

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ КОРМОВЫХ ПРОДУКТОВ ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКА ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА

Мартынова Д.В., канд. техн. наук, Соловых С.Ю., канд. техн. наук, доцент,  
Бочкарева И.А., Кишкилев С.В., Мартынов Н.Н.  
Оренбургский государственный университет

Разработка и внедрение инновационных технологий приготовления кормов в условиях хозяйств, позволяющих не только сокращать удельные издержки на кормовые рационы, но и повышать конверсию кормов, является актуальной проблемой. Одним из перспективных методов подготовки кормов к скармливанию является экструзия. В процессе экструзионной обработки на перерабатываемый материал оказывается одновременное воздействие давлением и температурой, в результате чего происходят значительные структурно-механические и химические изменения перерабатываемого материала, а также улучшаются вкусовые качества [1].

Стремление повысить качество экструдированных кормовых продуктов является актуальным вопросом. Экструдированные корма должны отвечать требованиям нормативно-технической документации, разработанной для половозрастных и видовых групп животных. Государственные стандарты предусматривают большой перечень показателей качества готовой продукции. Помимо требований к сбалансированности кормов по питательным веществам и обменной энергии, в государственных стандартах предъявляются также высокие требования к *структурно-механическим* (крошимость, удельная прочность, влажность) и *органолептическим* показателям (внешний вид, цвет, запах) [2].

При производстве экструдированных кормовых продуктов, качественные показатели готовой продукции зависят от конструктивно-режимных параметров экструдера, при этом установлено, что технологический процесс экструдирования в основном определяются конструкцией шнека. В настоящее время в одношнековых экструдерах применяются в основном шнеки с винтовой нарезкой по всей длине, а также постоянным шагом, равным наружному диаметру шнека. Недостатком при этом является отсутствие возможности оперативного изменения параметров шнека (шага и угла наклона витков шнека) непосредственно в процессе работы, а следовательно, отсутствие возможности регулирования скорости подачи материала, что приводит к недостаточному или наоборот избыточному уплотнению материала и как следствие, снижению качества получаемой продукции [3].

По предварительным экспериментам по экструдированию зерновой смеси на пресс-экструдере ПЭШ – 60/4, проведенным на факультете прикладной биотехнологии и инженерии Оренбургского государственного университета, был сделан вывод о том, что пресс-экструдер со стандартной конструкцией шнека, не позволяет получать кормовой продукт на выходе из экструдера

достаточно плотной и прочной структуры, соответствующей техническим требованиям ГОСТ 23513-79 «Брикеты и гранулы кормовые. Технические условия» [4].

При производстве экструдированных кормовых продуктов является важным обеспечение условий как можно более низкого полного напряжения в перерабатываемом материале пресс-экструдера с целью предотвращения механического разрушения материала. А также одновременно создания как можно более высокой плотности перерабатываемого материала, с целью получения готового продукта на выходе из экструдера более плотной и прочной структуры, обеспечивающей требуемое качество экструдированного кормового продукта. Этого можно достигнуть за счет оперативного изменения параметров воздействия на перерабатываемый материал в зависимости от его структуры.

В связи с выше сказанным, было принято решение разработать конструкцию шнека пресс-экструдера с изменяющимися непосредственно в процессе работы шагом и углом наклона витков шнека (рисунок 1) [5].

