



Scientific quarterly journal e-ISSN 2449-5999

Agricultural Engineering

2015: 2(154):99-107

Homepage: <http://ir.ptir.org>



DOI: <http://dx.medra.org/10.14654/ir.2015.154.125>

OPTIMIZATION OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A FERMENTOR FOR FEED HEATING

Vasilij Sysuev^a, Petr Savinyh^{a*}, Viktor Saitov^a, Katarzyna Gałuszko^b, Jacek Caban^c

^a Zone Scientific and Research Institute of Northern Agriculture in Russia

^b Faculty of Military Medicine, Medical University of Lodz

^c Department of Agricultural and Transport Machines, University of Life Sciences in Lublini

* Contact details: ul. Lenina 164/43, 610017, Kirow, Rosja; e-mail: peter.savinyh@mail.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: March 2015

Received in the revised form:

April 2015

Accepted: May 2015

Keywords:

regression model

heating

fermentor

factor

experiment

ABSTRACT

The basis for obtaining high performance in cattle breeding is correct feeding. Production of a wholesome ration is labour consuming and expensive. Thus, work related to searching for alternative methods of production of wholesome feed is carried out. Synthesis of low value raw material, as a result of which high protein content feed is produced, is one of the methods. A fermentation process takes place in conditions, which cannot be ensured by presently used machines and aggregates. A fermentor, which enables obtaining feed with high content of protein from low value raw material at minimum expenditures, was developed. One of the conditions of correct course of synthesis is ensuring appropriate temperature of feed, where micro-organism develop. The objective of the paper is to determine optimal values of factors which affect energy consumption during feed heating. The result was to obtain the regression model which is characteristic for unit changes of energy consumption during feed heating, with the use of which, an optimal angle of embracing the container with a heating belt (159°) and the level of filling the container with feed (100%) were determined. Minimal value of optimization criterion at such values of indexes is $5.14 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$.

Введение

Правильное кормление сельскохозяйственных животных является залогом их высокой продуктивности. Поэтому соблюдение баланса кормовых рационов с содержанием необходимого количества в них витаминов, протеина, белка и легкопереваримых углеводов, безусловно, необходимо и важно. Однако выдержать необходимые требования при создании таких рационов довольно сложно. В последнее время во многих странах мира занимаются поиском новых эффективных способов получения легко усваиваемого кормового белка. Одним из наиболее перспективных путей его получения является микробиологический синтез, самым

простым видом которого на наш взгляд является применение заквасок (Булатов и Свистунов, 2013).

Процесс получения кормов с высоким содержанием легко перевариваемого белка с помощью заквасок протекает следующим образом. Сначала измельчают исходное сырье (солома, зерно и т.д.) и помещают его в смеситель, туда же добавляют горячую воду и проводят смешивание, получая питательную среду. В полученную смесь закладывают закваску и оставляют на некоторое время, в течение которого протекает процесс ферментации. После окончания ферментации получается насыщенный белками корм. Необходимыми условиями синтеза являются: влажность и температура питательной среды 45...75 % и 48...80 °С соответственно.

В настоящее время для получения подобного корма используют обычные смесители типа С-12, которые предназначены для смешивания (в некоторых случаях и для запаривания) кормов, но не учитывают процессы, протекающие при синтезе кормов: вид ферментации, влажность и температуру питательной среды. Поэтому совершенствование существующих и создание новых машин для получения кормов с высоким содержанием белка является важной задачей. Для достижения поставленных задач необходимо изучить процессы, протекающие во время синтеза.

Поэтому целью работы определены оптимальные значения факторов, влияющих на энергозатраты при нагреве питательной среды.

Материал и методы исследования

На рисунке 1 представлен разработанный смеситель-ферментер (Оболенский и др., 2014). Он позволяет получать ферментированные корма с минимальными затратами электроэнергии и времени. За счет особенности конструкции повышается интенсификация процесса синтеза, расширяются функциональные возможности агрегата. Смеситель-ферментер состоит из бункера 1, который установлен на раме 2, электродвигателя 8, редуктора 9, пульта управления 10 и системы поддержания постоянной температуры.

