

УДК 662.8.053.33

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.6>

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ ПІДВИЩЕНОЇ ЯКОСТІ ЗА ЕНЕРГЕТИЧНИМ КРИТЕРІЄМ ВИРОБНИЦТВА

**Д'яконов В.І.** – к.т.н., доцент,

завідувач кафедри екології та біотехнології,

Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

**Бузіна І.М.** – к.с.-г.н.,

доцент кафедри екології та біотехнології,

Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

**Хайнус Д.Д.** – к.е.н.,

доцент кафедри геодезії, картографії та геоінформатики,

Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

Попри значний потенціал рослинних відходів для промисловості, в Україні роботам у цьому напрямку приділяється недостатньо уваги. Україна має високорозвинений сектор сільського господарства, зокрема рослинництва, який щорічно генерує великий обсяг різноманітних відходів та залишків. Використовувати біомасу як паливо необхідно не в останню чергу. Слід враховувати, що в процесі господарської діяльності велика кількість біомаси залишається невикористаною.

У роботі наведено модель оптимізації процесу пресування відходів за енергетичним критерієм під час виробництва паливних брикетів підвищеної якості. Показано, що це складне завдання, переважно багатокритеріальне, тому звести його до однокритеріального досить важко. Для комплексного вирішення цієї компромісної задачі необхідно враховувати безліч обмежень і вимог. Таке завдання ускладнюється розмитим характером факторів, тому класичні методи оптимізації найчастіше є безсилими. Щодо складніша система, то менша ймовірність знайти для неї суворе й оптимальне рішення. Слід зазначити, що сучасна теорія прийняття рішень має великий інструментарій у вигляді розвинутого математичного апарату і сучасних обчислювальних алгоритмів. Евристичні прийоми, що включають досвід і інтуїцію, здібності людини до асоціацій і багато іншого, що лежить за межами математики, грають в цій теорії велику, а іноді і вирішальну роль.

У ході вирішення поставленої задачі показано модель технологічного процесу з ефективною послідовністю технологічних операцій і параметрами оптимального компонентного складу. Відображено основні чинники, що здійснюють істотний вплив на створення структурної композиції твердого багатоконпонентного палива.

Доведено, що пресування є одним з енергоємних процесів і дає можливість зберегти однорідність суміші при перевезеннях, обмежити вплив вологи із повітря на компоненти суміші.

**Ключові слова:** відходи поліетилену, відходи деревини, рослинні відходи, паливні брикети, біопаливо, тверда багатоконпонентна композиція, пресування.

### **Diakonov V.I., Buzina I.M., Khainus D.D. Optimization of the fuel pressure process energy criteria for production of excellent quality**

Despite the considerable potential of plant waste for industry, there is insufficient attention being paid to this work in Ukraine. Ukraine has a highly developed agricultural sector, in particular crop production, which annually generates a large amount of waste and residues. The use of biomass as fuel should not be the least. It should be borne in mind that a large amount of biomass remains unused in the economic process.

In the work, a model of optimization of the process of pressing of waste by the energy criterion during the production of high-quality fuel briquettes is carried out. This has been shown to be a difficult task, and in most cases multicriterian, so reducing it to a single criterion is quite difficult. In order to solve this trade-off problem complexly, many limitations and requirements must be considered. Such a task is usually complicated by the blurred nature of the factors involved, and the classic methods of optimization are often powerless. The more complex the system, the less likely it is to find a solution that is strictly optimal.

*It should be noted that the modern theory of decision-making has a large toolbox in the form of advanced mathematical apparatus and modern computational algorithms. Heuristic techniques, including experience and intuition, human ability to associate, and much more beyond mathematics, play a great, and sometimes crucial, role in this theory.*

*In the process of solving this problem, the model of the technological process with effective sequence of technological operations and parameters of optimal component composition is shown. The main factors influencing the creation of the structural composition of solid multicomponent fuel are reflected.*

*It is proved that pressing is one of the energy intensive processes; it allows preserving the homogeneity of the mixture during transportation and limiting the influence of moisture from the air on the components of the mixture.*

**Key words:** polyethylene waste, wood waste, vegetable waste, fuel briquettes, biofuel, solid multicomponent composition, pressing.

