

В.М. МАКСИМІВ¹, Й.В. АНДРАШЕК², Р.Б. ЩУПАКІВСЬКИЙ³

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ ДЕНСИТОМЕТРІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗМІНИ ЩІЛЬНОСТІ ДЕРЕВИНИ ДУБА ПІД ЧАС ТЕРМІЧ- НОГО МОДИФІКУВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ

Досліджено зміну щільності деревини дуба в процесі термооброблення в середовищі вуглекислого газу. Проведено порівняльний аналіз використання гравіметричного методу та методу високочастотної денситометрії на основі точності отриманих результатів. Визначено кількісну зміну щільності деревини в ранній та пізній зонах в межах річного приросту залежно від режимних параметрів процесу модифікування. Достовірність отриманих результатів обґрунтовано шляхом дослідження мікроструктурних змін в процесі оброблення досліджуваних зразків.

Ключові слова: щільність деревини, гравіметричний метод, термічне модифікування деревини, річне кільце, рання деревина, метод високочастотної денситометрії, пізня деревина

Вступ. Термічне оброблення деревини в середовищі CO₂ – одна із сучасних енергоефективних технологій модифікування деревинних матеріалів, в основу якої покладено принцип впливу на матеріал температури в межах 180-220°C в інертній атмосфері вуглекислого газу. Такий вплив спричиняє зміни в мікро- та макроструктурі деревини [3], які своєю чергою, впливають на властивості кінцевого продукту: покращена формостійкість та стійкість до високих температур, абсолю-

¹ **МАКСИМІВ Володимир Михайлович** – віце-президент Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів, Національний лісотехнічний університет України. м. Львів, Україна. Тел: 032-238-44-96. E-mail: vmmax@ukr.net

² **АНДРАШЕК Йосип Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій сушіння і захисту деревини, Національний лісотехнічний університет України. м. Львів, Україна. E-mail: Andrashek3@rambler.ru

³ **ЩУПАКІВСЬКИЙ Роман Богданович** – аспірант кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів, Національний лісотехнічний університет України. м. Львів, Україна. Тел.: +38-097-856-90-54. E-mail: Shc.Roman@gmail.com

тна стійкість до біологічних уражень, висока вологостійкість, однорідність кольору за товщиною, довговічність, екологічність тощо. Поряд з тим, деревина набуває низки недоліків – зменшуються ударна в'язкість, міцність на статичний згин [5] тощо. Крім того, залежно від зміни режимних параметрів проходження процесу (температури оброблення, швидкості нагрівання, тривалості витримки) структурні зміни можуть спричинювати не лише кількісну зміну основних елементів деревинної речовини (целюлози, геміцелюлози та лігніну) [8], але й виникнення тріщин в мікробудові, спричинених, загалом, послабленням міжмолекулярної взаємодії між елементами та зменшенням кількості гідроксильних груп [10]. Наведені вище чинники приводять до зміни щільності – інтегрального показника якості деревини, що має значний вплив на її фізико-механічні властивості [7].

Методи та об'єкти. Актуальність проведення досліджень полягає у виявленні динаміки зміни щільності абсолютно сухої деревини дуба під час термічного модифікування в інертній атмосфері діоксиду вуглецю, перевірки точності та можливості використання методу високочастотної денситометрії для проведення ґрунтовних досліджень, пов'язаних з виявленням закономірностей зміни теплових властивостей деревини в процесі модифікування від зміни її щільності.

Сучасні методи визначення щільності термічно модифікованої деревини – ваговий (гравіметричний), пікнометричний, метод суспензій дають не однозначні результати [8]. Вони дають змогу визначити лише середньозважений показник кількості деревинної речовини відносно об'єму. Поряд з тим, практично не можливо дослідити динаміку зміни щільності деревини в ранній чи пізній зонах в межах одного річного приросту. Така поверхнева оцінка не може адекватно пояснити зміну фізико-механічних властивостей деревини з погляду зміни її щільності в процесі термообробки, адже, для прикладу, механічні характеристики пізньої деревини дуба в 1,5-2 рази вищі порівняно з аналогічними показниками в ранній зоні [12], а взаємозв'язок між щільністю деревини дуба за відносної вологості 15% –

