

УДК 631.363

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА

Федорейко В.С., д.т.н.,

Іскерський І.С., аспірант\*,

*Тернопільський національний педагогічний університет*

*ім. Володимира Гнатюка*

Тел. (0352) 43-57-77

**Анотація** – проведено аналіз характеристик двохкомпонентного твердого біопалива та запропоновано передумови створення системи керування технологічним обладнанням потокової лінії продукування брикетів.

**Ключові слова** – тверде біопаливо, компонент, дозатор, температура плавлення, зольність, теплотехнічні характеристики.

*Постановка проблеми.* Одним з пріоритетних напрямків зменшення обсягів використання традиційних енергоресурсів є використання твердого біопалива на користь якого свідчать економічні, технічні та екологічні чинники.

Впровадження теплотехнічного обладнання, працюючого на даному виді палива характеризується малим терміном окупності, відсутністю викидів в атмосферу сполук сірки, хлору та інших шкідливих елементів, річним циклом відновлення енергетичного потенціалу сировини [1].

Перспективною сировиною для виготовлення твердого біопалива є солома зернова, відходи елеваторної промисловості (продукти очистки зерна) та насінневих заводів (кукурудзяні качани). За своїми енергетичними характеристиками вони майже адекватні. Як відомо, по своїй теплотворній здатності 2,7–2,9 тони вказаної біомаси еквівалентні 1000 м<sup>3</sup> природного газу. На сьогодні солома, качани кукурудзи та відходи не є товарним продуктом, що має свою конкретну ціну. В кожному конкретному випадку ціна залежить від регіону України і корелює в межах 150 ... 300 грн. за тону. Це на порядок нижча ціна від природного газу, мазуту, пічного палива – традиційних для АПК джерел енергії.

Тому пошук раціональних способів продукування біопалива

---

© д.т.н., проф. Федорейко В.С., асп. Іскерський І.С.

\* Науковий керівник – д.т.н., проф. Федорейко В.С.

з характеристиками, що задовольняють теплогенеруючі установки є надзвичайно актуальною задачею для агропромислової енергетики.

*Аналіз останніх досліджень.* За розрахунками НАНУ використання біомаси з річним циклом відновлення енергії, наприклад соломи (в межах 20% щорічно втрачається такий об'єм), дозволить повністю забезпечити потреби сільського населення в теплоелектроенергії [2].

Теплоенергетики, як правило, оговорюють дві основні характеристики твердого біопалива із соломи і відходів: вологість, яка не повинна перевищувати 15% і вміст лужних металів, які зменшують температуру розщеплення і плавлення палива, що призводить до появи значних шлакоутворень на внутрішній поверхні камери згоряння. Оплата при дотриманні вищезгаданих вимог здійснюється в залежності від теплоти згоряння твердого біопалива, яка коливається в межах 14–16 мДж/кг.

Одним із перспективних шляхів покращення теплоенергетичних властивостей твердого біопалива є його багатоконпонентність, яка дозволяє:

- а) зменшити кількість золи;
- б) підвищити температуру розщеплення і плавлення біомаси;
- в) знизити вологість біопалива.

Дослідження в цьому напрямі засвідчили, що на даному етапі розвитку біоенергетичних зусиль в галузі продукування твердого біопалива найперспективнішою технологією є потокова лінія виробництва брикетів серії "Wektor" (Польща) на базі пресів ударного типу. На користь вказаної технології говорить багато факторів: ціна обладнання, якість продукції, продуктивність, енергоємність, металоємність, розповсюдженість (сервісні можливості). Вона сертифікована в Євросоюзі і є найбільш розповсюдженою в Польщі, Чехії, Румунії, Україні, Білорусії, Росії. [3] Загальні витрати на виробництво 1 тони брикетів за допомогою лінії "Wektor" коливається в межах 300–400 грн. за тону, в залежності від ціни сировини. При цьому енерговитрати на тону не перевищують 50 грн.

*Формулювання мети статті.* Наші зусилля були направлені на пошук раціонального з точки зору застосування в теплогенераторах двохкомпонентного твердого біопалива.

Об'єктом дослідження були процеси виготовлення багатоконпонентних брикетів з метою визначення їх оптимального складу і формулювання вимог до існуючого технологічного обладнання.

*Основна частина.* Нами проведенні випробування діючого обладнання заводу по виготовленню твердого біопалива в м. Скалат, Тернопільської обл.

