

Воронин Илья Викторович

студент

Кулиничева Анастасия Евгениевна

студентка

Рудой Дмитрий Владимирович

канд. техн. наук, декан

ФГБОУ ВО «Донской государственной

технический университет»

г. Ростов-на-Дону, Ростовская область

DOI 10.21661/r-115334

АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ВЯЗКОСТИ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ ПРОТЕИНОВЫЕ ЗЕЛЕННЫЕ КОНЦЕНТРАТЫ

Аннотация: в работе исследована связь физико-механических параметров кормов для рыб с зелеными протеиновыми концентратами. Установлено, что вязкость зависит от скорости сдвига согласно закону Освальда-де-Вилля. Статистическими методами найдены эмпирические параметры соответствующей модели, а также оценена её адекватность.

Ключевые слова: кормовая смесь, протеиновые зеленые концентраты, математическая модель.

Производство рыбы в РФ по объёму сопоставимо с производством говядины, являясь при этом более выгодным с экономической точки зрения. Главным фактором, определяющим качество и количество рыбной продукции, выступает кормление рыб, основу которого составляет гранулированный комбикорм. Такой корм является одновременно сбалансированным и лечебным. Производство гранул для рыб, особенно в фермерских хозяйствах, сдерживается отсутствием грануляторов небольшой производительности с высокими технико-экономическими показателями. Поэтому разработка подобных аппаратов на строгой научной основе представляется крайне актуальной технической задачей.

Анализ предметной области [1] показывает, что перечисленным требованиям удовлетворяет шнековый экструдер. Поэтому целью данной работы ставится изучить зависимость вязкости от скорости деформации для комбикормовой смеси [1] для рационализации геометрических и энергосиловых показателей проектируемых экструдеров. Ее реализация обеспечивается решением следующих задач: 1) выбора адекватной реальному процессу математической модели, 2) ее идентификации на основе данных технического эксперимента, 3) оценки адекватности модели и достоверности соответствующих числовых характеристик.

Основу выполненного в работе математического анализа данных составляет технический эксперимент [1] с комбикормовой смесью, содержащей протеиновые зеленые концентраты (ПЗК). В результате анализа определяется скорость сдвига ($\dot{\gamma}$), пропорциональная требуемой производительности машины Q .

Комбикормовая смесь при деформации сжатия может рассматриваться как неньютоновская среда, у которой зависимость вязкости от скорости сдвига подчиняется закону Освальда-де-Вилля:

$$\eta = \mu(\dot{\gamma})^{n-1}, \quad (1)$$

где η – вязкость, Па·с; $\dot{\gamma}$ – скорость деформации, с⁻¹; μ – коэффициент консистенции материала, Па·с; n – индекс течения. Исходные для анализа данные приведены на рисунке 1.

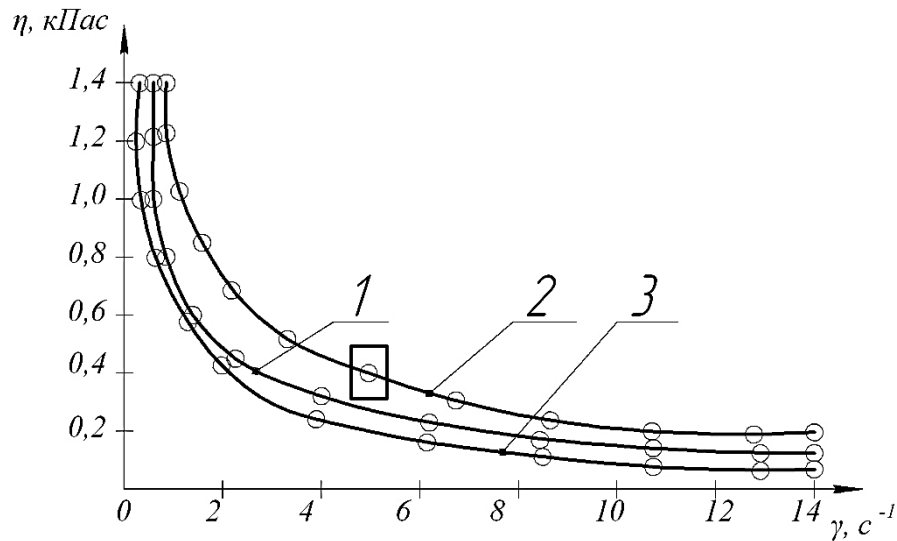


Рис. 1. Зависимость вязкости смеси от скорости сдвига по данным эксперимента [1]: 1 – комбикормовая смесь по стандартному рецепту (при $W=20\%$);
2 – исследуемая комбикормовая смесь с ПЗК (при $W=20\%$);
3 – исследуемая комбикормовая смесь с ПЗК ($W=30\%$)

