

ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ГНУЧКОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА З РОСЛИННИХ ТА ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ

Полянський О.С., д.т.н., проф., Дьяконов О.В. асп.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка*

Запропонований спосіб брикетування, якій відрізняється від існуючих розігрівом одночасно всього масиву матеріалу «зсередини» і вимкненні процесу нагрівання при його висиханні. Такий підхід дозволяє поширити кількість модифікованого матеріалу брикетів, підвищити його калорійність та одержати нові властивості, в т. ч. і підвищення міцності. Використання розігріву «зсередини», якій сприяє масо переносу легко киплячих і водорозчинних з'єднань на поверхні зразка і зміцнює навіть без застосування високого тиску, розроблена гнучка електромагнітна технологія (ЕМТ) застосуванням надзвичайно високої частоти (НВЧ) виготовлення паливних брикетів з рослинних та деревних відходів. Автоматизація запропонованої технології дозволяє забезпечити високий коефіцієнт завантаження устаткування та зниження собівартості продукції. Тривалість мікрохвильовій сушки деревини зменшується більш ніж у 10 разів порівняно з традиційною обробкою.

Вступ. Для багатьох сільськогосподарських регіонів України використання власного твердого біопалива доцільніше, ніж використання вугілля або нафтопродуктів, тому що вироблене з місцевої сировини біопаливо обходиться у десятки разів дешевше та екологічно привабливе[4,5].

Домінуюче значення за кількістю утворення відходів належить деревині та грубостебловим культурам, зокрема соняшнику, кукурудзі, а одним із раціональних методів їх утилізації є використання останніх як сировини для виготовлення твердого біопалива.[4,5].

Основною технологічною операцією виготовлення брикетів є сушіння деревних часток. Як відомо, між деревиною і водою існують хімічні та фізичні зв'язки. У процесах десорбції слід затрачати не тільки енергію на випаровування вологи, рівну питомої теплоти пароутворення, але і додаткову енергію, що вимагається для розриву молекулярних зв'язків між вологою і деревиною [3,8].

Сушіння деревини до вологості 6-15 % відбувається в традиційних сушильних камерах при допомозі зовнішнього агресивного впливу – температури, пара, вакууму. При такій дії в першу чергу висихають поверхневі шари деревини зневоднюючи їх і тільки потім процес сушіння просувається вглиб матеріалу, що вимагає великої витрати енергії [3,8].

Руху вологи в деревині при сушінні присвячені роботи багатьох вчених, однак, незважаючи на велику кількість виконаних робіт за законами дифузії і потенціалів переносу, тривають дискусії в зв'язку з труднощами аналітичного

розв'язку диференціальних рівнянь, що описують процеси теплового переносу і волого переносу [3]. Тому задача сушіння матеріалу під час виготовлення твердого біопалива є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження та аналіз зарубіжного та вітчизняного досвіду формування палива показав [5], що для ефективного спалювання потрібно мати паливні вироби приблизно однакові за розмірами і формою-брикети.

Брикетуванням називається зміцнення сипучого тіла шляхом його пресування (ущільнення) в замкнутому просторі під впливом зовнішнього тиску до отримання монолітного брикету з щільністю, при якій тіло не може мимовільно руйнуватися.

Сумарна потужність приводу технологічного обладнання виготовлення паливних брикетів складається з потужності приводу для грубого подрібнення , потужність, що витрачається на сушіння , потужність приводу тонкого подрібнення , потужність приводу на пресування та потужності приводу і допоміжного технологічного обладнання (конвеєри, норії, вентилятори, допоміжне устаткування тощо) [5].

Більшість проведених досліджень в даній області спрямовано на підвищення ефективності існуючих або створення нових технологій не враховує особливостей об'єкта сушіння – анатомічної будови деревини. Деревина є біологічним матеріалом з неоднорідною структурою і властивостями. Тому найважливішою умовою підвищення ефективності процесу сушіння є пошук нових технічних і технологічних рішень на основі комплексного підходу і всебічного аналізу ряду фізичних явищ процесу сушіння і структури деревини [2,3].

Аналіз структури елементів деревини листяних порід показує, що всі вони в тій чи іншій мірі є елементами її водопровідної системи. Аналіз застосовуваних у виробництві способів сушіння показав, що суттєве скорочення термінів сушки деревини досягається за рахунок впровадження технічноскладних, матеріаломістких конструкцій сушильних установок [2,8]. В роботі запропоновано застосовувати технології, що дозволяють зменшити витрати енергії на брикетування в цілому.

