

Влияние влажности рыбно-отрубевых смесей и площади фильеры экструдера на его производительность при разной конусности шнека зоны загрузки

В.В. Новиков, к.т.н., профессор, И.Л. Орстик, аспирант, А.С. Грецов, к.т.н., ФГБОУ ВО Самарская ГСХА; В.В. Коновалов, д.т.н. профессор, ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ

Обеспечение животных сбалансированными и качественными кормами является залогом экономической эффективности их производства [1–4]. Для интенсивного роста продукции животноводства требуются концентрированные корма, в т.ч. комбикорма, для производства которых необходимы белковые корма [5, 6]. Основным белковым кормом животного происхождения является рыбная мука. Нехватку этого компонента комбикормов можно частично компенсировать путём использования просроченной рыбы и отходов рыбного производства. Однако данные продукты требуют термического обеззараживания и снижения влажности для повышения сроков сохранности. Приготовление экструдата из смеси отходов рыбного производства и отрубей (дёрты) позволит приготовить обеззараженный корм с влажностью менее 30%.

В случае производства кормов на ферме создаётся возможность обеспечения животных качественными и сбалансированными концентрированными кормосмесями [7, 8]. При этом используемое оборудование должно обеспечивать наибольшую производительность. Основу возможного повышения производительности экструдера составляет повышение влажности продукта и снижение трения материала о поверхность пресса, что уменьшает величину потребляемой мощности установленного штатного электродвигателя экструдера. Рост производительности экструдера способствует и снижению энергоёмкости процесса приготовления кормосмеси [1, 3].

Цель исследования – повышение производительности пресс-экструдера КМЗ-2У за счёт модернизации зоны загрузки с помощью использования шнека с коническим валом.

Основная задача исследования заключалась в установлении функциональной зависимости между конструктивными и технологическими параметрами конического шнека и производительностью пресса.

Материал и методы исследования. Конструктивно-технологическая схема модернизированного пресс-экструдера КМЗ-2У представлена на рисунке 1 [7, 8]. Пресс-экструдер состоит из привода и рамы, на которой установлен пресс, состоящий из кожуха 2, вращающегося вала 3 с установленными на нём несколькими секциями шнека 4. Между секциями шнека 4 установлены изнашиваемые

кольца 5 с греющими шайбами 6. На выходе из экструдера расположена коническая головка 7 с кожухом 8. Закрывает выход из внутреннего пространства матрица. Снаружи неё размещён регулировочный диск 9 с рукояткой. Внутри матрицы и регулировочного диска оборудованы бобообразные (иногда кольцевые) отверстия (фильеры). Подачу материала в пресс обеспечивает разработанный шнековый дозатор-питатель 10, подающий обрабатываемую массу в зону загрузки экструдера к модернизированному конусному шнеку 1.

Работает экструдер следующим образом. При подаче шнеком дозатора-питателя 10 исходной смеси она поступает из него сверху в приёмную камеру питателя экструдера с установленным в ней конусным шнеком 1.

Масса захватывается конусным шнеком 1 и подаётся к шнеку экструдера 4. При этом материал поджимается, выдавливается воздух между частицами материала. Уже в зоне прессования материал сжимается до необходимого давления, повышая свою температуру за счёт сжатия и трения о стенки внутреннего канала пресса.

В процессе перемещения материала между шнеком 4 и кожухом экструдера 2, между кожухом и краями витков шнека происходит дополнительное перемещение материала из одного межвиткового пространства в другое. Это способствует его дополнительному нагреву и разрушению крупных частиц. Избыточное давление приводит к снижению вязкости и повышению подвижности материала, что способствует быстрому выходу обработанного материала из зоны прессования [9].

Наличие кольцевых зазоров между греющими шайбами и изнашиваемыми кольцами снижает давление в канале на основе действия уравнения Бернулли. За счёт этого в следующей секции экструдера появляется возможность дополнительного механического разрушения материала и повышения усвояемости корма. Полученный в результате термомеханической обработки материал продавливается сквозь фильеры (отверстия) матрицы и регулировочного диска. Резкий перепад давления к атмосферному способствует закипанию влаги и дополнительному разрыву внутренних связей, что повышает питательность корма.

