

УДК 629.114.4

О. В. Березюк, к. т. н.

УСТАНОВКА ІЗ ВІБРАЦІЙНИМ ГІДРОПРИВОДОМ ДЛЯ БРИКЕТУВАННЯ ВІДХОДІВ ДЕРЕВООБРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Запропоновано установку для брикетування відходів деревообробної промисловості, що дозволяє підвищити їхню питому теплоємність при використанні як твердого палива. Підвищення ступеня пресування досягається внаслідок застосування в установці вібраційного гідропривода. Встановлено залежність між тиском пресування тирси та її відносною деформацією в процесі брикетування, яку використано для розробки математичної моделі, що дозволяє адекватно описувати процес вібраційного брикетування тирси і дозволяє визначити необхідну ефективну тривалість цього процесу.

Вступ

На сьогодні біомаса посідає чільне місце серед джерел відновлюваної енергії в світі. Понад 17 % енергетичного потенціалу біомаси України займає деревна біомаса, тобто відходи деревини, які утворюються в процесі її технологічної обробки, починаючи від лісозаготівельних робіт і до виробництва кінцевого продукту [1].

В багатьох країнах відходи деревообробки використовують для отримання енергії, оскільки тепла віддача палива, яке отримане з деревної біомаси, цілком відповідає традиційному паливу. Наприклад, одна тонна вугілля може бути замінена 4,2 м³ таких відходів. Значні переваги деревного палива полягають у його екологічній чистоті: деревина не містить сірки, хлору та інших шкідливих для атмосфери елементів. Під час згорання деревина виділяє таку ж кількість CO₂, яка була поглинута при її зростанні. З іншого боку, невикористана деревна біомаса створює небезпеку для природного середовища, тому що, розкладаючись, призводить до викиду в повітря метану, забруднення річок, загибелі флори і фауни.

На сьогоднішній день в Україні величезна маса неперероблених відходів деревини накопичується і зберігається під відкритим небом, що створює загрозу для навколишнього середовища. Переробка відходів деревини вирішує не тільки проблему забезпечення населення дешевими енергоносіями, але й цілий ряд проблем, пов'язаних зі зниженням об'єму шкідливих викидів, зменшенням негативного впливу енергетики на навколишнє середовище, поліпшенням санітарного стану лісових масивів і промислових площ деревообробних підприємств, створенням нових робочих місць.

В Україні потенціал відходів деревини складає понад 6 млн м³, що дозволяє щорічно отримувати при їхньому використанні енергетичний ефект, еквівалентний спалюванню більше, ніж 1,5 млн тонн вугілля.

Основна частина

Залежно від походження деревної біомаси, показники, що характеризують її властивості, можуть істотно відрізнятись. Це ускладнює її ефективне використання для виробництва тепла. Усунення цього недоліку досягається застосуванням технології брикетування — процесу перетворення тирси, стружки, а також кори в зручнішу для зберігання і транспортування форму, а також для збільшення їхньої об'ємної теплоємності. Паливний брикет призначений для спалювання в печах, камінах і в промислових енергетичних установках.

При згоранні тирси або стружки вологістю 15 % виділяється 2,1...2,5 МДж/м³, а паливні брикети підвищують цей показник до 17...21 МДж/м³.

Ціна паливних брикетів в західних країнах коливається в межах 120...200 \$/т, а в Україні — 40...45 \$/т.

Тому актуальною проблемою є забезпечення ефективного брикетування відходів деревообробної промисловості, зокрема тирси.

При брикетуванні залежність між тиском пресування тирси $p_{пр}$ та її відносною деформацією ε можна описати таким співвідношенням:

$$P_{\text{пр}} = e^{A\varepsilon} - 1, \tag{1}$$

де A — емпіричний коефіцієнт.

З метою дослідження процесу брикетування тирси в НДІ гідродинаміки ВНТУ спроектовано та виготовлено експериментальну установку для її вібраційного брикетування з використанням відповідної реєструвальної та вимірювальної апаратури. Схема цієї установки показана на рис. 1.

