

УДК 620.92

**ВПЛИВ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОМАСИ НА ПРОЦЕС
ОТРИМАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА У ВИГЛЯДІ БРИКЕТІВ АБО
ПЕЛЛЕТ**

**В.А. Войтов, д.т.н., проф., Н.В. Кравцова, аспірант, В.О. Бунецький,
аспірант**

*(Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. П. Василенка)*

*В статті розглянуто метод досліджень реологічних властивостей
вологої біомаси. Проведені експериментальні дослідження по визначенню
оптимальних параметрів процесу екструзії рослинної сировини.*

Актуальність і постановка задачі. На початку XXI століття перед людством гостро постала проблема, пов'язана з вичерпанням традиційних енергоносіїв. Одним з актуальних напрямків вирішення даної проблеми є використання енергії біомаси, наприклад, виготовлення з відходів рослинного походження, таких як лузга соняшнику, солома, відходи деревини та ін., твердих видів палива у вигляді брикетів або пеллет. Найбільш перспективним способом переробки відходів рослинної сировини є пресування або екструзія.

Аналіз літературних джерел. На сьогоднішній день більшість паливних брикетів випускається на механічних пресах ударного типу («C.F.Nielsen», Данія), гідравлічних («RUF», Германія) та шнекових пресах (Піні-Кей, Росія та країни СНД). Обладнання «RUF» співвідносно за вартістю і експлуатаційними характеристиками з ударно-механічними пресами «C.F.Nielsen» на невеликі потужності, однак воно випускає менш щільний брикет, який має тенденцію до розтріскування. Щільність брикетів фірми «C.F.Nielsen» $1,2 \text{ кг/дм}^3$, а брикетів «RUF» зазвичай знаходиться в межах $0,9\text{-}1 \text{ кг/дм}^3$. Це обумовлено технічними обмеженнями гідравлічного способу пресування: прес фірми «RUF» працює під тиском 150 МПа , в той час, як ударно-механічний прес фірми «C.F.Nielsen» - 200 МПа .

Особливістю роботи ударних та гідравлічних пресів є те, що при пресуванні не відбувається значного зсуву одного шару матеріалу відносно іншого, що унеможливує використання реологічних властивостей вологої біомаси для вибору оптимальних параметрів обладнання для пресування, а їх вартість значно вища, ніж у преса типу Піні-Кей.

Брикет, отримані на шнековому пресі, прийнято називати «пінібрикетами». По відношенню до інших способів пресування саме шнековий спосіб дозволяє отримувати найбільш щільний (до $1,4 \text{ кг/м}^3$) і міцний брикет, що разом з зручною для складування формою та доволі низькою ціною, обумовлює відмінні споживчі якості [1].

На наш погляд шнекові преси є найбільш перспективними для отримання твердого палива із вологої біомаси, тому що в них можливо реалізувати (протягом усієї довжини шнеку) значні зсуви шарів матеріалу, що призведе до підвищення температури, розм'якшення і часткового розплаву біомаси. Такі процеси вплинуть на зниження енерговитрат на пресування при одночасному збільшенні щільності та твердості брикету.

Шнекові преси (екструдери) можуть бути різних типів: одно- та двохшнекові; одно- та двохступеневі; універсальні і спеціалізовані; з осцилюючим (вздовж осі) та одночасно оборотним шнеком; з зоною дегазації та без неї; з обертанням шнеків в один і в протилежний боки і т.п. [2-4].

Одношнекові преси прості в виготовленні, відносно недорогі, є можливість заміни робочого органу. Передбачення режиму роботи в одношнековому пресі є менш складним, ніж в двохшнековому. Також до переваг одношнекового преса слід віднести добре змішування та простоту в експлуатації. До недоліків – задовільну загрузку (можливе утворення застійних зон), а також відсутність

самоочищення: циліндр очищується, а основа і сторони лопоті шнеку – ні.