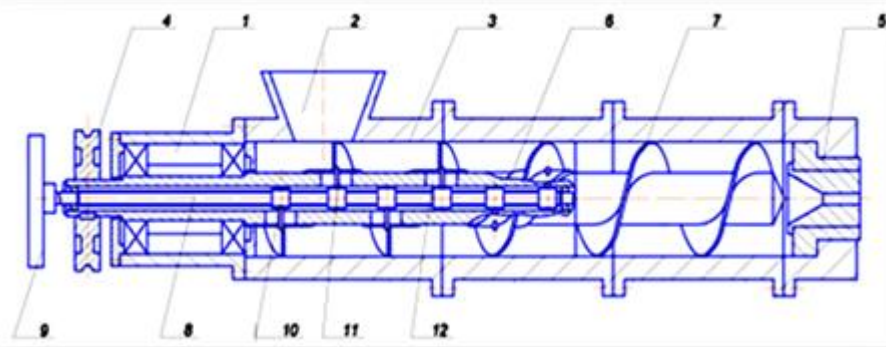


Рисунок 1 – Конструкция одношнекового пресс-экструдера: 1 – подшипниковый узел; 2 – загрузочная воронка; 3 – разъемные корпуса шнековой камеры; 4 – привод; 5 – формующая головка; 6 – шнек; 7 – витки шнека; 8 – резьбовой вал; 9 – приводной механизм; 10 – втулки с установленными пальцами 11; 12 – направляющие

Таким образом, **целью настоящего исследования является** сравнительный анализ качественных показателей экструдированных кормовых продуктов, полученных на пресс-экструдере стандартной и разработанной конструкции.

**Материал и методы исследования.** При проведении экспериментальных исследований в качестве исходного сырья использовали зерновую смесь, соответствующую требованиям ГОСТ 9268-2015 «Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота», в составе: пшеница – 10%, овёс – 19%, ячмень – 70%, соль поваренная – 1%.

Качество экструдированного кормового продукта оценивали в соответствии с ГОСТ Р 51899-2002 «Корма гранулированные. Общие технические условия».

*Крошимость* гранул определяли в соответствии с ГОСТ 28497-90 «Комбикорма, сырье гранулированные. Методы определения крошимости» на приборе ППГ-2, представленном на рисунке 2а. Для этого брали навеску 500 г готового экструдированного кормового продукта (рисунок 2б), помещали в барабан. После этого включали устройство и барабан приводился во вращение.

Барaban с экструдатом вращали в течение 10 минут со скоростью 50 об/мин. Затем выключали устройство, высыпали экструдат и взвешивали с погрешностью  $\pm 0,01$  г.



Рисунок 2 – Устройство для определения крошимости готовых экструдированных изделий ППГ-2

Рассчитывали крошимость по формуле:

$$K = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $m_1$  - масса гранул до проведения испытаний, г;

$m_2$  - масса гранул после испытаний, г.

За окончательный результат испытания принимали среднее арифметическое результатов двух параллельных определений.

Прочность гранул определяли на устройстве для контроля прочности ИПМ-1, представленном на рисунке 3 (аналог прибора Строгонова). Рассчитывали прочность по формуле:

$$P = \frac{m}{S}, \text{ где } S = \pi \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (2)$$

где  $D$  - диаметр гранулы экструдированного материала, мм.

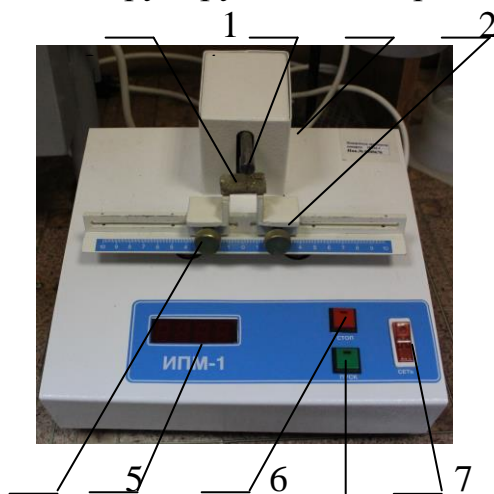


Рисунок 3 - Устройство для контроля прочности ИПМ-1: 1- образец экструдированного кормового продукта; 2 – пуансон; 3 – кожух прибора; 4 – опоры для образца; 5 – гайки для регулировки расстояния между опорами; 6 – плата микропроцессора; 7 – выключатель сети; 8 – кнопка «Пуск»; 9 - кнопка «Стоп».

*Влажность* готового продукта определяли по ГОСТ 13496.3-92.

