

О.С. Полянський¹, О.В. Дьяконов², В.І. Д'яконов³, О.С. Скрипник³, Д.В. Сарабун³

¹ Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

² Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна

³ Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ УДОСКОНАЛЕНОЮ ГНУЧКОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

Встановлено, що існуючі технології виробництва паливних брикетів енерговитратні і використовують до 60% енергії на сушіння та брикетування біомаси. Виготовлені брикети гігроскопічні з малою тепловою здатністю та міцністю. Виконано класифікацію технологічних процесів брикетування біомаси ведучих світових фірм. Встановлено що застосування НВЧ технологій дає можливість отримати готовий продукт більш високої якості.

Ключові слова: паливні брикети, рослинні та деревні відходи, технологія виготовлення.

Постановка проблеми

Переробка місцевих деревних і рослинних відходів в тверде паливо є привабливим методом. Огляд і аналіз причин та факторів, що впливають на параметри якості та безпечність використання паливних брикетів мають безпосередній вплив на подальші зміни кінцевого продукту процесу брикетування.

При переробці відходи подрібнюються, сушаться, низькокалорійні відходи змішуються з висококалорійними для підвищення однорідності та пресуються в брикети, але це дуже енергозатратні операції.

Аналіз процесів виробництва брикетованого палива та конструкцій машин для брикетування досить розповсюджена тема наукових видань. Разом з цим в одних публікаціях більше уваги надається енергозатратним технологічним процесам [1-8], в інших – технічним засобам [8, 9].

Технологія виробництва брикетів передбачає виконання таких технологічних процесів як подрібнення біосировини, сушіння, брикетування, охолодження, фасування. Брикети виготовляють різноманітної форми, яка у більшості випадків має прості конфігурації, з різної рослинної сировини (рис.1, 2), але це виробництво енергозатратне і має недостатню якість. Оптимальна вологість біосировини перед пресуванням у брикети має бути 8...12 %, фракційний склад – 1... 3 мм [2, 4, 5, 7].

Метою даної роботи є формування енергозберігаючої гнучкої технології виробництва паливних брикетів підвищеної якості.

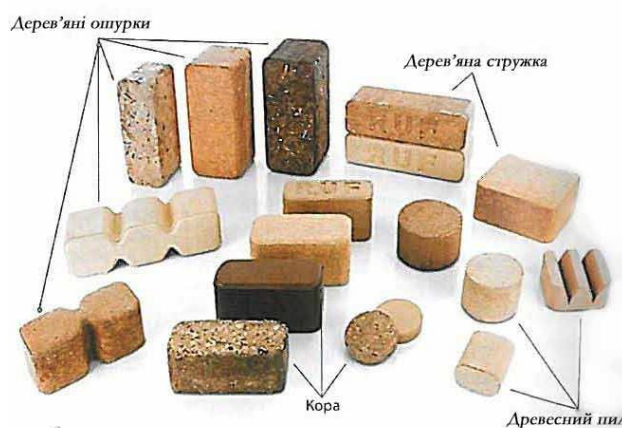


Рис. 1. Види форм та конфігурацій паливних брикетів з деревинної сировини

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Економічна доцільність вибору рослинних та деревинних відходів ґрунтується на тому, що використовуються дешеві, здебільшого, неліквідні відходи, об'єми утворення яких на території України мають значний обсяг. Неліквідні відходи нерозривно пов'язані з мікробіологічною компонентою, складеною з широкого спектру бактерій, мікроскопічних грибів та продуктів їхньої життєдіяльності. Така біологічна компонента супроводжує кожен природний процес розкладання речовини, та при використанні брикетованого палива це спричиняє значні складнощі у транспортуванні, зберіганні готової продукції а також безпосередньо при спалюванні її.



Рис. 2. Види форм та конфігурацій паливних брикетів з сировини різного походження

При вивченні мікрофлори зразків відходів соняшника, кукурудзи, соломи, сіна під час збирання й після 4–5 місяців зберігання було встановлено, що відібрані зразки найчастіше засіяні спорами грибів родів *Alternaria tenuis*, *Aspergillus fumigatus*, *Mucor*, *Penicillium sporotrichiella*, рідше – *Fusarium chaetoniium*, *Scopulariopsis*, *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Slachylobotris*. Доведено, що в разі зволоження соломи та відходів соняшника під час збирання або зберігання зростає як видовий склад флори грибів, так і ступінь ураженості. Наймасовіший вид *Alternaria tenuis* вражав до 85 % сіна і до 100 % соломи та відходів соняшника [10, 11].

Мікробіологічний аналіз багатьох видів сировини – відходів соняшника, соломи, свіжої та висушеної трави показав, що найбільша зараженість пліснявими грибами встановлена для соломи та сухої трави. Усього було виділено 55 штамів різних видів грибів. Серед них представники *Trichoderma* і *Alternaria* переважали в зразках зерна, *Aspergillus* – у сіні, *Fusarium* – у макусі. Штам *Aspergillus niger* виявляли в усіх досліджених продуктах, *Alternaria alternata* – в усіх зразках, крім свіжої трави. Частіше за інші види виявляли представників *Aspergillus flavus*, *Aspergillus terreus*, *Penicillium cuclopium*. Автори роблять висновок, що зараження сировини мікроскопічними грибами або їхніми метаболітами може слугувати причиною респіраторних, кишкових і нервових захворювань людини при використанні брикетів із рослинної сировини [12-14].