Агрегат может работать в комплексе машин, предназначенных для измельчения. Так, например, предварительная подготовка зерна может осуществляться разработанными и оптимизированными дробилками как с принудительной (Савиных и др., 2013в; Сысуйев и др., 2008, . Magczuk и др., 2013), так и с пневматической подачей материала (Булатов и др., 2014; Савиных и др., 2012; Савиных и др., 2013а; Савиных и др., 2013б; Сысуйев и др., 2008, Sysuev и др., 2014b), в состав которых входит предварительная очистка от сорных примесей (Баранов и др., 2010; Булатов, 2010; Булатов и Нечаев, 2012а, Булатов и Нечаев, 2012б, Sysuev и др., 2014а). Подготовку соломы можно проводить измельчителями (Баранов и Зыкин, 2010; Мохнаткин и др., 2011). Далее измельченное сырье загружается через расположенное в верхней части бункера 1 смесителя загрузочное окно 3.

Исходные компоненты смешиваются рабочим органом 7. Поддержание оптимальной температуры питательной среды обеспечивает соответствующая система, которая включает в себя нагревательный элемент 11 (в нашем случае это тепловая лента ЭНГЛ-1), слой теплоизоляции 12, датчики температуры 13 и реле

температуры, регистрирующие элементы которых смонтированы на пульте управления 10.

Выгружают готовый корм выгрузным шнеком 5 через выгрузной патрубок 4, предварительно открыв заслонку 6.

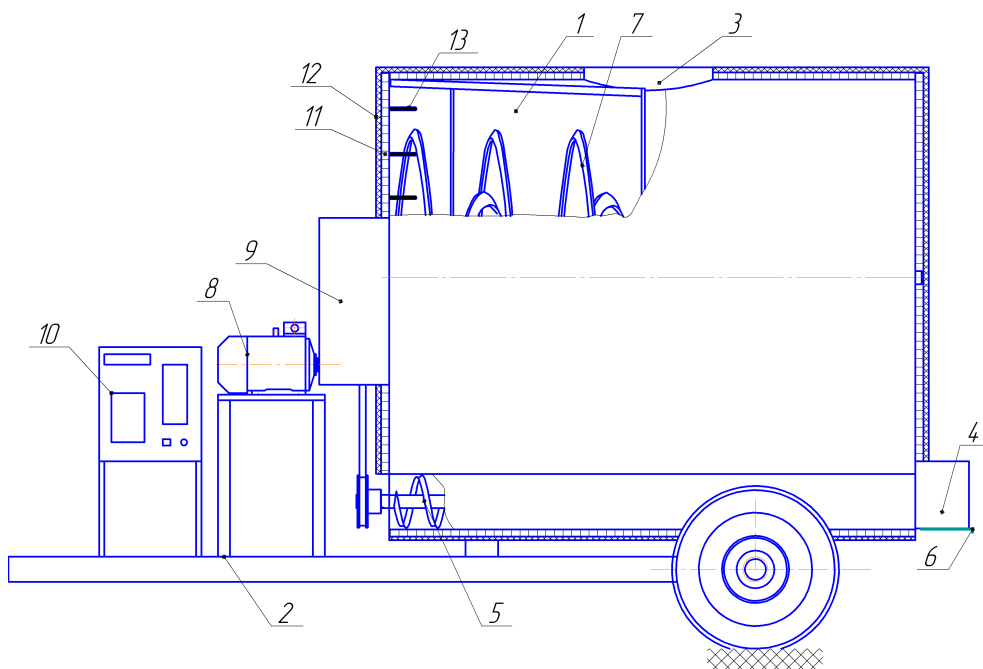


Рисунок 1. Смеситель-ферментер: 1 – бункер, 2 – рама; 3 – загрузочное окно; 4 – выгрузной патрубок; 5 – выгрузной шнек; 6 – заслонка, 7 – рабочий орган; 8 – электродвигатель; 9 – редуктор; 10 – пульт управления; 11 – нагревательный элемент; 12 – слой теплоизоляции; 13 – датчики температуры

Для исследования тепловых процессов изготовлена уменьшенная в 100 раз модель смесителя-ферментера, общий вид и схема которой представлены на рисунках 2 и 3.

Лабораторная установка состоит из бункера 1 цилиндрической формы, наружную поверхность которого охвачена нагревательным элементом 2. Для снижения тепловых потерь в окружающую среду, интенсификации нагрева питательной среды 8, находящейся в емкости 1 поверх нагревательного элемента нанесен слой теплоизоляции 7. Регулирование температуры тепловой ленты и питательной среды осуществляется терморегулятором 5 (модель TL-11-250), данные к которому поступают от датчиков 3 (модель TST84) и 6 (модель TST81) соответственно. Учет потребляемой электроэнергии фиксируется с помощью прибора 4.