В якості компонентів використовувались подрібнені качани кукурудзи з різним модулем помолу та подрібнена солома пшенична "сіра". Отримане тверде біопаливо виготовлялось в різних варіантах. На рис. 1 ...4 показано брикети як однокомпонентні – рис. 1 – подрібнені кукурудзяні качани, рис. 2 – подрібнена пшенична "сіра" солома ( $K_2, C_2$ ), так і в двокомпонентному варіанті – рис. 3 (в пропорції  $K_2/C_2 - 3/1$ ), рис. 4 (в пропорції –  $K_3/C_3 - 4/1$ ).



Рис. 1. Брикет з подрібнених кукурудзяних качанів.



Рис. 2. Брикет з подрібненої пшеничної соломи "сірої".



Рис. 3. Двокомпонентний брикет в пропорції  $K_2/C_2$ .



Рис. 4. Двокомпонентний брикет в пропорції  $K_3/C_3$ .

Досліди показали, що брикети, виготовлені з подрібнених качанів кукурудзи при позитивних теплоенергетичних характеристиках не відповідають вимогам транспортування і зберігання готової продукції по причині відсутності у брикеті лігніну, який є природним скріплювачем продукції. Міститься він в достатній кількості в соломі і при його відсутності брикети повністю втрачають товарні характеристики.

Брикети з соломи (рис. 2), при позитивних товарних характерис-

тиках, мають підвищений вміст золи (до 4,5%) та низьку температуру деформації і розщеплення біомаси (близько 1000°C), що значно погіршує їх теплотехнічні властивості.

В той же час двокомпонентне паливо, завдяки наявності взаємно доповнюючих характеристик, має кращі товарні та теплотехнічні показники. Причому наявність другого компоненту (подрібнених качанів кукурудзи) призводить до зменшення зольності палива до (2,3%) та підвищення температури плавлення біомаси до 1300°C, що позитивно впливає на експлуатацію теплогенераторів (табл. 1).

Таблиця 1 - Характеристики палива.

Характеристики палива	Однокомпонентні		Двокомпонентні	
	K <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	K <sub>2</sub> / C <sub>2</sub>	K <sub>3</sub> / C <sub>3</sub>
Вологість, %	12,5	20	15,5	14,5
Зола	1,7	4,5	2,5	2,3
Летючі компоненти	67	77	71	70
Сірка	0,07	0,13	0,09	0,08
Теплота згоряння, Ккал/кг	4450	4200	4400	4500
Температура золи, °C:				
Деформація розщеплення	–	1000	1100	1100
розплавлений стан	–	1100	1200	1150
	–	1250	1300	1300

В табл. 1:

K<sub>1</sub> – качани кукурудзи з модулем помолу 5,0 мм;

C<sub>1</sub> – солома пшенична "сіра" з модулем помолу 30 ... 50 мм;

C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> – солома пшенична "сіра" з модулем помолу 30 ... 50 мм і масою 1 кг;

K<sub>2</sub> – качани кукурудзи з модулем помолу 1,5 мм і масою 3 кг;

K<sub>3</sub> – качани кукурудзи з модулем помолу 5,0 мм і масою 4 кг.

Задекларована нами технологія приготування двокомпонентного твердого біопалива [3] передбачає безперервне дозування сировини в прес з подальшим продукуванням брикетів. Структурна схема технологічної лінії показана на рис. 5.

Використання потокових ліній продукування двокомпонентного твердого біопалива прискорює технологічний процес та зменшує експлуатаційні затрати на 30–40% порівняно з обладнанням порційної дії еквівалентної продуктивності [1].

Задача безперервного дозування компонентів біопалива зводиться до послідовного формування доз заданої величини за проміжок часу, величина якого визначається робочим об'ємом змішувача. Оскільки потоки компонентів є випадковими функціями то для компенса-

ції похибки дозування з метою визначення оптимальної рецептури багатокomпонентного біопалива підбирають необхідні значення параметрів дозаторів та змішувача.