Мета дослідження: Обґрунтувати принцип побудови гнучких технологій та вибір раціональних режимів сушіння на основі оцінки енерговитрат виробництва.

Для вирішення поставленої мети потрібно вирішити наступні прикладні наукові задачі:

- провести аналіз існуючих технологій брикетування рослинної сировини;
- встановити енерговитрати брикетування
- вибрати структуру НВЧ – установки для обробки рослинних та деревних відходів які дозволяють забезпечити рівномірність температурної обробки брикетів.

- виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих науково-технічних рішень.

Методика формування складу паливного брикету. На даному етапі

виділяють три технології виготовлення паливних брикетів:

1. RUF технологія. Заснована на пресуванні брикетів під високим тиском. Особливістю такого методу є невисока вартість обладнання, простота в управлінні. Недоліки даного способу виготовлення паливних брикетів - брикети малостійкі до вологи, що вимагає більш щільної і якісної їх упаковки. Брикети, виготовлені таким способом, мають проблеми з міцністю, погано переносять тривале зберігання особливо при далеких перевезеннях, та коливаннях температури поблизу 0 С.

2. Nestro технологія. В основі якої лежить ударний спосіб виготовлення паливних брикетів. Паливний брикет виробляється з допомогою ударних пресів. Так само, як і в першому випадку, собівартість виготовлення цього виду паливних брикетів невелика, оскільки відбувається економія на витратах на виробництво. Брикет так само не терпить вологи, що негативно позначається на транспортуванні та коливаннях температури.

3. Pini&Kau технологія. Реалізує шнекове пресування з поверхневою термообробкою. Такий спосіб є альтернативою першим двом, оскільки є найбільш вигідним у порівнянні з ними і дає продукцію більш високої якості. До недоліків шнекового способу 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 для зниження впливу людського фактору.

Утворення клітин деревини без вологи неможливо, внаслідок чого вже по своїй природі дерево є вологомістким матеріалом. Волога (сік), будучи природною складовою частиною дерева, досить складно з неї видаляється [3,8]

В склад соку входять мінеральні речовини, які поступають в дерево із ґрунту разом з водою, також органічні речовини, які утворюються в самому дереві, головним чином, в листку з вуглекислоти, повітря і вологи, підведеної з ґрунту до листя. В ядрі вони відкладаються в більшій частині в вигляді цукру, у вигляді таніну фарбувальних і інших речовин, кількість яких залежить від деревної породи. Склад соку в ядрі і заболоні різний, але загальна кількість мінеральних і органічних речовин дуже незначний і домінуючою складовою частиною соку є вода [1,3].

Доцільним вважається сушіння, при якій швидкість просування вологи з внутрішніх шарів наближається до швидкості її випаровування з поверхні деревини. Таким чином, основним параметром, що визначає тривалість сушіння, є вологопровідність. В досягненні інтенсивного руху вологи усередині матеріалу (з центральної зони до його поверхні) ховаються можливості отримання високих техніко-економічних показників процесу сушіння.

Вологопровідність залежить від багатьох факторів (породи, щільності, напряму струму вологи та інш), але найбільший вплив на неї справляє температура: при її підвищенні вологопровідність істотно зростає. Тому надмірний тиск при різних температурах обробки деревини змінюється від 24 до 58 кПа (рис. 1).

Однак підвищення температури призводить до посилення режиму сушіння і збільшення інтенсивності випаровування вологи з поверхні деревини, що в свою чергу викликає нерівномірний її розподіл по товщині матеріалу і виникнення внутрішніх напружень [3,8].

