

ИЗМЕНЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЭКСТРУДАТА РАПСА В ПРОЦЕССЕ ОТЖИМА МАСЛА



614013, г. Пермь, ул. Акад. Королёва, д. 1

Е. В. СЛАВНОВ,
доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией,
И. А. ПЕТРОВ,
аспирант, Институт механики сплошных сред УрО РАН

Ключевые слова: *экструдат рапса, вязкость, содержание масла, скорость сдвига, температура, отжим масла.*
Keywords: *rape extrudate, viscosity, oil fraction, shear rate, temperature, oil extraction.*

Ограниченность мировых запасов органического топлива вызывает интерес к поиску других источников. Одним из заменителей может служить биотопливо, обладающее возможностью ежегодного воспроизводства за счет практически неиссякаемым поступлением на поверхность Земли солнечной энергии. За последние 10 лет произошел резкий подъем производства биоэтанола и биодизеля [1]. Рост производства биодизеля в этот период был достигнут преимущественно за счет использования масличных культур [2], в том числе рапса. Кроме того, рапсовое масло широко используется в пищевой промышленности. Наиболее современным способом получения масел является процесс отжима его на шнек-прессе.

В процессе шнек-прессовой экстракции происходит разрыв клеточной структуры семян, в результате чего жидкая фаза высвобождается из сферосомы в матрицу. Экструдат предлагается рассматривать как двухкомпонентную среду, представляющую смесь жидкости (масла), и деформируемую пористую основу, состоящую в основном из клетчатки. Отжим жидкой фазы изменяет структуру смеси и массовое соотношение между компонентами, в результате чего изменяются реологические и фильтрующие свойства смеси.

Создание конкурентноспособного оборудования, нахождение удачных

технических решений, определение наилучших технологических режимов связаны с моделированием процесса, включая адекватное описание изменения свойств перерабатываемого материала в процессе отжима.

Цель и методика исследования.

Целью представленной работы является определение зависимости вязких свойств рапса, подвергнутого предварительно экструзии, от скорости сдвига и температуры при различных массовых долях компонентов.

В качестве исходных образцов в эксперименте был использован экструдат семян рапса, полученный на лабораторном экструдере с диаметром шнека 32 мм, при частоте вращения $2 \cdot \pi \text{ сек}^{-1}$ (60 об./мин.), без внешнего нагрева.

Измерение вязких свойств образцов проводилось на установке, разработанной в Институте механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь) [3]. В измерительном узле установки использована схема ротационной вискозиметрии. Рабочая камера имеет боковые стенки и два диска. Диски имеют рифления для уменьшения эффекта скольжения исследуемого материала по их поверхностям. Установка позволяет задавать и контролировать в рабочей камере необходимое давление, температуру, скорость нижнего диска и измерять момент нагрузки на верхнем диске.

Для получения образцов с заданной

массовой долей компонентов, характеризующей остаточное количество масла, определялась начальная массовая доля масла (в нашем случае 0,446). Образец взвешивался, помещался в плунжерный пресс и отжимался. После отжима образец снова взвешивался и рассчитывалась массовая доля оставшегося в образце масла.

Образец с остаточным количеством масла помещался в рабочую камеру установки. Задавалось гидростатическое поджатие образца в рабочей камере в пределах 0,05–0,1 МПа и скорость верхнего диска. В конце поджатия по прибору регистрировалась величина зазора между дисками. В режиме заданных оборотов нижнего диска регистрировались текущие параметры эксперимента: время, угловая скорость верхнего диска, силовой момент на нижнем диске, температура камеры. Затем устанавливали более высокие обороты нижнего диска, и процесс повторялся. Параметры эксперимента с дискретностью 0,8 секунды записывались в память компьютера и в дальнейшем обрабатывались.

Обработка заключалась в том, что по двадцати точкам каждого параметра в установившемся режиме определяется среднее значение и дисперсия. Полученные значения служат исходными данными для определения скорости сдвига и касательных напряжений на внешней окружности дисков [4].