Для определения оптимальных режимов и параметров процесса экструдирования кормовых продуктов были проведены трехфакторные эксперименты на основе композиционного ортогонального плана ПФЭ  $2^3$  с использованием исходных факторов (управляющих параметров): отношение шага винтовой лопасти шнека к наружному диаметру  $0,4 \leq L/D \leq 1,2$ , частота вращения шнека  $60 \text{ об/мин} \leq \omega_3 \leq 180 \text{ об/мин}$ , и температура сырья на входе в экструдер  $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq t, \leq 60 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В качестве параметров эффекта (управляемых и регулируемых параметров) взяты: комплексный показатель органолептических свойств экструдированного комбикорма и комплексный показатель физико-химических свойств экструдированного комбикорма.

**Результаты исследования.** Для оценки органолептических свойств экструдированного кормового продукта была отобрана группа экспертов из пяти человек. Была разработана 15-бальная шкала органолептической оценки готового продукта по трем показателям качества. Коэффициенты весомости каждого показателя определяли путем опроса группы экспертов, являющихся специалистами в области экструдированных кормов, хорошо знающими продукт и его технологии. В таблицах 1 – 3 представлена шкала органолептической оценки качества экструдированных комбикормов.

Таблица 1 – Результаты ранжирования внешнего вида кормового продукта (коэффициент значимости  $K=3$ )

№ образца	Эксперт					Сумма рангов, Ср	Ср · К
	1-ый	2-ой	3-й	4-ый	5-ый		
1	10	9	8	8	7	42	126
2	8	10	10	9	11	48	144
2	9	7	9	10	9	44	132
4	12	11	13	14	12	62	186
5	14	15	11	12	15	67	201
6	11	14	12	15	14	66	198
7	15	13	14	13	13	68	204
8	13	12	15	11	10	61	183
9	7	8	6	7	6	34	102
10	5	6	7	5	8	31	93
11	6	5	4	6	5	26	78
12	2	4	5	2	4	17	51
13	4	1	3	4	3	15	45
14	3	2	1	1	2	9	27
15	1	3	2	3	1	10	30

Таблица 2 – Результаты ранжирования аромата кормового продукта (коэффициент значимости  $K=5$ )

№ образца	Эксперт					Сумма рангов, Ср	Ср · К
	1-ый	2-ой	3-й	4-ый	5-ый		
1	15	13	11	14	15	68	340
2	5	6	7	6	5	29	145
3	14	14	15	13	13	69	345
4	1	3	2	3	1	10	50
5	13	15	12	15	14	69	345
6	2	2	4	1	3	12	60
7	12	10	13	11	11	57	285
8	11	12	10	12	12	57	285
9	10	11	14	10	10	55	275
10	9	8	9	8	7	41	205
11	8	7	6	7	8	36	180
12	7	9	8	9	9	42	210
13	6	4	5	5	6	26	130
14	4	5	3	4	4	20	100
15	3	1	1	2	2	9	45

Таблица 3 – Результаты ранжирования цвета кормового продукта (коэффициент значимости для вкуса  $K=3$ )

№ образца	Эксперт					Сумма рангов, Ср	Ср · К
	1-ый	2-ой	3-й	4-ый	5-ый		
1	7	1	5	4	5	22	66
2	13	11	9	9	10	52	156
2	11	15	14	14	15	69	207
4	1	2	1	1	2	7	21
5	14	12	15	15	14	70	210
6	12	10	10	11	11	54	162
7	3	4	3	3	1	14	42
8	9	9	11	10	9	48	144
9	15	14	13	12	12	66	198
10	10	13	12	13	13	61	183
11	6	8	7	8	8	37	111
12	8	6	8	6	7	35	105
13	5	7	6	7	6	31	93
14	2	3	2	2	3	12	36
15	4	5	4	5	4	22	66

Физико-химические параметры качества готового продукта определяли по стандартным методикам, согласно ГОСТ 22834-87. Значительное количество показателей качества создавало сложности при сравнении исследуемых

образцов. В связи с этим был разработан комплексный показатель качества, включающий все единичные показатели с соответствующими коэффициентами значимости: влажность – 2, крошимость - 7, удельная прочность – 7.

