

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ КОНУСНЫМ НАПРАВИТЕЛЕМ ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА, ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ РЫБНЫХ ОТХОДОВ

**Новиков Владимир Васильевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства»

**Успенская Ирина Владимировна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства»

**Орстик Илья Леонидович**, соискатель кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства»

ФГБОУ ВО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская обл., п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная. 8а; тел.: 8(84663) 46-3-46, e-mail: grecov\_as@mail.ru

**Ключевые слова:** направитель, рыба, отходы, экструзия.

Статья посвящена исследованию процесса экструзионной переработки рыбных отходов в смеси с отрубями. Представлена конструктивно-технологическая схема пресс-экструдера для обработки рыбных отходов в смеси с отрубями с усовершенствованной зоной подачи, включающей конусный направитель.

Приведен расчет и обоснованы предельные значения мощности, потребляемой конусным направителем, в зависимости от входных параметров процесса.

### Введение

Известно, что наиболее эффективными способами обработки исходной смеси при приготовлении комбикормов являются баротермические. В настоящее время особое место занимает экструзионная переработка мясорыбных отходов в смеси с зерновыми [1 - 8].

Вместе с тем, не полностью исследовано влияние конструктивных и режимных параметров экструдирования на качество готового корма. Установлено, что при экструзии материалов с низкой плотностью невозможна полная загрузка пресс-экструдера по мощности из-за низкого коэффициента заполнения загрузочного устройства и сводообразования при поступлении массы в пресс.

### Объекты и методы исследований

В связи с этим предлагается усовершенствовать зону подачи пресс-экструдера путем установки конусного направителя, который способствует стабильности процесса экструдирования кормовой массы путем плавного перехода от этапа подачи к этапу прессования экструдата (рис. 1) [4, 11].

Целью работы является аналитическое

определение мощности, потребляемой конусным направителем.

### Результаты исследований

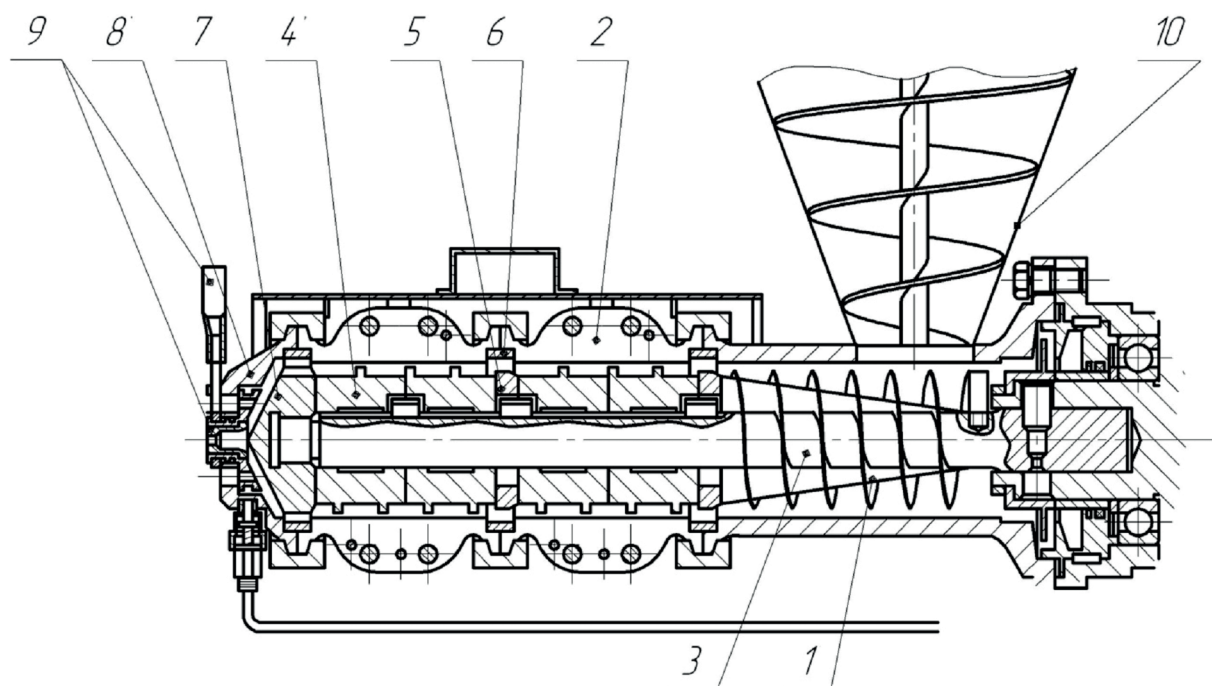
При определении мощности, потребляемой направителем, выразим ее скалярным произведением  $\vec{F} \cdot \vec{v}$ , где  $F$  и  $v$  - функции от радиуса произвольной точки контакта. Силу  $F$  определим как интеграл функции динамического напора по площади поверхности контакта, спроецированной на плоскость, нормальную вектору скорости:

