

УДК 630.88

Ю. В. ДЗЯДИКЕВИЧ, докт. техн. наук, професор

Р. І. РОЗУМ, канд. техн. наук, доцент

М. В. БУРЯК, канд. техн. наук, доцент

Тернопільський національний економічний університет, м. Тернопіль

**ПІДВИЩЕННЯ ЖАРОПРОДУКТИВНОСТІ ДЕРЕВНИХ ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ**

*В работе проанализированы способы извлечения влаги, которые улучшают эффективность использования древесины. Наиболее перспективной является ультразвуковая технология. Она может успешно использоваться для обработки древесной биомассы, из которой изготавливают топливные брикеты или пеллеты. Это позволит значительно повысить жаропродуктивность топлива.*

*У роботі проаналізовані способи виведення вологи, які покращують ефективність використання деревини. Найбільш перспективною є ультразвукова технологія. Вона може успішно використовуватися для обробки деревної біомаси, з якої виготовляють паливні брикети або пелети. Це дозволить значно підвищити жаропродуктивність палива.*

**Вступ**

Деревина є одним з найстаріших видів палива, оскільки її теплотворна здатність рівноцінна бурому вугіллю [1]. Для одержання тепла широко використовують відходи лісового та деревообробного виробництв.

Перспективним напрямом використання відходів деревини є виготовлення з них паливних брикетів або гранул (пеллет) [2]. Сировиною для їх виробництва є тирса, стружка, тріски та кора. Спочатку сировину подрібнюють до стану муки, сушать, а потім подають на прес гранулятор, в якому відбувається формування пеллет [3]. Під час пресування тиск підвищує температуру матеріалу, а лігнін, який міститься у деревині, розм'якшується і склеює частинки в щільні циліндри. На виробництво 1 т пеллет витрачається 4 – 5 м<sup>3</sup> деревних відходів [4]. Деревні гранули є стандартизованим видом палива і для них існують нормативи. У різних країнах уведені різні стандарти на виробництво паливних гранул (пеллет) [5]. В Україні та Росії стандартів на пеллети немає, тому виробники гранул орієнтуються на європейські стандарти.

Паливні гранули (пеллети) мають низку суттєвих переваг перед такими видами палива як газ, вугілля, мазут [4]. Популярність гранул як «домашнього» палива зумовлена і тим, що тепло з деревини сприймається набагато приємніше, ніж тепло, одержане з мазуту або природного газу.

Необхідно також зазначити, що використання пеллет як палива дає можливість не залежати від компаній монополістів (газ, електроенергія) і зовнішніх умов (пошкодження ліній електропередач, трубопроводів тощо).

**Основна частина**

Покращити використання відходів деревини можна шляхом підвищення жаропродуктивності, яка є важливою теплотехнічною характеристикою деревини [6]. Вона суттєво впливає на конструкції теплотехнічних пристроїв, в яких здійснюється їх спалювання, і це в значній мірі, визначає ефективність роботи парових і водогрійних агрегатів, які використовуються на підприємствах різних галузей народного господарства [1]. Жаропродуктивність відображає якість палива і свідчить про можливість його використання для проходження високотемпературних процесів. Чим більша величина жаропродуктивності палива, тим вища якість теплової енергії, що утворюється при його згоранні, тим вища ефективність роботи парових і водонагрівних котлів. Жаропродуктивність палива в основному залежить від двох чинників: вологості та зольності.

Вплив вологості та зольності на жаропродуктивність деревної біомаси представлено в

таблиці [6].

Таблиця 1

## Жаропродуктивність паливних деревних відходів

Зольність З <sub>p</sub> , %	Жаропродуктивність, °С, при робочій вологості, %							
	0	10	20	30	40	50	60	70
1	2022	1943	1851	1741	1603	1443	1229	939
2	2022	1942	1849	1737	1602	1433	1214	914
3	2022	1941	1846	1734	1896	1423	1198	888
4	2022	1940	1844	1730	1890	1413	1182	860
5	2022	1939	1842	1726	1883	1402	1164	831
6	2022	1938	1840	1722	1576	1391	1147	800
7	2022	1937	1838	1717	1569	1380	1128	768
8	2022	1936	1836	1713	1562	1368	1108	734
9	2022	1935	1833	1709	1554	1356	1088	697
10	2022	1934	1830	1704	1547	1343	1067	659

Жаропродуктивність свіжозрізаної деревини з вологістю 50 % при зольності 5 % складає 1402 °С, а висушена деревина до вологості 20 % має жаропродуктивність 1842 °С. Водночас зменшення зольності деревних відходів з 5 до 3 % (при вологості 20 %) приводить до зростання жаропродуктивності лише на 4 °С. Це свідчить про те, що зольність деревини слабо впливає на жаропродуктивність порівняно з вологістю. Отже, на величину жаропродуктивності деревини найбільший вплив має вологість.