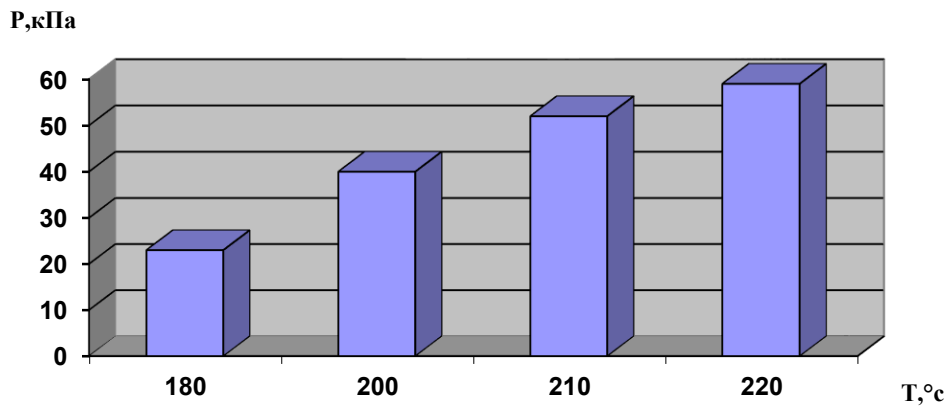


Рис. 1 – Надмірний тиск в деревині (сосна) при різних температурах обробки

Інтенсифікація процесу сушіння деревини, тобто скорочення її тривалості і енергоємності при одночасному збереженні якості, є актуальним напрямком наукових досліджень.

Аналіз застосовуваних у виробництві способів сушіння показав, що суттєве скорочення термінів сушки деревини досягається за рахунок впровадження технічно складних сушильних установок та сучасних гнучких технологій [3,5,8].

Враховуючи, що виробництво паливних брикетів носить складний стохастичний характер, воно практично не може бути точно розраховане за допомогою невеликої кількості простих аналітичних формул та потребує використання імітаційного моделювання виробничого процесу. Найбільш відповідними моделями є модель системи масового обслуговування та моделі агрегативної системи.

Процес виробництва брикетів так само як і всі інші фізичні процеси, що відбуваються в матеріальному світі здійснюється в просторі і в часі. З простором пов'язана структура потоку, яка являє собою консервативну частину системи і змінюється вкрай повільно. Сюди слід віднести кількість позицій кількість модулів на кожній позиції кількість транспортних агрегатів загальну компоновку елементів і зв'язку між ними. Ця структура майже в кожному конкретному випадку є заданою і незмінною.

Аналіз літератури [1,2,6,7] показує що особливу увагу необхідно приділити модулю формування брикета, який працює на основі електромагнітних технологій

Основні переваги застосування НВЧ-енергії для сушіння деревини такі:

1) висока ступінь поглинання деревиною енергії електромагнітного поля (за рахунок того, що деревина – вологий матеріал);

2) можливість зі швидкістю світла підвести і виділити в одиниці об'єму деревини потужність, не доступна ні одному з традиційних способів підвода енергії;

3) здійснення безконтактного виборчого нагріву і отримання необхідного розподілу температур в деревині, в тому числі в режимі саморегульованого нагріву;

4) практично 100 % ККД перетворення НВЧ-енергії в теплову та низькі втрати енергії в робочих камерах;

5) можливість миттєвого включення і виключення теплової дії, що забезпечує тепловий режим і високу точність регулювання нагрівання

Нашими дослідженнями встановлено, що максимальний технічний ККД, що впливає на теплоутворювальну здатність та руйнівну напругу при вигинанні, може бути отриманий при наступному співвідношенні компонентів, мас.відс: матеріал рослинного походження – 80; зв'язуюче – 18; тиксотропна добавка – 2.

Таким чином після аналізу електромагнітних технологій ми отримали гнучку електромагнітну технологію виготовлення брикету засновану на реалізації розігріву одночасно всього матеріалу «в об'ємі» 5 і 6 рисунку 2. В якості об'єктів дослідження були вибрані біосуміші: Перевірка розробленої технології виготовлення брикетів здійснювалась на основі наступних варіантів складу біокомпозиції, яка наведена у таблиці 1.

Виробництво брикетного палива проходить в наступній послідовності (рис.2). В бункер засипають біоматеріал, відходи подрібненого поліетилену та шкіряний пил. По системі дозаторів матеріал подають в блок змішування, куди також потрапляє вода в розпиленому вигляді та в певній кількості. Біомаса зволожується і до неї пристає шкіряний пил і клаптики поліетилену в змішувачі. Суміш через шлюзову камеру запобігаючи витоків НВЧ енергії в навколишній простір вводиться в екструдер, та в камеру де під дією ЕМП проходить сушіння біомаси. За цей час шкіряний пил та волога підготують поверхню біомаси до з'єднання з розплавленим під дією температури поліетиленом. Розплавлена суміш розтікається, перемішується між собою та формується в циліндричній насадці камери. Потім сформована маса через шлюзову камеру запобігаючи витоків НВЧ енергії в навколишній простір потрапляє в охолоджувач і за допомогою електричного ножа ріжеться на брикети.