Количественным показателем технологического процесса является производительность экструдера в штатном режиме работы на исследуемом материале. В данном случае экструдировались смеси рыбных отходов и отрубей. В проведённых лабораторных исследованиях использовалось три смеси с раз-

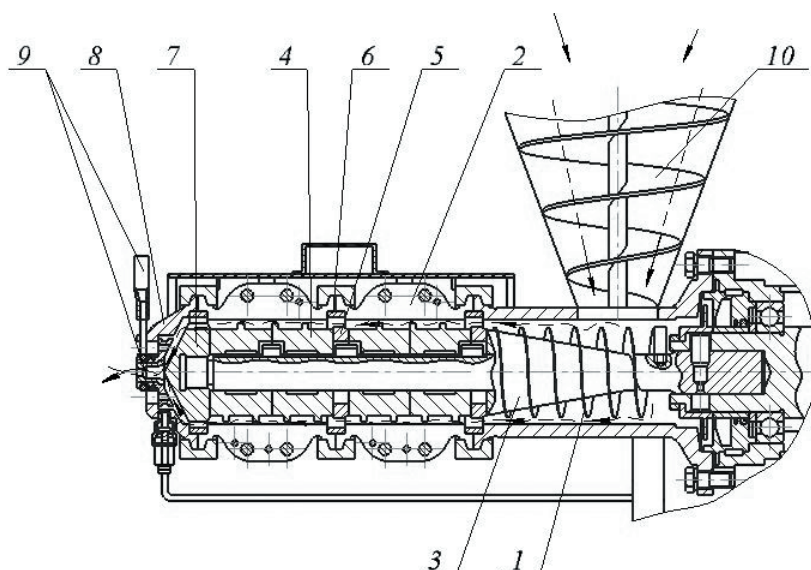


Рис. 1 – Конструктивно-технологическая схема пресс-экструдера для обработки рыбных отходов в смеси с отрубями:

1 – конусный шнек; 2 – кожух пресса; 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-питатель; ← - - - - движение перерабатываемого материала

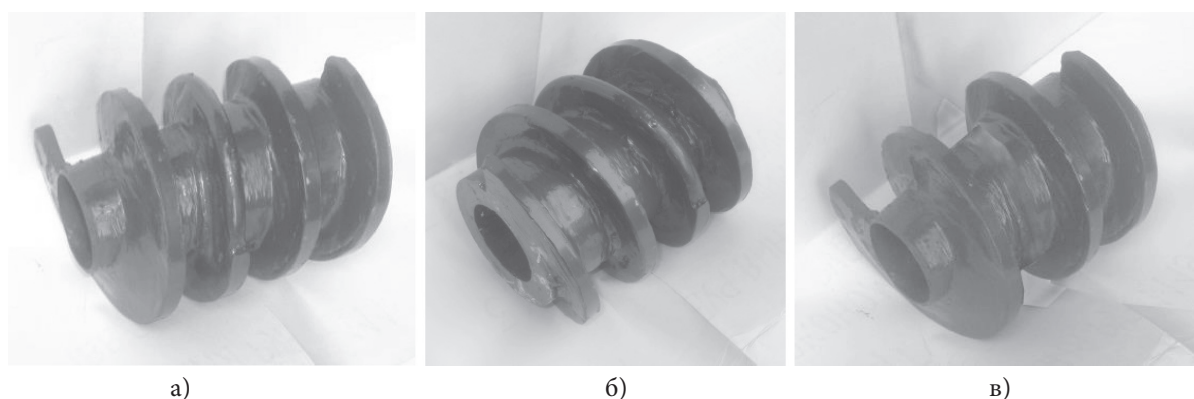


Рис. 2 – Набор экспериментальных конусных шнеков-питателей пресс-экструдера:

а) – угла конуса $\beta - 10^\circ$; б) – угла конуса $\beta - 20^\circ$; в) – угла конуса $\beta - 30^\circ$

личным соотношением в них рыбных отходов и отрубей и соответственно различной влажности W , %. Величина открытия фильеры (площадь окна S_ϕ , мм²) регулировалась положением рычага заслонки у фильеры. При этом был установлен один из конусных шнеков (рис. 2) с углом конусности вала β , град. [10].

Длительность забора выгружаемой массы после начала установившегося режима работы экструдера составляла 30 сек. Взвешивание выгруженной массы производили с точностью до 5 г. Производительность определяли делением собранной массы материала на длительность её сбора. Повторность трёхкратная [8].