ρ_{15} , (кг/м³) та кількістю в ній пізньої деревини – m_l , (%) описується лінійною залежністю [13]:

$$\rho_{15} = 0,007 \cdot m_l + 0,34. \quad (1)$$

Метод високочастотної денситометрії (ВЧД) ґрунтується на принципі поширення безперервних хвиль високої частоти безпосередньо в зоні контакту (точці дотику) з поверхнею вимірювань [9], що дає змогу визначити щільність деревини в ранній та пізній зонах в межах одного річного приросту, шляхом вимірювання середнього її значення для кожного мм² одиниці площі поперечного перерізу зразка. Функція відгуку варіюється залежно від діелектричних властивостей деревини – відносної діелектричної проникності та коефіцієнта діелектричних втрат і включає поправочний коефіцієнт на вид деревини (для прикладу, для дуба – *Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl., *Quercus borealis* Michx. тощо).

Експериментальні дослідження проводили на зразках деревини дуба звичайного. Розкрій пиломатеріалів з вершинної центральної зони стовбура проводили з урахуванням умови отримання зразків з чіткою орієнтацією волокон (тангентальний, радіальний, аксіальний напрямки) згідно [1]. Поперечний зріз підготовлених зразків (20 x 20 x 20 мм) прокалібровано з метою отримання поверхні з мінімальним відхиленням площинності та низькими показниками шорсткості. Для вирівнювання вологості за товщиною матеріалу в межах 7-8% [6] всі зразки, сумарною кількістю 48 шт., попередньо витримували в конденсаційній камері за температури 20±2°C та відносній вологості повітря 65% впродовж 14 днів. Визначення щільності ваговим методом проводили згідно з [2], геометричні розміри та масу зразків вимірювали з точністю до 0,01мм та 0,0001 г відповідно.

Результати досліджень. Дослідження гравіметричним методом та методом ВЧД проводили двічі – до та після термооброблення за температури 180, 200 та 220°C (точки x_0 , z_1 – z_6 на рис. 1).

прорахунків. Результати вимірювань, в котрих кількість аномальних областей перевищувала дві, не брали до уваги та не включали до загальної вибірки.

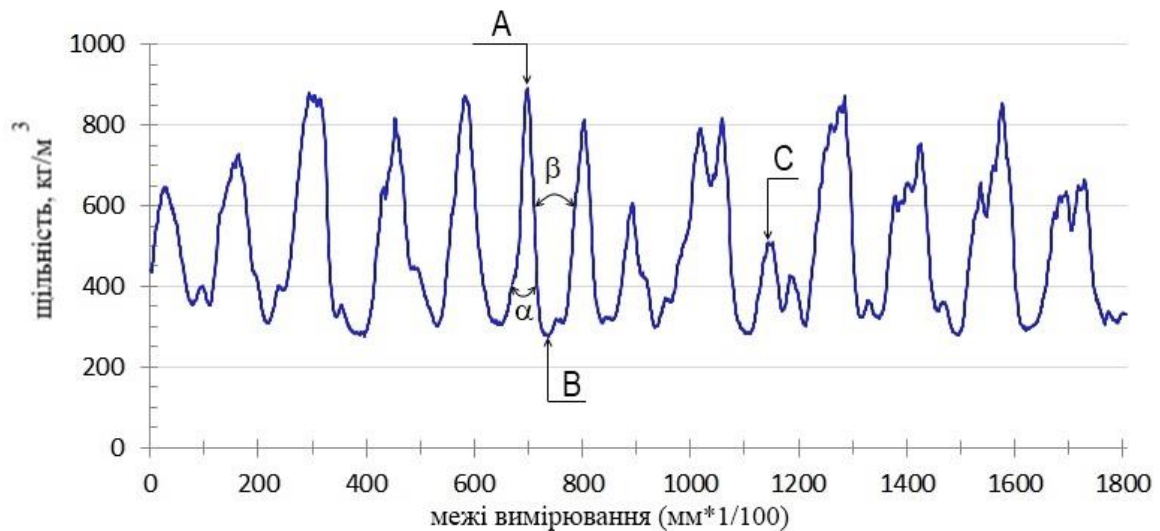


Рис. 2. Графік зміни щільності деревини дуба в ранній та пізній зонах у межах одного зразка (вимірювана відстань – 18,37 мм)

Криві зміни щільності деревини дуба до модифікування та після теплової обробки за 180, 200 та 220°C зображено на рис. 3.