Встановлені також сезонні варіації популяції аеробних бактерій і концентрацій ЕТ в органічному пилу з відходів рослинної сировини. Бактеріальний аналіз пилу показав, що грам-негативні бактерії не переважають над загальною кількістю мікроорганізмів [15]. Зниження рівнів загальної кількості мікроорганізмів спостерігається в серпні, а підвищення починається з листопада. Концентрації грам-негативних бактерій збільшуються до березня й зменшуються до жовтня. Вид *Enterobacter* домінував серед грам-негативних бактерій у січні,

Pseudomonas однаково виявлявся в усі періоди року.

Дослідження шести видів заготовленої деревини, що виконані в США, показали, що кора зазвичай містить велику кількість грам-позитивних бактерій і цвіль, а внутрішня деревина (заболонь і серцевина) містить велику кількість грам-негативних бактерій та дріжджів [16]. Вторинна інфекція ушкоджує деревину при подальшій обробці (тирса, дошки), або зберіганні в умовах, які сприяють зростанню мікроорганізмів. Це характеризується рясним зростанням цвілі, що небезпечно для людини при спалюванні паливних брикетів.

Виклад основного матеріалу

Дослідження показують, що концентрації та видовий склад мікроорганізмів при переробці деревини можуть варіювати значною мірою залежно від виду деревини, що обробляється, регіону та місця її зростання, технології виробництва та інших умов. Забруднення повітря робочої зони при переробці деревини мікроорганізмами значною мірою залежить від ураження мікроорганізмами деревини, тобто первинної інфікованості, що визначає кількість та якість мікроорганізмів, що контамінує деревину залежно від виду рослини та умов зростання, та вторинної інфікованості, що формується в процесі зберігання, транспортування, технології виробництва та ін. [15,16].

Технології виробництва паливних брикетів розділяють за назвою компанії, що виготовляє устаткування для брикетів. Таким чином, виділяють брикети RUF, NESTRO і Pini-Ray.

До недоліків RUF технології виготовлення паливних брикетів можна віднести те, що брикети малостійкі до вологи, що вимагає більш щільної і якісної їх упаковки. Брикети, виготовлені таким способом, мають проблеми з міцністю. В ряді випадків лігнін не здатний утримувати деревні частинки разом і отримані брикети розпадаються на великі частини. Брикети погано переносять тривале зберігання особливо при далеких перевезеннях, та коливаннях температури поблизу 0°C. Ці брикети в Європі дуже мало використовують на промисловому ринку, не користуються вони широким попитом і на внутрішньому ринку.

При NESTRO технології так само, як і в першому випадку, собівартість виготовлення цього виду паливних брикетів невелика, оскільки відбувається економія на витратах на виробництво. Брикет крихкий та не терпить вологи, що негативно позначається на транспортуванні та коливаннях температури, але на внутрішньому ринку України найчастіше використовується. Приклад зберігання брикетів без упаковки наведено на рис. 3



Рис. 3. Паливні брикети виготовлені по технології NESTRO після зберігання без упаковки.

Паливні брикети виготовлені по технології NESTRO після транспортування на відстань 120 км у вологу погоду показано на рис. 4.



Рис. 4. Паливні брикети виготовлені по технології NESTRO після транспортування у вологу погоду в негерметичній упаковці, помітна цвіль.

Паливні брикети виготовлені по технології NESTRO після зберігання при значних коливаннях температури від - 20 до +7 С показано на рис. 5

До недоліків шнекового способу Pini-Kay технології пресування слід віднести високі експлуатаційні витрати і низький операційний час завантаження обладнання. Причин цьому декілька: значне спрацювання шнека і, як наслідок, необхідність зупинок для його заміни; необхідність ручного контролю декількох параметрів. Для виконання перелічених робіт необхідний кваліфікований персонал, внаслідок чого має місце високий вплив людського фактору.

Поверхнева термообробка «оплавлення» брикету надає поверхневу міцність, але не створює міцну матрицю всередині матеріалу, де залишаються бактерії і цвіль. В той час такі брикети охоче купують країни Європи. В цих трьох існуючих технологіях в якості зв'язуючого використовується природний полімер-лігнін, який знаходиться в біосировині. Лігнін проявляє

пластичні властивості при підвищеному тиску і температурі, особливо у вологому стані, але має вибіркове ставлення до сировини: не більше 50% деревини м'яких листяних порід; кори не більше 5%, сировина не повинна бути старою (лежаною), а вологість перед пресуванням повинна бути в межах 12-14% та інше.



Рис. 5. Паливні брикети виготовлені по технології NESTRO після зберігання при значних коливаннях температури, помітна цвіль.