**Постановка проблеми.** Сьогодні частка біомаси в загальній поставці первинної енергії в Україні займає лише 1,2%. Використання біомаси для вироблення енергії вже зараз становить близько половини всіх відновлюваних джерел енергії у світі, у Європі сягає до 70%, Швеції – 64%, Данії та Австрії – 33%. Біомаса, доступна для отримання енергії в Україні, коливається в межах 100–400 млн т у п. рік – майже не задіяний в економіці ресурс, що вимагає інтенсифікації технологічних процесів виробництва паливних брикетів. Так, при заготівлі деревини та її переробці з відходами втрачається близько 50% біомаси. До основних джерел біомаси належать:

- відходи тваринництва;
- рослинні залишки сільськогосподарського виробництва – солома, листя, стружка;
- тверді побутові відходи комунальних господарств міст;
- промислові відходи і побутові відходи міст.

Вирішення завдання отримання високоякісних паливних брикетів на основі місцевої сировини, а також дослідження фізико-механічних властивостей таких матеріалів має велике наукове і практичне значення [1; 2; 8–10].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Можливість використання рослинних залишків для виробництва енергії залежить від характеру переважної культури, якою засівають більші площі, і від кількості залишків, які можуть бути зібрані з одиниці посівної площі. Польові культури дають більше рослинних залишків, ніж овочеві. У грубому наближенні кількість рослинних залишків, що збирають, для даної сільськогосподарської культури можна визначити шляхом множення маси даної культури на характерну для неї частку залишку, що є відношенням сухої маси наземних залишків до маси зібраного з польовою вологістю врожаю. Ці коефіцієнти для основних сільськогосподарських культур становлять: пшениця – 0,47–1,75; кукурудза – 0,55–1,20; бавовна – 1,20–3,0; цукровий буряк – 0,07–0,20.

В Україні 92% ТПВ міст залишаються непереробленими, тоді як у західних країнах частка біогазових установок з переробки даного виду сировини постійно зростає і є досить значною.

З огляду на теоретичні дослідження виробництва паливних брикетів встановлено, що усі стадії виробництва є енергозатратними. Особливо великими затратами характеризуються етапи підготовки сировини до брикетування, що впливає на енергоефективність виробництва та собівартість продукції. Представлені технологічні процеси, підтверджуючи своє значення, цікавлять вчених [1–6].

Виробництво паливних брикетів підвищеної якості – це складне завдання, переважно багатокритеріальне, тому звести його до однокритеріального досить

важко. Для комплексного вирішення цієї компромісної задачі необхідно врахувати безліч обмежень і вимог. Таке завдання ускладнюється розмитим характером факторів, тому класичні методи оптимізації найчастіше є безсилими.

**Постановка завдання.** Мета статті – сформулювати модель оптимізації процесу пресування відходів за енергетичним критерієм під час виробництва паливних брикетів підвищеної якості.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розроблена і запатентована нами технологія та склад палива дозволяють брикетувати із застосуванням різних сільськогосподарських, деревообробних відходів та в'язучої речовини [1–5]. В'язуча речовина повинна з'єднувати рослинні відходи, ізолювати від вологи навколишнього середовища і мати високу теплотдатність.

Для підвищення продуктивності технологічного процесу термообробки діелектричних матеріалів використовують НВЧ-пристрій в режимі хвилі, що біжить. Діелектричний матеріал в таких НВЧ-пристроях рухається в конвеєрному режимі в напрямку, перпендикулярному до напрямку поширення хвилі, що біжить.

Використання таких НВЧ-пристроїв для сушіння дуже вологих рослинних відходів неприйнятне, тому що проникнення мікрохвиль в товщу матеріалу буде незначним. Щоб зробити процес НВЧ-сушіння ефективним і гнучким для всіх рослинних відходів, необхідно усунути цей недолік.

Одним із способів це зробити є комбіноване використання шнекового пресування при тиску 50–60 МПа і НВЧ-сушіння, тобто зневоднення матеріалу до необхідної вологості за допомогою стиснення і інтенсифікація процесу шляхом додаткового НВЧ-енергопідводу при досягненні матеріалом певного рівня вологості. Саме такий процес розглядається в роботах [1–5].

При оптимізації процесу пресування паливної суміші з урахуванням якості отримуваної продукції можна виділити два критерії оптимальності:

- А – питомі витрати енергії на пресування рослинних відходів, кДж / кг;
- К – крихкість брикетів, яка визначається шляхом проведення спеціальних випробувань, % [1; 6–10].

Останній показник характеризує властивість пресованої продукції руйнуватися в процесі транспортування і завантаження в котли.