Для получения статистической регрессионной модели производительности экструдера реализован полный факторный эксперимент 2^3 . Уровни варьирования независимых факторов и полученные средние значения производительности Q экструдера по трём повторностям замеров указаны в таблице.

Там же приведена матрица планирования эксперимента (в натуральном и кодированном виде) и полученные в ходе реализации опытов данные [7].

Дальнейшую обработку полученных данных и проверку на адекватность модели проводили по общепринятой методике [10].

Результаты исследования. В результате обработки представленных в таблице данных было получено уравнение регрессии производительности экструдера указанного типа в кодированном виде, адекватно описывающие процесс при экструдировании смесей рыбных отходов и отрубей:

$$Q = 448,25 - 2,3X + 36,3Y + 3,7Z - 5,106X^2 - 0,906Y^2 - 5,706Z^2 - 0,75YZ + 0,25XYZ, \quad (1)$$

$$\text{где } X = \frac{\beta - 20}{10}; Y = \frac{S_\phi - 750}{650}; Z = \frac{W - 22,5}{7,5}. \quad (2)$$

Наиболее значим линейный фактор площади фильеры, меньше влияние влажности (с её ростом

Результаты эксперимента по исследованию производительности прессы

x_0	β / x_1	S_ϕ / x_2	W / x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Q , кг/ч
1	10/-1	100/-1	15/-1	1	1		1	1	1	-1	378
1	30/1	100/1	15/-1	1	1		1	-1	1	-1	362
1	10/-1	1400/1	15/-1	1	1		-1	1	-1	1	488
1	30/1	1400/1	15/-1	1	1		1	-1	-1	-1	481
1	10/-1	100/-1	30/1	1	1		1	-1	-1	1	385
1	30/1	100/-1	30/1	1	1		-1	1	-1	-1	382
1	10/-1	1400/1	30/1	1	1		-1	-1	1	1	495
1	30/1	1400/1	30/1	1	1		1	1	1	1	490
1	10/-1	750/0	20/0	1	0	0	0	0	0	0	519
1	30/1	750/0	20/0	1	0	0	0	0	0	0	428
1	20/0	100/-1	20/0	0	1	0	0	0	0	0	380
1	20/0	1400/1	20/0	0	1	0	0	0	0	0	495
1	20/0	750/0	15/-1	0	0	1	0	0	0	0	421
1	20/0	750/0	30/1	0	0	1	0	0	0	0	443
1	20/0	750/0	20/0	0	0	0	0	0	0	0	432

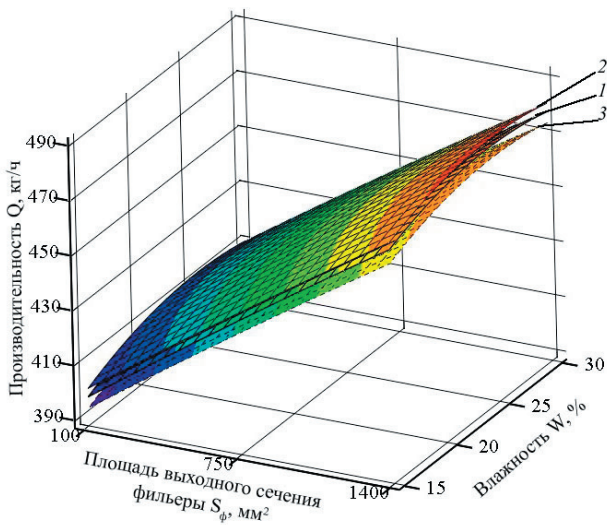


Рис. 3 – Производительность пресс-экструдера в зависимости от площади выходного сечения фильеры S_ϕ и влажности смеси W , при фиксированных значениях угла конуса β : 1 – $\beta = 10^\circ$; 2 – $\beta = 20^\circ$; 3 – $\beta = 30^\circ$

