

Совершенствование процесса получения экструдированных кормосмесей на основе предварительно измельчённой и охлаждённой лузги

*С.В. Антимонов, к.т.н., С.Ю. Соловых, к.т.н., Г.Б. Зинюхин,
к.т.н., Д.В. Мартынова, к.т.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ*

Растительное масло является продуктом переработки масличных культур, главная из которых —

подсолнечник. Производство круп подразумевает переработку таких культур, как просо, гречиха, рис и т.д. Переработка данных культур сопровождается получением вторичных материальных ресурсов и отходов в значительном количестве. Следует от-

метить, что данный вид ВМР и отходов, а именно просяная, гречишная, подсолнечная, рисовая лузга и т.д., представляет собой ценное сырьё для комбикормовой промышленности, так как они содержат большое количество лигнина, сырого жира, клетчатки, целлюлозы, макро- и микроэлементов [1]. Например, лузга гречихи получается в количестве 22% при её переработке в гречку. В результате лузга сжигается при производстве в котельных или накапливается на близлежащих территориях производства (отвалах, оврагах), тем самым загрязняя окружающую среду в результате разложения. Лишь незначительное количество лузги в настоящее время применяется в технологии производства фурфурола, перед этим подвергаясь экономически невыгодному прессованию. Существуют технологии в Японии и Канаде по использованию лузги при производстве подушек в качестве наполнителя [2].

В ряде исследований показано, что лузга может использоваться как компонент кормосмеси или как добавка при производстве кормов для скормливания сельскохозяйственным животным, а не только в качестве топлива [3, 4].

Основным препятствием для применения лузги подсолнечника и гречихи в качестве кормового продукта является наличие трудно разрушаемых так называемых остистых частиц, которые при скормливании вызывают раздражение желудочно-кишечного тракта у сельскохозяйственных животных и, как следствие, не поедаются ими. Технологии избавления от остистых частиц в настоящее время не существует. Вместе с тем при производстве растительного масла ежегодно получается примерно 500 тыс. т неостребованной лузги подсолнечника, которая при определённой обработке могла бы вполне использоваться для кормления сельскохозяйственных животных [5]. На факультете прикладной биотехнологии Оренбургского государственного университета в течение нескольких лет проводятся исследования, направленные на приведение лузги подсолнечника и других культур к виду, востребованному сельскохозяйственными животными, с целью разработки соответствующей технологии [6].

Использование отрубей и лузги в кормах в больших объёмах затруднено.

Ограничение ввода большого процента лузги и отрубей в корма обусловлено повышенным содержанием в них количества клетчатки, исходя из этого сужается область применения такого сырья (тем самым происходит уменьшение объёма переработки) в качестве компонентов кормов для различных групп сельскохозяйственных животных. Для того чтобы повысить питательность, поедаемость и перевариваемость такого вида сырья, необходимо применение к нему различных способов обработки, сопровождающихся удалением лигнина с последующим экструдированием [7].

Руководствуясь результатами исследований, было принято решение разработать технологическую линию по производству кормовых продуктов на основе такого вида сырья. Линия содержит следующие основные операции: обработка баро- и гидротермическая, обработка химическими реагентами, смешивание и экструдирование. В качестве финишных операций в линии предусмотрены сушка продукта и возврат некондиционной части на повторную обработку [8]. Одним из основных компонентов смеси являлась гречишная или подсолнечная лузга.

В результате ранее проведённых исследований было установлено, что для более эффективного проведения процесса предварительно необходимо лузгу измельчать, охлаждать, а только затем экструдировать.

В ходе предварительных экспериментов было выявлено, что с целью подготовки сырья до экструдирования целесообразно проводить его измельчение. Это вызвано тем, что экструдеры для своей эффективной работы требуют использования сырья с однородным гранулометрическим составом частиц. Так как неизмельчённый исходный материал отличается повышенной неоднородностью, это приводит к повышению удельных затрат энергии (УЭЗ) на проведение процесса экструдирования и снижению производительности.

В таблице 1 представлены результаты предварительных экспериментальных исследований по экструдированию подсолнечной лузги в составе с пшеничными отрубями.

Как видно по таблице 1, предварительное измельчение положительно сказалось на результате технологического процесса по получению экструдированного продукта.