Якщо ми отримали залежність питомих витрат енергії А від щільності  $\rho$  одержаних брикетів, то задачу оптимізації для конкретного обладнання та виду пресованих брикетів можна звести до однокритеріальної. Отже, критерій А потрібно перевести в головний, а критерію К треба надати статус обмеження.

Математично задача оптимізації пресування паливної суміші для цього випадку записується так:

- функція мети:

$$A = f(\rho) \rightarrow \min . \quad (1)$$

- статус обмеження:

$$0 \leq K \leq [K] \quad (2)$$

$$[\rho_-] \leq \rho \leq [\rho_+],$$

де [K] – допустиме значення крихкості, %;  $[\rho_-]$ ,  $[\rho_+]$  – мінімально і максимально допустимі значення щільності брикетів, кг / м<sup>3</sup>.

Математичних труднощів при вирішенні такого завдання оптимізації не виникає, але потрібна велика кількість трудомістких дослідів в умовах реального виробництва паливних брикетів (визначення функцій  $A = f(\rho)$  і  $K = f(\rho)$ ). При розрахунках необхідно розглянути питання повернення крихти на повторне пресування (рис. 1).

Згідно з рис. 1 здрібнені рослинні відходи подають у змішувач 1, туди ж подають і в'язучу речовину (відходи подрібненого поліетилену) та тиксотропну добавку (розчин шкіряного пилу) із змішувача 2. При такому співвідношенні компонентів масовий % становить: для сировини рослинного походження – 80, для в'язучої речовини – 20 (для подрібненого поліетилену – 18, для шкіряного пилу – 2). Основна концепція пропонованого використання відходів поліетилену полягає в додаванні до складу палива певної екологічно безпечної пропорції поліетилену при виробництві брикетів на основі деревно-рослинної сировини, внаслідок чого досягається збільшення прийнятних і необхідних енергетичних показників теплоти згорання. Компоненти змішують до рівномірного розподілу в'язучої речовини та тиксотропної добавки на поверхні часток рослинних відходів (рис. 1).

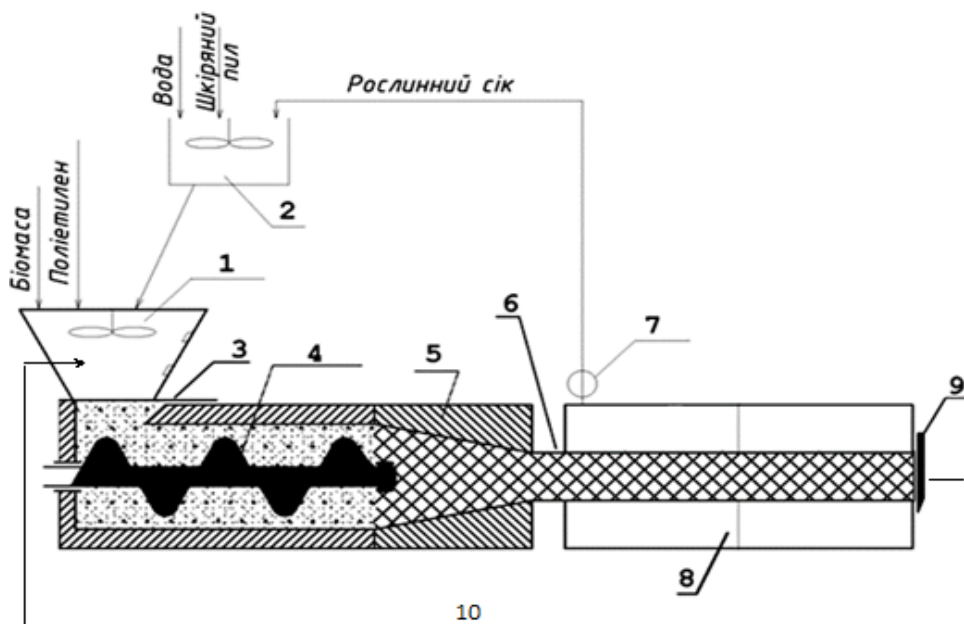


Рис. 1. Спрощена схема виробництва паливних брикетів:

1 – змішувач брикетної суміші; 2 – змішувач тиксотропної добавки; 3 – засувка; 4 – шнековий транспортер; 5 – формуюча головка; 6 – тefлонова труба з отворами; 7 – насос; 8 – камера термообробки типу НВЧ; 9 – ніж та стіл для охолодження брикетів; 10 – шлях повернення крихти до змішувача