Перевага двохшнекового преса полягає в ліпшому перемішуванні, плавленні продукту та самоочистці. Але такі преси споживають на 20-50% більше енергії, а з-за складності конструкції їх вартість на 60% вища, ніж одношнекових. Також до недоліків належать трудомісткість в використанні та значний знос робочих органів, отже використання двохшнекових пресів може бути доцільним тільки у спеціальних випадках [4].

Провідними фірмами, які випускають шнекові екструдери, є Wenger, Anderson, Sprout-Bauer, Pres-to-Lu Stoker Juel (США), Clextral, Crezaux-Loire (Франція), Weber, Walter (Германія), Pagani (Італія), Lalesse (Швейцарія), Baker Perkins (Великобританія), Cincinnati, Pini+Kaj (Австрія), Toshiba, Takeuchi Machinery (Японія), Valon-Kone (Фінляндія) і інші [2, 5].

У зв'язку з підвищеним попитом та конкуренцією технології екструзії постійно модернізуються та удосконалюються. На ринку сільськогосподарського та харчового машинобудування з'явилися різні марки екструдерів [6]: КМЗ-2У, ПЭМ-2У; ПЭМ-2УТ; Е-150; Е-250; Е-500; Е-1000; УЭЗ-Ф-800У; ЭУ-500; НЭК-125x8С (40x5 В); Insta-Pro 2000R; ШТАК-50 (80); ЭКСПРО ті ін., які мають різні технологічні характеристики і можливості по ефективності переробки сировини.

Для наукового обґрунтування проектування екструзійного обладнання необхідне знання як самих законів поведінки екструдованих продуктів в робочих каналах екструдера, так і їх структурно-механічних властивостей.

Особливістю та складністю процесу пресування або екструзії є перехід механічної енергії в теплову під дією значних швидкостей зсуву, температури та тиску, що призводить до руйнування та перетворення екструзійної сировини в пластичну масу, яка здатна текти. У зв'язку з цим, значну увагу необхідно приділяти поведінці матеріалів, які з точки зору реології є рідинами. Реологічні характеристики рідин дозволяють розрахувати і оптимізувати конструкцію шнеку та параметри процесу переробки, змодельовати поведінку матеріалу в процесі екструзії з метою зниження енергетичних витрат на отримання готової продукції. До таких характеристик належать: швидкість зсуву, напруження зсуву та динамічна в'язкість.

Метою даної роботи є експериментальне підтвердження впливу реологічних властивостей рослинної сировини на зменшення витрат, пов'язаних з процесом пресування та отриманням готової продукції.

Згідно [7] всі рідини діляться на ньютонівські та неньютонівські. В'язкість ньютонівських рідин залежить тільки від температури та тиску і не залежить від швидкості зсуву. До неньютонівських рідин відносяться рідини, в'язкість яких не залишається постійною при заданих температурі та тиску, а залежить від інших факторів, таких, як швидкість зсуву, конструктивні особливості апаратури, в якій знаходиться рідина, а також від «передісторії» рідини.

Реологічні властивості матеріалу також залежать від вологості сировини, температурного режиму проведення процесу екструзії, тиску в предматричній зоні [8].

Методи досліджень. Для визначення швидкості зсуву, напруження зсуву та в'язкості використовують ротаційний віскозиметр з циліндрами, що обертаються, схема якого представлена на рис. 1 [8]. В ротаційному приладі матеріал поміщують в зазор між циліндрами зі спільною віссю обертання. Внутрішній циліндр з радіусом R_i обертається з кутовою швидкістю ω , а зовнішній – з радіусом R_e , утримується крутним моментом M в спокої.