Проведений аналіз цих трьох основних технологій свідчить, що мала теплотворна здатність, значний вміст пилу, дрібних частинок та прихованих бактерій і цвілі у брикетах ознака поганої якості, малої механічної міцності і швидкого стирання. Цей показник важливий під час транспортування, зберігання і подачі брикетів в котел для спалювання, оскільки може бути причиною втрат під час завантажувально-розвантажувальних робіт, зменшення їх маси. Крім того, під час спалювання в малих котлах дрібна фракція засмічує подавальні шнеки, перешкоджає подачі кисню і таким чином може призвести до зниження ККД котла під час спалювання і навіть пошкодження дорогоцінного обладнання. Проведений нами енергетичний аудит цих технологій показав, що найбільші затрати енергії на лінії виробництва твердого біопалива наступні: подрібнення до 16%, сушіння до 70%, ущільнення до 17%. Потрібна нова технологія виробництва паливних брикетів підвищеної якості (рис 6). Мікрохвильові технології (енергії) можуть бути задіяні в процесах сушіння різних матеріалів і продуктів. А саме впровадження конверсійних технологій в невійськові галузі промисловості, які в нашій країні здійснюються повільно, цей, потенціал залишається незатребуваним.

Особливістю взаємодії хвиль НВЧ – діапазону та вологих рослинних відходів є аномальне високе поглинання НВЧ – енергії водою. НВЧ-випромінювання буде одночасно однаково впливати і на гідроксили макромолекул целюлози і на молекули води. Поглинання енергії випромінювання поділяється на обидва компонента, що призводить до збільшення власної теплової енергії в залежності від

ступеня їх рухливості [17-19].

Тому НВЧ-випромінювання буде впливати на фізично пов'язані молекули води, що знаходяться в квазівільні стані, також, як на вільні. Нами прийнято допущення, що молекули води утворюють водно-водневого зв'язку з усіма компонентами деревини так само, як з целюлозою.

Відповідно максимальний кількісний вміст фізично зв'язаної вологи в деревині визначається хімічним складом деревини при утворенні граничного числа водно-водневих зв'язків компонентів деревини з молекулами води. Разом з цим для надання міцності та тепло здатності брикету необхідно використовувати сторонні зв'язуючі. Така речовина для брикетування має задовольняти ряду істотних вимог:

- володіти доброю зв'язуючою здатністю і надавати брикетам достатню міцність, теплоздатність та вологонепроникність при їх невеликій витраті;
- швидко скріплювати і надавати брикетам стійкість в літній час року;
- бути нешкідливим як при виробництві брикетів, так і при їх використанні;
- бути недорогими і не ускладнювати процес брикетування.

В цьому випадку процес вибору здійснюється з альтернатив з суперечними параметрами.

Найбільш розробленим є критеріальний підхід, який передбачає, що кожну альтернативу можна оцінити кількісно, за визначеним критерієм. На основі комплексного вищезазначеного дослідження проблем виробництва паливних брикетів із рослинних відходів та оптимізації вибору зв'язуючого нами запропоновано [22] використовувати в якості сполучного відходи поліетилену. Тепловорна здатність нетоксичного поліетилену досить висока 46,5 МДж/кг (бензину 47). Тобто ми значно підвищимо тепло здатність паливного брикету за рахунок енергетичного зв'язуючого. Активатором цього процесу обрано пил шкіри. Вирішуючи проблеми адгезії та міцності паливного брикета, а також виконаний патентний пошук дозволив вирішити проблему стабілізації суміші та підвищення теплоздатності паливного брикета. В матеріал рослинного походження додається крім зв'язуючого (відходи поліетиленової плівки) ще тиксотропну добавку – відходи виробництва шкіряної сировини – шкіряний пил при такому співвідношенні компонентів, мас. %: сировина рослинного походження – 80, в'язуче – 20 (подрібнений поліетилен – 18, шкіряний пил – 2).

Існуюча технологія виробництва паливних брикетів



Технологія виробництва паливних брикетів підвищеної якості

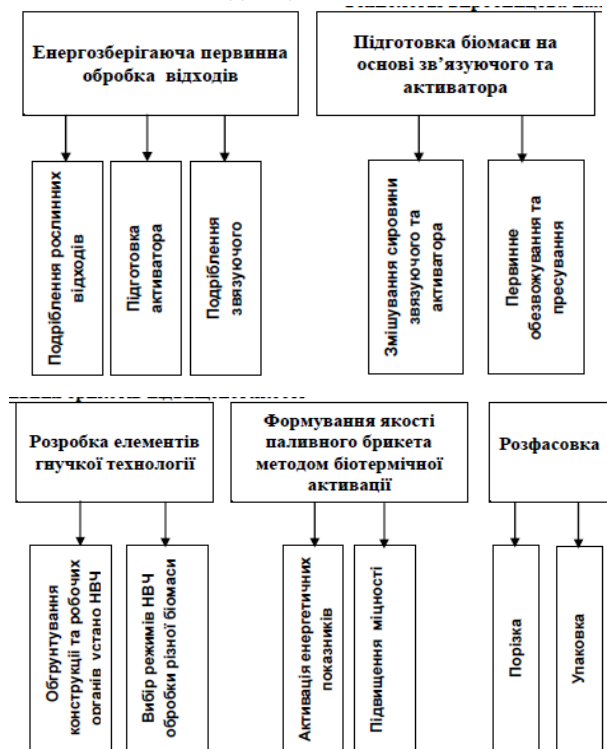


Рис.6 Формування енергозберігаючої гнучкої технології виробництва паливних брикетів підвищеної якості