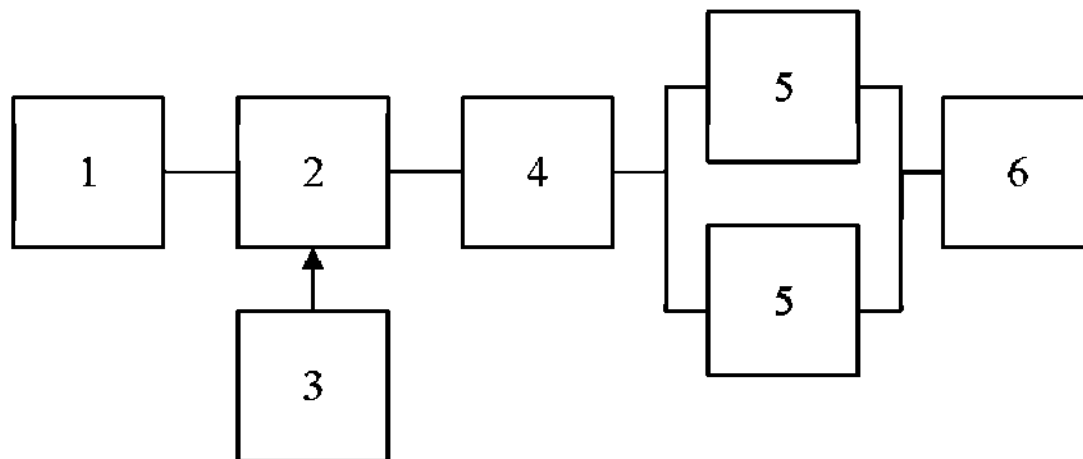


Рис. 5. Структурна схема потокової лінії приготування двохкомпонентного твердого біопалива: 1 – подрібнювач соломи; 2 – дробарка; 3 – дозатор 2-го компоненту; 4 – силос-дозатор біопалива; 5 – преси; 6 – накопичувач готової продукції.

Аналіз процесів у технологічних лініях з наперед заданою структурою й вибраним складом обладнання проводиться на основі досліджень характеристик потоків компонентів, що формуються дозаторами і побудові автокореляційних функцій. Їх вигляд дозволяє визначити стаціонарність та ергодичність процесів, а параметри – придатність вибраного дозатора до потокової лінії з конкретним змішувачем.

Спектральні щільності потоків біомаси визначаються безпосередньо за вихідними реалізаціями за допомогою розробленої нами методики [4] і подаються як графічні залежності дисперсії від частоти коливань окремих компонентів. Запропонований нами аналіз спектрів полягає у визначенні діапазонів змін частот коливань потоків біомаси та сумарної дисперсії (або середньоквадратичного відхилення) потоку кожного компонента.

Першою умовою відповідності обладнання є відсутність у спектрі дисперсії потоку з частотою меншою від критичної частоти  $\omega_{кр}$ , яка визначається характеристикою змішувача

$$\omega_{\min} \geq \omega_{кр} = 2\pi(\Delta t)^{-1}, \quad (1)$$

де  $\omega_{\min}$  – частота низькочастотних флуктуацій;  $\omega_{кр}$  – частота пропускання дозатора,  $\Delta t$  – час дози.

Для поліпшення рівномірності подачі компонентів палива використовуються різноманітні механічні пристрої, розробляються нові конструкції машин, системи автоматичного регулювання витрат, але досягти заданих показників не вдається. Це пов'язано з тим, що в процесі дозування відхилення від заданої продуктивності часто відбуваються через неконтрольовані причини, які неможливо усунути або передбачити. До того ж, як правило, доробки що проводяться на окремому обладнанні, не призводять до покращення якості суміші [1].

При потоковій технології необхідне покращення системи керування технологічним процесом. Відомі проекти спрямовані на удосконалення окремих елементів системи автоматичного керування (САК) для підвищення точності дозування і рівномірності подачі біомаси. Для цього використовуються регульовані електроприводи, первинні перетворювачі витрат компонентів біопалива і регулятори. Впровадження таких структур САК дозволяє підвищити якість сумішей і знизити витрати електроенергії порівняно з системами дистанційного керування.

