



I. M. Сопушинський¹, Р. Т. Максимчук¹, Я. М. Кополовець², Л. І. Білик¹

¹ Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

² Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ *BETULA PENDULA* ROTH.

Проаналізовано результати комплексного дослідження фізичних властивостей деревини берези повислої (*Betula pendula* Roth.) домінуючих і пригнічених дерев, сформованих у свіжій грабово-буковій бучині Українських Карпат. З'ясовано особливості поширення виду в регіоні, де береза формує чисті та змішані лісові насадження з часткою у складі деревостанів 40–60 %. Досліджено фізичні показники деревини дерев, що зростають на висотах 400–500 м н.р.м., з урахуванням їхнього соціального положення у деревостані. Проведено відбір модельних домінуючих і пригнічених дерев, з яких отримано кряжі та виготовлено стандартні зразки деревини. Застосовано чинні вітчизняні та міжнародні методики для визначення об'ємної маси, пористості, усихання та показників анізотропії деревини. Статистичне оброблення експериментальних даних виконано із використанням програм SPSS 17.0 та Excel, унаслідок чого встановлено середні значення показників, їх варіацію та точність. Встановлено, що для деревини домінуючих дерев характерні вищі значення об'ємної маси в абсолютно сухому стані ($607 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$) і базисної щільності ($511 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$), нижча пористість та дещо більша анізотропія всихання, що свідчить про формування структурно однорідної та міцної деревини. Досліджено, що деревина пригнічених дерев має нижчу щільність ($511 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ у сухому стані), підвищену абсолютну та базисну пористість, більшу вологість і меншу анізотропію всихання. Наведено прямолінійні залежності між базисною об'ємною масою деревини та величиною тангентального всихання, а також між базисною об'ємною масою та абсолютною пористістю для обох груп дерев. Проведено порівняльний аналіз, за результатами якого з'ясовано істотний вплив положення дерева у деревостані на формування фізичної якості деревини. Показано, що домінуючі дерева формують стовбурну деревину, для якої характерні більші показники фізичних властивостей порівняно з аналогічними показниками у стовбурній деревині пригнічених дерев, що зумовлено соціальним статусом дерев у насадженні.

Ключові слова: береза повисла; фізичні якості деревини; об'ємна маса деревини; пористість дерев; усихання дерев; анізотропія деревини; домінуючі та пригнічені дерева; Українські Карпати.

Вступ / Introduction

Береза повисла (*Betula pendula* Roth.) є важливим лісовим і господарсько цінним деревним видом, роль якого істотно зростає за умов сучасних кліматичних змін. Її висока екологічна пластичність, здатність до швидкого росту та формування різних типів деревостанів зумовлюють підвищений науковий інтерес до вивчення біологічних і фізичних властивостей деревини цього виду. Цінність берези у контексті змін клімату розкрито низкою досліджень, зокрема через аналіз особливостей її природного ареалу в Європі [1]. В окремих роботах розглянуто вплив берези повислої на таксаційні показники інших деревних порід, зокрема сосни звичайної, у лісових культурах Західного Полісся [4], а також лісгосподарські підходи до формування чистих і змішаних березових деревостанів у поєднанні зі сосною звичайною, що висвітлено у працях фінських уче-

них [9]. Водночас, питання формування фізичних властивостей деревини берези повислої залежно від соціального положення дерев (домінуючих і пригнічених), особливо в умовах свіжої грабово-букової бучини Українських Карпат, залишається недостатньо дослідженим і потребує подальшого наукового опрацювання.

Попри значний обсяг наукових публікацій, питання формування фізичних властивостей деревини берези повислої залежно від положення дерев у деревостані залишається недостатньо дослідженим. Це зумовлює потребу у проведенні спеціалізованого дослідження, спрямованого на порівняльний аналіз фізичних властивостей деревини домінуючих і пригнічених дерев берези в умовах свіжої грабово-букової бучини Українських Карпат.

Об'єкт дослідження – визначення фізичних властивостей деревини берези повислої в домінуючих і пригнічених деревах у свіжому грабово-буковому типі лісу

© Copyright 2026 by the author(s)

Сопушинський Іван Миколайович, д-р с.-г. наук, професор, кафедра лісового господарства та раціонального природокористування. Email: i.sopushynskiy@chdtu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-7392-9385>

Максимчук Руслан Тарасович, д-р філософії з напрямку лісове господарство, доцент, кафедра лісового господарства та раціонального природокористування. Email: maksymchuktaras@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5297-4542>

Кополовець Ярослав Михайлович, д-р філософії напрямку лісове господарство, доцент, кафедра лісівництва. Email: yaroslav.kopolovets@uzhnu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0006-4008-4052>

Білик Людмила Іванівна, д-р пед. наук, професор, кафедри лісового господарства та раціонального природокористування. Email: bilyk218@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-3802-6145>

Цитування за ДСТУ: Сопушинський І. М., Максимчук Р. Т., Кополовець Я. М., Білик Л. І. Особливості формування фізичних властивостей деревини *Betula pendula* Roth. Науковий вісник НЛТУ України. 2026, т. 36, № 1. С. 59–65.