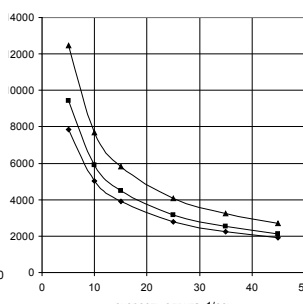
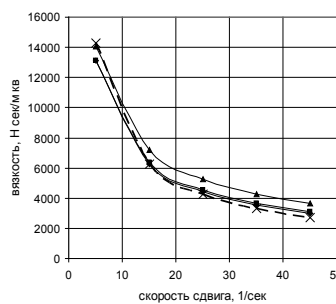
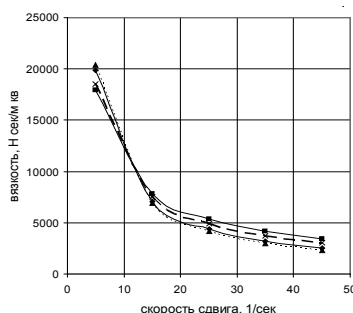
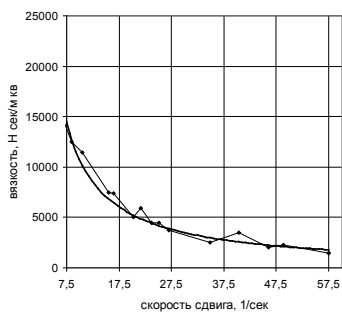


Рисунок 1 Экспериментальные точки и аппроксимирующая зависимость течения образцов экструдата рапса при T = 25°C и разных массовых долях масла

Рисунок 2

Аппроксимирующие зависимости кривых течения образцов экструдата рапса при T = 25°C и разных массовых долях масла

Рисунок 3

Аппроксимирующие зависимости кривых течения образцов экструдата рапса при T = 50°C и разных массовых долях масла

Рисунок 4

Аппроксимирующие зависимости кривых течения образцов экструдата рапса при T = 75°C и разных массовых долях масла

В результате отношение касательных напряжений к скорости сдвига определяет вязкость образца для конкретных условий нагружения. Набор значений вязкости образца при различных скоростях сдвига в выбранном диапазоне определяет кривую течения материала. Вязкие свойства всех исследованных экструдатов обладают сильной нелинейностью и с достаточной точностью описываются степенным уравнением Оствальда-де Вилля. На рис. 1 для примера представлены экспериментальные значения вязкости одного из образцов, определенные при разных скоростях сдвига, и аппроксимирующая кривая, описывающая эти точки степенным уравнением. При изложении результатов используются полученные подобным образом аппроксимирующие зависимости.

при обработке данных, полученных на образцах с тем же содержанием масла при температуре 50 градусов (рис. 3). Аппроксимирующая по всем зависимостям кривая течения может быть описана уравнением вида

$$\mu = 38000 \cdot \dot{\gamma}^{-0.643} \text{ (H} \cdot \text{сек} / \text{м}^2 \text{)}$$

При температуре 75°C при сохранении нелинейного характера зависимости вязкости от скорости сдвига наблюдается отличие кривых течения при различном массовом содержании масла в образцах (рис. 4). В процессе эксперимента была определена вязкость отжатого масла. Полученные данные говорят о том, что рапсовое масло — линейная жидкость с вязкостью, зависящей от температуры, описываемая уравнением.

$$\mu_m = 0,127 \cdot e^{-0,0322T} \text{ (H} \cdot \text{сек} / \text{м}^2 \text{)}$$

В соответствии с этим вязкость масла при температуре 25°C составляет 0,0575 H·сек/м², при 50°C и 75°C ниже в 2,3 и 5,2 раза соответственно. Учитывая сильное снижение вязкости масла с ростом температуры и возможность при повышенных температурах выделения разного количества масла, не связанного смесью, можно предположить, что это приводит к наблюдаемой в эксперименте зависимости вязких свойств экструдата от массовой доли масла. Аппроксимирующие зависимости для кривых течения (рис. 4), определяющие характер изменения вязкости от скорости сдвига и массовой доли масла, имеют вид,

$$\mu = 11300 \cdot C^{-0.84} \cdot \dot{\gamma}^{-n} \text{ (H} \cdot \text{сек} / \text{м}^2 \text{)}$$

где C — массовая доля масла, n — показатель нелинейности, имеющий значения 0,64, 0,67 и 0,69 при массовой доле 0,446, 0,347 и 0,234 соответственно.

Для сравнительного восприятия изменения вязкости от скорости сдвига, температуры и массовой доли масла на рис. 5 представлены все аппроксимирующие зависимости полученных в эксперименте кривых течения, описываемые приведенными выше формулами.