Комплексный показатель физико-химических свойств рассчитывается по формуле:

$$K_{\phi-x} = \sum_{i=1}^n K_{\text{зн}_i} \cdot B_{K_i}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{зн}}$  – коэффициент значимости показателя качества;

$B_{K_i}$  - присваиваемый балл качества.

Экспериментальные значения по каждому физико-химическому показателю, умножались на соответствующие коэффициенты значимости и после суммирования составляли значение комплексного показателя ( $K_{\phi-x}$ ).

Шкала перевода отдельных показателей в баллы комплексного показателя физико-химических свойств, представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Шкала перевода значений показателей качества экструдированного кормового продукта в баллы качества

Наименование показателя качества	Значение показателя в натуральном выражении	Присваиваемый балл качества, Бк	Коэффициент значимости показателя, Кзн	Произведение Бк · Кзн
Влажность, %	Ниже 12,1	1	2	1
	12,1 – 12,3	2		4
	12,4 – 12,6	3		6
	12,7 – 12,9	4		8
	13	5		10
	13,1 - 15	4		8
	15,1 – 20	3		6
	20,1 – 28	2		4
Свыше 28,0	1	2		
Крошимость, %	Ниже 4,1	5	7	35
	4,1-8,0	4		28
	8,1-12,0	3		21
	12,1-16,0	2		14
	Свыше 16,0	1		7
Удельная прочность, г/мм <sup>2</sup>	Свыше 25,0	5	7	35
	25,0-21,6	4		28
	21,5-18,1	3		21
	18,0-14,6	2		14
	Ниже 14,5	1		7

По результатам эксперимента получены уравнения регрессии, адекватно описывающие экспериментальные данные.

Для процесса экструдирования кормовых продуктов получены уравнения регрессии для определения качественных показателей и удельных затрат энергии:

- для определения комплексного показателя органолептических свойств экструдированного комбикорма по результатам экспертной оценки:

$$K_{орг} = 440 + 41,24 \cdot t - 36,125 \cdot (L/D) \cdot \omega_3 - 140,87 \cdot \omega_3 \cdot t - 173,6 \cdot (L/D)^2 - 135,5 \cdot \omega_3^2 - 54,79 \cdot t^2 \quad (4)$$

- для определения комплексного показателя физико-химических свойств экструдированного комбикорма:

$$K_{ф-х} = 51,666 - 4,076 \cdot (L/D) + 9,484 \cdot \omega_3 - 7,875 \cdot \omega_3 \cdot t - 27,768 \cdot (L/D)^2 - 22,691 \cdot \omega_3^2 - 12,537 \cdot t^2 \quad (5)$$

где величины  $L/D$ ,  $\omega_3$ ,  $t$  представлены в условных единицах.

Графоаналитическую оптимизацию процесса проводили путем построения поверхностей отклика. Оптимизацию параметров процесса экструдирования проводили путем наложения горизонтальных проекций плоскостей отклика. Результаты исследований показали, что оптимальными конструктивно-режимными параметрами для производства экструдированных кормовых продуктов из зерновой смеси являются: отношение шага винтовой лопасти шнека к наружному диаметру – от 0,77 м до 0,81 м, частота вращения шнека – от 171 об/мин до 174 об/мин, при температуре сырья на входе в экструдер  $t=20$  °С [6]. Сравнительный анализ качественных показателей готового кормового продукта, полученного на стандартной и разработанной конструкции пресс-экструдера, представлен на рисунке 4.