Необхідно зазначити, що вологість деревини впливає не тільки на жаропродуктивність, але і на якість виробів із неї. В зв'язку з тим, проблемі виведення вологи з деревної маси приділена велика увага як науковців, так і виробничників [7–28].

Серед низки способів сушіння деревини на підприємствах деревообробної галузі в основному застосовуються два способи: конвекторне атмосферне та конвекторне газопарове сушіння [7].

Конвекторне атмосферне сушіння деревини відбувається на відкритому повітрі. Це найпростіший спосіб і не вимагає великих енергозатрат. Однак при цьому способі деревина висихає до 15–18 % вологості і він довготривалий.

Газопарове сушіння деревини здійснюється у сушильних камерах, в які подається нагріте повітря, суміш повітря з топковими газами або водяна пара. Застосування сушильних камер значно скорочує термін виведення вологи з деревини незалежно від кліматичних умов, пори року й стану погоди, дає можливість висушувати її до будь-якої заданої вологості та регулювати процес сушіння. Газові сушарні обігриваються топковими газами. Вони не потребують ні пари, ні електроенергії, але є пожежонебезпечні.

Найбільш поширені сьогодні пароповітряні камери. Повітря в них нагрівається паром, яка трубами подається від котельної до камери. В багатьох із них використовують реверсний рух повітря, що змінює напрям потоку. Недоліком камерного сушіння деревини є значні затрати на устаткування сушильних камер і паливо.

З метою прискорення процесу виведення вологи з деревини та підвищення якості висушеного матеріалу, пропонується спосіб сушіння деревини в ізольованій камері в якій спочатку зволожують деревину водою з температурою до 75 °С, а потім ступінчасто нагрівають до 118 °С. Тривалість нагрівання на кожній ступені від 20 до 40 хв. Виведення вологи з камери проводиться при досягненні тиску в ній не менше 600 мм рт. ст. [8].

Для ефективного виведення вологи із деревини автори [9] пропонують ступінчасте нагрівання та направлену циркуляцію повітря в камері зі швидкістю потоку в межах 0,1–0,5 м/с.

Нагрівання пиломатеріалів проводять у вакуумній сушильній камері, у якій між рядами

деревини розташовані нагрівні елементи. Вони працюють за 4-ступінчастим режимом [10, 11]. Така обробка забезпечує високу якість сушіння пиломатеріалів і дозволяє зменшити витрату електроенергії.

Сушіння деревини здійснюється в конвективних пароповітряних сушильних камерах періодичної дії. З метою покращення якості висушеної деревини, автори [12–15] запропонували методику проведення в процесі сушіння проміжної тепловологообробки, якою передбачено, що параметри процесу підвищуються поступово відповідно до градієнта температури, величина якого залежить від породи, товщини та вологості деревини.

Для штучного обезводнення деревини застосовують електричний струм. Електроди встановлюють на торцях дерев'яних виробів і прикладають напругу 200–260 В/м, а також імпульсне електричне поле. Воно має постійну складову, яка направлена вздовж волокон деревини. Це дозволяє підвищити енергетичну ефективність процесу виведення вологи із капілярів деревини [16–18].

Для скорочення часу сушіння деревину розташовують у камері між електродами, в якій створюють тиск 0,005–0,07 МПа, а потім деревину обробляють в електричному полі за допомогою об'ємних тліючих розрядів. Густина струму тліючих розрядів від 0,2 мА/см<sup>2</sup> до 40 мА/см<sup>2</sup>. Пару, що утворюється в процесі обробки, конденсують. Залежно від температури деревини регулюють потужність, яка підводиться до електродів, виготовлених у вигляді теплообмінників [19–21].

Багато матеріалів, зокрема й деревина, нагріваються в електричному полі струму високої чистоти (СВЧ). За 10 хв. дошка товщиною 50 мм при достатній потужності генератора високої частоти може нагрітися до 180 °С [7]. Сушіння СВЧ порівняно з конвекторним відбувається в 15–20 разів швидше. Штабель пиломатеріалів розташовують між електродами з латунної або мідної сітки. Між електродами виникає електричне поле, в якому є деревина. При цьому в камері застосовують вимушений рух повітря. Цей спосіб дуже ефективний особливо для сушіння деревини твердих порід, але він потребує великих витрат електроенергії. З метою інтенсифікації процесу сушіння деревини, підвищення економічності та якості виведення вологи, автори [22, 23] пропонують розташовувати випромінювач СВЧ на боковій стінці камери, щоб довжина плеча кожного подальшого хвилеводу відрізнялася від попереднього на величину, що дорівнює відношенню довжини електромагнітної хвилі до кількості випромінювачів. Використання іонізації повітря в сушильній камері дозволяє значно зекономити витрату електроенергії, що витрачається високочастотними генераторами [24].