Таблиця 1 – Варіанти складу біокомпозиції

Варіант 1		Варіант 2	
1	щепа дуба	1	щепа сосни
2	відходи поліетилену	2	відходи поліетилену
3	тиксотропна добавка	3	тиксотропна добавка
Варіант 3		Варіант 4	
1	щепа липи	1	щепа тополі
2	відходи поліетилену	2	відходи поліетилену
3	тиксотропна добавка	3	тиксотропна добавка

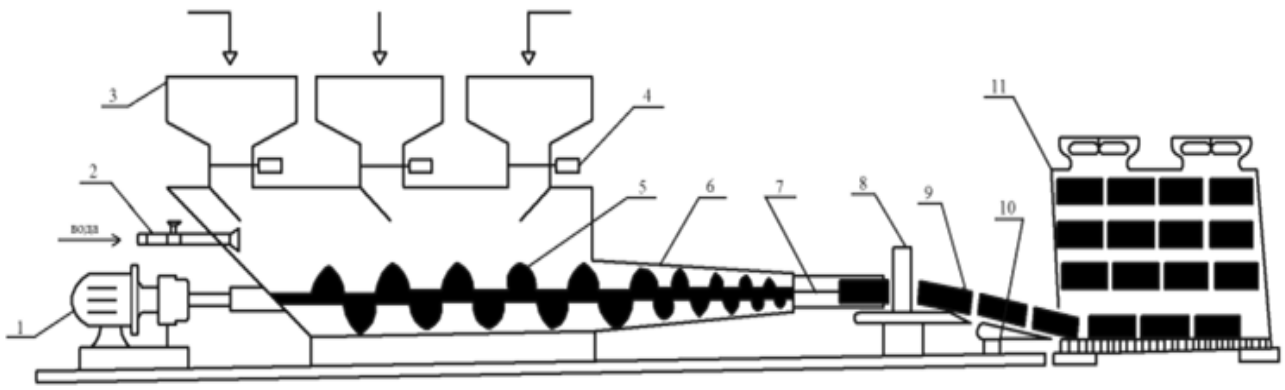


Рис. 2 – Модуль для брикетування біомаси в режимі «біжучої» хвилі ЕМП

1 – електродвигун з редуктором; 2 – система подачі води; 3 – бункер; 4 – дозатор; 5 – гвинт; 6 – конусоподібна трубка з пристроєм надзвичайно високої частоти НВЧ підігрівом; 7 – охолоджувач; 8 – автомат для різки брикетів; 9 – брикет; 10 – віброукладчик; 11 – місце для зберігання.

На рисунку 3 представлено загальний вигляд НВЧ пристрою для рівномірного нагріву по поперечному перерізу заготовки паливних брикетів. А в якості моделі кожної секції НВЧ пристрою, що працює в режимі біжучої хвилі, використана навантажена довга лінія (рис. 4).

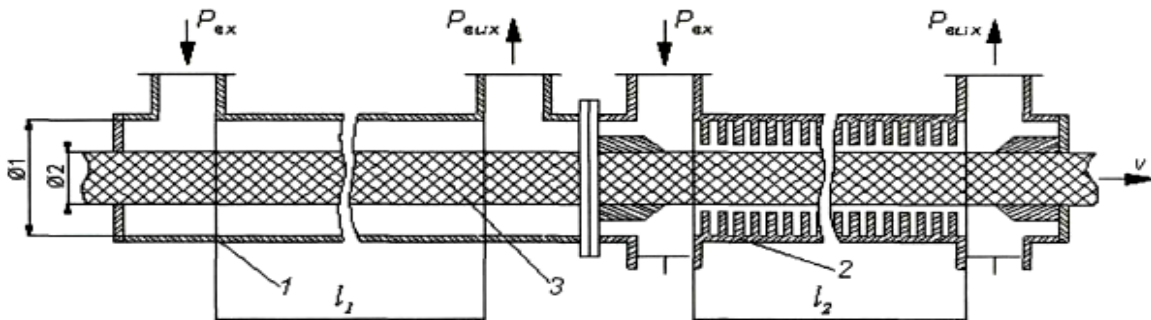


Рис. 3 – Подовжній перетин НВЧ пристрою для термообробки біомаси з малими діелектричними втратами