Результати досліджень показують, що зі збільшенням температури модифікування щільність деревини стрімко зменшується. Найбільш значущий вплив температури спостережено на зміну щільності в ранній зоні. Це частково пояснюється особливостями анатомічної будови деревини дуба.

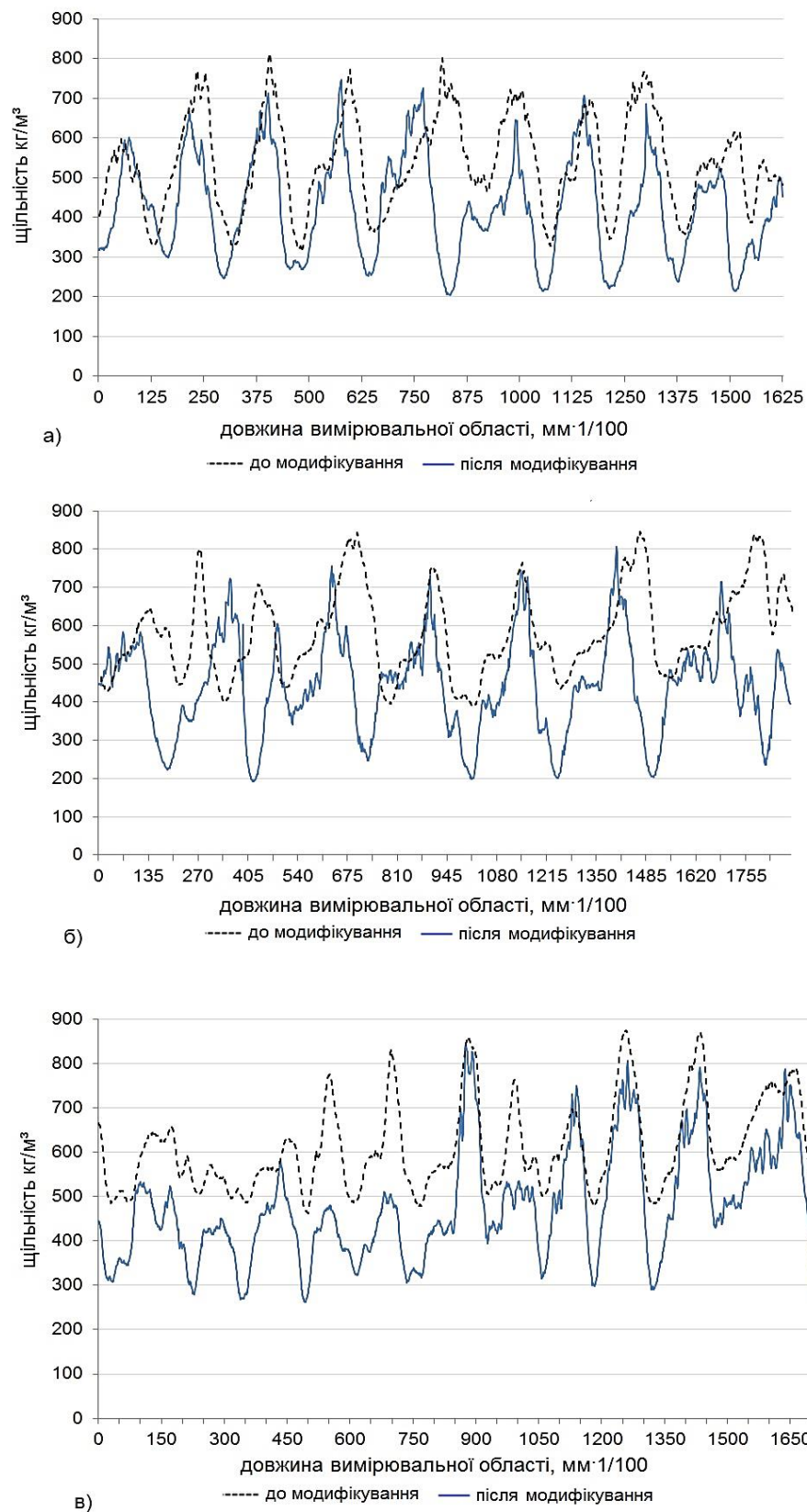


Рис. 3. Криві зміни щільності деревини дуба в межах одного зразка до та після модифікування за температури: а) 180°C, б) 200°C, в) 220°C