Однак для вирішення проблеми підвищення якості паливних брикетів необхідно було дослідити особливості поведінки рослинних відходів при

мікрохвильовому впливі. З метою збільшення продуктивності та ефективності сушіння і з'єднання з поліетиленом рослинних відходів нами розроблено агрегат гнучкої безперервної дії з подачею вихідної сировини конічним обертовим шнеком, що створює тиск достатній для часткового обезвоження та

стиснення відходів і подачі в НВЧ пристрій, який дозволяє збільшити швидкість досягнення в'язкотекучого стану і стадії затвердіння за рахунок передачі енергії електромагнітного поля практично по всьому об'єму оброблюваного матеріалу без втрат на формування брикетів.

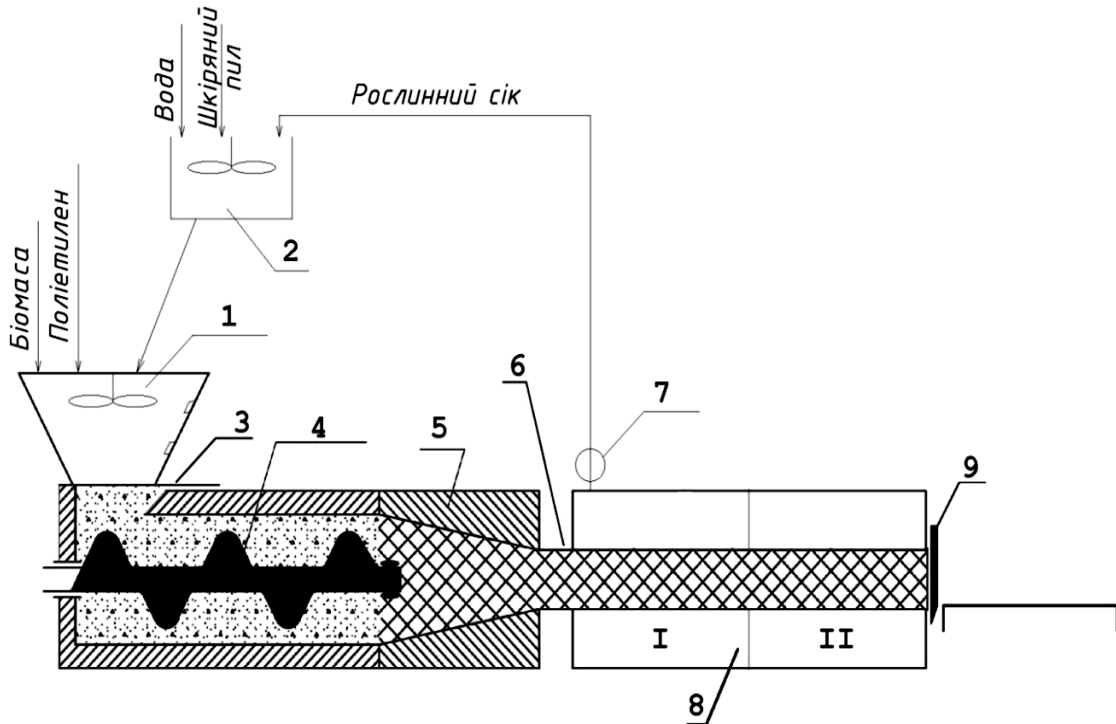


Рис. 7. Конструкція НВЧ пристрою,

I - Перша секція мікрохвильового пристрою на основі системи хвилевідного типу має довжину l_1 , II - друга секція мікрохвильового пристрою на основі уповільнюючої системи довжиною l_2 . 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 НВЧ типу; 9 – ніж та стіл для охолодження брикетів.

НВЧ установка для виробництва паливних брикетів працює таким чином (рис.7). Відходи рослинного походження (гілки, опале листя, деревна стружка, деревна тирса, солома, обрізки деревини і кори дерев, лузга, отримана при обрушенні насіння соняшника, качани і стовбури кукурудзи, очерет тощо або їх суміш) попередньо здрібнюють до фракції 10-12 мм.

Здрібнену сировину (біомасу) подають у змішувач 1, туди ж подають і в'язуче (відходи подрібненого поліетилену) та тиксотропну добавку (розчин шкіряного пилу) із змішувача 2 при такому співвідношенні компонентів, мас. %: сировина рослинного походження – 80, в'язуче - 20 (подрібнений поліетилен – 18, шкіряний пил – 2).

Компоненти змішують до рівномірного розподілу в'язучого та тиксотропної добавки по поверхні часток сировини.

Після чого вмикають шнековий транспортер 4 і

відсувають засувку 3. Суміш само зсувом попадає до циліндричної камери шнекового транспортера 4 і піддається пресуванню. При пересуванні суміш ущільнюється, твердіші частинки втискаються у більш пластичні, пресується, зменшується в об'ємі і продавлюється через конічний отвір формуючої головки 5 в тefлонову трубу 6 з отворами, яка проходить через НВЧ-піч 8.