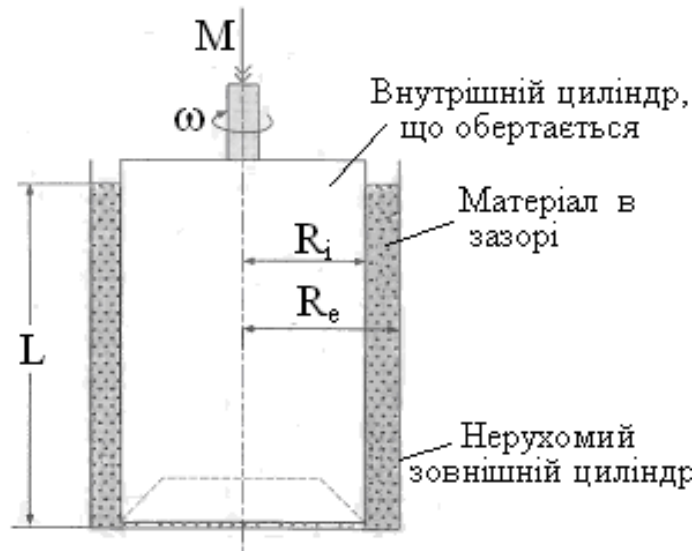


Рис. 1. Схема ротаційного віскозиметра з циліндрами, що обертаються

За геометричними розмірами приладу і кутовою швидкістю можна визначити швидкість зсуву матеріалу.

Згідно [8] швидкість зсуву $\dot{\gamma}$ визначають як різницю між двома швидкостями, віднесеними до відстані в напрямку, перпендикулярному до течії матеріалу:

$$\dot{\gamma} = \frac{2\pi R_i \omega}{R_e - R_i} \quad (1)$$

де R_i – діаметр внутрішнього циліндру, м;

ω - кутова швидкість внутрішнього циліндру, с^{-1} ;

R_e – діаметр зовнішнього циліндру, м.

Із формули (1) видно, що зі збільшенням діаметру внутрішнього циліндру, збільшенням швидкості обертання або зменшення коаксіального зазору швидкість зсуву зростає.

Напруження зсуву матеріалу – це напруження, яке необхідне для виникнення деформації зсуву. Воно залежить від крутного моменту, необхідного для обертання:

$$\tau = \frac{M}{2\pi R_i^2 L} \quad (2)$$

де M – крутний момент, $\text{Н}\cdot\text{м}$;

L – рівень матеріалу в коаксіальному зазорі, м.

Динамічна в'язкість зсуву дорівнює:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{M(R_e - R_i)}{4\pi^2 R_i L \omega} \quad (3)$$

За даними роботи [9] потужність приводу одношнекового екструдера визначається за формулою:

$$P_a = \frac{\pi^2}{2} D^2 N h_2 p \cdot \operatorname{tg} \alpha + \pi^3 D^2 N^2 \eta L_2 \left(\frac{D}{h_2 \cos \alpha} + \frac{e}{\delta \operatorname{tg} \alpha} \right), \quad (4)$$

де D – зовнішній діаметр шнеку;

N – частота обертання;

h_2 – глибина нарізки шнеку;

p – тиск;

α – кут нахилу гвинтової лінії нарізки шнеку;

η – динамічна в'язкість матеріалу, що пресується;

L_2 – довжина шнеку;

e – товщина витку;

δ – зазор між стінкою циліндру та витком шнеку.

Автор роботи [9] вказує, що при точних розрахунках другий член правої частини формули (4) потребує корегування, яке пов'язано з тим, що за рахунок інтенсивного зсуву шарів матеріалу в процесі пресування, в'язкість змінюється та не є константою.

З формули (4) випливає, що динамічна в'язкість прямопропорційна потужності одношнекового екструдера, тобто для мінімізації витрат енергії на пресування твердого палива із біомаси, динамічна в'язкість матеріалу повинна бути мінімальною.

Як слідує з формули (3) зменшення динамічної в'язкості можна домогтися збільшенням швидкості зсуву шарів матеріалу всередині пресу, що можна виконати різними конструктивними заходами, наприклад, збільшуючи частоту обертання шнеку або його діаметр. Отже, змінюючи частоту обертання шнеку або його геометричні розміри, за рахунок в'язкого тертя в шарах матеріалу, можна отримувати як збільшення температури, так і зменшення динамічної в'язкості.

Проведення експериментальних досліджень. Не дивлячись на те, що існує велика кількість робіт по вивченню реологічних властивостей різних матеріалів, в літературних джерелах відсутні відомості про дослідження реологічних властивостей біомаси.