1. Экструдат из бинарной смеси в составе 60% пшеничных отрубей и 40% предварительно обработанной 5%-ным раствором NaOH лузги подсолнечной)

Массовая доля влаги в смеси, %					
18		20		22	
производительность пресс-экструдера, кг/ч	УЭЗ, кВт·ч/кг	производительность пресс-экструдера, кг/ч	УЭЗ, кВт·ч/кг	производительность пресс-экструдера, кг/ч	УЭЗ, кВт·ч/кг
лузга без измельчения					
36,0	0,19	18,2	0,29	21,3	0,28
лузга с предварительным измельчением					
34,2	0,14	27,6	0,26	36,2	0,11

Авторами также длительное время проводились исследования по влиянию отрицательных температур на процесс измельчения растительного сырья с высоким содержанием клетчатки и лигнина, которые показали, что предварительное охлаждение исходного сырья оказывает положительное влияние на проведение процесса измельчения и технологические показатели полученного продукта [2].

Материал и методы исследования. Объектом настоящего исследования выступали бинарные смеси: из пшеничных отрубей и подсолнечной лузги, а также пшеничных отрубей и гречишной лузги, смешанных в определённых пропорциях: пшеничные отруби с начальной влажностью = 10,0%; лузга подсолнечника с начальной влажностью = 7,0%, гречишная лузга с начальной влажностью = 7,2%.

Целью исследования был выбор оптимального режима экструдирования бинарной смеси лузги отрубей, обработанной с помощью раствора NaOH или раствора Na₂CO₃ заданной влажности и концентрации.

Методика проведения экспериментального исследования включала следующие этапы: отвешивание навески смеси из отрубей пшеничных и лузги подсолнечной в процентном соотношении 80/20 и также 60/40 соответственно, заданной массой 1 кг; обработка измельчённых смесей с помощью раствора NaOH с процентным содержанием 5% (4%-ный раствор Na₂CO₃) до влажности 16, 18 до 20% с последующим увлажнением в течение 18 час.; охлаждение после увлажнения до температуры –20°С в течение 24 час. Аналогичным образом были подготовлены образцы с лузгой гречишной и такой же с обработкой.

Подготовленные образцы измельчали перед экструдированием на пресс-экструдере.

Для экструдирования были взяты образцы влажностью W= 16, 18 и 20%, обработанные NaOH (Na₂CO₃) в соотношении 5 и 4%.

Процесс экструзии проводили следующим образом. При помощи приборов, установленных на щитке пресс-экструдера, регистрировалась мощность процесса экструдирования. Контролирова-



Рис. 1 – Дробилка КРП-2



Рис. 2 – Рабочий орган пресс-экструдера (шнек)



Рис. 3 – Матрица пресс-экструдера

лась температура нагрева головки пресс-экструдера и температура полученного экструдата.

Производительность пресса-экструдера определяли по формуле:

$$Q = G \cdot 3600 / T, \quad (1)$$

где Q – производительность, кг/ч;

G – масса экструдированной кормосмеси, кг;

T – время отбора экструдированной кормосмеси, с.

2. Результаты экструдирования химически обработанной лузги подсолнечника 4%-ным раствором Na₂CO₃ в смеси с отрубями (фильера $d=10$ мм, $l=60$ мм, частота вращения шнека $n=160$ об/мин)

Сырьё	Масса навески, кг	Время, с	Производительность пресс-экструдера, кг/с	Массовая доля влаги, %	УЗЭ, Вт·ч/кг	Температура, °С	
						$t_{\text{гол}}$	$t_{\text{корм}}$
Отруби пшеничные – 80%, лузга подсолнечная – 20%, 4%-ный Na ₂ CO ₃	34,55	5	24,8	20	0,181	109	90
	19,42	5	14,1	18	0,201	120	110
	26,21	10	9,40	16	0,481	140	99
	–	–	–	14	–	175	160
Отруби пшеничные – 60%, лузга подсолнечная – 40%, 4% Na ₂ CO ₃	33,87*	5*	25,20	20*	0,153	120*	100*
	37,48	5	26,23	18	0,113	100	80
	74,92	10	27,02	16	0,161	140	97
	–	–	–	14**	–	160**	110**

Примечание: * – стабильный режим; ** – продукт горит

Коэффициент перевариваемости определяли следующим образом: навеску с продуктом 0,5 г в специальных пакетах помещали в ёмкости с сычужным ферментом на 24 час. Затем, по истечении этого времени, пакеты промывали под проточной водой и помещали для высушивания в автоклав на 24 час., после чего проводили взвешивание навески. Определяли коэффициент перевариваемости по формуле:

$$k = \frac{m_{\text{после}}}{m_{\text{до}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $m_{\text{после}}$ – масса продукта после переваривания, г;
 $m_{\text{до}}$ – масса навески продукта до переваривания, г.