НВЧ-піч 8 обладнана послідовно включеною секцією I хвилевідного типу яка проводить сушіння сформованих брикетів вологістю до 12%. При використанні більш вологої біомаси в лінію додатково введений адаптер температури II виконаний у вигляді уповільнюючої системи, який автоматично підключається до секції хвилевідного типу при вологості більше 12%. Таким чином термоізолювана НВЧ-піч 8 забезпечує рівномірну сушку паливних брикетів по їх товщині при використанні біомаси великої вологості. Через

тефлонову трубу 6 електромагнітне поле надвисокої частоти проникає в глибокі шари брикетної маси, і волога, яка міститься в достатній кількості всередині брикету і має високу реактивну складову діелектричної константи, поглинає електромагнітну енергію і перетворює її в теплову. Під дією високої температури всередині брикету подрібнений поліетилен розплавляється, розтікається і більш ефективно проникає в пори і тріщини рівномірно скріплюючи фракції рослинної сировини. Волога (рослинний сік) яка випарюється через повздовжні розрізи тефлонової труби 6, видаляється з робочої камери 8 за допомогою насоса 7, який створює також вакуум в камері 8.

В змішувач тиксотропної добавки 2 куди подається рідина (вода та рослинний сік) та шкряний пил та шляхом змішування йде підготовка розчину для змішувача 1.

Сигароподібний висушений брикет виходить з тефлонової труби 6 та розділяється на рівні частини механізмом 9, які потім охолоджують та упаковують.

В процесі виробництва паливних брикетів при НВЧ випромінюванні ніж від мікрофлори, що знаходиться на поліетилені та РВ. Нами доведено, що мікрофлора в РВ гине в результаті денатурації білка уже при питомій потужності 0,09...0,3 кВт/кг та при темпі нагрівання 0,5...0,8 °C/c, а при збільшенні темпу нагрівання до 1,2...1,6 °C/c – за рахунок діелектричного руйнування клітин живої тканини. Одним з обов'язкових питань при розробці мікрохвильової техніки пов'язаний з визначенням витоків електромагнітної енергії.

Особлива увага при НВЧ формуванні брикетної суміші приділяється малому розкиду температури в матеріалі, що в підсумку визначає внутрішню структуру і якісні характеристики паливних брикетів. Використання НВЧ дає об'ємний характер нагріву брикетної маси, що призводить до повноти реакції полімеризації і високими характеристиками міцності та енергетичних можливостей одержуваних виробів. Розглянемо матеріал з діелектричними втратами, який рухається в напрямку поширення НВЧ енергії, тобто в напрямку поширення біжучої хвилі. Вважаємо, якщо оброблюваний діелектричний матеріал просунувся в електродинамічній системі НВЧ пристрої на відстань $dz = \vartheta dt$ і потужність dP , розсіяна в матеріалі, викликала нагрів матеріалу і відповідну зміну постійного загасання на величину da . Аналітична модель розрахунку НВЧ пристроїв погодженого типу, коли напрямок руху матеріалу збігається з напрямком поширення енергії електромагнітного поля надвисоких частот, запропонована в роботах [19-23], дозволяє оцінити довжину електродинамічної системи l , величину

необхідної потужності для нагрівання матеріалу в матеріалі iP_{mp} , і коефіцієнт корисної дії НВЧ установки.

В роботах [24-29] показано, що рівняння для величини постійної загасання має наступний вигляд:

$$a(z) - a_{min} = a_{max} * \left\{ 1 - \frac{P_{вх} - P(z)}{P_{mp}} \right\} \quad (1)$$

де, a_{max} - величина постійного затухання енергії у матеріалі до термообробки в НВЧ установці;

a_{min} - величина постійного затухання енергії у матеріалі при умові відсутності води в ньому.

З теорії передавальних ліній:

$$-\frac{dP(z)}{dz} = 2a(z) * P(z). \quad (2)$$

Підставляючи вираз (1) у (2) і інтегруючи в межах

$$\left. \begin{array}{l} 0 \leq z \leq l \\ a_{max} \geq a(z) \geq a_1 \end{array} \right\} \quad (3)$$

Де a_1 - величина постійного затухання енергії електромагнітного поля НВЧ у матеріалі при значенні $z=l$.

У цьому випадку довжину НВЧ пристрою можна отримати у вигляді рівняння:

$$I = \frac{1}{2 \left[a_{min} + a_{max} * \left(1 - \frac{P_{вх}}{P_{mp}} \right) \right]} \ln \left[\frac{a_1}{a_{max}} * \frac{a_{max} * \frac{P_{вх}}{P_{mp}} - a_{min}}{a_1 - a_{min} - a_{max} * \left(1 - \frac{P_{вх}}{P_{mp}} \right)} \right]. \quad (4)$$

Висновки

Нова технологія виробництва паливних брикетів підвищеної якості дозволяє:

- зменшити час технічних циклів в 20-65 разів;
- отримати економію енерговитрат до 60%;
- зменшити технологічні площі в 3-5 разів;
- отримувати якісно нову продукцію, конкурентну як на вітчизняному, так і на світовому ринках;
- отримувати максимальну результативність збільшення виробництва на 20-50%;
- скоротити безповоротні втрати мільйонів тонн відходів.