Оцифровка рисунка 1 осуществлена с использованием специализированной программы Grafula [2]; соответствующий результат приведён в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость вязкости кормовой смеси от скорости сдвига
при гранулировании [1]

Комбикормовая смесь по стандартному рецепту (при $W=20\%$)		Исследуемая комбикормовая смесь с ПЗК ($W=30\%$)		Исследуемая комбикормовая смесь с ПЗК (при $W=20\%$)	
$\dot{\gamma}$, c^{-1}	η , $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\dot{\gamma}$, c^{-1}	η , $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\dot{\gamma}$, c^{-1}	η , $\text{Па}\cdot\text{с}$
0,5883	1,2136	0,2393	1,1983	0,8675	1,3983
0,5983	1,3983	0,3191	1,3983	0,8675	1,2271
0,6083	1,0000	0,3490	0,9949	1,1268	1,0237
0,8476	0,8000	0,6282	0,7966	1,5855	0,8492
1,3960	0,5966	1,2963	0,5729	2,1838	0,6847
2,2735	0,4492	1,9943	0,4237	3,3105	0,5136
3,9986	0,3153	3,9088	0,2373	4,9558	0,3966
6,2023	0,2271	6,1624	0,1576	6,7407	0,3034
8,4359	0,1678	8,5157	0,1085	8,6652	0,2339
10,7593	0,1390	10,7493	0,0746	10,7194	0,1949
12,9231	0,1220	12,9231	0,0627	12,7835	0,1847
14,0199	0,1186	14,0299	0,0644	14,0199	0,1915

После двойного логарифмирования данных таблицы 1 строим графики зависимости $\lg(\mu) - \lg(\dot{\gamma})$ (см. рисунки 2–4). Линейность этих зависимостей свидетельствует о подчинении их закону Освальда – де – Вилля. Соответствующие коэффициенты μ (коэффициент консистенции материала) и n (индекс течения), рассчитанные в пакете Mathcad [3] приведены в таблице 2.

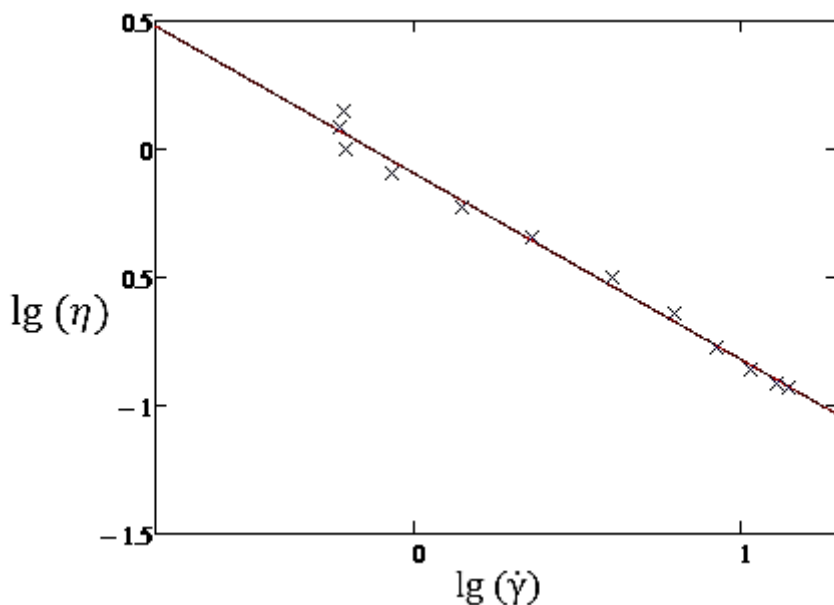


Рис. 2. Зависимость $\lg(\mu) - \lg(\dot{\gamma})$ для исследуемой комбикормовой смеси по стандартному рецепту (при $W=20\%$)