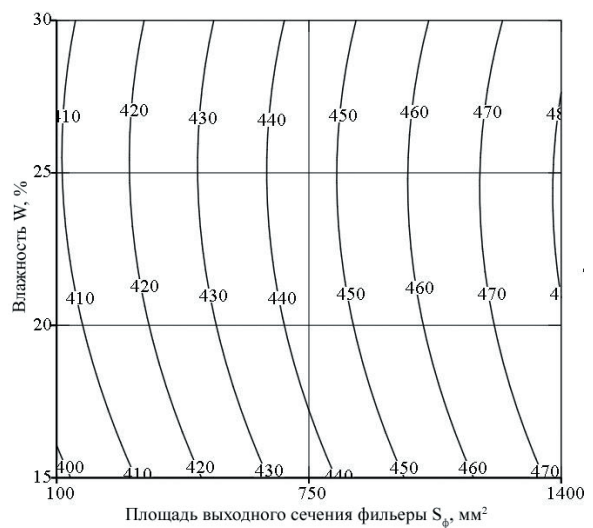


Рис. 4 – Производительность пресс-экструдера (кг/ч) в зависимости от площади выходного сечения фильеры S_ϕ и влажности смеси W при фиксированном значении угла конуса $\beta = 10^\circ$

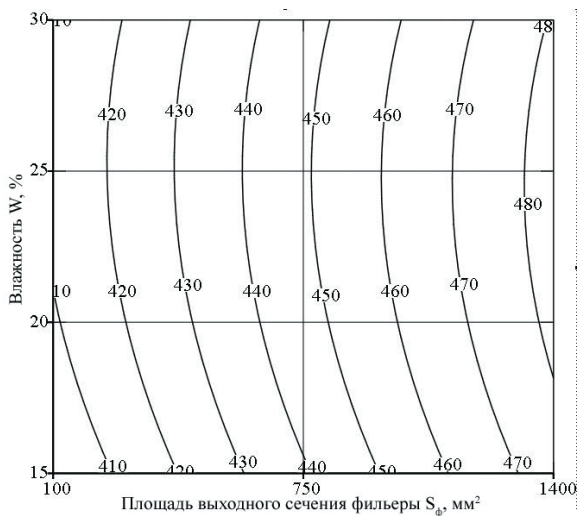


Рис. 5 – Производительность прессы (кг/ч) в зависимости от площади выходного сечения фильеры S_ϕ и влажности смеси W , при фиксированном значении угла конуса $\beta = 20^\circ$

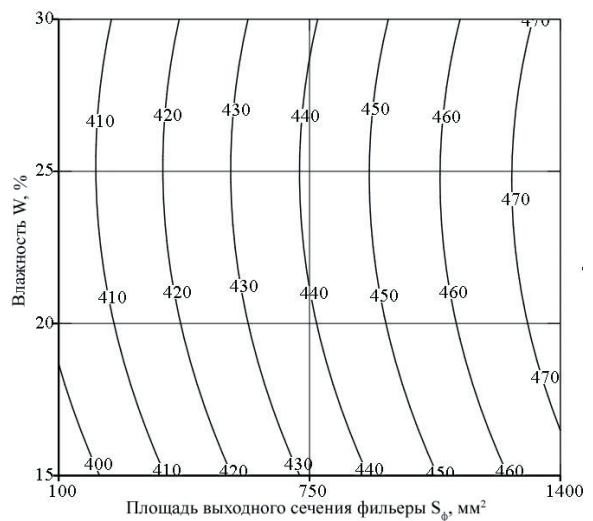


Рис. 6 – Производительность прессы (кг/ч) в зависимости от площади выходного сечения фильеры S_ϕ и влажности смеси W , при фиксированном значении угла конуса $\beta = 30^\circ$

увеличивается подача) и имеется небольшое влияние угла конусности вала шнека.

После подстановки уравнений (2) в (1) получим уравнение регрессии для производительности экструдера в зависимости от выбранных независимых параметров в раскодированном виде [8]:

$$Q = 322,56 + 1,899\beta + 0,065S_{\phi} + 5,25W - 0,051\beta^2 - 0,0000021S_{\phi}^2 - 0,051W^2 - 0,00012\beta S_{\phi} - 0,0038\beta W - 0,00026S_{\phi}W + 0,0000051\beta S_{\phi}W, \quad (3)$$

где β – угол конуса, град.;

S_{ϕ} – площадь выходного сечения фильеры, мм²;

W – влажность, %.

Для проведения графического анализа полученной регрессионной модели (3) зафиксируем угол конусности вала шнека на одном из его экспериментальных значений [10].