Рисунок 2. Общий вид лабораторной установки

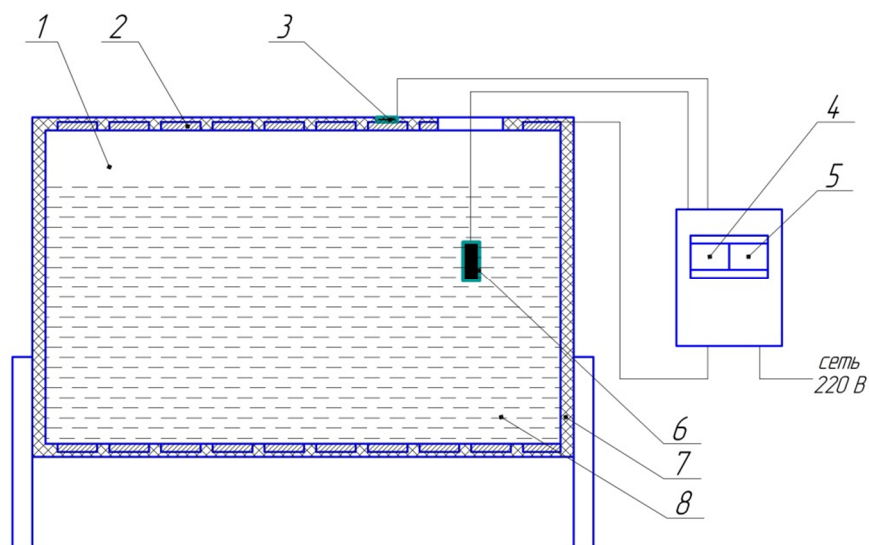


Рисунок 3. Схема лабораторной установки: 1 – бункер; 2 – нагревательная лента ЭНГЛ-1 (180); 3 – датчик температуры ленты TST84; 4 – прибор учета потребляемой электроэнергии; 5 – терморегулятор TL-11-250; 6 – датчик температуры питательной среды TST81; 7 – слой теплоизоляции; 8 – питательная среда

Предварительно были проведены теоретические исследования, по результатам которых определена область исследований (Булатов и Свистунов, 2014).

Чтобы определить оптимальное соотношение исследуемых факторов, обеспечивающее минимальные затраты электроэнергии, реализован полный факторный эксперимент 3^2 . Фактор x_1 – угол обхвата бункера тепловой лентой, изменяли от $x_{min}=180$ до $x_{max}=360^\circ$ с интервалом варьирования $\Delta x_i = 90^\circ$ (Рисунок 4). Уровень заполнения бункера питательной средой изменяли от 50 до 100%. Интервал варьирования второго фактора составлял $\Delta x_i=25\%$.



Рисунок 4. Ёмкость с углом обхвата тепловой лентой: а – 360° ; б – 90°

Критерием оптимизации у выбрано количество электроэнергии, затраченное на нагрев 1 кг питательной среды на 1 градус, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Матрица плана эксперимента и результаты опытов представлены в таблице 1.

Таблица 1
Матрица плана 3^2 и результаты эксперимента

Последовательность операций	Факторы		Функция отклика y
	x_1	x_2	
Основной уровень, x_{i0}	180°	75%	
Интервал варьирования, Δx_i	90°	25%	
Верхний уровень, x_{max}	360°	100%	
Нижний уровень, x_{min}	90°	50%	
Опыты:			
1	-1,0	-1,0	6,32
2	0	-1,0	6,32
3	1,0	-1,0	9,44
4	-1,0	0,0	5,66
5	0	0	6,07
6	1,0	0,0	7,81
7	-1,0	1,0	5,53
8	0	1	5,53
9	1,0	1,0	6,15

В результате обработки статистических данных получена модель регрессии с доверительной вероятностью 95%:

$$y = 5,95 + 0,981x_1 - 0,811x_2 + 0,845x_1^2 - 0,625x_1x_2 + 0,035x_2^2 \quad (1)$$

Степень достоверности аппроксимации полученной модели регрессии R^2 составила 95,64%.

Наибольшее влияние на критерий оптимизации оказывает фактор x_1 – уровень заполнения ёмкости.