Подсолнечную и гречишную лузгу измельчали на дробилке КРП-2 (ОАО «Долина»), представленной на рисунке 1.

Экструдирование подготовленной смеси проводили на пресс-экструдере ПЭШ-30/4 при следующих параметрах: фильера $d=10$ мм, $l=60$ мм, частота вращения шнека $n=160$ об/мин). Шнек пресс-экструдера представлен на рисунке 2, матрица пресс-экструдера представлена на рисунке 3.

Результаты исследования. Результаты проведённого исследования представлены в таблицах 2 и 3. Они позволили сделать вывод, что при использовании смеси из 80% пшеничных отрубей и 20% лузги подсолнечной, обработанной 4%-ным раствором Na_2CO_3 , производительность пресс-экструдера равномерно увеличивается с 9,40 до 24,8 кг/ч.

Соответственно при использовании смеси 60% пшеничных отрубей и 40% лузги подсолнечной, обработанной 4%-ным раствором Na_2CO_3 , производительность пресс-экструдера равномерно уменьшается с 27,02 до 25,20 кг/ч. При обработке соответствующей смеси 5%-ным раствором NaOH наблюдается уменьшение производительности пресс-экструдера в обоих случаях.

При использовании смеси из 80% пшеничных отрубей и 20% лузги подсолнечной, обработанной 5%-ным раствором NaOH , производительность пресс-экструдера равномерно уменьшается с 52,1 до 17,1 кг/ч. При использовании смеси из 60% пшеничных отрубей и 40% лузги подсолнечной, обработанной 5%-ным раствором NaOH , произво-

дительность пресс-экструдера равномерно уменьшается с 21,19 до 8,83 кг/ч. Со смесью, содержащей лузгу гречихи, наблюдается такая же тенденция. При использовании смеси из 80% пшеничных отрубей и 20% лузги гречишной, обработанной 4%-ным раствором Na_2CO_3 , производительность пресс-экструдера равномерно увеличивается с 18,97 до 38,99 кг/ч. При использовании смеси из 60% пшеничных отрубей и 40% лузги гречишной, обработанной 4%-ным раствором Na_2CO_3 , производительность пресс-экструдера равномерно уменьшается с 38,99 до 27,13 кг/ч. При обработке соответствующей смеси 5%-ным раствором NaOH наблюдается уменьшение производительности в обоих случаях. При использовании смеси из 80% пшеничных отрубей 20% лузги гречишной, обработанной 5%-ным раствором NaOH , производительность равномерно уменьшается с 91,19 до 12,96 кг/ч. Соответственно, при использовании смеси из 60% пшеничных отрубей и 40% лузги гречишной, обработанной 5%-ным раствором NaOH , производительность равномерно уменьшается с 19,08 до 17,03 кг/ч. Следует отметить, что в определённых случаях продукт горел. Так, например, при влажности 16% смеси из 60% пшеничных отрубей и 40% лузги гречишной, обработанной 5%-ным раствором NaOH и даже при 18% влажности смеси из 80% пшеничных отрубей и 20% лузги подсолнечной, обработанной 5%-ным раствором NaOH , происходило подгорание продукта, из чего можно сделать вывод, что этот раствор менее пригоден для экструдирования. Но, несмотря на это, при использовании смеси с влажностью 16%, состоящей из 80% отрубей и 20% лузги, наблюдается наиболее высокая производительность. Так, при использовании смеси с подсолнечной лузгой производительность составляла 52,1 кг/ч, а с гречишной лузгой она была максимальная и составила 91,19 кг/ч.

Исследование также показало, что при использовании смеси из 80% пшеничных отрубей и 20% лузги подсолнечной, обработанной 4%-ным раствором Na_2CO_3 , УЭЗ равномерно уменьшаются с 0,481 до 0,181 Вт·ч/кг. Также происходит равномерное уменьшение УЗЭ с 0,161 до 0,153 Вт·ч/кг при использовании смеси из 60% отрубей пшеничных

3. Результаты экструдирования химически обработанной лузги подсолнечника 5%-ным раствором NaOH в смеси с отрубями (фильера $d=10$ мм, $l=60$ мм, частота вращения шнека $n=160$ об/мин)

Сырьё	Масса навески, кг	Время, с	Производительность, кг/с	Влажность, %	Э, Вт·ч/кг	Температура, °С	
						$t_{\text{гол}}$	$t_{\text{корм}}$
Отруби пшеничные – 80%, лузга подсолнечная – 20%, NaOH , 5%	23,74 – 144,63 –	5 – 10 –	17,1 – 52,1 –	20 18** 16 –	0,269 – 0,100 –	70 100** – –	60 90** – –
Отруби пшеничные – 60%, лузга подсолнечная – 40%, NaOH , 5%	24,76 66,38 61,66 –	10 15 10 –	8,83 16,03 21,19 –	20 18 16 –	0,326 0,248 0,211 –	100 110 100 –	90 95 85 –

и 40% лузги подсолнечной, обработанной 4%-ным раствором Na_2CO_3 . При обработке соответствующей смеси 5%-ным раствором NaOH наблюдается увеличение УЭЗ в обоих случаях.

