

Экспериментальные исследования процесса экструдирования зернового материала

В.Г. Кушнир, д.т.н., профессор, Н.В. Гаврилов, к.т.н., А.С. Кушнир, соискатель, Костанайский ГУ

Программа исследования предусматривала проведение экспериментов по идентификации (определению неизвестных пользователю внешних величин) и по верификации математической модели, которые были реализованы на специально разработанном экспериментальном стенде, оснащённом измерительной аппаратурой.

Материал и методы исследования. Основное назначение физических экспериментов в настоящем исследовании заключается в получении экспериментальных данных, позволяющих судить о точности математической модели. Для того чтобы наиболее обоснованно можно было судить о верификации математической модели по обоснованию качества экструдированного зернового материала, эксперименты проводили при изменении параметров фильеры, при различной влажности материала.

Исследование проведено на лабораторной базе кафедры машин, тракторов и автомобилей Костанайского государственного университета.

В качестве опорного объекта для параметрического синтеза шнекового прессующего механизма был взят малогабаритный пресс-экструдер ПЭ-20, выпускаемый ТОО «Агротехсервис-12», предназначенный для прессования материалов растительного происхождения и получения вспученных экструдатов.

Пресс имеет сменный шнек, на конце которого укреплен насадка типа «торпедо» с четырьмя продольными канавками прямоугольного сечения, выполняющая функции компрессионного затвора. Привод шнека осуществляется через клиноременную передачу от асинхронного электродвигателя. Изменение скорости вращения шнека осуществляется сменой шкивов клиноременной передачи. Головка пресса позволяет устанавливать матрицы различной конструкции. Внешний вид лабораторного стенда показан на рисунке 1.

Принцип работы представленной установки следующий: электродвигатель, установленный в станине 1, посредством ременной передачи приводит во вращение быстроходный шнек,

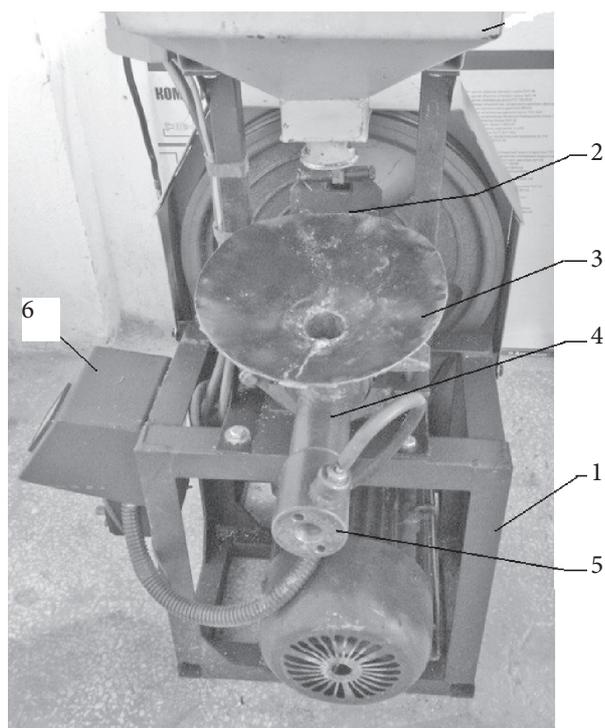


Рис. 1 – Общий вид экспериментальной установки

расположенный в цилиндрическом корпусе 4. Через эксцентрик приводится в действие дозирующее устройство 2. На корпусе 4 зафиксирована формирующая головка 5. Подача материала осуществляется через питающую воронку 3, соединённую непосредственно со шнековым корпусом, расположенным на станине 1. Управление работой экструдера осуществляется через блок питания 6 [1].

Запуск и остановка прессы осуществляется с помощью пульта управления 6. Для регистрации показаний датчиков использован компьютер, получающий сигналы от АЦП LC-212F. Угловая скорость шнека измеряется тахометром. Параметры электрооборудования измеряют амперметром 10 и ваттметром 11 марки Д 539 (ГОСТ 8476-93) с нагрузочным трансформатором УТТ-5М (ГОСТ 51974-93). Контроль температуры вёлся в зоне формирующей головки цифровым мини-мультиметром М838, имеющим термопару типа «К». Взвешивание исходных компонентов и анализируемых образцов производилось на лабораторных рычажных весах (ГОСТ 19491-94). Время отбора проб фиксировалось механическим секундомером (ГОСТ 5072-72) [2].

Модуль АЦП LC-212F предназначен для электротензометрии. Он работает с мостовыми и полумостовыми схемами соединения тензодатчиков с сопротивлением от 100 до 1000 Ом при проведении статических и динамических измерений.

Модуль LC-212F работает совместно с персональным компьютером, подключение модуля осуществляется через LPT-порт.