Внаслідок дії на деревину температури понад 160°C відбуваються незворотні зміни в її мікроструктурі, що здебільшого проявляється через руйнування стінок трахеїд [11]. Розглядаючи мікроріз деревини до та після модифікування (рис. 4.), можна зауважити, що стійкість трахеїд до температурного впливу в ранній зоні є значно нижчою. Руйнації, спричинені дією високої температури у клітинній стінці ранньої зони, є більш значущими та очевидними, що своєю чергою пояснює, чому щільність деревинної речовини в пізній зоні, після модифікування, змінюється не так відчутно.

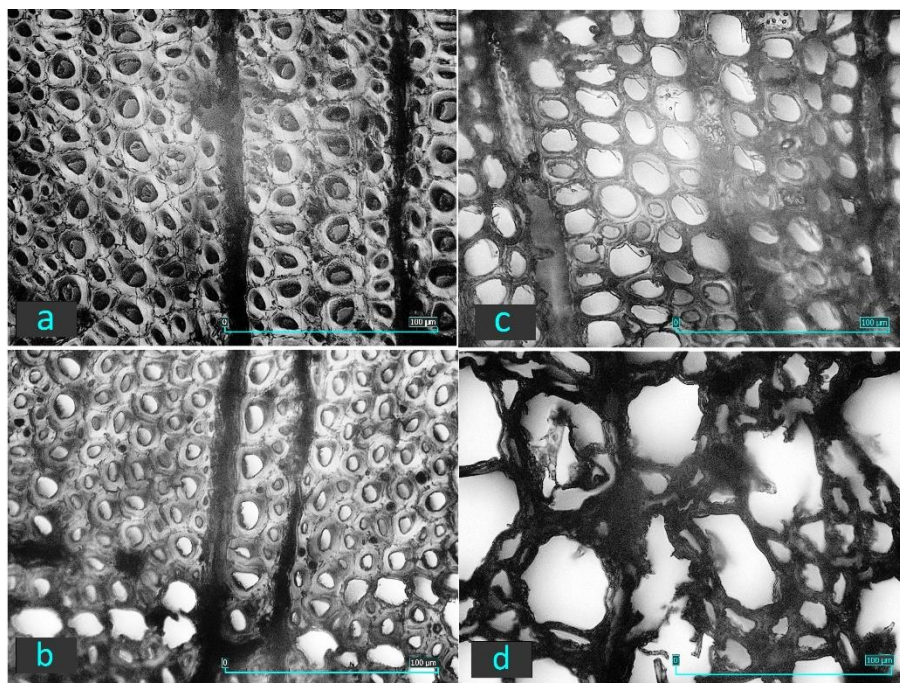


Рис. 4. Мікроріз деревини дуба: до модифікування а) пізня деревина, с) рання деревина; після модифікування за температури 220°C б) пізня деревина, д) рання деревина

Вплив температури модифікування на зміну середнього показника щільності ранньої та пізньої деревини дуба можна спостерігати на рис. 5. Як бачимо, щільність ранньої деревини вже за температури 180°C знизилась на 12,3%, тоді як пізньої – лише на 4,3%. Зі збільшенням температури оброблення до 220°C спостережено аналогічну динаміку зміни – до 20,6% в ранній та 12,7% – в пізній зоні відповідно.