Рассматривая полученные результаты с точки зрения шнек-прессового отжима, следует отметить, что для создания необходимой напорности шнека процесс следует вести в диапазоне низких скоростей сдвига, где вязкость перерабатываемого

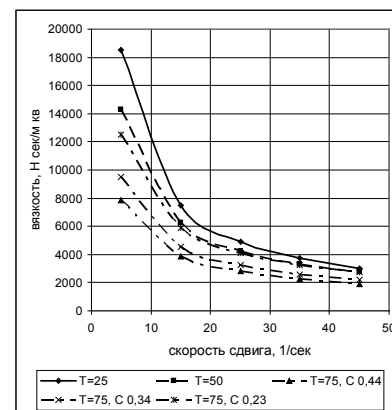


Рисунок 5 Зависимость вязкости экструдата рапса от скорости сдвига, массовой доли масла и температуры

материала значительно выше. При работе на повышенных температурах необходимо обеспечить стабилизацию температуры, т. к. ее «плавание» может привести к соответствующим изменениям вязких свойств материала и напорных характеристик шнека. Количественные оценки технологического процесса отжима могут быть получены в результате математического моделирования с использованием полученных данных.

Выводы.

Получены кривые течения экструдата рапса при разных массовых долях масла для температур 25°, 50° и 75°C. На основании построенных аппроксимирующих зависимостей, описывающих эти кривые, можно заключить, что экструдат рапса является существенно нелинейной средой — «жидкой смесью», зависимость вязкости которой от скорости сдвига можно описать степенным законом. При температурах 25° и 50°C массовая доля масла, лежащая в диапазоне 0,446–0,234, не оказывает существенного влияния на вязкие свойства экструдата. При температуре 75°C при сохранении нелинейного характера зависимости вязкости от скорости сдвига наблюдается отличие кривых течения при различном массовом содержании масла в образцах.

С точки зрения шнек-прессового отжима полученные результаты говорят о том, что для создания необходимой напорности шнека процесс следует вести в диапазоне низких скоростей сдвига,

В эксперименте использованы образцы экструдата с массовой долей масла 0,446, 0,347 и 0,234. Температурные режимы составляли 25°, 50° и 75°C. Изменения температурного режима в результате диссипативного разогрева не превышали 3–4°C по отношению к температуре проведения эксперимента.

Результаты исследований.

Результаты обработки экспериментальных данных, полученных на образцах с содержанием массовой доли масла 0,446, 0,347 и 0,234 при температуре 25°C, в виде аппроксимирующих кривых представлены на рис. 2. Как видно из графиков, содержание масла в образцах незначительно влияет на характер полученных зависимостей. Предложено описать их в выбранном диапазоне параметров одним уравнением вида

$$\mu = 70000 \cdot \dot{\gamma}^{-0.825} \text{ (H} \cdot \text{сек} / \text{м}^2 \text{)}$$

где μ — динамическая вязкость, $\dot{\gamma}$ — скорость сдвига (на графике уравнение представлено кривой T = 25 сум). При таком описании относительная ошибка составляет 5–7% на низких скоростях сдвига (до 20 сек⁻¹) и увеличивается с их возрастанием до 10–20%. Такое представление экспериментальных данных является допустимым, имея в виду, что вязкость в этом диапазоне скоростей сдвига имеет малые значения и абсолютная ошибка составляет тот же порядок, что и на низких скоростях сдвига.

Подобная картина наблюдается и



где вязкость перерабатываемого материала значительно выше. При работе на повышенных температурах необходимо

обеспечить стабилизацию температур, т. к. ее «плавание» может привести к соответствующим изменениям вязких свойств

материала и напорных характеристик шнека.

Литература

1. Федоренко В. Ф., Буклагин Д. С., Мишуров Н. П., Тихомиров В. С. Развитие биоэнергетики, экологическая и продовольственная безопасность. М. : Росинфомагротех, 2009. 114 с.
2. Вольхин В. В., Шкляев Ю. В., Зернина И. А., Казаков Д. А. Биодизель второго поколения: некоторые особенности физико-химических процессов при его производстве // Вестник Пермского научного центра. 2010. № 3. С. 41–49.
3. Патент № 2408883 РФ Способ определения зависимости пищевой ценности биопродукта от параметров физико-механического воздействия на него и устройство для этого / Е. В. Славнов, А. И. Судаков, Е. В. Пепеляева, В. П. Коробов, А. М. Трутнев // БИ. 2011. №1.
4. Малкин А. Я., Исаев А. И. Реология: концепции, методы, приложения. СПб. : Профессия, 2007. 557 с.