Citation APA: Sopushynskiy, I. M., Maksymchuk, R. T., Kopolovets, Ya. M., & Bilyk, L. I. (2026). Features of formation of physical properties of wood *Betula pendula* Roth. *Scientific Bulletin of UNFU*, 36(1), 59–65. <https://doi.org/10.36930/40360106>

Українських Карпат.

Предмет дослідження – методи і засоби встановлення об'ємної маси, пористості, усихання деревини та показник її анізотропії, сформовані в домінантних і пригнічених деревах берези повислої, що дасть змогу цілеспрямовано та ефективно використовувати деревинну сировину.

Мета роботи – проаналізувати відмінності фізичних властивостей деревини домінантних і пригнічених дерев *Betula pendula* Roth., що дасть змогу глибше оцінити технологічний потенціал та можливість раціонального використання деревини берези через визначення її об'ємної маси, пористості та показників усихання як інтегральних показників якості деревини.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- визначити показники об'ємної маси деревини домінантних і пригнічених дерев берези, що дасть змогу цілеспрямовано та ефективно використовувати деревинну сировину;
- дослідити пористість деревини берези залежно від соціального положення дерев у деревостані, що дасть можливість проводити якісний відбір сортиментів для деревообробного виробництва;
- оцінити величину та характер усихання деревини у радіальному та тангентальному напрямках і за об'ємом, що є визначальним у сушінні деревини;
- порівняти фізичні властивості деревини домінантних і пригнічених дерев берези, що дасть можливість цілеспрямовано вирощувати дерева берези із заданими властивостями деревини;
- обґрунтувати вплив виявлених відмінностей фізичних властивостей на якість деревини берези, що дасть можливість оптимізувати технологічні процеси оброблення деревини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз сучасних наукових джерел, в яких досліджено березу повислу (*Betula pendula* Roth.) і які охоплюють екологічні, лісівничі та таксаційні аспекти її росту і розвитку, свідчить про їхню різноспрямованість. У значній кількості робіт вивчено вплив антропогенних чинників на морфофізіологічний стан берези. Зокрема, встановлено [14], що різні фактори міського середовища, у тому числі промислові викиди, зумовлюють диференційовану реакцію дерев, однак ступінь такої реакції та її зв'язок із властивостями деревини залишаються недостатньо дослідженими.

Окрему групу досліджень становлять роботи, в яких висвітлено вирощування березових насаджень у північній Європі. У них основну увагу зосереджено на підвищенні продуктивності та удосконаленні приросту двох видів берези – *Betula pendula* Roth. і *Betula pubescens* Ehrh., що розглядають як перспективні породи для лісового господарства регіону [8]. Подібний напрям досліджень простежується і в роботах, де акцент зроблено на ролі берези у формуванні молодих дубових деревостанів, зокрема на покращенні якості стовбурів і збільшенні об'ємного приросту дерев [12].

Водночас, незважаючи на практичну спрямованість зазначених досліджень, питання господарювання у березових деревостанах переважно розглядають крізь призму підвищення продуктивності, тоді як формування сприятливих умов для покращення якості стовбурної деревини залишається поза межами детального наукового аналізу. У цьому контексті заслуговують уваги дослідження українських науковців [3], у яких проаналі-

зовано особливості диференціації дерев і процеси формування відпаду в молодняках берези повислої.

У низці робіт безпосередньо здійснено порівняльний аналіз таксаційних показників домінантних і пригнічених дерев берези. Встановлено [7], що для домінантних дерев характерні вищі показники росту і вони мають значну господарську цінність, зокрема для деревообробної промисловості, виробництва шпону та художніх виробів, тоді як пригніченим деревам властива нижча якість деревини і вони переважно використовуються для отримання деревної маси та дров.

Окремий напрям досліджень [16] пов'язаний із вивченням впливу берези як домішкової породи на ріст і морфологічні показники сосни звичайної. На основі моделей, побудованих для молодих насаджень південної Фінляндії, доведено, що кількість берези істотно впливає на діаметр стовбура та максимальний діаметр гілок сосни, формуючи її зовнішню якість.