Література

1. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення [Текст]: 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.- Х.: Харківський нац. ун-т міського господарства імені О.М. Бекетова, 2017.- 136 С.
2. Пат. 117937Україна, МПК C10L 5/40. Гнучка технологічна лінія для виготовлення паливних брикетів [Текст] / 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. Alwis, U., Mandryk, J., Hocking, A. D. et al. (1999) Dust exposures in the wood processing industry. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 60 (5), 641–647.
4. Bohadana, A B & Massin, N & Wild, P & Toamain, J P & Engel, S & Goutet, P. (2000). Symptoms, airway responsiveness, and exposure to dust in beech and oak wood workers. *Occupational and environmental medicine*, 57, 268–273.
5. Brouwer, Derk H. & Gijsberg, José H. J. & Lurvink, Marc W. M. (2004) Personal Exposure to Ultrafine Particles in the Workplace: Exploring Sampling Techniques and Strategies, *Annals of Occupational Hygiene*, 439-453, DOI: 10.1093/annhyg/meh040
6. Carton, M & Goldberg, M & Luce, D. (2002). Occupational exposure to wood dust. Health effects and exposure limit values. *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, 50, 159–178.
7. Capko, W. G., Sterenbogen, M. Yu., Czudnowiec, A. J., Papacz, W. W. (2013) Aktualne problemy higieny przyprodukcji biopaliw z surowcow rolniczych za pomoca nowoczesnych technologii. *Praktyczne problemy zwiazane z ochrona pracy w rolnictwie*, 119–126.
8. de Haar, C, Hassing, I, Bol, M, Pieters, R (2006) Ultrafine but not fine particulate matter causes airway inflammation and allergic airway sensitization to co-administered antigen in mice. *Clin Exp Allergy*, 36:1469-1479.
9. Delfino, RJ, Sioutas, C and Malik, S (2005) Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particle mass and cardiovascular health. *Environ Health Perspect.* 113:934–946. View Article : Google Scholar : PubMed/NCBI
10. De Zotti, R & Gubian, F. (n.d.). Asthma and rhinitis in wooding workers. *Allergy and asthma proceedings: the official journal of regional and state allergy societies*, 17, 199–203.
11. Потенційний ризик мікроскопічних грибів для робітників виробництва біопалива [Текст] / В.Г. Цапко, А.Я. Чудновець, М.Ю. Стеренbogen та ін. // Укр. журн. з пробл. медицини праці. – 2012. – № 1 (29). – С. 48–54.
12. Біологічні ресурси і технологія виробництва біопалива [Текст]: монографія / Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуха, І. П. Григорюк [та ін.]. – Київ : «Аграр Медіа Груп», 2010. – 408 с.
13. Dutkiewicz, J. (1997) Bacteria and fungi in organic dust as a potential health hazard. *Ann. Agric. Environ. Med*, 4, 11–16.
14. Dutkiewicz, J., Cisak, E., Sroka, J., Wójcik-Fatla, A., & Zając, V. (2011). Biological agents as occupational hazards - selected issues. *Annals of agricultural and environmental*

medicine : AAEM, 18 2, 286-93.

15. Eduard, W. (1997) Exposure to non-infectious microorganisms and endotoxins in agriculture. *Ann Agric. Environ. Med*, 4, 179–186.
16. Fabiánová, E & Szeszenia-Dabrowska, N & Kjaerheim, K & Boffetta, P. (1999). Occupational cancer in central European countries. *Environmental health perspectives*, 107(2), 279-282.
17. Gioffrè1, Angela & Marramao, Antronella & Iannò, Antonino. (2012). Airborne Microorganisms, Endotoxin, and Dust Concentration in Wood Factories in Italy. *The Annals of occupational hygiene*, 56(2), 161-169.
18. Gerberick, G F & Sorenson, W G. (2005). Toxicity of T-2 toxin, a Fusarium mycotoxin, to alveolar macrophages in vitro. *Environmental research*, 32, 269-285.
19. Heederik, D & Smid, T & Houba, R & Quanjer, P H. (1994). Dust-related decline in lung function among animal feed workers. *American journal of industrial medicine*, 25, 117-121.
20. Holmström, M & Granstrand, P & Nylander-French, L A & Rosén, G. (1995). Upper airway symptoms and function in wood surface coating industry workers. *American journal of industrial medicine*, 28(2), 207–209.
21. Zielińska-Jankiewicz, Katarzyna & Kozajda, Anna. (2005). Knowledge of selected occupational groups about biological agents in the environment and ways of health protection against occupational exposure to biological hazards. *Medycyna pracy*, 56(3), 205-211.
22. Lacey, J. and Crook, B. (1988) Fungal and actinomycete spores as pollutants of the workplace and occupational allergen. *Ann. Occup. Hyg.* 32, 515–533.
23. Lopez-Rico, R., et al. (1998) "Cereal alpha-amylase inhibitors cause occupational sensitization in the wood industry." *Clinical and Experimental Allergy* 28(10), 1286-1291.
24. Madsen, A M. (2006). Exposure to airborne microbial components in autumn and spring during work at Danish biofuel plants. *The Annals of occupational hygiene*, 50 (8), 821–831.
25. Madsen, A. M., Mårtensson, L., SchneideR, T., Larsson, L.. (2004) Microbial Dustiness and Particle Release of Different Biofuels. *Annals of Work Exposures and Health*, 48(4), 327-338
26. Magelli, F., Boucher, K., Bi, H. (2009) An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe. *Biomass and Bioenergy*, 33, 3, 434–441.
27. Malmros, P., Sigsgaard, T., Bach, B. (1992) Occupational health problems associated with increased recycling of household waste. *Ann Agric Environ Med* 1997, 4, 7-9.
28. Markandya, A., & Wilkinson, P. (2007). Energy and Health 2 - *Electricity generation and health*, 370, 979–990.
29. Вплив виробничого середовища на формування біологічного фактора в умовах сільськогосподарського виробництва [Текст] / В.Г. Цапко, А.Я. Чудновець, М.Ю. Стеренbogen, В.В. Папач // Укр. журн. з пробл. медицини праці. – 2014. – № 1. – С. 60–65.