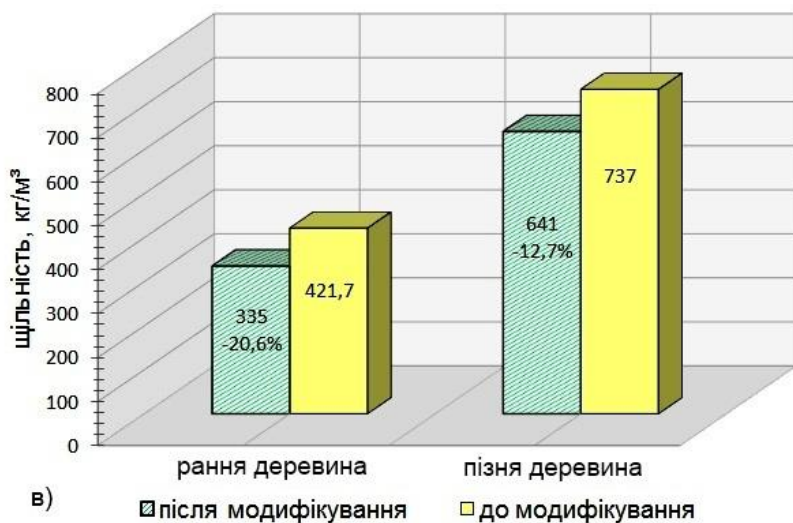
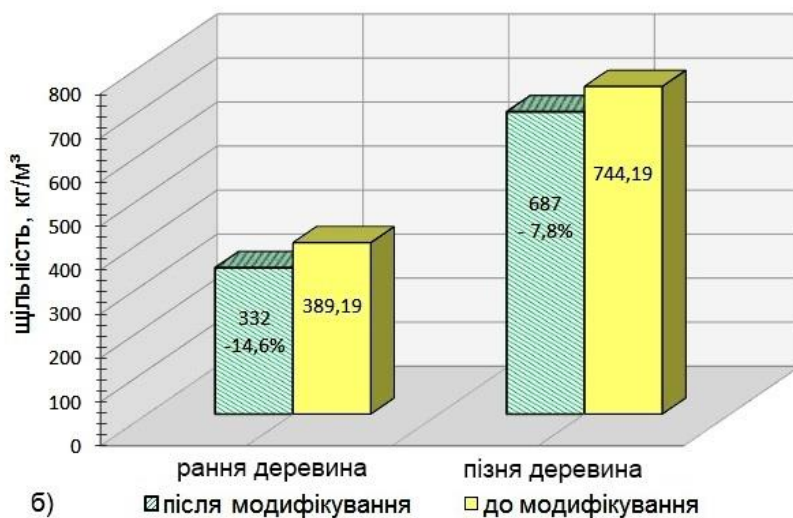
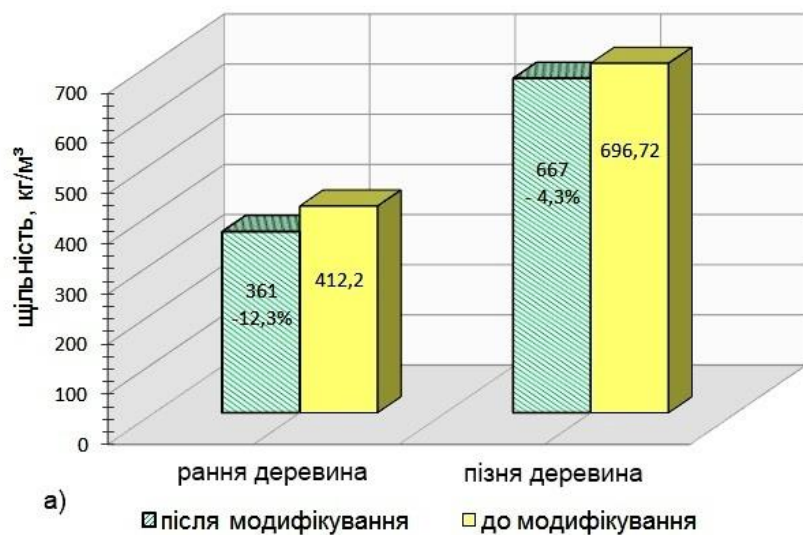


Рис. 5. Гістограми зміни щільності деревини дуба в ранній та пізній зонах до та після модифікування за температури: а) 180°C, б) 200°C, в) 220°C

Порівнюючи середньорозрахункове значення зниження щільності для кожного окремого зразка, отримане ваговим методом та ВЧД, варто зазначити незначну розбіжність в отриманих результатах. Так, зниження цього показника, обчислене під час застосування методу ВЧД, становить: 8,5% за 180°C та 11% і 16% за 200°C та 220°C відповідно. Гравіметричний метод показує дещо нижчі показники зниження щільності: 6,5% за 180°C, 10% за 200°C та 14% за температури модифікування 220°C.