Отже, наразі нагромаджено значний обсяг наукових досліджень і публікацій вітчизняних і зарубіжних авторів про березу повислу. Проте переважна більшість із них зосереджена на вивченні впливу лісівничих заходів, спрямованих на підвищення приросту та продуктивності чистих і змішаних деревостанів. Водночас, якісні характеристики деревини берези, зокрема фізичні властивості деревини домінантних і пригнічених дерев, залишаються недостатньо дослідженими, що зумовлює актуальність подальших наукових пошуків у цьому напрямі.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженні було охоплено березняк у свіжій грабовій бучині Українських Карпат, розташований на висотах 400-500 м н.р.м. (географічні координати території: 48°48'10" пн.ш., 22°35'49" сх.д.). У складі деревостанів частка берези становила 40-60 %. Для визначення фізичних властивостей деревини було відібрано три модельних дерева для кожної категорії: домінантних і пригнічених. *Домінантні дерева* займали лідерську позицію в деревостані, належали до першого ярусу насаджень та відзначалися високим ростом і потужним розвитком. *Пригнічені дерева* належали до другого та третього ярусів насаджень та характеризувалися меншим розміром та нижчим темпом росту, що пов'язано з конкуренцією за світло та ресурси. Діаметр модельних дерев змінювався від 18 до 39 см, а висота – від 15 до 25 м.

Для визначення властивостей деревини було відібрано 18 кряжів завдовжки 40 см, а загальна кількість зразків для визначення фізичних властивостей деревини становила 400 шт. Кількість зразків з одного кряжа була не меншою за 10 шт. З кожного дерева кряжі вирізали на висоті 1,3 м від землі ($D_{1,3}$ м), на двох третинах довжини стовбура ($L_{стовб.}$) та на відстані 1 м від початку крони [17]. З кожного взятого для дослідження стовбура граба відібрано три кряжі завдовжки 0,6 м, з яких виготовлено стандартні взірці розмірами $20 \times 20 \times 30$ мм³ з точністю ± 1 мм. Встановлені середні значення показників фізичних властивостей деревини відображали зміну її властивостей між відібраними модельними деревами та відповідно за їх висотою та радіусом стовбура. Загальна кількість взірців для кожного виду дослідження становила 100 шт. Статистичний аналіз отриманих результатів дослідження виконано за допомогою програмного забезпечення SPSS 17.0, та Excel. Фізичні властивості деревини визначено згідно з визнаними вітчиз-

няними та міжнародними методиками і чинними стандартами [13, 17].

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Об'ємна маса деревини є інтегральним показником її якості, а показники анізотропії всихання деревини розкривають структурні особливості для її подальшого технологічного оброблення. У цьому контексті заслуговують уваги дослідження відмінностей показників фізичної якості деревини домінантних і пригнічених дерев берези у лісових насадженнях. Результати дослідження фізичних властивостей деревини домінантних дерев берези наведено у табл. 1.

Табл. 1. Фізичні властивості деревини домінантних дерев берези / Physical properties of wood from dominant birch trees

Показник	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
ρ_0 , кг/м ³	536	607 ^{±4,18}	701	7,1	0,7
$\rho_б$, кг/м ³	458	511 ^{±3,17}	574	6,4	0,6
$\rho_{с.з.с.}$, кг/м ³	679	866 ^{±6,35}	1034	7,5	0,7
W , %	38	73 ^{±1,84}	123	25,7	2,5
Π_0 , %	53	59 ^{±0,27}	64	4,7	0,5
$\Pi_б$, %	62	66 ^{±0,21}	69	3,3	0,3
β_t , %	8,0	8,5 ^{±0,03}	9,2	3,5	0,3
β_r , %	5,0	5,5 ^{±0,02}	6,0	4,4	0,4
β_l , %	0,1	0,5 ^{±0,02}	0,8	42,8	4,2
β_V , %	13,3	14,5 ^{±0,06}	15,7	4,4	0,4
$k_{\beta t/\beta r}$	1,44	1,55	1,71	2,7	0,3

Примітка: ρ_0 – щільність деревини в абсолютно сухому стані; $\rho_б$ – базисна щільність деревини; $\rho_{с.з.с.}$ – щільність свіжозрубаної деревини; $W_{абс.}$ – абсолютна вологість свіжозрубаної деревини; Π_0 – абсолютна пористість деревини; $\Pi_б$ – базисна пористість деревини; β_t – всихання деревини в тангентальному напрямку; β_r – всихання деревини в радіальному напрямку; β_l – всихання деревини повздож волокон; β_V – об'ємне всихання деревини; $k_{\beta t/\beta r}$ – коефіцієнт неоднорідності.