References

1. Polianskyi, O.S., & Diakonov, O.V., & Skrypnyk, O.S. (2017) Napriamy rozvytku alternatyvnykh dzherel enerhii: aktsent na tverdomu biopalyvi ta hnuchkykh tekhnolohiiakh yoho vyhotovlennia. Kharkiv, Kharkivskiy nats. un-t miskoho

hospodarstva imeni O.M. Beketova.

2. Diakonov, O., Diakonov, V., & Polianskyi, O. (2017). Ukraine Patent No. 117937. Kiev, SE: Ukraine Ukrainian Institute of Intellectual Property. Fuel briquettes

3. Alwis, U., Mandryk, J., Hocking, A. D. et al. (1999) Dust exposures in the wood processing industry. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 60 (5), 641–647.

4. Bohadana, A B & Massin, N & Wild, P & Toamain, J P & Engel, S & Goutet, P. (2000). Symptoms, airway responsiveness, and exposure to dust in beech and oak wood workers. *Occupational and environmental medicine*, 57, 268–273.

5. Brouwer, Derk H. & Gijsberg, José H. J. & Lurvink, Marc W. M. (2004) Personal Exposure to Ultrafine Particles in the Workplace: Exploring Sampling Techniques and Strategies, *Annals of Occupational Hygiene*, 439-453, DOI: 10.1093/annhyg/meh040

6. Carton, M & Goldberg, M & Luce, D. (2002). Occupational exposure to wood dust. Health effects and exposure limit values. *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, 50, 159–178.

7. Capko, W. G., Sterenbogen, M. Yu., Czudnowiec, A. J., Papacz, W. W. (2013) Aktualne problemy higieny przyprodukcji biopaliw z surowcow rolniczych za pomoca nowoczesnych technologii. *Praktyczne problemy zwiazane z ochrona pracy w rolnictwie*, 119–126.

8. de Haar, C, Hassing, I, Bol, M, Pieters, R (2006) Ultrafine but not fine particulate matter causes airway inflammation and allergic airway sensitization to co-administered antigen in mice. *Clin Exp Allergy*, 36:1469-1479.

9. Delfino, RJ, Sioutas, C and Malik, S (2005) Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particle mass and cardiovascular health. *Environ Health Perspect.* 113:934–946. View Article : Google Scholar : PubMed/NCBI

10. De Zotti, R & Gubian, F. (n.d.). Asthma and rhinitis in wooding workers. *Allergy and asthma proceedings: the official journal of regional and state allergy societies*, 17, 199–203.

11. Tsapko, V. H., & Chudnovets, A. Ya., & Sterenbohen, M. Yu. (2012). Potentsiyni ryzyk mikroskopichnykh hrybiv dlia robitynykiv vyrobnytstva biopalyva. *Ukr. zhurn. z probl. medytsyny pratsi*, 1 (29), 48–54.

12. Blium, Ya. B., & Heletukha, H. H., & Hryhoriuk, I. P. (2010) Biologichni resursy i tekhnolohiia vyrobnytstva biopalyva. Kyiv: «Ahrar Media Hrup», 2010.

13. Dutkiewicz, J. (1997) Bacteria and fungi in organic dust as a potential health hazard. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 4, 11–16.

14. Dutkiewicz, J., Cisak, E., Sroka, J., Wójcik-Fatla, A., & Zając, V. (2011). Biological agents as occupational hazards - selected issues. *Annals of agricultural and environmental medicine : AAEM*, 18 2, 286-93.

15. Eduard, W. (1997) Exposure to non-infectious microorganisms and endotoxins in agriculture. *Ann Agric. Environ. Med.*, 4, 179–186.

16. Fabiánová, E & Szeszenia-Dabrowska, N & Kjaerheim, K & Boffetta, P. (1999). Occupational cancer in central European countries. *Environmental health perspectives*, 107(2), 279-282.

17. Gioffrèl, Angela & Marramao, Antronella & Iannò, Antonino. (2012). Airborne Microorganisms, Endotoxin, and Dust Concentration in Wood Factories in Italy. *The Annals of occupational hygiene*, 56(2), 161-169.