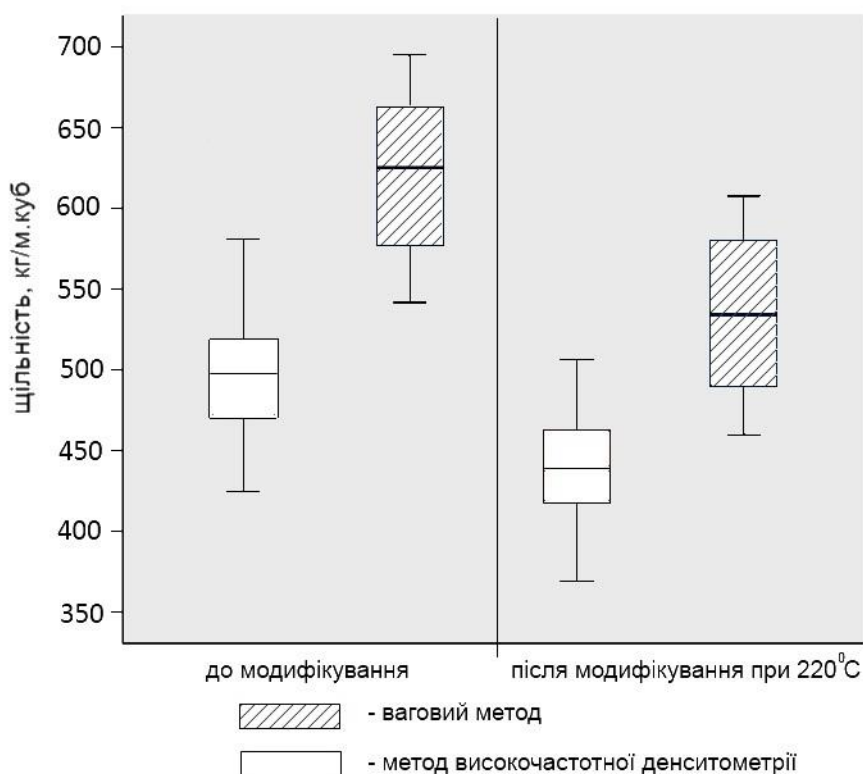


Рис. 6. Діаграма зміни щільності деревини дуба до та після модифікування

Порівняльний аналіз використаних методів показав, що середньорозрахункові показники щільності, отримані ваговим методом, мають дещо вищі значення порівнянно з методом ВЧД (рис. 6). На погляд авторів, така розбіжність може бути спричинена недоліками вагового методу – неточністю вимірювання (ваги та розмірів зразків), не достатньо доброю підготовкою вимірювальної поверхні, не лінійністю розмірів тощо.

Висновки. Термічне модифікування деревини дуба звичайного в середовищі вуглекислого газу призводить до зниження її щільності. Використаний метод високочастотної денситометрії, на відміну від гравіметричного, дає змогу дослідити зміну показників щільності деревини в ранній та пізній зонах в межах одного річного приросту та може бути використаний в подальших дослідженнях впливу зміни щільності абсолютно сухої деревини дуба на її теплові властивості в процесі термічної обробки. Найбільш відчутне зниження цього показника в ранній зоні, яке становить від 12,3 до 20,6%, залежно від температури обробки. Такі результати частково зумовлені анатомічною структурою клітинної стінки на основі вивчення мікрорізів модифікованої деревини. Більш ґрунтовні висновки можуть бути отримані після проведення додаткових досліджень зміни в молекулярній структурі, зокрема – методами ІЧ-спектроскопії, тетрамеханічної спектроскопії тощо.