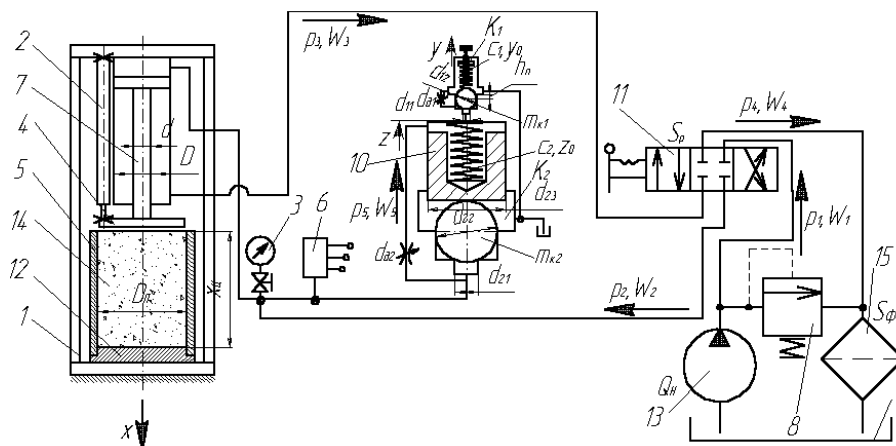


Рис. 1. Розрахункова схема установки для брикетування тирси

Установка для вібраційного брикетування тирси складається з гідронасоса 13 типу НШ-10 ГОСТ 8753-80, запобіжного клапана 8 (20-200-2 ГОСТ 21148-75), манометра 3 (ОБМГн1-160 ГОСТ 8625-65), гідророзподільника 11 (346-ЗКССССССС3), гідроліній, маслобака 9. Головними вузлами установки є двокаскадний генератор імпульсів тиску (ДГІТ) 10, силовий гідроциліндр 7.

Установка працює так. У витягнутий бункер 5, з піднятою у вихідне положення плитою пресування 4, завантажується тирса 14, після чого бункер 5 повертається у початкове положення. Через гідроциліндр 7 у рух приводиться плита пресування 4, яка здійснює пресування тирси 14. При цьому фіксуються покази давача переміщень 2 та давача тиску 6. Подача робочої рідини до виконавчих органів віброустановки здійснюється від насосної станції, у склад якої входять гідронасос 13, маслобак 9, запобіжний клапан 8, фільтр 15.

Запис зміни тиску в напірній магістралі гідроциліндра та величини переміщення плити пресування проводиться за допомогою давачів тиску 6 та переміщення 2 з подальшою реєстрацією на шлейфовому осцилографі та комп'ютері через звуковий адаптер.

Установка дозволяє проводити запис режимів роботи при зміні основних параметрів вібрації:

1. Частоти коливань — зміною подачі насоса через зміну числа обертів асинхронного електродвигуна за допомогою перетворювача частоти струму Altivar 28 (№ ATV28HV29N4).

2. Амплітуди коливань — зміною тиску відкриття клапана — ДГІТ шляхом зміни сили затяжки його пружини.

В результаті проведених експериментів отримано значення емпіричного коефіцієнта A , який входить у вираз (1). Для статичного способу брикетування тирси він складає $A_{\text{ст}} = 27,13$, а для вібраційного — $A_{\text{вібр}} = 23,61$. При цьому тиск пресування складав 2 МПа, а відносна деформація для статичного способу — $\varepsilon_{\text{ст}} = 0,536$, для вібраційного — $\varepsilon_{\text{вібр}} = 0,616$, що відповідає таким значенням коефіцієнтів брикетування (відношення початкового об'єму до брикетованого): $k_{\text{ст}} = 2,155$, $k_{\text{вібр}} = 2,604$ для статичного та вібраційного способів відповідно. Отже, використання вібраційного способу брикетування тирси дозволило збільшити коефіцієнт брикетування на 17,24 %, що підтверджує ефективність використання саме цього способу.

Теоретично описати роботу установки для брикетування тирси можна за допомогою математичної моделі, яка складається із системи диференціальних рівнянь з відповідними граничними умовами.