$$N = \int_S \frac{\rho v^2}{2} dS \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $N$  - мощность, потребляемая направителем, Вт;  $\rho$  - плотность материала в произвольной точке контакта, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  - скорость элемента смеси в произвольной точке контакта, м/с;  $S$  - площадь контактной поверхности винтовой линии, м<sup>2</sup>;  $\alpha$  - угол подъема винтовой линии, рад.

Так как функциональная зависимость плотности  $\rho$  от радиуса не известна, то можно воспользоваться формулой [9]:

$$\frac{\rho_\infty - \rho}{\rho_\infty - \rho_0} = \exp(-c_1 \cdot \rho). \quad (2)$$



**Рис. 1 – Конструктивно-технологическая схема пресс-экструдера для обработки рыбных отходов в смеси с отрубями:**

1 – конусный направитель; 2 – корпус цилиндра; 3 – вал шнекового пресса; 4 – шнек пресса; 5 – греющая шайба; 6 – изнашиваемое компрессионное кольцо; 7 – коническая головка; 8 – корпус головки; 9 – матрица с регулировочным диском и рукояткой; 10 – шнековый дозатор

где  $\rho_{\infty}$  – предельное значение плотности спрессованного материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность материала при давлении  $P$ , кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  – начальная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $c_1$  – эмпирический коэффициент.

Преобразования с помощью степенных рядов [10] позволяют получить более удобную зависимость между давлением и плотностью:

$$\frac{\rho_x - \rho}{\rho_x - \rho_0} = e^{-c\rho} \Rightarrow \rho_x - \rho \approx (\rho_x - \rho_0)(1 - c\rho) - \rho + \rho_0 = -c\rho(\rho_x - \rho_0) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \rho = \frac{\rho - \rho_0}{c(\rho_x - \rho_0)} = \frac{c^2}{2}(\rho - \rho_0)$$

(3)

где  $c$  – новая константа,

$$c = \sqrt{\frac{2}{c_1(\rho_{\infty} - \rho_0)}}.$$

Так как динамический напор с физической точки зрения является давлением, то в точке контакта можно приравнять его к вы-

ражению (3).

Тогда

$$\frac{\rho v^2}{2} = \frac{c^2}{2}\rho - \frac{c^2}{2}\rho_0 \Rightarrow \rho(c^2 - v^2) = \rho_0 c^2 \Rightarrow \rho = \rho_0 \frac{c^2}{c^2 - v^2} = \rho_0 \frac{1}{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

(4)

В этом случае выражение (1) приобретает следующий вид

$$\int \frac{\rho_0}{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \frac{v^2}{2} v dS_n.$$

(5)

Элемент площади  $dS$  можно определить из рисунка 2.