АЦП имеют по два дифференциальных сигнальных входа $\pm AIN1$ и $\pm AIN2$, дифференциальный вход опорного напряжения $\pm REF$, а также два внутренних цифровых фильтра. Диапазоны входных сигналов АЦП: $\pm 10mV$, $\pm 20mV$, $\pm 40mV$, $\pm 80mV$, $+10mV$, $+20mV$, $+40mV$, $+80mV$.

АЦП имеют встроенные функции калибровки нуля и диапазона, которые выполняются на цифровом уровне. Параметры калибровки сохраняются в памяти модуля до следующей процедуры.

Модуль имеет функцию проверки входных цепей каждого канала на обрыв и короткое замыкание. При запуске этой функции на входы каждого канала подключаются источники постоянного тока величиной 100 А и затем проводится измерение входного сигнала. При выходном коде, равном нулю, фиксируется короткое замыкание, при максимальном коде – обрыв.

Выходные сигналы тензодатчиков подаются непосредственно на входы АЦП. Опорное напряжение АЦП является напряжением питания датчиков [3].

Модуль LC-212F имеет три режима работы.

Режим 1 (статодинамика). Четырёхканальный режим, предназначенный для проведения измерений с максимальной частотой сбора данных и не имеющий высоких требований по напряжению смещения нуля. В данном режиме измерительные мосты питаются постоянным напряжением.

Режим 2 (статика). Четырёхканальный режим, предназначенный для проведения статических измерений с максимальной точностью. Обеспечивает низкий уровень смещения нуля и его температурного дрейфа за счёт переключения АЦП в режим измерений на переменном токе. В режиме 2 возможно питание мостов как постоянным, так и переменным напряжением.

Режим 3 (статика). Является модификацией режима 2 и предназначен для удвоения числа каналов. В данном режиме процесс для каждого канала является прерывистым и данные считываются с периодом в 0,35 с [4].

В ряде экспериментов контроль температуры осуществлялся непосредственным контактом экструдированного продукта на выходе из фильеры и ртутным термометром (ГОСТ 215-73), что не позволяет получать точные значения температуры, так как замер происходит через некоторое время после выхода продукта из матрицы. Время тратилось на извлечение небольшого количества экструдата и нагревание ртути в столбике термометра [5].

Более точным методом измерения температуры является применение цифрового мини-мультиметра, имеющего термопару и способного измерять температуру в широких пределах, обладающего достаточной точностью и скоростью замера. Значение температуры считывается с дисплея цифрового мини-мультиметра М838 (термопара типа «К») в $^{\circ}C$, с точностью $\pm 1^{\circ}C$.

Замер происходит непосредственным контактом термопары экструдированного материала при выходе из матрицы [5].

Для проведения экспериментов были изготовлены две фильеры (рис. 2) с параметрами, соответствующими ранее полученной патентной разработке (предварительный патент КЗ, № 16535, 15.12.2005, бюллетень № 127 с., МПК А 23 N 17/00), и фильеры традиционной формой, с тремя зонами (рис. 3) [1].

Одна из конструкций фильер имела базовые геометрические параметры (схема А), представленные тремя зонами пластификации материала. Вторая фильера изготовлена с четырьмя зонами (схема Б).