18. Gerberick, G F & Sorenson, W G. (2005). Toxicity of T-2 toxin, a Fusarium mycotoxin, to alveolar macrophages in vitro. *Environmental research*, 32, 269-285.

19. Heederik, D & Smid, T & Houba, R & Quanjer, P H. (1994). Dust-related decline in lung function among animal feed workers. *American journal of industrial medicine*, 25, 117-121.

20. Holmström, M & Granstrand, P & Nylander-French, L A & Rosén, G. (1995). Upper airway symptoms and function in wood surface coating industry workers. *American journal of industrial medicine*, 28(2), 207–209.

21. Zielińska-Jankiewicz, Katarzyna & Kozajda, Anna. (2005). Knowledge of selected occupational groups about biological agents in the environment and ways of health protection against occupational exposure to biological hazards. *Medycyna pracy*, 56(3), 205-211.

22. Lacey, J. and Crook, B. (1988) Fungal and actinomycete spores as pollutants of the workplace and occupational allergen. *Ann. Occup. Hyg.* 32, 515–533.

23. Lopez-Rico, R., et al. (1998) "Cereal alpha-amylase inhibitors cause occupational sensitization in the wood industry." *Clinical and Experimental Allergy* 28(10),1286-1291.

24. Madsen, A M. (2006). Exposure to airborne microbial components in autumn and spring during work at Danish biofuel plants. *The Annals of occupational hygiene*, 50 (8), 821–831.

25. Madsen, A. M., Mårtensson, L., SchneideR, T., Larsson, L.. (2004) Microbial Dustiness and Particle Release of Different Biofuels. *Annals of Work Exposures and Health*, 48(4), 327-338

26. Magelli, F., Boucher, K., Bi, H. (2009) An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe. *Biomass and Bioenergy*, 33, 3, 434–441.

27. Malmros, P., Sigsgaard, T., Bach, B. (1992) Occupational health problems associated with increased recycling of household waste. *Ann Agric Environ Med* 1997, 4, 7-9.

28. Markandya, A., & Wilkinson, P. (2007). Energy and Health 2 - *Electricity generation and health*, 370, 979–990.

29. Tsapko, V.H., & Chudnovets, A. Ya, Sterenbohen, M. Yu., & Papach, V. V. (2014) Vplyv vyrobnychoho seredovyshcha na formuvannia biologichnoho faktora v umovakh silskohospodarskoho vyrobnytstva. *Ukr. zhurn. z probl. medytsyny pratsi*, 1, 60–65.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Харченко В. Ф., Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна

Автор: ПОЛЯНСЬКИЙ Олександр Сергійович
доктор технічних наук, старший викладач.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
E-mail – khadi.pas@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0407-6435>

Автор: ДЬЯКОНОВ Олександр Васильович
асистент
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка,
E-mail – hfipomt@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6880-667>

Автор: Д'ЯКОНОВ Василь Іванович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри.
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – v.i.diakonov@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5149-685X>

Автор: САРАБУН Денис Юрійович
магістр
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – sarabun.d@gmail.com

Автор: СКРИПНИК Олена Сергіївна
кандидат технічних наук, старший викладач
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – elenases2015@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5926-755X>

ENHANCEMENT OF FUEL BRICKET QUALITY BY IMPROVED FUEL TECHNOLOGY

O.S. Polyansky¹, O.V. Dyakonov², V.I Dyakonov³, O.S. Skrypnyk³, D.J. Sarabun³

1 Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkov

2 Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkov

3 O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov

It has been established that the existing technologies for the production of fuel briquettes are energy-intensive and use up to 60% of energy for drying and biomass. Made briquettes hygroscopic with low thermal capacity and strength. The classification of technological processes of biomass of the leading world companies is performed. The analysis of these three main technologies indicates that the calorific value, significant content of dust, small particles and hidden bacteria and mold in briquettes had a sign of poor quality, low mechanical strength and rapid erasure. This indicator is important during transportation, storage and supply of briquettes to the combustion boiler, as it can cause losses during loading and unloading operations, reducing their mass. In addition, when burned in small boilers, the small fraction clogs the feed augers, interferes with the supply of oxygen and thus can lead to a decrease in the efficiency of the boiler during combustion and also damage to precious equipment. The use of environmentally friendly binders makes it possible to improve the basic characteristics of heat capacity, strength, hygroscopicity and cost-effectiveness of manufacturing fuel briquettes. It is established that the use of microwave technology makes it possible to obtain a finished product of higher quality. When drying due to a decrease in the loss factor of the material is heated, the rate of temperature rise automatically decreases until the end of the process, while reducing the possibility of unacceptable overheating of the product. Technological processes using high-speed high-frequency heating are easy to mechanize and automate.

The introduction of the high-frequency method of heating significantly improves sanitary and hygienic working conditions, but a certain disadvantage of the EMF briquetting technology is the urgent need to shield the EMF exclusively in the zone of interaction between the field and the substance and prevent its leakage beyond the maximum permissible levels. With rational selection of the frequency of oscillations and parameters of the chambers, where the conversion of microwave energy into heat takes place, it is possible to obtain a relatively uniform heat release throughout the body.

Keywords: fuel briquettes, plant and wood waste, manufacturing technology.