В результате, фиксируя угол конусности вала шнека на трёх выбранных уровнях, получим три уравнения регрессии [7]:

$$Q^{\beta=10} = 336,44 + 0,064S_{\phi} + 5,212W - 0,0000021S_{\phi}^2 - 0,101W^2; \quad (4)$$

$$Q^{\beta=20} = 340,11 + 0,063S_{\phi} + 5,174W - 0,0000021S_{\phi}^2 - 0,101W^2; \quad (5)$$

$$Q^{\beta=30} = 333,57 + 0,061S_{\phi} + 5,135W - 0,0000021S_{\phi}^2 - 0,101W^2. \quad (6)$$

Для визуального представления полученных уравнений, представляющих собой криволинейные поверхности, в координатах [S_{ϕ} ; W] построим уравнения (4), (5) и (6) (рис. 3).

Рассматривая каждую поверхность в отдельности в сечении плоскостями с шагом в 10 кг/ч, получим графики, изображённые на рисунках 4–6.

Из графического анализа полученных данных видно, что характер изменения всех поверхностей одинаков. Однако при угле конусности вала шнека $\beta = 10^\circ$ наблюдается максимум производительности $Q \approx 480$ кг/ч; при $\beta = 20^\circ$ наблюдается максимум производительности $Q > 480$ кг/ч; при $\beta = 30^\circ$ – максимум $Q < 480$ кг/ч.

Вывод. Наибольшую производительность обеспечивает шнек с углом конусности вала шнека $\beta = 20^\circ$ при влажности смеси 20–25%. В зависимости от площади фильеры (100–1400 мм²) производительность экструдера может изменяться в интервале 412–483 кг/ч. Изменение влажности с выходом из указанного её интервала уменьшает производительность устройства.

Литература

1. Коновалов В.В. Определение подачи цилиндрического шнекового пресса / В.В. Коновалов, В.В. Новиков, Д.В. Беляев, Л.В. Иноземцева // Нива Поволжья. 2010. № 2. С. 51–56.
2. Коновалов В.В., Орси́к И.Л., Успенская И.В. Оптимизация конструктивно-технологических параметров направителя пресс-экструдера по неравномерности давления в зоне загрузки // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 2 (30).
3. Новиков В.В. Результаты экспериментальных исследований модернизированного экструдера зерна КМЗ-2,0У / В.В. Новиков, В.В. Коновалов, Л.В. Иноземцева, Д.В. Беляев // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2010. № 3. С. 70–76.
4. Полищук В.Ю., Ханин В.П., Зубкова Т.М. Экспериментальное исследование поведения прессуемого материала в одношнековом прессующем механизме экструдера // Совершенствование технологических процессов пищевой промышленности и АПК: тезисы доклад. Росс. науч.-технич. конф. Оренбург, 1996. 116 с.
5. Орси́к И.Л. Повышение питательности экструзионной переработки отрубей // Научно-методический журнал XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. 06 (22). Пенза: ПензГТУ, 2014. С. 82–85.
6. Зубкова Т.М., Корякина М.А. Математическое моделирование процесса экструдирования с оттоком жидкой фазы // Современные информационные технологии в науке, образовании и практике: матер. VIII всерос. науч.-практич. конф. (с междунар. участием). Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. С. 95–96.
7. Пат. № 131948 Российская Федерация, МПК7 А23К1/00, В02С13/00. Экструдер для приготовления кормовой массы / В.В. Новиков, В.В. Коновалов, И.Л. Орси́к, А.Л. Мишанин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Самарская ГСХА. № 2013112063/13; заявл. 18.03.13; опубл. 10.09.13. Бюл. № 25. 5 с.: ил.
8. Орси́к И.Л., Грецов А.С. Результаты экспериментальных исследований экструдирования смеси рыбных отходов и отрубей // Перспективы инновационного развития АПК: матер. междунар. науч.-практич. конф. в рамках XXIV Международной специализированной выставки АгроКомплекс-2014. Часть II. Уфа : Башкирский ГАУ, 2014. С. 109–114.
9. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с.: ил.
10. Орси́к И.Л. Обоснование рационального состава смеси рыбных отходов с отрубями для экструзионной переработки // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: сб. матер. Всерос. науч.-практич. конф. Том 2. Пенза: РИО ПГСХА, 2014. С. 211–213.