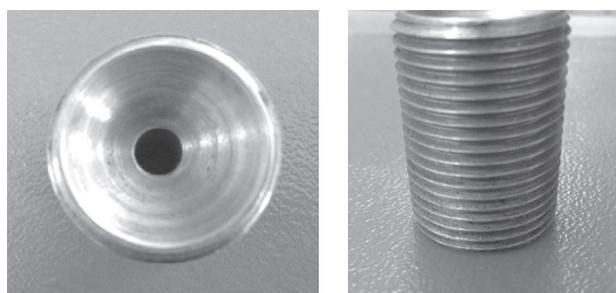


Рис. 2 – Общий вид фильер

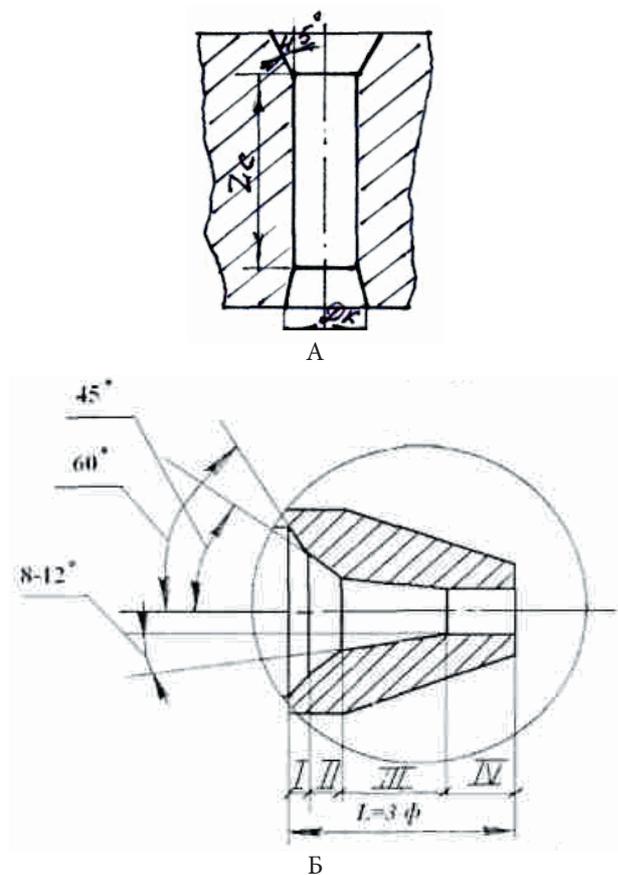


Рис. 3 – Схемы фильер:
А – традиционная схема; Б – по патенту № 16535

В программу экспериментальных исследований включено исследование влияния количества зон фильеры на качество экструдирования зернового материала.

Эксперименты проведены на зерновом материале (пшеница, овёс, ячмень). Использованы три базовые влажности зернового материала – 15, 20 и 25%, которую контролировали определением по ГОСТу 14849-99. Для каждой влажности проведены испытания на двух конструкциях фильер, которые представлены на фотографии (рис. 2).

Производительность экструдера определяли следующим образом: за определённые промежутки времени были взяты образцы готового продукта, которые взвешивали на технических весах, находили массу образца за одну секунду экструдирования, а затем вычисляли часовую производительность [6].

Мощность сил полезного сопротивления определяли по формуле:

$$N = (N_W - N_{X.X}) \eta_{общ}, \quad (1)$$

где N – мощность сил полезного сопротивления; N_W – мощность, которую показывает ваттметр; $N_{X.X}$ – мощность холостого хода двигателя ($N_{X.X} = 1,32$ кВт); $\eta_{общ}$ – общее КПД, включающее КПД ременной передачи, редуктора и подшипниковой опоры шнека ($\eta_{общ} \approx 0,846$) [4].

Обработку результатов тензометрирования [6] осевого усилия проводили следующим образом.

Сила, действующая на матрицу, связана с нормальным напряжением в материале перед матрицей зависимостью:

$$R = \sigma_m \frac{\pi D_c^2}{4}, \quad (2)$$

где D_c – внутренний диаметр корпуса шнека.

Нормальное напряжение в материале перед матрицей σ_m можно определить из первых уравнений

систем $\sigma_1 = \frac{4P}{\pi D_c^2}$ окончательно получим:

$$R_1 = \frac{P}{\left[\left(\frac{Hk\phi}{E_1} \right)^{1/m_0} + 1 \right]}. \quad (3)$$

Все показания снимали после выхода экструдера на установившийся температурный режим.

Проверка адекватности математической модели проведена по трём параметрам эффекта: производительности прессующего механизма, мощности, затрат на процесс экструдирования N .

Результаты исследования. Результаты представлены по кормосмеси в составе 30% отрубей, 30% ячменя, с добавкой зерна пшеницы влажностью 12%.

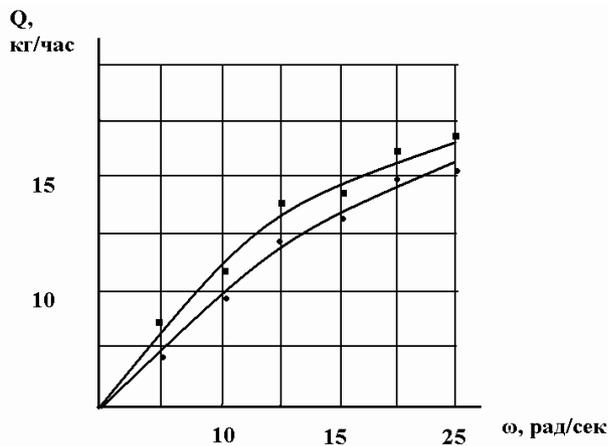


Рис. 4 – Зависимость $Q=f(\omega)$ при влажности материала $W=15\%$:
 ■ – экспериментальные данные для конструкции Б;
 • – экспериментальные данные для конструкции А