Ефективність процесу поточного приготування сумішей з точки зору раціонального використання енергії характеризується як показниками готової суміші, так і питомими витратами електроенергії на її приготування. Від додержання рекомендованого за рецептом вмісту у суміші виду палива залежить ефективність її використання в теплогенераторах. А ступінь завантаження електродвигунів дозаторів та змішувача головним чином впливає на питому енергоємність процесу, яка визначається за формулою

$$E = \sum^n E_i + E_{3M}, \quad (2)$$

або

$$E = \sum_i^n \frac{P_i}{Q_i} + \frac{P_{3M}}{\sum_i^n Q_{3M}}, \quad (3)$$

де  $i$  – номер компонента;  $n$  – кількість компонентів;  $E_i$  – питома енергоємність  $i$ -го компонента, кВт.год  $t^{-1}$ ;  $Q_i$  – маса  $i$ -го компонента;  $T_{3M}$  – енергоємність процесу змішування, кВт.год  $t^{-1}$ ;  $P_i$  і  $P_{3M}$  – втрати електроенергії при дозуванні  $i$ -го компонента і змішуванні суміші відповідно, кВт.год.

Витрати електроенергії пропорційні потужності, що споживається електроприводами з мережі, залежать від продуктивності робо-

чих машин. Режими навантаження електродвигунів у поточних лініях характеризуються значною нерівномірністю, тому враховуючи випадковий характер навантаження, викликаного характером потоку  $Q(t)$  нами отримані сумарні змінні втрати електроенергії в електроприводі дозаторів

$$\sigma A_{\Sigma} = 4J_{\Sigma} (\omega_3 \sigma_{\omega} + \sigma_{\omega}^2), \quad (4)$$

де  $\sigma A_{\Sigma}$  – сумарні втрати енергії;

$J_{\Sigma}$  – момент інерції активних органів дозатора;

$\omega_3$  – задана швидкість приводного двигуна;

$\sigma_{\omega}^2$  – дисперсія швидкості електропривода,  $\text{с}^{-2}$ .

З (4) можна зробити висновок, що втрати електроенергії в електроприводі визначаються величиною інерції механізму шнекового дозатора, заданою швидкістю двигуна, а також її дисперсією, збільшення якої приводить до росту витрат електроенергії.

В ході досліджень процесу дозування компонентів біопалива нами доказано, що при зростанні  $\sigma_{\omega}^2$  практично зростає  $\sigma_Q^2$ , зменшення якої приводить до економії енергії. А також покращує збалансованість суміші біопалива.

*Висновки.* Найбільш перспективним для теплогенераторів є двохкомпонентне біопаливо в якому використані позитивні властивості компонентів: солома – наявність лігніну, подрібнені качани кукурудзи – менша зольність і вища температура горіння.

Суміш біопалива в пропорції  $K_3/C_3$  є критичною з точки зору отримання товарного продукту. При зменшенні пропорції соломи (лігніну) в брикеті вони втрачають свої товарні характеристики і непридатні до транспортування та використання в теплотехнічних установках.

Статистичний аналіз роботи дозаторів дозволяє створити передумови побудови САК потокової лінії продукування двохкомпонентного твердого біопалива за вказаними рецептами з можливістю раціонального використання електроенергії в регульованому електроприводі дозаторів.

#### Література

1. Корчемний М.О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М.О. Корчемний, В.С. Федорейко, В.П. Щербань. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. – 984 с.

2. Біопаливо. Технології, машини і обладнання / М.О. Корчемний [та ін.]. - К. : ЦТІ „Енергетика і електрифікація”, 2004. – 256 с.

3. Федорейко В.С. Регулювання продуктивності дозаторів в те-

хнології брикетування біомаси / В.С. Федорейко, І.С. Іскерський // "Енергетика і автоматика". Електронне наукове фахове видання. – Стаття № 8. – 2010. – 5 с ; Режим доступу : <http://www.nbuuv.gov.ua/e-journals/eia/index.html>.

4. Федорейко В.С. Енергетично ефективні режими роботи регульованого асинхронного електропривода / В.С. Федорейко // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль : ТДТУ, 2004. – Вип № 3, т. 9. – С. 83–90.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ТВЕРДОГО БИОТОПЛИВА

Федорейко В.С., Искерский И.С.

**Аннотация** – проведен анализ характеристик двухкомпонентного твердого биотоплива и предложены предпосылки создания системы управления технологическим оборудованием поточной линии продуцирования брикетов.

## INVESTIGATION OF COMPOSED FUEL'S BIOFUELS CHARACTERISTICS

V. Fedorejko, I. Iskerskyi

### *Summary*

The analysis of the two-components biofuel's characteristics is provided and the reasons of the control system in processing equipment of the flow line's production briquettes are determined.