

**Е.Л. Жилич, В.К. Клыбик**, канд. техн. наук, доцент, **Ю.Н. Рогальская**,  
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск,

**В.Н. Еднач**, канд. техн. наук, доцент  
Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный  
технический университет», г. Минск

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМБИКОРМОВ ДЛЯ ЦЕННЫХ ВИДОВ РЫБ

**Ключевые слова:** экструдер, комбикорм, рыбы, факторный эксперимент.  
**Keywords:** extruder, compound feed, fish, factor experiment.

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментальных исследований режимов экструдирования комбикормов для ценных видов рыб. Подобраны оптимальные технологические режимы процесса экструдирования комбикормов.

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies of the modes of extrusion of compound feeds for valuable fish species. Optimal technological modes of the process of compound feed extrusion have been selected.

Для подбора режимов экструдирования комбикормов для ценных видов рыб использовали планирование эксперимента, а именно полный факторный эксперимент ПФЭ  $2^3$  со звездным плечом. В качестве независимых факторов выбрали частоту вращения шнека, температуру продукта после влаготепловой обработки (ВТО) и влажность смеси перед экструдированием.

В качестве выходных параметров процесса экструдирования были выбраны следующие показатели:

- влажность экструдата, %;
- насыпная плотность гранул, г/л;
- коэффициент расширения гранул ( $K_r$ ) рассчитывался по формуле

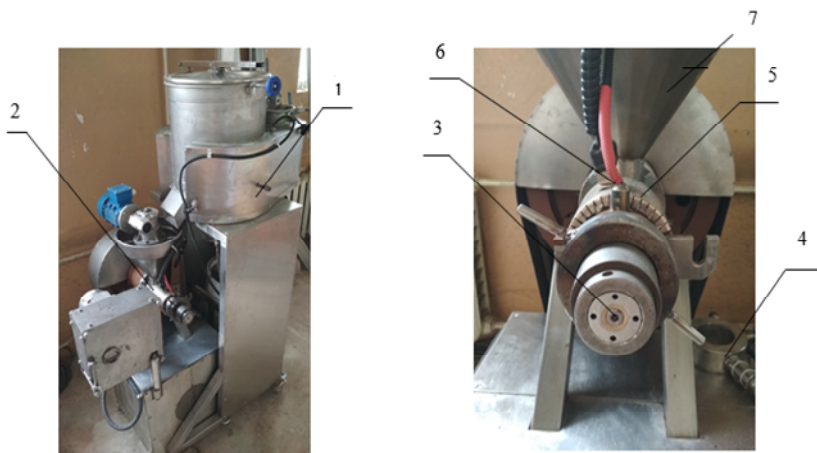
$$K_r = \frac{a}{b}, \quad (1)$$

где  $K_r$  – коэффициент расширения;

$a$  – площадь поперечного сечения после вспучивания,  $\text{мм}^2$ ;

$b$  – площадь поперечного сечения до вспучивания,  $\text{мм}^2$ .

Экструдирование осуществляли на лабораторной установке, представленной на рисунке 1.



1 – смеситель-кондиционер для проведения влаготепловой обработки;  
2 – экструдер; 3 – фильера диаметром 4 мм; 4 – система охлаждения фильеры;  
5 – терморубашка экструдера; 6 – термометр терморубашки;  
7 – бункер приемный

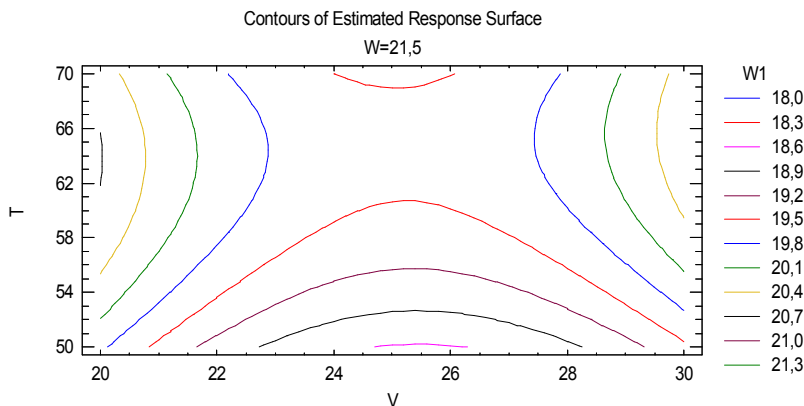
**Рисунок 1. Лабораторная установка по экструдированию комбикормов**

Для регулировки частот вращения рабочих органов на всем оборудовании установлены преобразователи частоты LG Industrial SystemsSV\_IG5-RUS.