Отримані результати свідчать, що деревині домінантних дерев берези характерні відносно високі та стабільні показники об'ємної маси деревини. Середнє значення об'ємної маси деревини в абсолютно сухому стані становить 607 кг·м⁻³ за коефіцієнта варіації 7,1 %, що вказує на помірну мінливість цього показника та достатню однорідність деревинної сировини. Аналогічна тенденція простежується і для базисної щільності (511 кг·м⁻³), що є важливим інтегральним показником якості деревини та її придатності до різних видів перероблення.

Об'ємній масі свіжозрубаної деревини характерний дещо вищий рівень варіації (7,5 %), що зумовлено природною неоднорідністю вологості та анатомічної будови деревини. Абсолютна вологість деревини має найвищий коефіцієнт варіації (25,7 %), що є типовим для цього показника та можна пояснити впливом сезонних умов, фізіологічного стану дерев і особливостей водопровідної системи.

Коефіцієнти варіації для абсолютної та базисної пористості деревини відзначаються низькою мінливістю і, відповідно, становлять 4,7 та 3,3 %, що свідчить про відносну структурну однорідність деревини домінантних дерев берези. Це є позитивною характеристикою з погляду прогнозування її поведінки під час сушіння та механічного оброблення.

Аналіз показників всихання показує, що найбільші деформації відбуваються в тангентальному напрямку ($\beta_t = 8,5$ %), дещо менші – в радіальному ($\beta_r = 5,5$ %), тоді як повздожне всихання є мінімальним ($\beta_l = 0,5$ %). Високий коефіцієнт варіації повздожного всихання (42,8 %) можна пояснити малими абсолютними значеннями цього показника.

Середнє значення об'ємного всихання (14,5 %) за низького коефіцієнта варіації (4,4 %) вказує на передбачувану зміну об'єму деревини під час сушіння. Коефіцієнт неоднорідності всихання ($k_{\beta t/\beta r} = 1,55$) свідчить про помірну анізотропію деревини берези, що потрібно враховувати під час технологічного перероблення деревини та її сушіння.

Загалом результати дослідження підтверджують, що деревина домінантних дерев берези відзначається високими та стабільними фізичними показниками, що забезпечує її придатність для раціонального та ефективного використання у деревообробній промисловості відповідно до цільового призначення.

Для глибокого аналізу відмінностей у формуванні фізичних властивостей деревини берези визначено аналогічні показники для пригнічених дерев у свіжій грабовій бучині Українських Карпат (табл. 2).

Табл. 2. Фізичні властивості деревини пригнічених дерев берези / Physical properties of wood from suppressed birch trees

Показник	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
ρ_0 , кг/м ³	451	511 ^{±2,56}	576	5,1	0,5
$\rho_б$, кг/м ³	403	438 ^{±1,99}	491	4,7	0,5
$\rho_{с.з.с.}$, кг/м ³	700	800 ^{±4,74}	961	6,1	0,6
W , %	53	83 ^{±1,47}	119	18,0	1,8
Π_0 , %	62	66 ^{±0,17}	70	2,7	0,3
$\Pi_б$, %	67	71 ^{±0,13}	73	1,9	0,2
β_t , %	6,8	7,6 ^{±0,04}	8,4	5,7	0,6
β_r , %	4,4	5,0 ^{±0,03}	5,8	6,8	0,7
β_l , %	0,1	0,5 ^{±0,02}	0,9	44,7	4,4
β_V , %	11,6	13,1 ^{±0,07}	14,9	5,4	0,5
$k_{\beta t/\beta r}$	1,27	1,50 ^{±0,01}	1,73	5,3	0,5

Результати дослідження свідчать, що фізичним властивостям деревини пригнічених дерев берези характерні нижчі значення щільності порівняно з домінантними деревами, що є наслідком уповільненого росту та обмежених умов розвитку. Середня щільність деревини в абсолютно сухому стані становить 511 кг·м⁻³ за відносно низького коефіцієнта варіації (5,1 %), що вказує на достатню однорідність цього показника в межах вибірки. Базисна об'ємна маса деревини також є помірною (438 кг·м⁻³), що зумовлює зниження потенційної міцності та технологічної цінності такої деревини.

Щільності свіжозрубаної деревини характерні вищі абсолютні значення (800 кг·м⁻³), що можна пояснити підвищеною вологістю деревини пригнічених дерев. Абсолютна вологість у середньому становить 83 %, а коефіцієнт варіації (18,0 %) свідчить про значну мінливість цього показника, зумовлену різною інтенсивністю транспірації та водонагромадження в умовах затінення.

Показники пористості деревини пригнічених дерев берези є вищими, ніж у домінантних дерев, при цьому їм характерна дуже низька варіація відповідно в абсолютно сухому стані – 2,7 % та у базисному стані 1,9 %. Це свідчить про формування пухкшої та рівномірнішої

анатомічної структури деревини, що, з одного боку, знижує її об'ємну масу, а з іншого – підвищує водопоглинальну здатність.