Считая элемент площади  $dS$  элементарным прямоугольником с основанием  $\frac{rd\varphi}{\cos\alpha}$  и высотой  $dr$ , элементарную площадь можно представить следующим выражением:

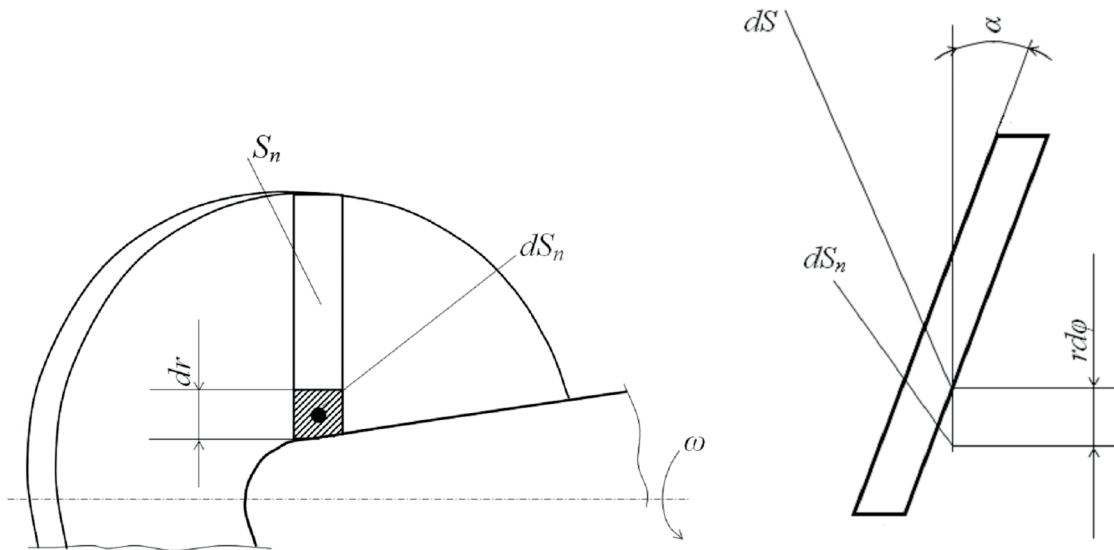


Рис. 2 – Расчётная схема:

$rd\varphi$  – элементарное приращение дуги;  $S_n$  – нормальная площадка;  $dr$  – элементарное приращение радиуса;  $dS_n$  – элементарная площадка

$$dS = \frac{rd\varphi}{\cos \alpha} dr, \quad (6)$$

откуда

$$dS_n = dS \sin \alpha = \frac{rd\varphi}{\cos \alpha} \cdot dr \sin \alpha = r dr d\varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (7)$$

В итоге выражение для определения мощности приобретает следующий вид

$$N = \frac{1}{2} \int_0^{\varphi} \frac{\rho_0 v^2}{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} v r dr d\varphi \operatorname{tg} \alpha = \frac{\rho_0 \operatorname{tg} \alpha}{2} \int_0^{\varphi} \frac{v^3}{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \frac{v}{\omega} \frac{dv}{\omega} d\varphi = \frac{\rho_0 \operatorname{tg} \alpha}{2} \int_{\varphi_0}^{\varphi} \int_{v_0}^v \frac{v^4}{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} dv \cdot d\varphi, \quad (8)$$

где  $r$  – текущий радиус произвольной точки витка, м;  $\omega$  – угловая скорость вращения направителя,  $\text{с}^{-1}$ ;  $v_0$  – скорость точки на поверхности направителя, м/с;  $\varphi_0$  – начальный угол поворота направителя, рад.;  $v$  – скорость точки на вершине гребня, м/с;  $\varphi$  – конечный угол поворота направителя, рад.

После соответствующих преобразований получим:

$$N = \frac{\rho_0 \omega^3}{10} \operatorname{tg} \alpha \cdot r_w^5 \int_{\varphi_0}^{\varphi} [1 - (1 - \varphi \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta)^5] d\varphi. \quad (9)$$

где  $r_w$  – радиус шнека, м, т.е. расстояние от крайней точки витка до основания направителя; ( $r = \text{const}$ );  $\beta$  – половинный угол конуса направителя, град.