Інтенсифікувати процес перерозподілу вологи, що знаходиться в об'єктах рослинного походження, зокрема в деревині, можна шляхом використання електромагнітних хвиль із діапазоном частот від  $3 \cdot 10^{-5}$  до  $3 \cdot 10^{14}$  Гц. Позитивний ефект одержують завдяки розташуванню джерел випромінювання навколо матеріалу, що обробляється [25, 26].

Існуючі технології сушіння деревини ґрунтуються на зміні агрегатного стану води (випаровування) і відрізняються тільки способами нагрівання деревини, випаровування рідини, підведення необхідної енергії для цієї мети та способами відведення газу, що утворюється в сушильній камері. Ці технології вимагають високих енерговитрат – 200–250 кВт/год на 1 м<sup>3</sup> деревини. Вартість сушіння перевищує вартість деревини та її розпилювання. Необхідно зазначити, що способи сушіння деревини, що застосовуються на підприємствах деревообробної промисловості, мають низьку продуктивність, спричиняють дефекти деревини, приводять до неоднорідності вологості, а також можлива небезпека витікання фреону із системи охолодження конденсаційних сушильних камер.

Сучасні тенденції удосконалення сушильного устаткування мають еволюційний характер і не можуть усунути ці недоліки. Хіба що, лише поліпшити технічні характеристики діючого устаткування на одиниці чи десятки відсотків. Причина в тому, що незмінним залишається фізичний принцип сушіння – випаровування вологи, яка є в деревині. У цьому випадку можна говорити тільки про збільшення коефіцієнта корисної дії всього сушильного комплексу за рахунок поліпшення конструкції сушильної камери, використання нових композиційних

теплоізоляційних матеріалів, оптимізації режимів обробки і т. д.

Унікальні властивості деревини як природного полімеру, що має складну капілярну структуру, дозволили створити нову технологію сушіння відходів деревини без зміни агрегатного стану вологи, що є в них. Вона ґрунтується на застосуванні ультразвуку. При сушінні волога з деревини виводиться у вигляді рідини [27]. Це в кілька разів знижує питомі енерговитрати та збільшує продуктивність устаткування на 50–70 %. Основними його елементами є ультразвуковий генератор і ультразвуковий випромінювач [28].

Дослідження впливу ультразвукової обробки на властивості деревини, які були проведені інноваційною компанією «Промін», показали, що застосування ультразвукової обробки забезпечує:

- підвищення якості пиломатеріалу;
- високу стійкість деревини до мікроорганізмів після сушіння;
- низьке вологопоглинання;
- підвищення стійкості до гниття та резонансних характеристик деревини.

До переваг ультразвукової технології необхідно віднести:

- підвищення продуктивності устаткування, різке зменшення його габаритів, ваги та споживаної потужності;
- можливість створення цілісної виробничої лінії „сушіння-обробка деревини”;
- підвищення економічних показників процесу деревопереробки;
- поліпшення екологічних показників (відсутність викидів шкідливих речовин в атмосферу та легке збирання виділеної рідини).

Ультразвукова технологія виведення вологи із деревини може успішно використовуватися для обробки відходів деревної біомаси, з якої виготовляють паливні брикети або пеллети [29].

Таким чином, застосування різних способів сушіння деревини дозволяє вивести вологу з деревної біомаси і тим самим підвищити її жаропродуктивність. Необхідно зазначити, що найбільш ефективним є ультразвукова технологія, яка може успішно використовуватись для обробки деревних відходів, із яких виготовляють паливні брикети (пеллети). Застосування паливних брикетів або гранул дозволяє вирішити важливу екологічну проблему – переробку відходів підприємств лісового господарства та деревообробної промисловості. Водночас це є економічно виправданим напрямом енергозабезпечення підприємств різних галузей народного господарства України.

#### Список літератури

1. Дзюпин О. В. Утилізація відходів деревини з отриманням тепла // Будмайстер. – 200. – № 8. – С. 8–11.
2. Дзядикевич Ю. В., Гевко Р. Б., Розум Р. І., Буряк М. В. Підвищення ефективності використання твердого біопалива (огляд) // Вісник інженерної академії України. Київ. 2010. – № 3 – 4, С. 213 – 219.
3. <http://www.biotechnology.net.ua>
4. Дзядикевич Ю. В., Розум Р. І., Буряк М. В. Шляхи підвищення ефективності використання відходів деревини. Энергосбережение • Энергетика • Энергоаудит. – 2011. – № 4. – С. 22 – 27.
5. <http://www.zog.ua/print.phpid>
6. Головков С. И., Коперин И. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов.-М.: Лесн.пром-сть, 1987. – 220 с.
7. <http://joiner.org.ua/index.php/2rozrtjad/>
8. Пат. 2397413 Россия. Способ сушки древесины / С. В. Серков. Опубл. 20.08.2010 г.
9. Пат. 96123100 Россия. Способ сушки древесины и установка для его осуществления/ В. А. Каневских, Е. Б.Бочевер, Н. С. Степин. Опубл. 20.02 1999 г.
10. Пат. 2349849 Россия. Способ сушки пиломатериалов / А. Н.Чернышов, А. А. Филонов. – Опубл. 20.03 2009 г.
11. Пат. 2367861 Россия. Способ сушки древесины / Н. Е. Епишков, Е. Н. Епишков, С. В.