Аналіз показників всихання показує, що абсолютні значення деформацій деревини пригнічених дерев є меншими, ніж у домінантних. Тангентальне всихання в середньому становить 7,6 %, радіальне – 5,0 %, а повздовжнє – тільки 0,5 %. Водночас, повздовжньому всиханню характерний високий коефіцієнт варіації, який становить 44,7 %, що є типовим для цього показника через його незначні абсолютні значення.

Об'ємне всихання деревини пригнічених дерев берези становить у середньому 13,1 % за помірного коефіцієнта варіації (5,4 %), що свідчить про відносно стабільну зміну об'єму під час сушіння. Коефіцієнт неоднорідності всихання ($k_{\beta_V/\beta_r} = 1,50$) вказує на помірну анізотропію деревини, дещо нижчу, ніж у домінантних дерев, що позитивно впливає на її розмірну стабільність у процесі технологічного оброблення.

Загалом результати дослідження підтверджують, що пригнічені дерева берези формують деревину з нижчими показниками об'ємної маси та більшою пористістю, підвищеною вологістю і дещо меншою анізотропією всихання. Ці особливості потрібно враховувати під час оцінювання якості деревинної сировини та вибору напрямів її раціонального використання в деревообробному виробництві.

Порівняння результатів досліджень свідчить про чітко виражений вплив положення дерева в деревостані на формування фізичних властивостей деревини берези. Домінантним деревам характерні вищі показники щільності, що зумовлено кращими умовами росту, інтенсивнішим камбіальним приростом і формуванням щільнішої анатомічної структури деревини.

Середня щільність деревини в абсолютно сухому стані у домінантних дерев (607 кг/м^3) на 96 кг/м^3 , або приблизно на 16 %, перевищує відповідний показник пригнічених дерев (511 кг/м^3). Аналогічна закономірність простежується і для базисної щільності: у домінантних дерев вона становить 511 кг/м^3 , тоді як у пригнічених – тільки 438 кг/м^3 , що свідчить про нижчу структурну щільність деревини останніх. Показники пористості також істотно різняться між досліджуваними групами. У пригнічених дерев абсолютна та базисна пористість є вищими ($P_0 = 66 \%$, $P_6 = 71 \%$) порівняно з домінантними ($P_0 = 59 \%$, $P_6 = 66 \%$), що підтверджує формування пухкої деревини в умовах пригнічення росту.

Аналіз анізотропії всихання показує, що домінантним деревам характерні дещо вищі абсолютні значення тангентального та об'ємного всихання ($\beta_t = 8,5 \%$, $\beta_V = 14,5 \%$) порівняно з пригніченими ($\beta_t = 7,6 \%$, $\beta_V = 13,1 \%$). Це зумовлено більшою щільністю деревини та вищою часткою пізньої деревини в річних кільцях домінантних дерев. Водночас, коефіцієнт неоднорідності всихання у пригнічених дерев ($k_{\beta_V/\beta_r} = 1,50$) є дещо нижчим, ніж у домінантних (1,55), що свідчить про менш виражену анізотропію та потенційно кращу розмірну стабільність.

Отже, домінантні дерева берези формують деревину з вищими показниками об'ємної маси. Натомість деревина пригнічених дерев, маючи нижчу щільність, підвищену пористість і вологість, доцільніша для використання у виробництві целюлозно-паперової продукції

або виробів, де не вимагається висока міцність, але важливою є рівномірність структури.

Дослідження показників анізотропії всихання деревини є важливою складовою для глибшого розуміння процесів деформування, що відбуваються під час технологічних етапів сушіння, а також для прогнозування розмірних і якісних характеристик готових деревинних виробів. Результати експериментального вивчення лінійного та об'ємного всихання деревини берези свідчать про наявність прямолінійної залежності між базисною щільністю деревини та її тангентальним всиханням (рис. 1).