Решим данный интеграл. Разложение вида  $1 - x^2 = (1 - x)(1 + x + x^2 + x^3 + x^4)$  в данном случае даёт

$$1 - (1 - \varphi \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta)^5 = \varphi \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta \sum_{n=1}^5 (1 - \varphi \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta)^{n-1}, \quad (10)$$

где  $n$  – порядковый номер члена в сумме.

Сумму  $\chi = \sum_{n=1}^5 (1 - \varphi \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta)^{n-1}$  сложно вычислить в связи с изменением угла  $\varphi$  по мере продвижения смеси, но её можно достаточно адекватно оценить. Она представляет сумму членов геометрической прогрессии. Так как двучлен  $1 - \varphi \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta$  есть относительное изменение разности между радиусом шнека и радиусом конической поверхности (относительной высотой гребня

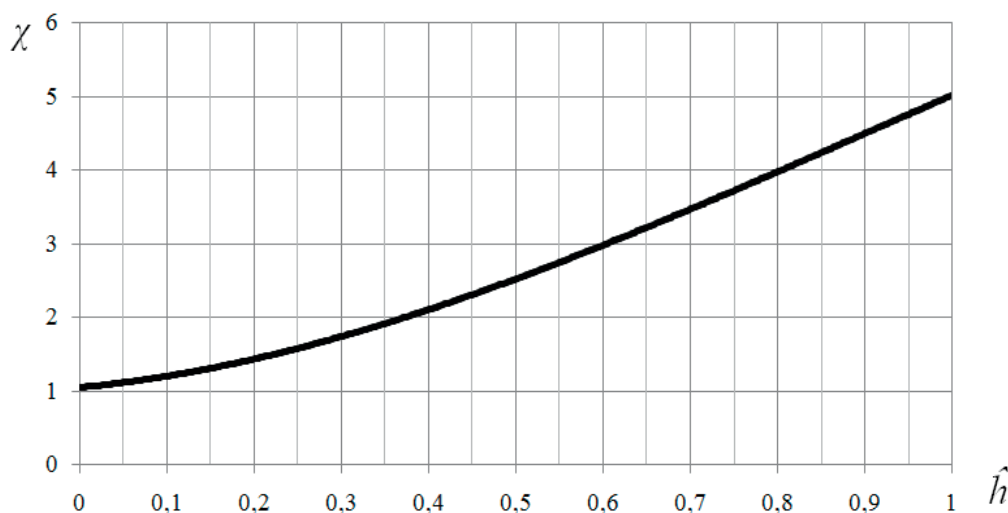


Рис. 3 – Зависимость величины  $\chi$  от относительной высоты гребня  $\hat{h}$

витка  $h$ ), то, зная эту разность, можно вычислить указанную выше сумму.

Множество значений суммы в уравнении укладывается в интервал от 0 до 1 исключительно. Поэтому с теоретической точки зрения достаточно рассмотреть зависимость этой суммы  $\chi$  при изменении относительной высоты гребня от 0,1 до 0,9. Значение этой суммы представляет собой участок параболы четвертой степени (рис. 3).

После вынесения параметра  $\chi$  за знак интеграла (9) выражение для мощности приобретает следующий вид

$$N = \frac{\rho_0 \omega^3}{10} \text{tg} \alpha r^5 \text{tg} \alpha \text{tg} \beta \chi \int_{\varphi_0}^{\varphi} \varphi \cdot d\varphi = \frac{1}{20} \rho_0 \omega^3 \text{tg}^2 \alpha \text{tg} \beta \chi r^5 \varphi^2 \Big|_{\varphi_0}^{\varphi} = \frac{1}{20} \rho_0 \omega^3 \text{tg}^2 \alpha \text{tg} \beta \chi r^5 (\varphi^2 - \varphi_0^2). \quad (11)$$

Если начальный угол поворота направлятеля  $\varphi_0$  принять равным нулю, то выражение (11) принимает вид

$$N_{\max} = \frac{1}{20} \rho_0 \omega^3 \text{tg}^2 \alpha \text{tg} \beta \chi r^5 \varphi^2. \quad (12)$$