1 - круглий хвилевід; 2 - двовірно-періодична уповільнююча система; 3 — діелектричний стрижень з матеріалу з малими діелектричними втратами; 4 - провідник; 5 - елементи типу "зв'язка"; 6 - елемент типу "індуктивна діафрагма"; $\text{Ø}1$ - діаметр круглого хвилеводу ($\text{Ø}1 = 100\text{мм}$); $\text{Ø}2$ - діаметр діелектричного стрижня і діафрагмованного хвилеводу ($\text{Ø}2 = 40\text{мм}$); l_1 - довжина секції круглого хвилеводу; l_2 - довжина секції двовірно-періодичної уповільнюючої системи; v - швидкість руху біомаси.

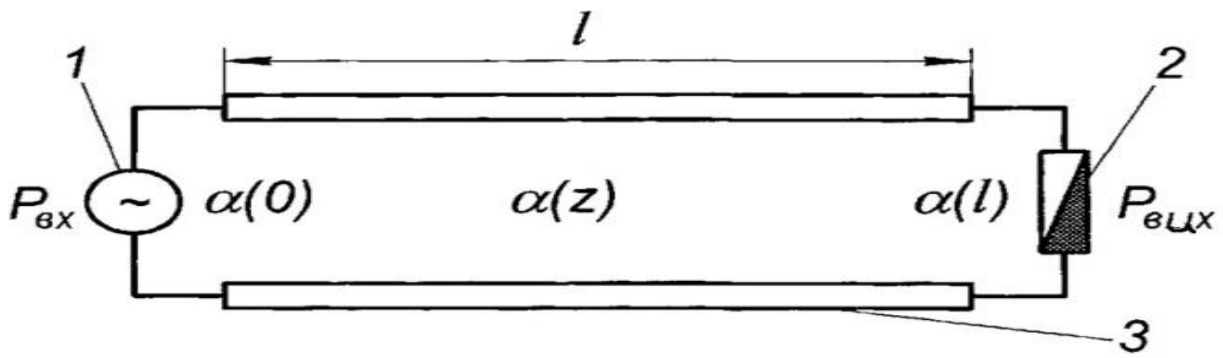


Рис. 4 – Еквівалентна схема НВЧ пристрої термообробки матеріалів типу біжучої хвилі

1 - джерело НВЧ енергії; 2 - узгоджене навантаження; 3 - електродинамічна система з матеріалу, що оброблюється.

Розподіл температурного поля по радіусу діелектричного стрижня в круглому хвилеводі в заданому поперечному перерізі діелектричного стрижня описується виразом [1,2,6,7].

$$T_z(r) \sim T_z(0) \cdot [J_0(\gamma \cdot r)]^2, \quad (1)$$

$$\gamma = \sqrt{k^2 \cdot \varepsilon' - \beta^2}, \quad (2)$$

де ε' – дійсна частина відносної діелектричної проникності матеріалу;
 β – фазова постійна поширення:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{хв}}}, \quad (3)$$

де $\lambda_{\text{хв}}$ – довжина хвилі у хвилеводі;
 k – хвильове число вільного простору:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad (4)$$

де λ – довжина хвилі джерела НВЧ енергії.

Розподіл температурного поля по радіусу діелектричного стрижня у діафрагмованому хвилеводі у заданому поперечному перерізі діелектричного стрижня $T(r)$ описується виразом [1,2,6,7];

$$T(r) \sim T(0) \cdot e^{-2 \cdot k \cdot k_{\text{зам}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\varepsilon'}{k_{\text{зам}}^2}} \cdot r}, \quad (5)$$

де $T(0)$ - температура на поверхні стрижня в діафрагмованому хвилеводі.

На рисунку 5 представлено розраховані та експериментальні характеристики розподілу температури по поперечному перерізі для

сповільненої системи типу діафрагмований хвилевід в стаціонарному режимі в перерізі "z = 0".

