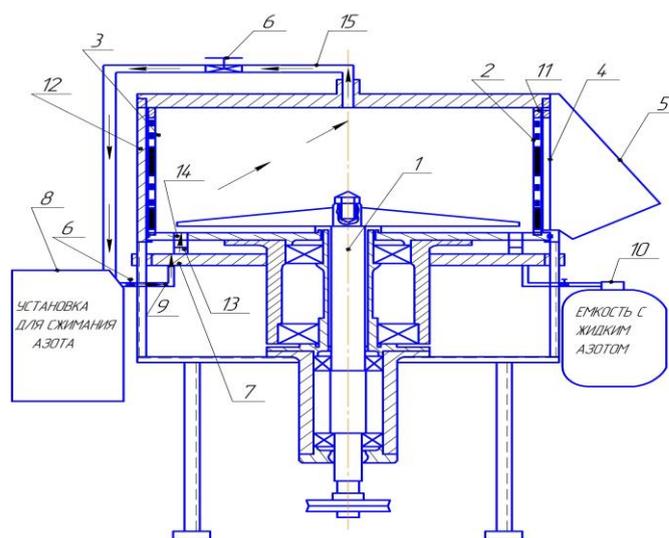


Рис. 1 – Конструкция дробилки с возможностью осуществления операции шоковой заморозки

Список литературы

1. Кишкилев С.В., Разработка технологии экструдированных кормов на основе отходов пищевой промышленности с охлаждением двукратно измельчаемого сырья / Кишкилев С.В., Попов В.П., Коротков В.Г., Антимонов С.В. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры // Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). 2013. – С. 978-981.
2. Кишкилев С.В., Исследование переработки зернового сырья на технологической линии при применении криогенных технологий / Кишкилев С.В., Тимофеева Д.В., Мартынов Н.Н. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры // Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). 2015. – С. 939-947.
3. Коротков, В.Г., Измельчение и охлаждение сырья при получении экструдированных кормов и добавок / В.Г. Коротков, С.В. Кишкилев, С.В. Антимонов, В.П. Попов// Хранение и переработка сельхоз сырья, 2013.- № 3, - С.17-20.