З метою вибору оптимальних параметрів процесу екструзії рослинної сировини на ротаційному віскозиметрі були проведені дослідження по визначенню динамічної в'язкості згідно з методикою, наведеною вище. В якості дослідної сировини була обрана деревна мука хвойних порід марки 250. Дослідження проводились при відносній вологості продукту від 6 до 14%, та в діапазоні температур 30-120°C. Це обумовлено тим, що надмірне пересушування сировини призводить до випарювання природного полімеру – лігніну, а при вологості сировини більше 12% в зоні загрузки робочого органу

через високу температуру формується «парова пробка», яка призводить до вистрілювання сировини з робочого органу.

Отримані результати досліджень представлені у вигляді залежностей зміни швидкості зсуву $\dot{\gamma}$, напруження зсуву τ та динамічної в'язкості η при різних відносній вологості сировини та різних температурах.

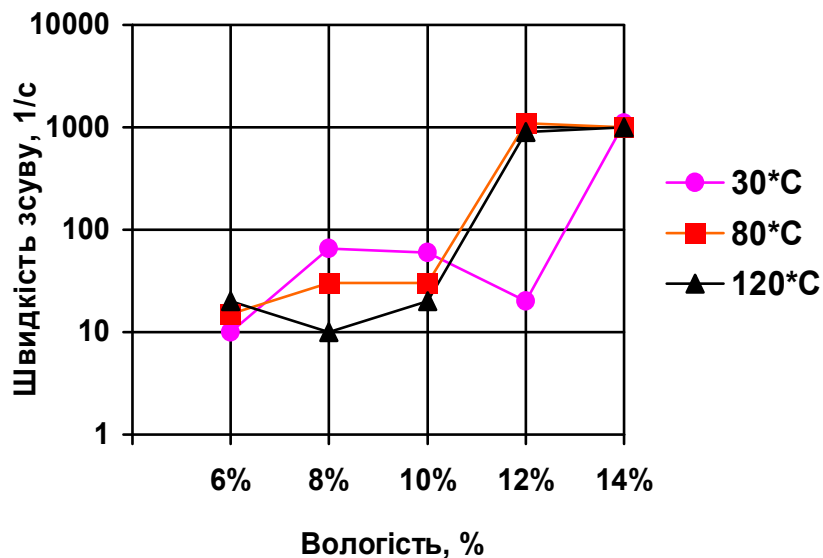


Рис. 2. Залежність зміни швидкості зсуву при різній вологості сировини

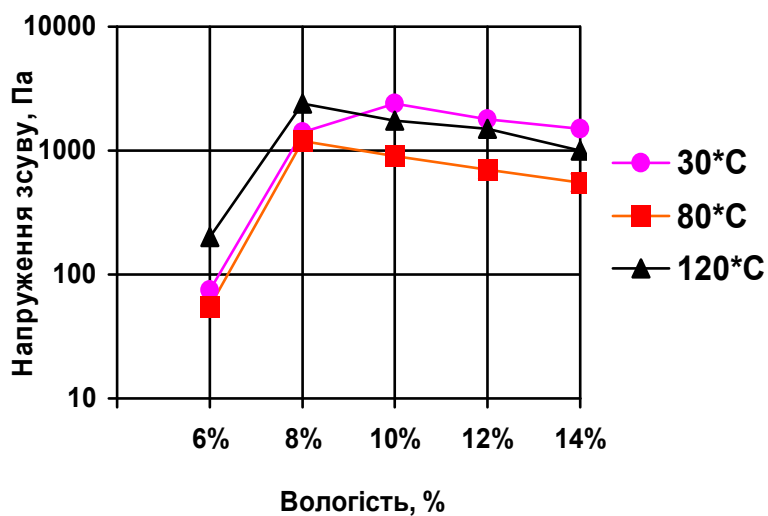


Рис. 3. Залежність зміни напруження зсуву при різній вологості сировини

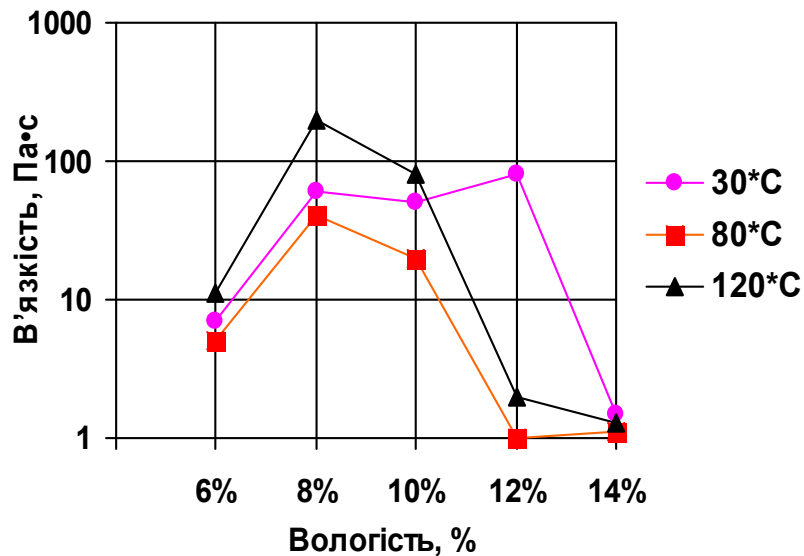


Рис. 4. Залежність зміни динамічної в'язкості при різній вологості сировини

Представлені на рис. 2-4 залежності свідчать про зменшення динамічної в'язкості біомаси при збільшенні швидкості зсуву та зменшенні напруження зсуву, що дає змогу вибрати оптимальні параметри, необхідні для розрахунку режимів роботи одношнекового екструдеру.

Аналіз отриманих результатів дозволяє стверджувати, що оптимальними параметрами для проведення процесу екструзії деревної муки є температура 80°C та вологість 12%.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна сказати, що отримані експериментальні данні підтверджують вплив реологічних властивостей біомаси, що пресується, на енерговитрати при отриманні твердого палива і в подальшому дадуть змогу оптимізувати процес екструзії та вибрати оптимальні параметри шнекового преса.