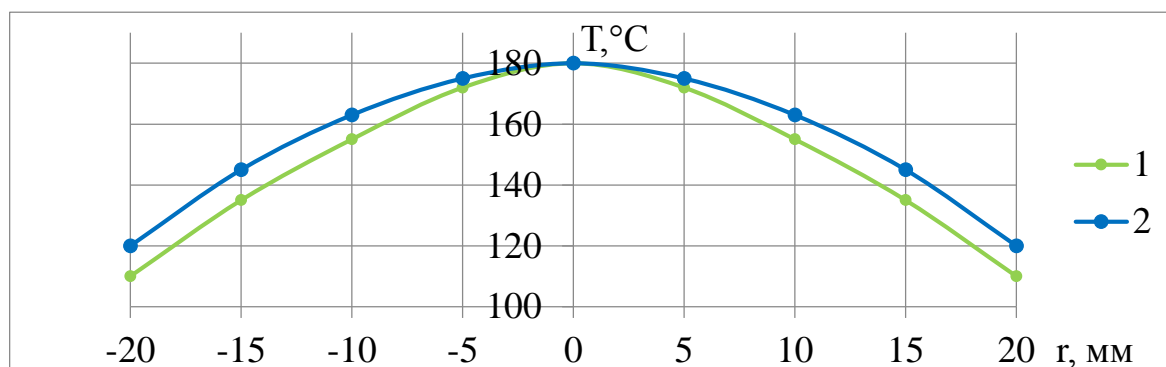


Рис.5 – Розрахункові (1) і експериментальні (2) характеристики розподілу температури по поперечному перерізу стержня в стаціонарному режимі

Теоретичні (1) і експериментальні (2) характеристики розподілу температури по поперечному перерізу діелектричного стрижня представлено на рисунку 6. Для стаціонарного режиму для НВЧ пристрою, дані представлені на рисунку 7. Характеристики отримані шляхом суперпозиції характеристик розподілу температури в стержні від двох секцій НВЧ пристрою в стаціонарному режимі.

Таким чином розкид температурного поля у діелектричному стрижні при нагріванні від 20°C до 180°C не перевищує 18°C. Розходження розрахованих і вимірних характеристик розподілу температурного поля у діелектричному стрижні не перевищує 8%.

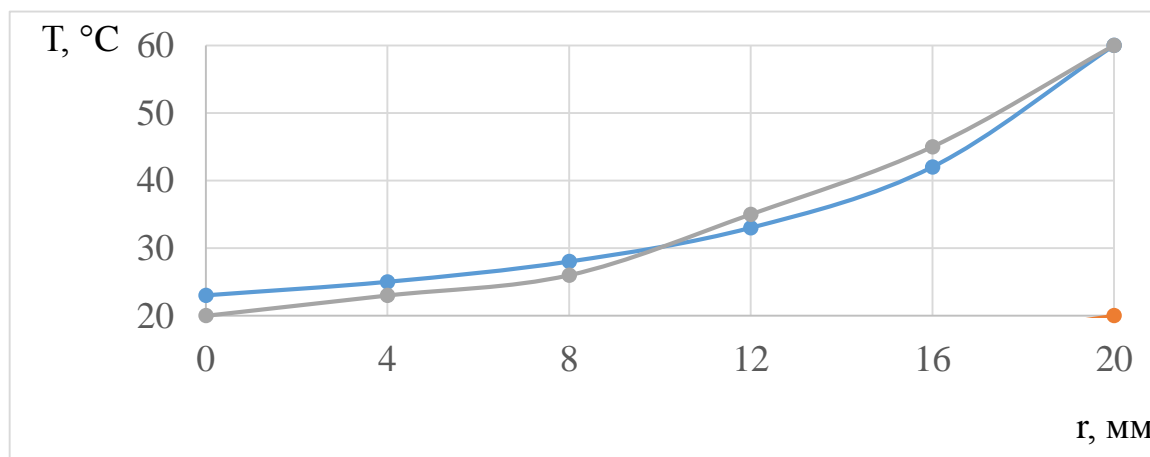


Рис. 6 – Розрахункові (1) і експериментальні (2) характеристики розподілу температури по поперечному перерізу стержня для сповільненої системи типу діафрагмований хвилевід в стаціонарному режимі в перерізі "z = 0".

Отримані по даній технології брикети зручні при транспортуванні та зберіганні, комфортні в застосуванні, легко піддаються розпакуванню. Легко займисті, після розпалення горять вогнем без диму по всьому фронту засипання. В процесі горіння зберігають свою форму, не осипаються та не провалюються крізь щілини колосникової решітки. Вони практично повністю вигорають.