Известно, что угол поворота  $\varphi$  равен произведению  $2\pi$  на число витков направлятеля  $z$ . Тогда в окончательном виде выражение для необходимой и достаточной мощности, требуемой для данного процесса, будет иметь следующий вид:

$$N_{\max} = \frac{1}{20} \rho_0 \omega^3 \text{tg}^2 \alpha \text{tg} \beta \chi r^5 4\pi^2 z^2 = \frac{\pi^2}{5} \rho_0 \text{tg} \beta \chi \text{tg}^2 \alpha z^2 \omega^3 r^5. \quad (13)$$

Следовательно, мощность, потребляемая конусным направителем, зависит от его конструктивно-режимных параметров и физико-механических свойств смеси.

#### Выводы

Установка предлагаемого конусного направлятеля и его оптимальная загрузка по мощности, определенной с учетом полученных выражений, обеспечивает стабильность экструдирования кормовой массы путем плавного перехода от этапа подачи к этапу прессования экструдата.

Величина  $\chi$  является функционалом, т.е. зависит от угла  $\varphi$  поворота направлятеля. А это означает, что для одной и той же конструкции на разных участках направлятеля величина  $\chi$  будет различной. Очевидно, что максимальная она будет в начале направлятеля, где относительная высота гребня  $\hat{h}$  будет наибольшей. В этом случае значение  $\chi$  даёт предельное значение мощности, необходимой для надежного осуществления технологического процесса экструдирования смеси рыбных отходов с отрубями.

#### Библиографический список

1. Итоги деятельности федерального агентства по рыболовству в 2012 году и задачи на 2013 год. [Электронный ресурс].

– Режим доступа к ст.: <http://fish.gov.ru/agency/Documents/Росрыболовство.Итоги2012-18.03.2013.pdf>, свободный.

2. Антипова, Л.В. Чешуя прудовых рыб – источник пищевого продукта [Электронный ресурс] / Л.В. Антипова, ВуТхиЛоан. – Режим доступа к ст.: <http://www.tstu.ru/education/elib/pdf/st/2009/antipova.pdf>, свободный.

3. Гарзанов, А. Л. Экструдирование мясокосных отходов – современная технология производства кормов / А.Л. Гарзанов, С. В. Капустин // Мясная индустрия. – 2011. – №9. – С. 84-86.

4. Патент № 131948 РФ, МПК<sup>7</sup> А23К1/00, В02С13/00, Экструдер для приготовления кормовой массы / В.В. Новиков, В.В. Коновалов, И.Л. Орсик, А.Л. Мишанин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Самарская ГСХА. - № 2013112063/13; заявл. 18.03.13, Бюл. № 25. – 5с.

5. Зубкова Татьяна Михайловна. Повышение эффективности работы одношнекового экструдера для производства кормов на основе параметрического синтеза: дисс. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Т.М. Зубкова. – Оренбург, 2006. – 320 с.

6. Кадыров, Д.И. Непищевые отходы – в доходы / Д.И. Кадыров // Мясная индустрия. – 2011. - № 6. – С. 66-69.

7. Кадыров, Д.И. Экструзионная переработка биологических отходов в корма [Электронный ресурс] / Д.И. Кадыров, А. Гарзанов. – Режим доступа к ст.: <http://www.almaz-spb.com/news/21/>, свободный.

8. Орсик, И.Л. Обоснование рационального состава смеси рыбных отходов с отрубями для экструзионной переработки / И. Л. Орсик//. – 2014 – С. 44 – 46.

9. Коновалов В.В. Определение подачи цилиндрического шнекового пресса / В.В. Коновалов, В.В. Новиков, Д.В. Беляев, Л.В. Иноземцева // Нива Поволжья. – № 2, 2010. – С. 51-56.

10. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

11. Орсик, И.Л. О влиянии конусности направителя на продвижение смеси в пресс-экструдере / И.Л. Орсик // Нива Поволжья. - № 3(32). – Пенза: РИО ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА, 2014. – С. 73–78.