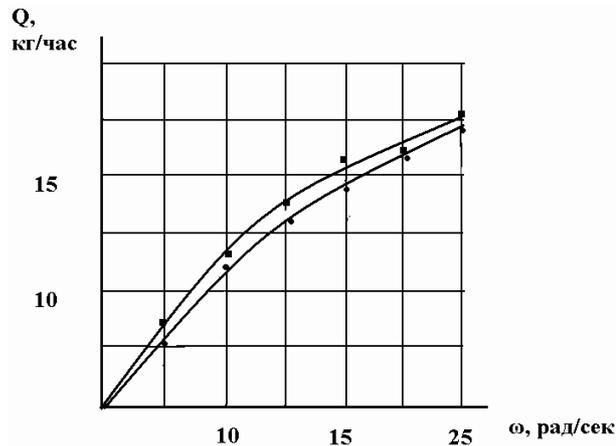


Рис. 5 – Зависимость $Q=f(\omega)$ при влажности материала $W=20\%$:
 ■ – экспериментальные данные для конструкции Б;
 • – экспериментальные данные для конструкции А

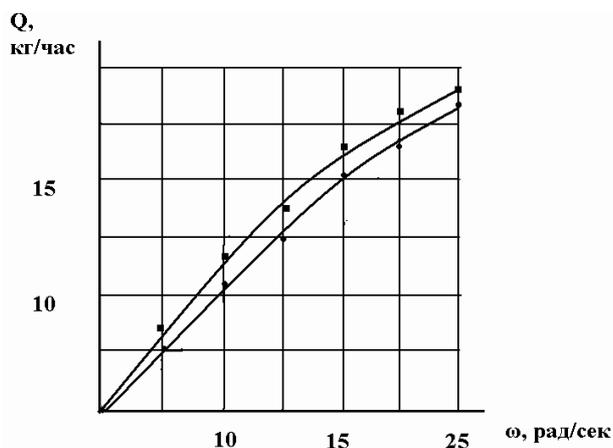


Рис. 6 – Зависимость $Q=f(\omega)$ при влажности материала $W=25\%$:
 ■ – экспериментальные данные для конструкции Б;
 • – экспериментальные данные для конструкции А

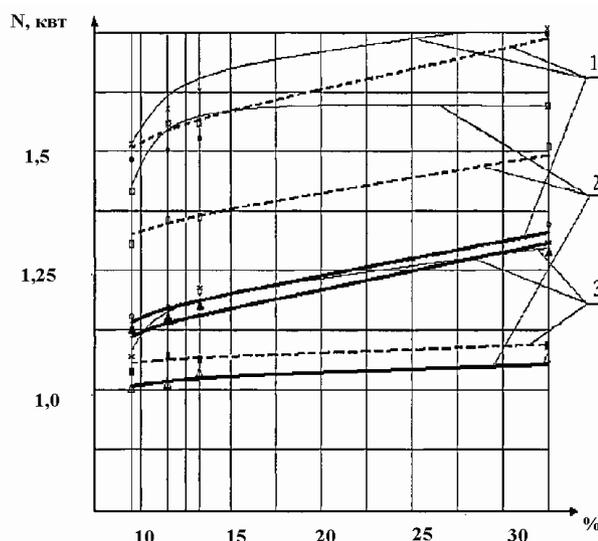


Рис. 7 – Зависимость затрат мощности от состава зернового материала (с учётом добавки сухого зерна влажностью 12%) $N=f(l)$:
 1 – влажность кормосмеси 15%; 2 – влажность кормосмеси 20%; 3 – влажность кормосмеси 25%

На рисунках 4–7 построены диаграммы зависимостей этих параметров эффекта от угловой скорости при относительной влажности прессуемого материала 15, 20, 25%. Диаграммы на этих рисунках построены по расчётным данным.

Вывод. Анализируя полученные значения по графикам (рис. 4–7), можно сделать вывод, что более эффективна фильера с четырьмя зонами приёма и выхода экструдата. При её применении более высокая производительность экструдера и меньшие затраты мощности.

Литература

1. Устройство для экструдирования кормов / Н.В. Гаврилов (предварительный патент KZ, № 16535, 15.12.2005; бюл. № 12. 7 с.
2. Завражнов А.И., Николаев Д.М. Механизация приготовления и хранения кормов. М.: ВО Агропромиздат, 1990. 303 с.
3. Экспертиза кормов и кормовых добавок: пособие / К.Я. Мотовилов [и др.]. Новосибирск: Сибуниверсиздат, 2004. 240 с.
4. Van Zuilichem D.j., Stolp W. Survey of the present extrusion cooking techniques in the food and confectionary industry. Proc. Europ. Conf.: Extrusion Technology for the Food Industry. Dublin, Rep. Ireland: 9-10 Dec. 1986, pp. 1–15.
5. Спандиаров Е. Разработка и совершенствование процессов и оборудования производства комбикормов: дисс. ... докт. техн. наук. М.: МГАПП, 1994. 339 с.
6. Груздев И.Э., Мирзоев Р.Г., Янков В.И. Теория шнековых устройств. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 144 с.