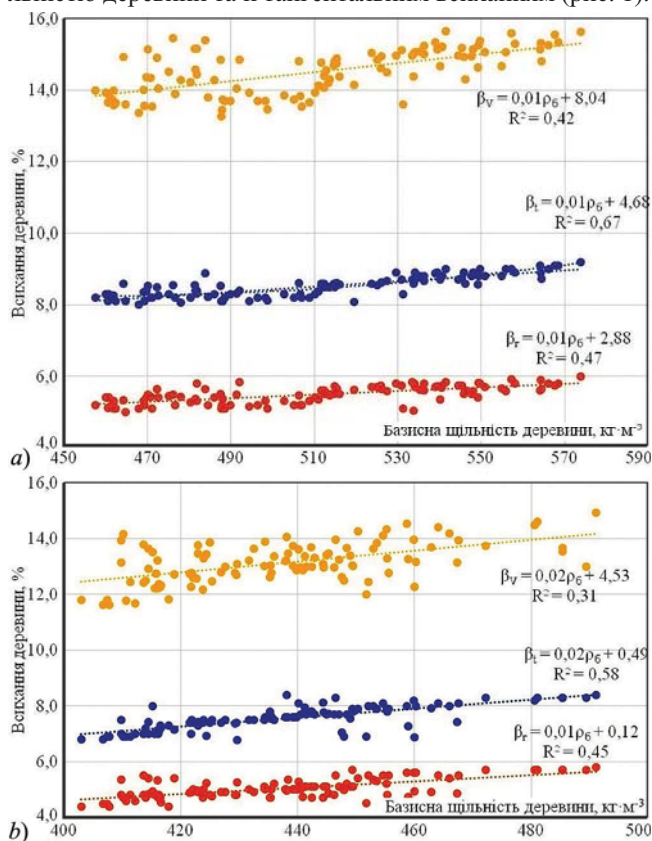


Рис. 1. Залежність між базисною щільністю та показниками анізотропії всихання деревини берези / The relationship between basal density and anisotropy indicators of birch wood drying: a) для домінантних / for dominant trees; b) пригнічених дерев / for suppressed trees

Як показано на рис. 1, залежність відображає характер взаємозв'язку між базисною об'ємною масою деревини та показниками її анізотропії всихання, що має принципове значення для оцінювання деформування деревини берези в процесі сушіння та подальшого технологічного оброблення. Для обох досліджуваних груп дерев – домінантних і пригнічених – встановлено прямолінійну залежність між базисною об'ємною масою та величиною тангентального всихання:

- для домінантних дерев

$$\beta_t = 0,01\rho_6 + 4,68 \quad (R^2 = 0,67);$$

- для пригнічених дерев

$$\beta_t = 0,02\rho_6 + 0,49 \quad (R^2 = 0,58).$$

На рис. 1,а, який характеризує домінантні дерева берези, простежується чітко виражена тенденція до зростання тангентального всихання зі збільшенням базисної щільності деревини. Це свідчить про те, що більш щільна деревина домінантних дерев, сформована за умов інтенсивного росту та високої об'ємної маси деревини. Рис. 1,б, який відображає аналогічну залежність для при-

гнічених дерев берези, також демонструє прямолінійний характер зв'язку. Це вказує на слабший вплив базисної об'ємної маси на тангентальне всихання в умовах пригніченого росту, що зумовлено більш рівномірною, але вищою пористістю деревини.

Порівняльний аналіз обох графіків дає змогу зробити висновок, що за однакових значень базисної об'ємної маси деревині домінантних дерев, зазвичай, характерні дещо вищі показники тангентального всихання, ніж деревині пригнічених дерев. Це свідчить про вираженішу анізотропію та підвищений ризик короблення під час сушіння домінантної деревини.

Отже, встановлені графічні залежності підтверджують доцільність урахування базисної об'ємної маси як одного з ключових факторів прогнозування усадкових деформацій деревини берези. Отримані результати мають практичне значення для удосконалення режимів сушіння та раціонального використання деревинної сировини залежно від походження дерев і їх положення в деревостані.

Аналогічно до залежності до показників анізотропії всихання встановлено лінійну залежність між базисною об'ємною масою деревини берези та її абсолютною пористістю, яка описується рівнянням прямої (рис. 2).