$$\begin{cases}
 Q_H = \mu S_P \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_{PP}}} + \sigma(p_1 - p_2) + KW_1 \dot{p}_1; \\
 \mu S_P \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_{PP}}} = \dot{x} \frac{\pi D^2}{4} + \sigma(p_2 - p_3) + KW_2 \dot{p}_2 + \dot{z} \pi \frac{d_{23}^2}{4} + \mu \pi \frac{d_{12}^2}{4} \sqrt{\frac{2(p_2 - p_5)}{\rho_{PP}}} + \mu \pi d_{22} z \sqrt{\frac{2p_2}{\rho_{PP}}}; \\
 \dot{x} \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \mu S_P \sqrt{\frac{2(p_3 - p_4)}{\rho_{PP}}} + \sigma(p_3 - p_4) + KW_3 \dot{p}_3; \\
 \mu S_P \sqrt{\frac{2(p_3 - p_4)}{\rho_{PP}}} = k_{\Phi} \frac{p_4}{\mu_D} S_{\Phi} + \sigma p_4 + KW_4 \dot{p}_4; \\
 \dot{z} \pi \frac{d_{23}^2}{4} + \mu \pi \frac{d_{12}^2}{4} \sqrt{\frac{2(p_2 - p_5)}{\rho_{PP}}} = y \pi \frac{d_{13}^2}{4} + \sigma p_5 + KW_5 \dot{p}_5 + 1(y - h_n) \mu \pi d_{12} (y - h_n) \sqrt{\frac{2p_5}{\rho_{PP}}} + \\
 + 1(y) \mu \pi \frac{d_{11}^2}{4} \sqrt{\frac{2p_5}{\rho_{PP}}}; \\
 p_2 \frac{\pi D^2}{4} - p_3 \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = m_P \ddot{x} + \pi DL \frac{v_P}{\Delta} \dot{x} + \left(e^{A_{ВІБР} x/x_{Ц}} - 1 \right) \frac{\pi D_{П}^2}{4}; \\
 p_2 \left[1(y) \frac{\pi(d_{12}^2 - d_{11}^2)}{4} + \frac{\pi d_{11}^2}{4} \right] = m_{к1} \ddot{y} + \frac{8\pi d_{12}^2 v_P}{8\Delta_1 + (4 - \pi) d_{12}} (y)^2 + c_1 (y + y_0); \\
 p_2 \left[1(z) \frac{\pi(d_{23}^2 - d_{21}^2)}{4} + \frac{\pi d_{21}^2}{4} \right] - p_5 \frac{\pi d_{23}^2}{4} = m_{к2} (\ddot{z} + g) + \pi d_{23} L_2 \frac{v_P}{\Delta_2} (\dot{z})^2 + c_2 (z + z_0);
 \end{cases}$$

$$0 \leq \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\} \leq p_{зк}; \quad 0 \leq x \leq x_{max}; \quad 0 \leq y \leq y_{max}; \quad 0 \leq z \leq z_{max}, \quad (3)$$

Під час розроблення математичної моделі роботи установки для брикетування тирси з використанням двокаскадного генератора імпульсів тиску були прийняті такі припущення [2—4]: тиск пресування тирси залежить від її відносної деформації й описується експоненціальною функцією; рухомі частини робочих органів для брикетування тирси прийнято за одномасову систему; робоча рідина прийнята стисливою і характеризується коефіцієнтом стисливості K ; коефіцієнт стисливості робочої рідини змінюється несуттєво зі зміною тиску і тому вважається постійним; витрати робочої рідини на перетікання з області високого тиску в область низького тиску прямопропорційно залежать від перепаду тисків на межі цих областей характеризується коефіцієнтом перетікання робочої рідини σ ; величина тиску в магістралі між фільтром і маслобаком є незначною і до уваги не приймається; сухе тертя в рухомих елементах гідроциліндра та генератора імпульсів тиску не враховуються через відсутність нормальних зусиль в парах тертя, в яких використано ущільнення зазором.

Основні геометричні, кінематичні та силові параметри математичної моделі представлені на розрахунковій схемі, зображеній на рис. 1: p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 — тиски відповідно на виході насоса, на вході гідроциліндра, на виході гідроциліндра, на вході фільтра та в надклапанній порожнині; W_1, W_2, W_3, W_4, W_5 — об'єми трубопроводів між насосом та гідророзподільником, гідророзподільником та входом гідроциліндра, виходом гідроциліндра та гідророзподільником, гідророзподільником та фільтром, дроселем 2 та надклапанною порожниною; Q_H — фактична подача насоса; S_P — площа умовного проходу отвору розподільника; S_{Φ} — площа поверхні фільтрувального елемента; k_{Φ} — питома пропускна спроможність фільтра (на схемі не вказана); μ_D — коефіцієнт динамічної в'язкості (на схемі не вказаний); D, d — діаметри поршня та штока; L — довжина поршня (на схемі не вказаний); Δ — зазор між поршнем та гільзою гідроциліндра (на схемі не вказаний); x — переміщення плити пресування; y — переміщення запірного елемента 1-го каскада ДГПТ; d_{11} — діаметр прохідного каналу 1-го каскада ДГПТ; d_{12} — діаметр запірного елемента 1-го каскада ДГПТ; $m_{к1}$ — маса запірного елемента 1-го каскада ДГПТ; Δ_1 — зазор між запірним елементом та корпусом 1-го каскада ДГПТ (на схемі не вказаний); c_1 —