Список літератури

1. Інтернет-ресурс <http://bioresurs.com>
2. Экструзия в пищевой технологии / А.Н. Остриков, О.В. Обрамов, А.С. Рудометкин – Спб.: ГИОРД, 2004. – 288 с.
3. Герман Х. Шнековые машины в технологии / Пер. с нем. Л.Г. Веденяпиной. – Л.: Химия, 1975. – 232 с.
4. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс / Пер. с нем. Г.П. Делекторского. – Л.: ГХИ 1962. – 467 с.
5. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: монография. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 68 с.
6. Інтернет-ресурс <http://bio174.ucoz.com/>
7. Ким В.С. Теория и практика экструзии полимеров. – М.: Химия, КолосС, 2005. – 568 с.

8. Раувендааль К. Экструзия полимеров / Пер. с англ. Под ред. А.Я. Малкина – СПб.: Профессия, 2006. – 768 с.
9. Проектирование экструзионных машин с учетом качества резинотехнических изделий: монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.Г. Однолинько. – М.: «Издательства Машиностроение – 1», 2007. – 292 с.

Аннотация

ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ВИДЕ БРИКЕТОВ ИЛИ ПЕЛЛЕТ

В.А. Войтов, д.т.н., проф., Н.В. Кравцова, аспирант, В.А. Бунецкий, аспирант

В статье рассмотрен метод исследования реологических свойств влажной биомассы. Проведены экспериментальные исследования по определению оптимальных параметров процесса экструзии растительного сырья.

Abstract

THE INFLUENCE OF RHEOLOGICAL PROPERTIES ON THE PROCESS OF GETTING SOLID FUEL IN THE FORM OF BRIQUETTES OR PELLETS

V.A. Vojtov, doctor of technical sciences, professor, N.V. Kravtsova, post-graduate student, V.A. Bunetskij, post-graduate student

The method of investigation of the rheological properties of wet biomass was considered in the paper. Experimental studies to determine optimal process parameters of extrusion plant material were carried out.