Для подбора оптимальных режимов экструдирования производственных комбикормов для ценных видов рыб был реализован полный факторный эксперимент.

На основании результатов эксперимента с помощью программы Stat Graphics Centurion были построены графики поверхности отклика и параметрическая диаграмма для выходных параметров.

Для определения оптимального значения проанализируем параметрическую диаграмму, представленную на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Параметрическая диаграмма для влажности экструдата**

Анализируя рисунок 2, получаем, что оптимальное значение влажности происходит при частоте вращения шнека 29-30 Гц, влажности рассыпного комбикорма после ВТО 21,5 % и температурой продукта перед экструдером 56 °С – 70 °С.

Была получена аналитическая зависимость, описывающая изменение значения влажности экструдата в зависимости от частоты вращения шнека и температуры продукта после ВТО, которая имеет следующий вид:

$$W_1 = -5,57448 - 2,64466 \cdot V + 0,605897 \cdot T + 2,90341 \cdot W + 0,042733 \cdot V^2 + 0,00195 \cdot V \cdot T + 0,0171429 \cdot V \cdot W - 0,0045548 \cdot T^2 - 0,003 \cdot T \cdot W - 0,0566631 \cdot W^2 \quad (2)$$

где  $W_1$  – влажность экструдата, %;

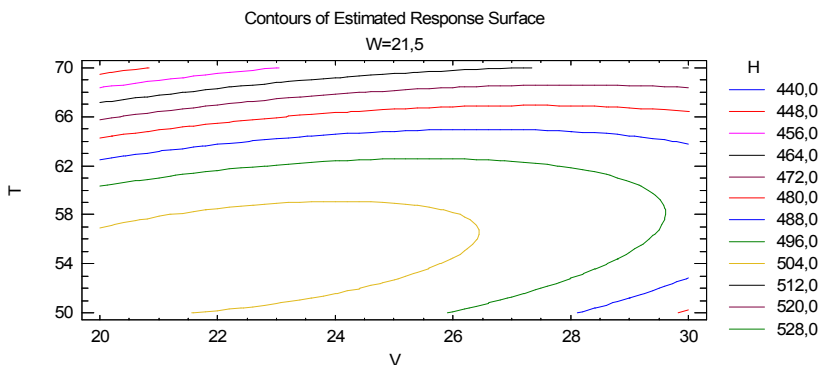
$V$  – частота вращения шнека, Гц;

$T$  – температура продукта после ВТО, °С;

$W$  – влажность смеси перед экструдированием, %.

Зависимость выходного параметра, а именно насыпной плотности продукта от частоты вращения шнека и температуры продукта после ВТО, представлена на рисунке 3.

Анализируя рисунок 3 видно, что на поверхности отклика имеется экстремум, который означает, что существуют оптимальные параметры процесса, которые позволяют получить оптимальные значения насыпной плотности, которые позволяют получить гранулу тонущую в воде.



**Рисунок 3. Параметрическая диаграмма  
для выходных параметров насыпной плотности**

Анализируя рисунок 3, видно, что оптимальное значение насыпной плотности будут при следующих параметрах процесса:

- частота вращения шнека 22,5 Гц;
- влажность смеси после ВТО 21,5 %;
- температура продукта перед экструдером 56 °С.

