

нологической операции опрыскивания растений на клюквенном чеке, а также улучшению условий труда обслуживающего персонала.

*Список использованных источников*

1. Экологотехнологический подбор и комплектование по типоразмерам распылителей опрыскивателей сельскохозяйственных культур: метод. указания / Л.Я. Степук [и др.]. – Минск: БГАУ, 1993. – 11 с.
2. Степук, Л.Я. Машины для применения средств химизации в земледелии: конструкция, расчет, регулировки: учеб. пособие / Л.Я. Степук, В.Н. Дашков, В.Р. Петровец. – Минск: Изд-во «Дикта», 2006. – 448 с.
3. Патент РБ 6648, МПК А 01/М 7/00, 2010.
4. Штанга опрыскивателя с ветрозашитными устройствами: патент РБ 8801, МПК А01М/ 7/00 (2006.01), 2012.

УДК 674:621.928.93

**УЧЕТ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОМАССЫ ДЛЯ  
СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
ТВЕРДОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ МИКРОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И  
ВЛАЖНОГО ПРЕССОВАНИЯ**

*Войтов В.А., д.т.н., профессор; Кравцова Н.В., аспирант;  
Бунецкий В.А., аспирант*

*Харьковский национальный технический университет сельского  
хозяйства им. П. Василенко, г. Харьков, Украина*

В последние годы всё более остро становится проблема, связанная с нехваткой традиционных источников энергии. Одним из актуальных и экономически выгодных направлений решения данной проблемы является использование твердого топлива из биомассы в виде брикетов или пеллет, так как это не требует замены котлов и экономит средства на транспортных расходах. В качестве сырья, которое используется для производства брикетов или пеллет, можно использовать солому, отходы деревообрабатывающей промышленности, лузгу зерновых культур, риса, кукурузы, подсолнечника и т. д.

По данным авторов [1] при современном валовом сборе зерна в Украине на уровне 50 млн. т для энергетических целей может быть использовано до 24 млн. т. соломы, а при увеличении валового сбора до 80 млн. т эта цифра увеличится до 40 млн. т. Использование соломы в таких объемах позволит сэкономить от 4,5 до 14 млрд. м<sup>3</sup> природного газа и уменьшить выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу приблизительно на 12-16 млн. т. Таким образом, сельскохозяйственное производство Украины, как и большинства европейских стран, превращается из потребителя энергии в ее производителя.

Целью работы явилось обосновать пути снижения энергозатрат при производстве твердого топлива из биомассы с учетом ее реологических свойств.

При производстве брикетов или пеллет большое значение на стоимость конечной продукции оказывает начальная влажность сырья. Анализ технической литературы [2, 3, 4] показывает, что сушка сырья перед измельчением и прессованием занимает 34,2% общих затрат, поэтому исключив ее из технологического процесса при одновременном перераспределении энергии на измельчение и прессование можно добиться снижения энергозатрат на производство единицы продукции.

После предварительного измельчения биомассы с влажностью 20–30%, без применения сушки, выполняется тонкое измельчение. Такой путь позволяет получить уменьшение помола до значений 100–50 мкм при одновременной активации биомассы перед прессованием [5].

Мелкоизмельченная и одновременно активированная биомасса с влажностью до 20% требует в 25 раз меньшей энергии при прессовании в шнековых прессах, где реализуется эффект снижения динамической вязкости биомассы за счет наличия больших скоростей сдвига.

Тонкий помол биомассы будет способствовать активному сдвигу слоев прессуемого материала внутри шнекового пресса, их саморазогрев до пластичного состояния, а, следовательно, и снижению энергозатрат на прессование по причине снижения динамической вязкости увлажненной и разогретой биомассы.

Применяя такую концепцию, технологический процесс увлажненного микроизмельченного прессования биомассы можно представить следующей структурной схемой (рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема увлажненного прессования

На сегодняшний день большинство топливных брикетов выпускается на механических прессах ударного типа («C.F.Nielsen», Дания), гидравли-

ческих («RUF», Германия) и шнековых прессах (экструдерах) (Пини-Кей. Россия и страны СНГ) [6].

На наш взгляд шнековые прессы являются наиболее перспективными для получения твердого топлива из влажной биомассы, так как в них возможно реализовать (по всей длине шнека) значительные сдвиги слоев материала, что приведет к повышению температуры, размягчению и частичному расплаву биомассы. Такие процессы повлияют на снижение энергозатрат на прессование при одновременном увеличении плотности (до 1,4 кг/дм<sup>3</sup>) и твердости брикета.

По данным работы [7] мощность привода одношнекового экструдера определяется по формуле

$$P_a = \frac{\pi^2}{2} D^3 N h_2 p \operatorname{tg} \alpha + \pi^3 D^2 N^2 \eta L_2 \left( \frac{D}{h_2 \cos \alpha} + \frac{e}{\delta \operatorname{tg} \alpha} \right), \quad (1)$$

где  $D$  – внешний диаметр шнека;  $N$  – частота вращения;  $h_2$  – глубина нарезки шнека;  $p$  – давление;  $\alpha$  – угол наклона винтовой линии нарезки шнека;  $\eta$  – динамическая вязкость прессуемого материала;  $L_2$  – длина шнека;  $e$  – толщина витка;  $\delta$  – зазор между стенкой цилиндра и витком шнека.

Автор работы [7] указывает, что при точных расчетах второй член правой части формулы (1) нуждается в корректировке, которая связана с тем, что за счет интенсивного сдвига слоев материала в процессе прессования, вязкость изменяется и не является константой.