Список використаних джерел

1. Testing of wood. Sampling (DIN 52180:1977).
2. Testing of wood; determination of density (DIN 52182:1976).
3. **Gunduz G.**, Korkut S., Aydemir D., (2009). The density, compression strength and surface hardness of heat-treated hornbeam (*Carpinus betulus*) wood. *Maderas. Ciencia y tecnología* 11(1): pp.61-70.
4. Standard atmospheres for conditioning and/or testing (ISO 554:1976).
5. **Korkut S.**, M. Hakkı Alma and Y. Kenan Elyildirim, (2009). The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of European Hophornbeam (*Ostrya carpinifolia Scop.*) wood. *African Journal of Biotechnology* Vol. 8 (20), pp. 5316-5327.
6. **Manninen A.**, Pasanen P., Holopainen J.K. (2002). Comparing the VOC emissions between air-dried and heattreated Scots pine wood. *Atmos Environ* 36: pp.1763-1768.
7. **Niemz P.** (1993). *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*. DRW Verlag. Leinfelden-Echterdingen.
8. **Pfriem A.**, Zauer M., Wagenführ A., (2009) Alteration of the pore structure of spruce (*Picea abies* (L) Karst) and maple (*Acer pseudoplatanus* L) due to thermal

treatment as determined by helium pycnometry and mercury intrusion porosimetry. *Holzforschung* 63: s.94-98.

9. Schinker M., Hansen N., Spiecker H., (2003). High-frequency densitometry – a new method for the rapid evaluation of wood density variations. *IAWA Journal*, Vol. 24 (3), 2003: pp.231-239.

10. Wagenführ A., Pfriem A., Eichelberger K., (2005). Der Einfluss einer thermischen Modifikation von Holz auf einige im Musikinstrumentenbau relevanten Eigenschaften – Teil 1 ausgewählte anatomische und physikalische Eigenschaften. *Holztechnol* 46(4): s.36-42.

11. Wålinder M., Omidvarc A., Seltmana J., (2009). Micromorphological studies of modified wood using a surface preparation technique based on ultraviolet laser ablation. *Wood Mat Sci.Eng* 4: pp.46-51.

12. Вихров В.Е. Строение и физико-механические свойства древесины дуба / Вихров В.Е. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 288 с.

13. Влияние микроскопического строения древесины на ее физико-механические свойства. [Электронный ресурс]. – Доступный з www.drevesinas.ru/factors/construction/1.html.

В.М. Максимив, И.В. Андрашек, Р.Б. Щупакивський

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ДЕНСИТОМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ДУБА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Исследовано изменение плотности древесины дуба в процессе термообработки в среде углекислого газа. Проведен сравнительный анализ использования гравиметрического метода и метода высокочастотной денситометрии на основе сравнения точности полученных результатов. Определены количественные изменения плотности древесины в ранней и поздней зонах в пределах годичного кольца в зависимости от режимных параметров процесса модифицирования. Достоверность полученных результатов обоснована путем исследования микроструктурных изменений в процессе обработки исследуемых образцов.

Ключевые слова: плотность древесины, гравиметрический метод, термическое модифицирование древесины, годичное кольцо, ранняя зона, метод высокочастотной денситометрии, поздняя зона

V.M. Maksymiv, J.V. Andrashek, R.B.Shchupakivskyy

**APPLICATION OF HIGH-FREQUENCY DENSITOMETRY TO DETECT THE
CHANGE OF EARLY- AND LATEWOOD OF OAK DENSITY DUE TO
THERMAL TREATMENT IN CARBON DIOXIDE ENVIRONMENT**

The aim of the present investigation was to detect the change of density of oak (*Quercus robur*), wood due to the influence of a thermal modification. The reduction of the density was recorded by High-Frequency Densitometry and compared to measurements based on the Gravimetric Method. To achieve a comparison of the initial density before and the density in result of thermal treatment, the examination was carried out on the same sample. The evaluation of the methods allows to conclude, that the High-Frequency Densitometry Method shows less deviations in their results than the Gravimetric Method. In addition this method provides reasonably good results in respect to the intended localisation of the reduction of density within an annual- ring. As to be expected, in contrast to the Gravimetric Method the High-Frequency Densitometry Method proved to be applicable to localise the change of the tree-ring density. It can be summarized that the measurement of the local density change is possible and the density of earlywood was significantly more reduced compared to that of the latewood. In parallel, changes occur in the microstructure in the form of cell wall delamination.

Key words: latewood, gravimetric method, high-frequency densitometry, latewood, thermal treatment, wood density.