Екологічний та економічний ефекти від використання такого брикетного палива для малої та середньої енергетики дозволяють визначити конкурентоздатність цього виду палива в порівнянні з традиційним.

При НВЧ сушінні деревини основною рушійною силою вологи є надлишковий тиск, що утворюється при випаровуванні цієї вологи.

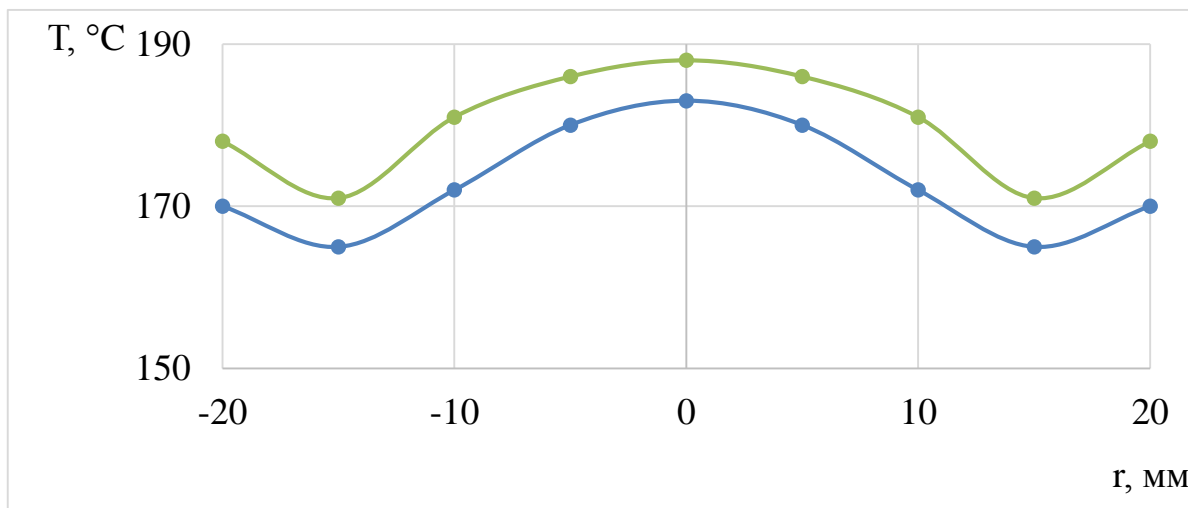


Рис. 7 – Розраховані (1) і експериментальні (2) характеристики розподілу температури по поперечному перерізу діелектричного стрижня для стаціонарного режиму у НВЧ пристрої, отримані при стаціонарному режимі

Діапазон теплоутворювальної здатності досліджених брикетів знаходиться між максимумом 29200 кДж/кг, та мінімумом 28400 кДж/кг. Теоретичні розрахунки теплотворної властивості палива узгоджені з експериментальними дослідженнями.

Важливим показником біопалива є руйнівна напруга при вигинанні. Результати експериментальних випробувань впливу деревинного наповнювача брикета на руйнівну напругу при вигинанні показали, що більші показники межі міцності під час статичного згинання спостерігаються у брикетів, отриманих при зі складу за варіантом 1 і становлять становить 28 МПа та варіант 2- 27,83МПа).

Використовуючи результати імітаційного моделювання, порівняємо пропускні спроможності традиційного потоку і гнучкого.

При збільшенні базової вартості традиційного виробництва паливних брикетів, у зв'язку з використанням гнучкого біопотоку, на (5–7 % від базової вартості виробництва), пропускна спроможність біомаси зростає до 64 % (50–70 % в залежності від структури потоку).

Висновки. 1. Аналіз існуючих технологій брикетування рослинної сировини показує що особливу увагу необхідно приділити модулю формування брикету, який найбільш ефективно працює на основі електромагнітних технологій. Запропоновано структуру побудови електромагнітної технології (ЕМТ) з застосуванням надзвичайно високої частоти (НВЧ) виготовлення паливних брикетів з рослинних та деревних відходів.

2. Встановлено, що доцільним вважається сушіння, при якій швидкість просування вологи з внутрішніх шарів наближається до швидкості її

випаровування з поверхні деревини. Таким чином, основним параметром, що визначає тривалість сушіння, є волога провідність. В досягненні інтенсивного руху вологи усередині матеріалу (з центральної зони до його поверхні) є актуальними для отримання високих техніко-економічних показників процесу сушіння.