Из формулы (1) следует, что динамическая вязкость прямо пропорциональна мощности одношнекового экструдера, т.е. для минимизации затрат энергии на прессование твердого топлива из биомассы, динамическая вязкость материала должна быть минимальной.

Для определения реологических характеристик материала – скорости сдвига, напряжения сдвига и вязкости – используют ротационный вискозиметр с вращающимися цилиндрами, схема которого представлена на рисунке 2 [8]. В ротационном приборе материал помещают в зазор между цилиндрами с общей осью вращения. Внутренний цилиндр с радиусом  $R_i$  вращается с угловой скоростью  $\omega$ , а внешний – с радиусом  $R_e$ , удерживается крутящим моментом  $M$  в покое.

По геометрическим размерам прибора, угловой скорости и крутящему моменту можно определить динамическую вязкость сдвига [8]

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{M(R_e - R_i)}{4\pi^2 R_i L \omega}, \quad (2)$$

где  $\tau$  – напряжение сдвига материала, Н/м<sup>2</sup>;  $\dot{\gamma}$  – скорость сдвига, с<sup>-1</sup>;  $I$  – крутящий момент, Н·м;  $R_e$  – диаметр внешнего цилиндра, м;  $R_i$  – диаметр внутреннего цилиндра, м;  $L$  – уровень материала в коаксиальном зазоре, м;  $\omega$  – угловая скорость внутреннего цилиндра, с<sup>-1</sup>.



Рис. 2. Схема ротационного вискозиметра с вращающимися цилиндрами

Как следует из формулы (2) уменьшения динамической вязкости можно добиться увеличением скорости сдвига слоев материала внутри пресса, что можно реализовать различными конструктивными мерами, например, увеличивая частоту вращения шнека или его диаметр. Следовательно, изменяя частоту вращения шнека или его геометрические размеры, за счет вязкого трения в слоях материала, можно получать как увеличение температуры, так и уменьшение динамической вязкости.

Несмотря на то, что существует большое количество работ по изучению реологических свойств различных материалов, в литературных источниках отсутствуют сведения об исследовании реологических свойств биомассы.

С целью выбора оптимальных параметров процесса экструзии растительного сырья на ротационном вискозиметре были проведены исследования по определению динамической вязкости согласно методике, приведенной выше. В качестве исследовательского сырья была выбрана древесная мука хвойных пород марки 250. Исследования проводились при относительной влажности продукта от 6 до 14%, и в диапазоне температур 30–120 °С. Это обусловлено тем, что чрезмерное пересушивание сырья приводит к выпариванию природного полимера – лигнина, а при влажности сырья более 12% в зоне загрузки рабочего органа из-за высокой температуры формируется «паровая пробка», которая приводит к выстреливанию сырья из рабочего органа.

Полученные результаты исследований представлены в виде зависимости изменения динамической вязкости  $\eta$  при разной относительной влажности сырья и различных температурах (рис. 3).

Представленные на рисунке 3 зависимости позволяют утверждать, что оптимальными параметрами для проведения процесса экструзии древесной муки является температура 80 °С и влажность 12%.

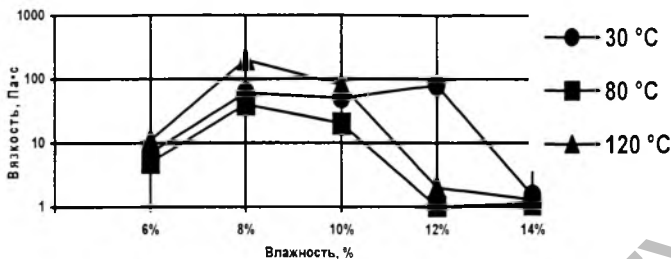


Рис. 3. Зависимость изменения динамической вязкости при разной влажности и температуре сырья

**Выводы:** По результатам проведенных исследований можно сказать, что полученные экспериментальные данные подтверждают влияние реологических свойств прессуемой биомассы на энергозатраты при получении твердого топлива и в дальнейшем позволят проектировать оборудование под определенный тип сырья.

*Список использованных источников*

1. Титко, Р. Солома як джерело енергії / Р. Титко, В.М. Калініченко, Р.С. Кордубан, Н.М. Панченко // Вісник ХНТУСГ: Економічні науки. Вип. 104. – Харків: ХНТУСГ. – 2010. – С. 72–81.
2. Біопалива: Технології, машини, обладнання / В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та інші – К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.
3. Новітні технології біоенергоконверсії. Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.П. Григорюк та інші – К.: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
4. Технології та обладнання для використання поновлюваних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві / Під ред. Кравчука В.І., Дубровіна В.О. // Укр.НДІПВТ ім. Л. Погорілого, Дослідницьке, 2010. – 184 с.
5. Пат. 65059 Україна, В02С13/22. Дезінтегратор / заявник та патентовласник Войтов В.А., Бунецький В.О.; заявлено 26.04.20011; опубліковано 25.11.20011, Бюл. № 22.
6. Интернет-ресурс <http://bioresurs.com>
7. Проектирование экструзионных машин с учетом качества резинотехнических изделий: монография / М.В. Соколов, А.С. Клинов, П.С. Беляев, В.Г. Однолинько. – М.: «Издательства Машиностроение – 1», 2007. – 292 с.
8. Рауендааль, К. Экструзия полимеров / Пер. с англ. Под ред. А.Я. Малкина – СПб: Профессия, 2006. – 768 с.