Минимальное значение функции отклика достигается при следующих значениях исследуемых факторов: $x_1 = -0,211$ и $x_2 = 1$ и составляет $5,14 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Для наглядного представления протекающего процесса построена поверхность отклика (рисунки 5).

Увеличение фактора x_1 и уменьшение x_2 приводит к росту удельных энергозатрат. С изменением фактора x_2 в интервале от -1 до 1 наблюдается уменьшение энергозатрат с 6,3 до $5,15 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

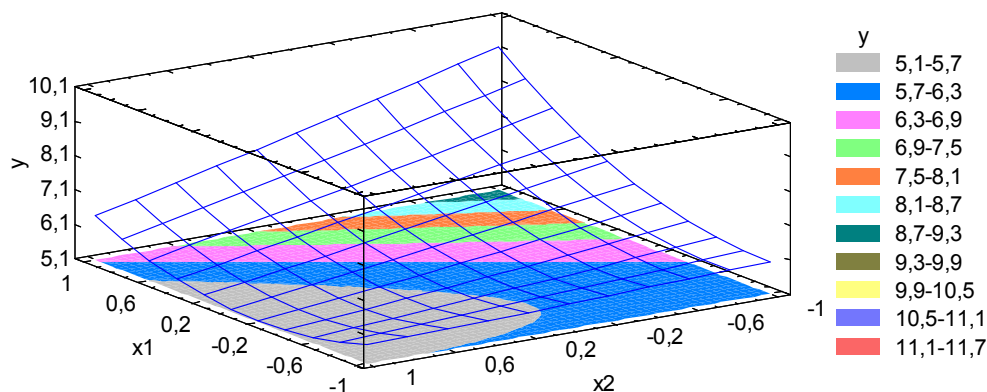


Рисунок 5. Поверхность отклика

Минимальное значение критерия оптимизации наблюдается при x_1 =(что соответствует °), x_2 = и составляет $y = \frac{\kappa Дж}{\kappa г \cdot ^\circ C}$.

Вывод

Получена модель регрессии, описывающая изменение удельных энергозатрат в процессе нагрева питательной среды, с помощью которой определены оптимальные параметры угла обхвата ёмкости нагревательной лентой (159°) и уровня заполнения ёмкости питательной средой (100 %). Минимальное значение критерия оптимизации при данных значения параметров составляют 5,14 $\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$.

Литература

- Баранов, Н.Ф., Булатов, С.Ю., Сергеев, А.Г. (2010). Пневмосепаратор фуражного зерна. *Тракторы и сельхозмашины. № 1*. 25-26.
- Баранов, Н.Ф., Зыкин, А.А. (2011). Исследование и оптимизация рабочего процесса молотковой дробилки грубых кормов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока. № 3*, 56-59.
- Булатов, С. Ю. (2010). Совершенствование системы загрузки малогабаритных комбикормовых агрегатов серии «Доза». *Вестник всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. Т. 21. № 3*. 127-135.
- Булатов, С.Ю., Свистунов, А.И. (2014). Тепловой баланс смесителя-ферментера кормов // *Вестник НГИЭИ. Серия технические науки. Выпуск 10(41)*. Княгинино: НГИЭИ, 11-16.
- Булатов, С. Ю., Нечаев, В. Н. (2012а). Результаты исследований рабочего процесса пневмосепаратора фуражного зерна. Система технологий и машин для животноводства на период до 2020 г. – технологические, организационно-экономические требования и методология разработки: *Сборник трудов ГНУ ВНИИМЖ № 3*. Подольск. 78-88.
- Булатов, С. Ю., Нечаев, В. Н. (2012). *Результаты исследований рабочего процесса системы загрузки и очистки фуражного зерна малогабаритного комбикормового агрегата*. Княгинино: НГИЭИ, 140.