При использовании смеси из 80% пшеничных отрубей и 20% лузги подсолнечной, обработанной 5%-ным раствором NaOH , происходит равномерное увеличение УЭЗ с 0,10 до 0,26 Вт · ч/кг. Так же наблюдается равномерное увеличение УЭЗ с 0,21 до 0,33 Вт · ч/кг при использовании смеси из 60% отрубей пшеничных и 40% лузги подсолнечной, обработанной 5%-ным раствором NaOH .

При обработке соответствующей смеси 5%-ным раствором NaOH наблюдается увеличение энергоёмкости в обоих случаях. При использовании смеси из 80% пшеничных отрубей и 20% лузги гречишной, обработанной 5%-ным раствором NaOH , УЭЗ экспоненциально увеличиваются с 0,04 до 0,56 Вт · ч/кг. Также наблюдается равномерное увеличение УЭЗ с 0,31 до 0,56 Вт · ч/кг при использовании смеси из 60% пшеничных отрубей и 40% лузги гречишной, обработанной 5%-ным раствором NaOH .

Таким образом, оптимальными по соотношению производительность — энергоёмкость являются следующие положения:

— при равных условиях гречишная лузга экструдируется лучше, чем подсолнечная. Это может объясняться тем, что она имеет более пористую структуру, что способствует лучшему проникновению химических реагентов.

— обработка сырья раствором NaOH даёт максимальную производительность, но только при влажности 16%. Также он имеет склонность к горению. При обработке сырья раствором Na_2CO_3 технологический процесс имеет лучшие параметры

по энергоёмкости и обеспечивает более стабильный режим. Поэтому, несмотря на более низкие показатели по производительности, обработка данным раствором в перспективе окажется более рентабельной.

Вывод. Результаты исследования показали, что наиболее перспективной будет переработка гречишной лузги, обработанной 5%-ным раствором NaOH , при влажности 16%, в соотношении компонентов — 20% лузги плюс 80% отрубей.

Литература

1. Антимонов С.В., Сагитов Р.Ф., Соловых С.Ю. Технология экструдирования гречишной (подсолнечной) лузги в смеси с отрубями // Известия вузов. Пищевая технология. 2008. № 2–3. С. 61–63.
2. Антимонов С.В., Сагитов Р.Ф. [и др.]. Получение экструдированных кормосмесей и добавок к ним из зерноотходов, подвергшихся химической обработке // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. Вып. № 12. С. 309–312.
3. Попов В.П. Теоретическое обоснование энерго- и ресурсосберегающей конструкции шнекового пресс-экструдера для производства высококачественных кормовых продуктов / В.П. Попов, Д.В. Мартынова, С.В. Антимонов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 6 (68). С. 107–109.
4. Мартынова Д.В. Оптимизация процесса экструдирования белково-клетчатко-крахмалосодержащего сырья // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2016. № 3. С. 151–156.
5. Попов В.П., Получение оптимальных режимов при экструдировании белково-клетчатко-крахмалосодержащего сырья / В.П. Попов, Н.Н. Мартынов, Д.В. Мартынова [и др.] // Инновации и наукоёмкие технологии в образовании и экономике: матер. VI Междунар. науч.-практич. конф. Уфа, 2017. С. 234–237.
6. Соловых С.Ю. Энерго-ресурсосберегающие технологии в линии по производству кормов и кормовых добавок / С.Ю. Соловых, Е.В. Ганин, С.В. Антимонов, С.В. Кишкилёв // Наука и образование в современном обществе: вектор развития: сб. науч. трудов по матер. Междунар. науч.-практич. конф. / ООО «Ар-Консалт». М., 2014. С. 107–109.
7. Тимофеева Д.В. Оптимизация изменения агрегатного состояния сырья в процессе экструзии / Д.В. Тимофеева, А.Г. Зинюхина, В.П. Попов [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 3. С. 225–229.
8. Ханин В.П. Ресурсосберегающий процесс экструзионной обработки зернового сырья: дисс. ... канд. техн. наук. Оренбург: ОГУ, 1999. 130 с.