Після цього вмикають шнековий транспортер 4 і відсувають засувку 3. Попередньо підготовлена суміш з витратного бункера-змішувача надходить в шнековий прес, де ущільнюється та зневоднюється. Під час переміщення вологого матеріалу значно падає навантаження на шнек, твердіші частинки втискаються у більш пластичні, пресуються, зменшуються в об'ємі, а потім переміщуються через конічну формуючу насадку 5 шнекового преса з утворенням внутрішнього наскрізного поздовжнього отвору в брикеті або без нього. Суміш потрапляє в тefлонову трубу 6 з отворами, яка проходить через НВЧ-піч 8. Відмова від циклічної сушки в камерах і перехід на безперервний конвеєрний спосіб дозволяє істотно підвищити ефективність процесу сушіння [1–5]. Сигароподібний висушений брикет

виходить з тефлонової труби б та розділяється на рівні частини механізмом 9, які потім охолоджують та упаковують. У процесі розділення з'являються крихти, які відправляються на переробку. Шлях повернення крихти до змішувача показано на рис 1. Це істотно підвищує витрати на даний технологічний процес.

$$A = A_1 + A_1 k + A_1 k^2 + \dots = A_1 \left( 1 + \sum_{n=1}^{\infty} k^n \right) \quad (3)$$

де  $A_1(\rho)$  – енерговитрати при одноразовому пропуску 1 кг матеріалу через прес;  $k(\rho)$  – коефіцієнт повернення крихти на повторне пресування.

Співмножник в дужках являє собою нескінченну геометричну прогресію, оскільки:

$$1 + \sum_{n=1}^{\infty} k^n = \frac{1}{1-k};$$

$$A(\rho) = \frac{A_1(\rho)}{1-k(\rho)}. \quad (4)$$

Таким чином, щоб знизити витрати енергії, потрібно зменшити повернення маси на повторне пресування. Цього можна досягти підвищенням щільності брикетів. Однак це підвищує витрати  $A_1(\rho)$ , а також загальні витрати на пресування. Існує така оптимізаційна задача:

$$A_1(\rho) = \frac{A_1(\rho)}{1-k(\rho)} \rightarrow \min$$

$$0 \leq k \leq [k]$$

$$[\rho_-] \leq \rho \leq [\rho_+] \quad (5, 6)$$

Досліджуємо функцію мети на оптимум спочатку без урахування конкретних залежностей  $A_1(\rho)$  і  $k(\rho)$ , а також обмежень (5) і (6).

Видозмінимо спочатку аргумент нашої функції мети, тобто замість щільності  $\rho$  будемо розглядати відносне збільшення щільності:

$$z = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \quad (7)$$

де  $\rho_0$  – початкова щільність матеріалу, що піддається пресуванню.

Це призводить до появи такої еквівалентної оптимізаційної задачі:

$$A(z) = \frac{A_1(z)}{1-k(z)} \rightarrow \min \quad (8)$$

але з більш коректним трактуванням аргументу.

Використаємо класичний метод оптимізації, відповідно до якого відшукаємо похідну виразу (8):

$$\frac{dA}{dz} = \left[ \frac{A_1(z)}{1-k(z)} \right]' = 0. \quad (9)$$

Обчислюємо дану похідну як відношення двох функцій  $A_1(z)$  і 1:

$$\frac{dA}{dz} = \frac{A_1'(1-k) - A_1(1-k)'}{(1-k)^2} = 0 \quad (10)$$

Оскільки в реальності  $(1-k)^2 \neq 0$ , то залишається припустити таке:

$$A_1'(1-k) - A_1(1-k)' = 0 \quad (11)$$

Конкретизуємо вид функцій  $A_1(z)$  і  $k(z)$ . Графік функції  $A_1(z)$  являє монотонно зростаючу функцію, яка може бути апроксимована такою ступеневою функцією:

$$A_1 = az^a, \quad (12)$$

де  $a$  і  $\alpha$  – коефіцієнти, що визначаються експериментально.

Функція  $k(z)$ , як показує аналіз експериментальних даних, може бути представлена такою експоненціальною залежністю:

$$k(z) = e^{-\beta z}, \quad (13)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який визначається експериментально.