- Булатов, С. Ю., Нечаев, В. Н., Савиных, П. А. (2014). *Разработка дробилки зерна для крестьянских хозяйств и результаты исследований по оптимизации её конструктивно-технологических параметров. Теория, разработка, методика, эксперимент, анализ.* Монография. Княгинино: НГИЭИ, 140.
- Булатов, С. Ю., Свистунов, А. И. (2013). Анализ технологий получения кормов с высоким содержанием белков из малощенных сырьевых ресурсов и отходов производства. *Вестник НГИЭИ. Серия технические науки. Выпуск 10(29)*. Княгинино: НГИЭИ, 3-14.
- Мохнаткин, В.Г., Баранов, Н.Ф., Зыкин, А.А., Демин, А. А.. (2011). Исследование линии двухступенчатого измельчения грубых кормов в составе агрегата по приготовлению гранул из соломы. *Научно-технический прогресс в животноводстве – инновационные технологии и модернизация в отрасли: сборник научных трудов. Т. 22, Ч. 2* Российская академия сельскохозяйственных наук, Государственное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации животноводства» (ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии). Подольск. 148-153
- Оболенский, Н.В., Булатов, С. Ю., Свистунов, А.И. (2014). Смеситель ферментер для кормов. *Сельский механизатор. Вып. 4*. Москва: ОАО «Кострома», 26-27.
- Савиных, П. А., Булатов, С. Ю., Нечаев, В. Н. (2012). Зернодробилка с ротором-вентилятором. *Сельский механизатор. Вып. 9*. Москва: ОАО «Кострома», С. 9.
- Савиных, П.А., Алешкин, А.В., Булатов, С. Ю., Нечаев, В. Н. (2013а). Напорные характеристики дробилок зерна. *Тракторы и сельхозмашины № 5*, 29-31.
- Савиных, П. А., Булатов, С. Ю., Нечаев, В. Н. (2013 б). *Исследование рабочего процесса молотковой дробилки зерна с ротором-вентилятором.* Аграрная наука Евро-Северо-Востока. Вып. 1. Киров: Северо-Восточный научно-методический центр Россельхозакадемии, 54-59.
- Савиных, П. А., Булатов, С. Ю., Миронов, К. Е. (2013в). Определение оптимального положения загрузочного окна дробилки зерна ударно-отражательного действия. *Вестник Казанского ГАУ. Вып. № 4(30)*. Казань: Казанский ГАУ, 76-81.
- Сысуюев, В. А., Алешкин, А. В., Савиных, П. А. (2008). *Кормоприготовительные машины. Теория, разработка, эксперимент. В 2-х томах.* Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока. Т. 1. 640 с.
- Marczuk, A., Sysuev, V.A., Aleškin, V.A., Savinyh, P.A., Misztal, W., Baran, S. (2013). Podejście systemowe w badaniach maszyn do przygotowania pasz. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.
- Sysuev, V.A., Aleškin, A.V., Savinyh, P.A., Marczyk, A., Wrotkowski, K., Kuboń, M. (2014a). Studium procesu działania rozdrabniaczy bijakowych do ziarna. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.
- Sysuev, V.A., Aleškin, A.V., Savinyh, P.A., Marczyk, A., Wrotkowski, K., Misztal, W. (2014b). Studium agregatów mieszalniczych pasz z transportem pneumatycznym. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.

OPTIMALIZACJA PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNO-TECHNOLOGICZNYCH FERMENTORA DO NAGRZEWANIA POŻYWKI

Streszczenie. Podstawą uzyskania wysokiej wydajności w chowie bydła jest prawidłowe żywienie. Wytworzenie racji pełnowartościowej jest pracochłonne i kosztowne, dlatego prowadzone są prace związane z poszukiwaniem alternatywnych sposobów produkcji wysokowartościowej paszy. Jednym ze sposobów jest synteza surowca małowartościowego, w wyniku której powstaje pasza o wysokiej zawartości białka. Proces fermentacji przebiega w warunkach, których uzyskanie nie są w stanie zapewnić obecnie stosowane maszyny i agregaty. Opracowano fermentator, który pozwala na uzyskanie z surowca małowartościowego paszę o wysokiej zawartości białka przy minimalnych nakładach. Jednym z warunków poprawnego przebiegu syntezy jest zapewnienie odpowiedniej temperatury pożywki, w której rozwijają się drobnoustroje. Celem pracy jest określenie optymalnych wartości czynników wpływających na zużycie energii podczas nagrzewania pożywki. Wynikiem było otrzymanie modelu regresji charakteryzującego zmiany jednostkowego zużycia energii w trakcie nagrzewania pożywki, za pomocą którego wyznaczone zostały optymalny kąt objęcia pojemnika pasem grzewczym (159°) i poziom wypełnienia pojemnika pożywką (100%). Minimalna wartość kryterium optymalizacji przy takich wartościach wskaźników wynosi $5.14 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$.

Słowa kluczowe: model regresji, nagrzewanie, fermentator, czynnik, eksperyment