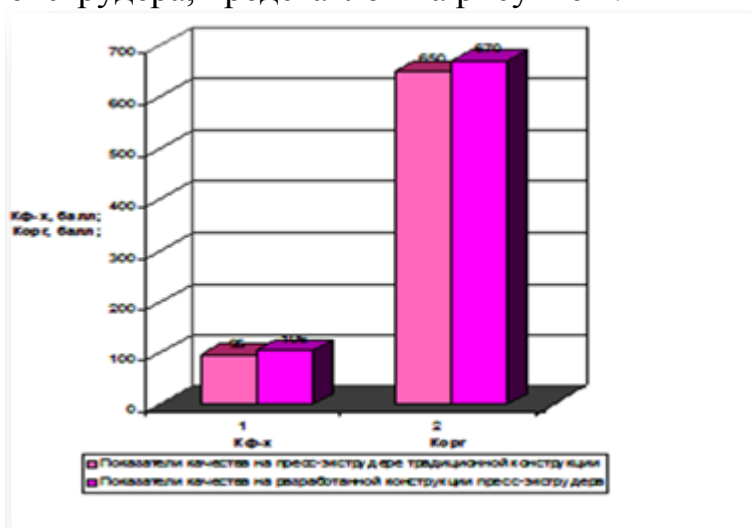


Рисунок 4 – Сравнительный анализ качественных показателей экструдированных кормовых продуктов

Проведенные испытания показали, что при производстве кормовых продуктов на стандартной конструкции пресс-экструдера, используя оптимальные режимы, комплексный показатель органолептических свойств  $K_{орг}$  составил 95 баллов, комплексный показатель физико-химических свойств  $K_{ф-х}$  – 650 баллов. В то время как при производстве кормовых продуктов на

разработанной конструкции пресс-экструдера, с изменяющимися непосредственно в процессе работы параметрами шнека, комплексный показатель органолептических свойств  $K_{орг}$  составил 106 баллов, комплексный показатель физико-химических свойств  $K_{ф-х}$  – 670 баллов. Из чего следует, что применение пресс-экструдера с измененной конструкцией шнека позволяет повысить комплексный показатель физико-химических свойств на 11,5 %, комплексный показатель органолептических свойств на 3%.

**Выводы.** Из вышесказанного можно заключить, что разработанная конструкция пресс-экструдера, за счет подбора оптимальных параметров шнека, позволяет получать экструдированные кормовые продукты, отличающиеся более высокими качественными показателями.

#### Список литературы

1. Баканов, В.Н. *Кормление сельскохозяйственных животных* / В.Н. Баканов, В.К. Менькин. – М.: Агропромиздат, 1989. – 511 с. – ISBN: 5-10-000480-0.

2. Матюшев, В.В. *Оценка эффективности производства экструдированных кормов на основе смеси зерна и растительных компонентов* / В.В. Матюшев, И.А. Чаплыгина, Н.И. Селиванов, Н.И. Чепелев // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2015. – №11. – С. 140 – 145. – ISSN: 1819-4036.

3. Тимофеева, Д.В. *Обоснование оптимальных параметров экструдирования различных видов сырья в канале одношнекового пресс-экструдера [Электронный ресурс]* / Д.В. Тимофеева, В.Г. Коротков, В.П. Попов, С.В. Антимонов, С.Ю. Соловых // *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф., 29–31 января 2014 г., Оренбург* / Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург, 2014. – С. 1298-1305.

4. Мартынова, Д.В. *Оптимизация процесса экструдирования белково-клетчатко-крахмалосодержащего сырья* / *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. – 2016. – № 3. – С. 151 – 156.

5. Мартынова Д.В. *Модернизация шнекового пресс-экструдера* / Д.В. Мартынова, В.П. Попов, А.Г. Зинюхина, Н.Н. Мартынов, В.П. Ханин // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. – 2016. – № 4. – С. 104 – 108.

6. Мартынова, Д.В. *Разработка энерго- и ресурсосберегающей линии для производства кормов и кормовых добавок и исследование изменений структурно-механических свойств перерабатываемого материала* / Д.В. Мартынова, С.В. Кишкилев, Н.Н. Мартынов, В.П. Попов // *Образование, наука, транспорт в XXI веке: опыт, перспективы, инновации: материалы V международной научно-практической конференции*. – Самара – Оренбург: СамГУПС, 2015. – С. 78 – 83.