жорсткість пружини 1-го каскада ДГПТ; y_0 — попередня деформація пружини 1-го каскада ДГПТ; h_n — додатне перекриття запірнього елемента 1-го каскада ДГПТ; d_{d1} — діаметр прохідного вікна дроселя 1-го каскада ДГПТ; z — переміщення запірнього елемента 2-го каскада ДГПТ; d_{21} — діаметр прохідного каналу 2-го каскада ДГПТ; d_{22} — діаметр запірнього елемента 2-го каскада ДГПТ; d_{23} — діаметр плунжера-штовхача 2-го каскада ДГПТ; $m_{к2}$ — маса запірнього елемента 2-го каскада ДГПТ; Δ_2 — зазор між запірнім елементом та корпусом 2-го каскада ДГПТ (на схемі не вказаний); c_2 — жорсткість пружини 2-го каскада ДГПТ; z_0 — попередня деформація пружини 2-го каскада ДГПТ; d_{d2} — діаметр прохідного вікна дроселя 2-го каскада ДГПТ; L_2 — висота запірнього елемента 2-го каскада ДГПТ (на схемі не вказана).

Система диференціальних рівнянь (2) з відповідними граничними умовами (3) є системою нелінійних звичайних диференціальних рівнянь. Для розв'язання цієї системи застосовано чисельний метод Рунге-Кутта-Фельберга, який реалізовано на ЕОМ. Результати чисельного дослідження показані на рис. 2.

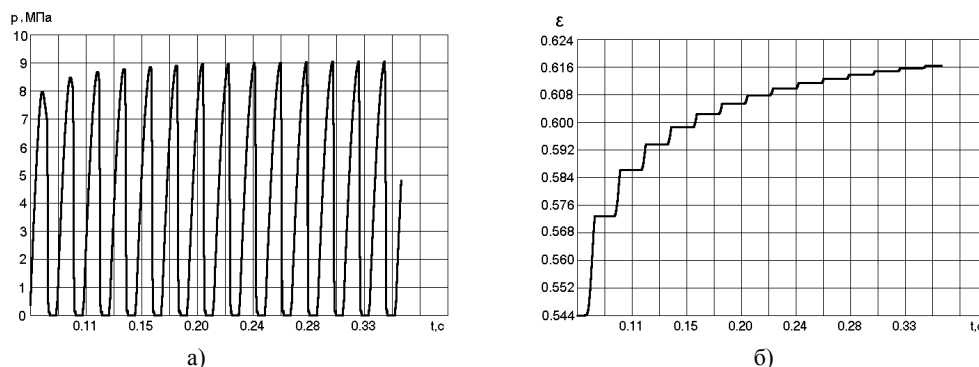


Рис. 2. Результати чисельного дослідження брикетування тирси:
а) зміна тиску гідроциліндра; б) зміна відносної деформації

Аналіз графіків, представлених на рис. 2, показав, що при вібраційному брикетуванні тирси амплітуда коливань робочого органу затухає в процесі пресування, що дає змогу визначити необхідну ефективну тривалість процесу брикетування.

Висновки

1. Встановлено залежність між тиском пресування тирси та її відносною деформацією в процесі брикетування.
2. Експериментально доведено, що використання вібраційного способу брикетування тирси дозволило збільшити коефіцієнт брикетування на 17,24 % порівняно зі статичним.
3. Запропонована математична модель дозволяє адекватно описувати процес вібраційного брикетування тирси і визначити необхідну ефективну тривалість процесу брикетування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сосюрко Ю. В. Переработка отходов древесной биомассы в Украине // Энергоэкология и энергоэнергетика — Режим доступу: <http://www.ecoenergy.ru/Articles/Article20.html>.
2. Машиностроительный гидропривод/ Под ред. В. Н. Прокофьева. — М.: Машиностроение, 1978. — 495 с.
3. Коц И. В. Разработка и исследование клапанов-пульсаторов для гидравлических приводов вибрационных горных машин. — Дис... канд. техн. наук: 05.02.03. — Винница, 1994. — 227 с.
4. Коц І. В., Березюк О. В. Вібраційний гідропривод для пресування промислових відходів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2006. — №5 — С. 146—149.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом Всеукраїнської науково-технічної конференції «Альтернативні екологічно чисті та відновлювальні джерела енергії» (30.05—1.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.06.07
Рекомендована до друку 02.07.07

Березюк Олег Володимирович — старший викладач кафедри менеджменту у будівництві, охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Вінницький національний технічний університет