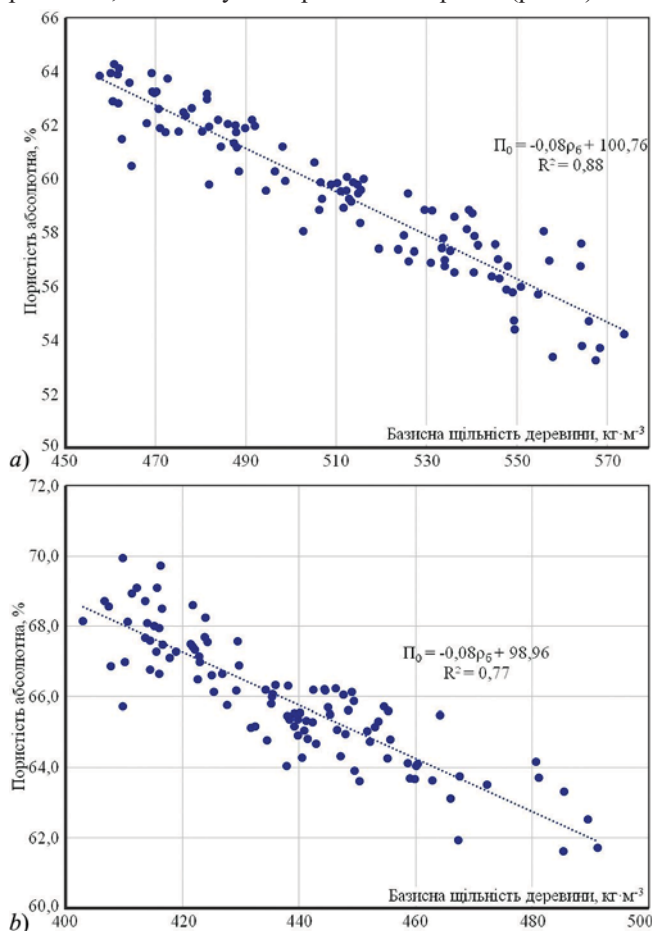


Рис. 2. Залежність базисної щільності від абсолютної пористості деревини берези / Dependence of basic density on the absolute porosity of birch wood: а) для домінантних / for dominant trees; б) пригнічених дерев / for suppressed trees

Як видно з рис. 2, між об'ємною масою та абсолютною пористістю деревини існує прямолінійна залежність з від'ємним нахилом у домінантних та пригнічених дерев берези. Коефіцієнт детермінації становить відповідно 0,88 та 0,77, що дає змогу зробити припу-

щення про адекватність отриманих лінійних рівнянь залежності досліджуваних показників.

На рис. 2,а, що характеризує домінантні дерева берези, простежується зменшення абсолютної пористості зі зростанням базисної об'ємної маси. Зниження пористості за вищих значень базисної щільності зумовлює підвищення міцнісних характеристик деревини, але водночас, може спричиняти зростання внутрішніх напружень під час сушіння. Рис. 2,б, який відображає аналогічну залежність для пригнічених дерев, також демонструє лінійний характер зв'язку. Це вказує на те, що в умовах пригніченого росту зміна базисної щільності меншою мірою впливає на варіацію абсолютної пористості. Таку особливість можна пояснити одноріднішою, але водночас, пористішою структурою деревини, сформованою у пригнічених умовах зростання. Порівняльний аналіз рис. 2,а,б дає змогу встановити, що за однакових значень базисної щільності деревині пригнічених дерев характерна вища абсолютна пористість порівняно з домінантними. Це підтверджує раніше встановлені відмінності у фізичній якості деревини та пояснює підвищену вологомісткість і меншу міцність деревини пригнічених дерев берези.

Отже, встановлені графічні залежності свідчать про тісний взаємозв'язок між щільністю та пористістю деревини берези і підтверджують доцільність використання базисної щільності як узагальнювального показника для прогнозування її структурних і технологічних властивостей залежно від біологічного статусу дерев у насадженні.

У ході виконання дослідження було досягнуто поставленої мети, яка полягала в аналізі відмінностей фізичних властивостей деревини домінантних і пригнічених дерев *Betula pendula* Roth. Виконання поставлених завдань забезпечило комплексне порівняння властивостей деревини домінантних і пригнічених дерев берези та створило наукові передумови для удосконалення технологічних процесів її оброблення та цілеспрямованого вирощування дерев із заданими якісними характеристиками.

Обговорення результатів дослідження. У лісовому господарстві Європи домінує обмежена кількість промислових видів дерев, що знижує стійкість лісів в умовах зміни клімату та погіршення їхнього санітарного стану. Високий господарський потенціал берези залишається недостатньо використаним через брак знань про її лісівничі властивості, промислове застосування та ринкові перспективи, що зумовлює потребу в комплексному аналізі можливостей, обмежень і умов ефективної інтеграції берези в сучасні системи сталого лісокористування [6]. Отримані в нашому дослідженні результати щодо фізичних властивостей деревини берези доповнюють зазначений науковий напрям, оскільки демонструють істотний вплив біологічного статусу дерев на якість деревинної сировини.

За умов кліматичних змін та зростання густоти й запасів молодих березових насаджень залишається малодослідженим вплив просторового розподілу берези у лісових насадженнях на формування якості стовбурної деревини [11]. У цьому контексті результати нашого дослідження показали, що положення дерева в деревостані (домінантне або пригнічене) істотно впливає на формування об'ємної маси, пористості та показників анізот-

ропії всихання деревини. Зокрема, домінантні дерева формують деревину з вищою щільністю та нижчою пористістю, що свідчить про сприятливі умови росту й активніший камбіальний приріст.