Глухов. – 20.09 2009 г.

12. Пат. 34125 Україна. Спосіб сушіння деревини /П. К. Білей, В. М.Павлюй, І. А. Соколовський, Н. П. Яворська. – Опубл. 25.07 2008 г., бюл. № 14, 2008 р.

13. Пат. 34123 Україна. Спосіб сушіння деревини / П. В. Білей, В.М. Павлюй, І. А. Соколовський, Н. П. Яворська.– Опубл. 25.07 2008 г, бюл. № 14, 2008р.

14. Пат. 34856 Україна. Спосіб сушіння деревини / П. В. Білей, В. М. Павлюй, І. А. Соколовський, Н. П. Яворська. – Опубл. 26.08.2008., бюл. № 16, 2008 р.

15. Пат. 34800 Україна. Спосіб сушіння деревини / П. В. Білей, В. М. Павлюй, І. А. Соколовський, Н. П. Яворська. – Опубл. 26.01.2009., бюл. № 2, 2009 р.

16. Пат. 2006769 Россия. Способ сушки древесины/ В. И. Пятакин, В. В Марченко, В. К. Кондаков, Г. Н.Долгобородов. – Опубл. 30.01 1994 г.

17. Пат. 95111012 Россия. Способ сушки древесины/Е. Г. Порсев. – Опубл. 10.04 1997 г.

18. Пат. 97107781 Россия. Способ сушки древесины / С. С. Савчук, А. С. Бурмакин. – Опубл. 27.01 1999 г.

19. Пат. 97107031 Россия. Способ сушки древесины / Г. М. Кассиров, Ф. Г. Секисов, О. В. Смердов. – Опубл. 10.04 1999 г.

20. Пат.2133419 Россия. Способ сушки древесины /Г. М. Кассиров, Ф. Г. Секисов, О. В. Смердов. – Опубл. 20.07 1999 г.

21. Пат. 2347163 Россия. Способ сушки древесины / Г. М. Кассиров, В. В. Лопатин, Ф. Г. Секисов, О. В. Смердов. – Опубл. 20.02 2009 г.

22. Пат. 94015518 Россия. Устройство и способ сушки пиломатериалов в СВЧ-поле / И. А. Якимов, А. В. Засорин, С. П. Алипов, А. И. Черняк, Н. В. Первухин. – Опубл. 10.06 1997 г.

23. Пат. 102772 Россия. Устройство для сушки изделий из древесины / К. Н. Огурцов, Ж. С. Сеницына, В. А. Зеленов, С. А. Бондарев. Опубл. 10.03 2011 г.

24. Пат.2366875 Россия. Способ сушки древесины / Б. Н. Лелянов, М. И. Пузырев. – Опубл. 10.09 2009 г.

25. Пат. 54534 Україна. Спосіб електромагнітного сушіння деревини /Б. С. Олесків, С. П. Олесків. – Опубл. 17.03 2003 р.

26. Пат. 2367136 Россия. Способ сушки сырья или материалов растительного происхождения / В. С. Юрданов, Н. В. Юрданова. Опубл. 20.09 2009 г.

27. <http://www.proxima.com.ua/articles.php>.

28. Пат. 2419537 Россия. Устройство для ультразвуковой обработки древесины / В. А. Иванов, А. А. Новик, А. А. Новик, А. А. Новик. Опубл. 27.05.2011 г.

29. Пат. 50289 Россия. Установка для сушки древесины / В. В.Комарицкий, В. Я. Минаков. Опубл. 27.12 2005 г.

## INCREASING HEAT PRODUCTIVITY WOOD FUEL GRANULES

Yu. V. DZYADYKEVYCH, Dr. Scie. Tech., Pf.  
R. I. ROZOOM, Cand. Tech. Scie., assisiate profesor  
M. V. BURIK, Cand. Tech. Scie., assisiate profesor

*The paper analyzed how the withdrawal of moisture, which improve the efficiency of wood. The most promising is the ultrasound technology. It can be successfully used for the treatment of wood biomass from which produce fuel briquettes or pellets. This will significantly improve fuel heat productivity.*

Поступила в редакцию 03.02 2012 г.