Также была получена аналитическая зависимости, описывающая изменение значения насыпной плотности в зависимости от частоты вращения шнека и температуры продукта после ВТО, которая имеют следующий вид:

$$H = -2225,68 + 29,4668 \cdot V + 21,8166 \cdot T + 163,134 \cdot W - 0,271591 \cdot V^2 + 0,22475 \cdot V \cdot T - 1,37929 \cdot V \cdot W - 0,225937 \cdot T^2 - 0,1025 \cdot T \cdot W - 2,82421 \cdot W^2 \quad (3)$$

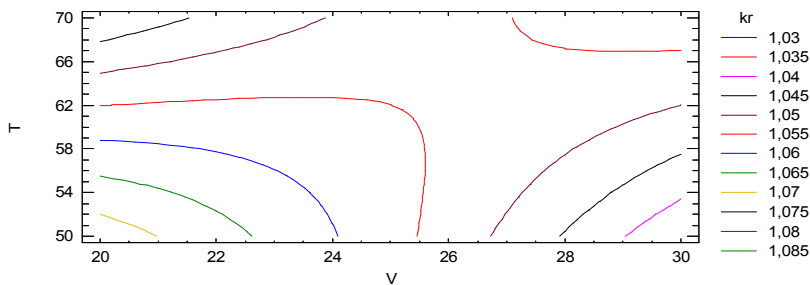
где  $H$  – насыпная плотность, г/л;

$V$  – частота вращения шнека, Гц;

$T$  – температура продукта после ВТО, °С;

$W$  – влажность смеси перед экструдированием, %.

Зависимость выходного параметра коэффициента расширения от частоты вращения шнека и температуры продукта после ВТО представлена на рисунке 4.



**Рисунок 4. Параметрическая диаграмма для выходных параметров коэффициента расширения**

Анализируя рисунок 4 видно, что на поверхности отклика имеется экстремум, который означает, что существуют оптимальные параметры процесса, которые позволяют получить требуемое значение коэффициента расширения. Получено оптимальное значение коэффициента расширения при частоте вращения шнека 20-22,5 Гц, влажности смеси после ВТО 21,5 % и температурой продукта перед экструдером 50 °С – 56 °С.

Была получена аналитическая зависимость, описывающая изменение значения коэффициента расширения в зависимости от частоты вращения шнека температуры продукта после ВТО, которые имеют следующий вид:

$$K_r = 0,656872 - 0,000124861 \cdot V + 0,00109365 \cdot T + 0,0283834 \cdot W - 0,000102564 \cdot V^2 + 0,00026875 \cdot V \cdot T - 0,000553571 \cdot V \cdot W - 0,0000118536 \cdot T^2 - 0,000308214 \cdot T \cdot W + 0,000269782 \cdot W^2 \quad (8)$$

где  $K_r$  – коэффициент расширения;

$V$  – частота вращения шнека, Гц;

$T$  – температура продукта после ВТО, °С;

$W$  – влажность смеси перед экструдированием, %.

В результате проведённых исследований было установлено, что при влажности смеси 21,5 % и температуре от 54 °С до 58 °С перед подачей в экструдер, а так же при частоте вращения шнека 22,5 Гц наблюдается увеличение насыпной плотности, что говорит о том, что данный вид экструдированного комбикорма для осетровых рыб будет тонуть, что даст положительный результат при кормлении рыбы.

Внешний вид экструдированного комбикорма для осетровых рыб с добавлением ферментно-витаминового комплекса на рисунке 5.



**Рисунок 5. Внешний вид экструдированного комбикорма для осетровых рыб с добавлением ферментно-витаминного комплекса**

Выбрав оптимальные технологические режимы процесса экструдирования комбикормов для ценных видов рыб были проэкструдированы комбикорма содержащие сухое молоко и яичный порошок. Данное сырье является термочувствительным и сложно экструдруется.

Экструдировали комбикорма по подобранным параметрам:

- влажность смеси 21,5 %
- температура 54 °С – 58 °С перед подачей в экструдер;
- частота вращения шнека экструдера 22,5 Гц.

В результате экструдирования под действием высоких температур (115 °С – 120 °С) происходит частичная карамелизация сухого молока, однако качество гранул остается хорошим.

В результате экструдирования мы получаем полную стерилизацию экструдированных комбикормов для ценных пород рыб, так как отрицательным свойством сухого молока необезжиренного и яичного порошка является быстрое обсеменение микроорганизмами, в частности, обладающими патогенными свойствами.

#### **Список использованной литературы**

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 283с.