Похідні функцій (12) і (13) мають такий вигляд:

$$A_1' = a\alpha z^{a-1}. \quad (14)$$

Отже, рівняння (11) прийме таку форму:

$$a\alpha z^{a-1}(1 - e^{-\beta z}) - az^a \cdot \beta e^{-\beta z} = 0. \quad (15)$$

Спростуючи даний вираз, отримаємо таку формулу:

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{e^{\beta z} - 1}{z}. \quad (16)$$

З даного рівняння і має бути знайдено оптимальне значення  $z$ . Для вирішення трансцендентних рівнянь застосовують графічні або ітераційні методи. Розглянемо графічний метод, що володіє великою наочністю.

Умовно позначимо ліву частину виразу (15) як функцію  $f_1(z)$ , праву –  $f_2(z)$ . Перетин графіків цих функцій і дасть шукане рішення (рис. 2).

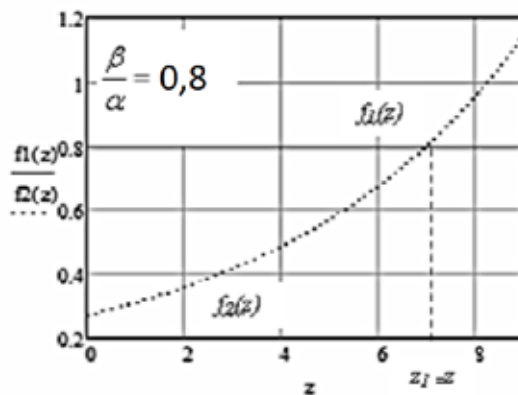


Рис. 2. Графічне визначення приросту щільності паливного брикету

Отриманий результат оптимізації нас задовольняє. Більш точні результати можуть бути отримані чисельним методом оптимізації.

**Висновки і пропозиції.** Оптимізація процесу пресування повинна виконуватися за критеріями мінімальної енергоємності і максимальної щільності гранул для забезпечення низької крихкості. При вирішенні даної оптимізаційної задачі нами були використані технологічні особливості даного процесу. Рішення ми знайшли, звівши двокритеріальну задачу до однокритеріальної за критерієм енергетичних витрат.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення : монографія / О.С. Полянський, О.В. Дьяконов, О.С. Скрипник, Г.В. Фесенко, В.І. Д'яконов, Ю.В. Харченко, А.С. Торосов, В.В. Волощенко. Харків : Харківський нац. ун-т міського господарства імені О.М. Бекетова, 2017. 136 с.
  2. Пат. 117937 Україна, МПК C10L 5/40. Гнучка технологічна лінія для виготовлення паливних брикетів / О.В. Дьяконов, В.І. Д'яконов, О.С. Полянський, В.М. Горобець, О.І. Коваленко ; заявник і патентовласник Харківський нац. ун-т міського господарства імені О.М. Бекетова, № 201701568 ; заявл. 20.02.2017 ; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13. с. 6.
  3. Д'яконов В.І., Скрипник О.С., Дьяконов О.В. Утилізація рослинних і деревних відходів паркової зони міста. *Комунальне господарство міст* : наук.-техн. зб. ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Харків, 2015. Вип. 124. С. 49–52.
  4. Особливості функціонування гнучких технологій переробки рослинних та деревинних відходів / В.І. Д'яконов, О.С. Скрипник, О.В. Дьяконов. *Строительство, материаловедение, машиностроение* : сб. научн. трудов. Днепропетровск : ПГАСА, 2015. Вып. 83. С. 113–117.
  5. Вплив вологості деревних відходів на фізико-механічні властивості біокомпозитів / В.І. Д'яконов, О.В. Дьяконов, О.С. Скрипник, О.Ю. Нікітченко. *Комунальне господарство міст* : наук.-техн. зб. ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Харків. 2016. Вип. 128. С. 53–57.
  6. Садов В.В. Экспертная оценка комбикормовых агрегатов на основе нечетких множеств. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017. № 9 (155). С. 179–185.
  7. Садов В.В. Энергосберегающие технологии при производстве комбикормов. *Аграрная наука – сельскому хозяйству* : сборник статей IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 кн. Барнаул : Изд-во АГАУ, 2009. Кн. 1. С. 291–294.
  8. Садов В.В. Обоснование структуры и состава технологических линий для производства комбикормов в сельскохозяйственных предприятиях : автореферат дис. ... докт. техн. наук. Барнаул 2017. 87 с.
  9. Семенов С.С. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем. Москва : ООО «ЛЕНАНД», 2015. 520 с.
  10. Семенов С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем: практика применения метода экспертных оценок. Москва : «ЛЕНАНД», 2015. 52 с.
-