3. Автоматизація запропонованої технології дозволяє забезпечити високий ко-ефіцієнт завантаження устаткування та зниження собівартості продукції. Тривалість мікрохвильовій сушки деревини зменшується більш ніж у 10 разів порівняно з традиційною обробкою.

4. Техніко-економічні розрахунки показують, що капітальні вкладення при застосуванні гнучкої потокової біотехнології залежно від кількості модулів збільшуються всього на 5–7 % від загальної вартості об'єкта, а пропускна спроможність при цьому підвищується на 50–70 %. Доведено, що не тільки технічні, а й економічні переваги гнучких поточкових технологій очевидні.

Список використаних джерел

1. Анфиногентов, В.И. Математическое моделирование СВЧ нагрева диэлектриков. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2006. 140 с.
2. Архангельский Ю.С. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических процессов. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1983.
3. Бурмистрова О.Н. Макроскопическое и микроскопическое строение древесины – Ухта: УГТУ, 2013 г.
4. Дьяконов О. В. Забезпечення безпеки життєдіяльності в період глобального потепління на Слобожанщині / Дьяконов О.В., Д'яконов В.І. // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. — Серія : Технічні науки та архітектура — Харків : ХНУМГ. — 2011. — Вип. 99. — С. 113-117.
5. Д'яконов В. І. Ресурсний потенціал та перспективи використання енергії біомаси для газифікованих двигунів / В. І. Д'яконов, О. В. Богомолів, В. П. Богомолів, О. В. Д'яконов та ін. // Вісн. ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Серія : Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв — Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2011. — Вип. 119. — С.62-67.
6. Лоик Д.А. Исследование и разработка СВЧ устройств термообработки материалов в режиме бегущей волны. Автореферат диссертации Москва, 2009 год. 36 с.
7. Назаров И.В. Измерение распределения температурного поля по сечению материалов в поле бегущей СВЧ волны / М.В. Нефедов, В.Н. Нефедов, Т.А. Потапова, А.В. Мамонтов // Метрология, №3, 2006, стр.9-20.
8. Чудинов Б.С. Вода в древесине. Издательство «Наука» Сибирское отделение. Новосибирск 1984 г.

Аннотация

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ГНУЧКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Полянский А.С., Дьяконов А.В.

Предложенный способ брикетирования, отличающийся от существующих разогревом одновременно всего массива материала «изнутри» и отключении процесса нагрева при его высыхании. Такой подход позволяет распространить количество модифицированного материала брикетов, повысить его калорийность и получить новые свойства, в т. ч. и повышения прочности. Использование разогрева «изнутри», которой способствует массо переноса легко кипящих и водорастворимых соединений на поверхности образца и укрепляет даже без применения высокого давления, разработана гибкая электромагнитная технология (ЭМТ) применением чрезвычайно высокой частоты (СВЧ) изготовления топливных брикетов из растительных и древесных отходов. Автоматизация предложенной технологии позволяет обеспечить высокий коэффициент загрузки оборудования и снижения себестоимости продукции. Продолжительность микроволновой сушки древесины уменьшается более чем в 10 раз по сравнению с традиционной обработкой.

Ключевые слова: чрезвычайно высокая частота СВЧ, топливные брикеты, растительные и древесные отходы, гибкая технология.

Abstract

RATIONALE AND DEVELOPMENT OF FLEXIBLE TECHNOLOGY MANUFACTURING OF SOLID BIOFUEL FROM PLANT AND WOOD WASTE

A. Polanski, A. Dyakonov

The proposed method of briquetting differs from the existing ones by heating of the material of the whole array from "inside" and turning off the heating process when it dries. This approach allows us to extend the number of modified material briquettes and increase its calorie content and get new properties including the increase of solidity. The use of heating "inside", which promotes mass transfer of easily boiling and water-soluble compounds on the surface of the sample and strengthens it even without high pressure, the flexible electromagnetic technology (EMT) with the use of extremely high frequency (RAMs) manufacture of fuel briquettes from plant and wood waste. Automation of proposed technology allows to provide high load factor of equipment and reducing of production costs. The duration of microwave drying of wood is reduced by more than 10 times compared to traditional processing.

Key words: extremely high frequency RAMs, briquettes, plant and wood waste, flexible technology.