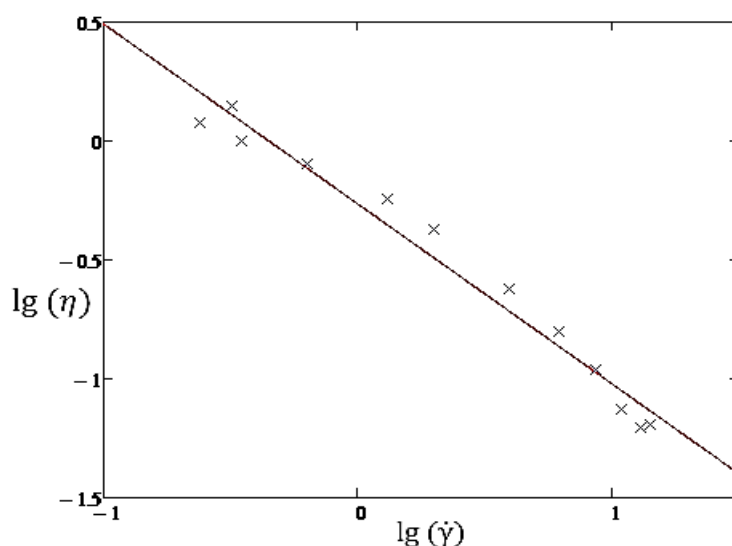


Рис. 3. Зависимость $\lg(\mu) - \lg(\dot{\gamma})$ для исследуемой комбикормовой смеси с ПЗК ($W=30\%$)

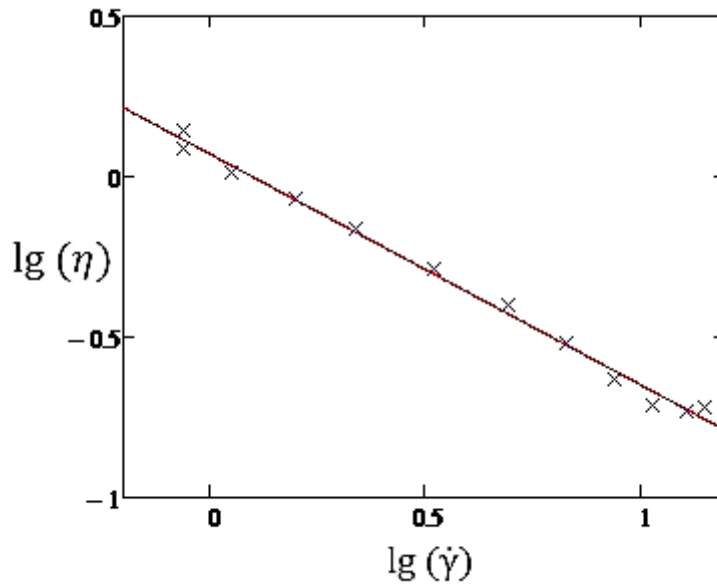


Рис. 4. Зависимость $\lg(\mu) - \lg(\dot{\gamma})$ для исследуемой комбикормовой смеси с ПЗК (при $W=20\%$)

Таблица 2

Коэффициенты μ (коэффициент консистенции материала) и n (индекс течения)

Вид смеси	μ	n
Комбикормовая смесь по стандартному рецепту (при $W=20\%$)	0,798	0,277
Исследуемая комбикормовая смесь с ПЗК ($W=30\%$)	0,542	0,242
Исследуемая комбикормовая смесь с ПЗК (при $W=20\%$)	1,178	0,280

Об адекватности модели (1) свидетельствуют результаты расчёта коэффициентов корреляции и относительного отклонения модельных данных от экспериментальных, сведённых в таблицу 3.

Таблица 3

Коэффициент корреляции и относительное среднеквадратичное отклонение

Вид смеси	r	σ
Комбикормовая смесь по стандартному рецепту (при $W=20\%$)	0,98	0,082
Исследуемая комбикормовая смесь с ПЗК ($W=30\%$)	0,967	0,192
Исследуемая комбикормовая смесь с ПЗК (при $W=20\%$)	0,995	0,056

Представленные выше результаты (рисунки 2–4, таблицы 2,3) свидетельствуют об адекватности выбранной модели (1) и надёжности значений параметров μ и n , определённых методами математической статистики. Практически это

означает, разработку теоретических основ для выбора рациональной мощности приводных агрегатов экструдера по переработке (гранулированию) комбикормов с известными из эксперимента физико-механических свойствами.

Список литературы

1. Рудой Д.В. Исследование технического процесса и определение рациональных параметров шнекового экструдера для производства комбикормов / Д.В. Рудой – Дис. ... канд. тех. наук. – Ростов н/Д.: ДГТУ, 2015. – 213 с.

2. Оцифровка координат точек отсканированных графиков для переноса их в Excel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mmodelling.blogspot.ru/2012/07/excel.html>

3. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов; гл. ред. Е. Кондукова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 528 с.