Незважаючи на високу поширеність і господарську цінність берези повислої, недостатньо вивченими залишаються відмінності механічних і фізичних властивостей її деревини. Відсутність чітких знань про варіабельність таких показників, як щільність, модулі пружності та міцність, ускладнює відбір генотипів з оптимальними властивостями для промислового використання та селекційних програм [15]. Отримані нами дані щодо варіації об'ємної маси та пористості деревини домінантних і пригнічених дерев створюють передумови для подальшого прогнозування фізичної якості деревини залежно від ценотичного положення дерев.

Фізико-механічні показники деревини берези, такі як об'ємна маса, міцність, в'язкість та модулі пружності, розглянуто у низці досліджень задля ефективного використання деревинної сировини у деревообробному виробництві та безпосередньому використанні [2]. Результати нашого дослідження доповнюють ці роботи шляхом детального аналізу анізотропії всихання деревини, що є важливим показником її поведінки під час сушіння та технологічного оброблення.

Більшість сучасних досліджень зосереджена на вивченні впливу лісівничих заходів, спрямованих на формування форми стовбура та продуктивності березових насаджень [10]. Такий підхід сприяє раціональному використанню високоякісної деревинної сировини відповідно до її призначення. Водночас, фізичні властивості деревини берези часто розглядають узагальнено або в контексті її перероблення без урахування особливостей росту та розвитку дерев у деревостані. Саме ця прогалина була врахована в нашому дослідженні, де вперше для умов досліджуваних насаджень проаналізовано відмінності фізичної якості деревини домінантних і пригнічених дерев берези.

Отже, інтеграція отриманих результатів у контекст сучасних наукових підходів підтверджує доцільність проведення цього дослідження. Запропонований підхід дає змогу розширити уявлення про формування фізичної якості деревини берези з урахуванням ценотичного положення дерев і має важливе практичне значення для удосконалення напрямів використання деревини берези в лісовому господарстві та деревообробній промисловості.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – отримала подальший розвиток методика оцінювання фізичної якості деревини берези, яка, на відміну від наявних методик, враховує ценотичне положення дерев у деревостані, а також дає змогу розробити кількісні лінійні моделі взаємозв'язку між базисною об'ємною масою деревини та показниками її тангентального й об'ємного всихання для домінантних і пригнічених дерев.

Практична значущість результатів дослідження – можна використати для диференційованого оцінювання та прогнозування фізичних властивостей деревини берези залежно від ценотичного положення дерев задля обґрунтування лісотаксаційних рішень, удосконалення технологічних режимів сушіння та перероблення, раці-

онального розподілу деревинної сировини за напрямками безпосереднього використання та планування лісогосподарських заходів, спрямованих на підвищення якості деревинної сировини.

Висновки / Conclusions

Проаналізовано відмінності фізичних властивостей деревини домінантних і пригнічених дерев *Betula pendula* Roth., що дало змогу глибше оцінити технологічний потенціал та можливості раціонального використання деревини берези через визначення її об'ємної маси, пористості та показників усихання як інтегральних показників якості деревини. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Досліджено, що деревині домінантних дерев берези характерна вища об'ємна маса деревини, середнє значення якої в абсолютно сухому стані становить $607 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, а об'ємна маса в базисному стані – $511 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.
2. Встановлено, що деревина пригнічених дерев берези має нижчі показники об'ємної маси в абсолютно сухому та базисному станах з відповідними середніми значеннями $\rho_0 = 511 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ та $\rho_b = 438 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ і вищими значеннями абсолютної і базисної пористості відповідно $P_0 = 66 \%$ та $P_b = 71 \%$.
3. З'ясовано, що деревині домінантних дерев берези характерні вищі показники тангентального (8,5 %) та об'ємного всихання (14,5 %) порівняно з пригніченими деревами (7,6 % та 13,1 % відповідно), що зумовлено більшою об'ємною масою деревини.
4. Проведено порівняльний аналіз коефіцієнта неоднорідності всихання, за результатами якого з'ясовано, що деревині пригнічених дерев характерна дещо менша анізотропія ($k_{\text{р/фр}} = 1,50$), ніж деревині домінантних дерев (1,55).
5. Наведено та проаналізовано графічні залежності, на основі яких встановлено лінійний зв'язок між базисною об'ємною масою деревини та величиною тангентального всихання для домінантних і пригнічених дерев берези, що підтверджує визначальну роль об'ємної маси у прогнозуванні причин виникнення внутрішніх напружень та деформування деревини.
6. Загалом встановлено, що соціальне положення дерев берези у деревостані є одним із ключових факторів формування фізичних властивостей деревини, а врахування цього чинника є необхідною умовою удосконалення лісівничих і технологічних рішень та ефективного використання березової деревинної сировини.

References

1. Beck, P., Caudullo, G., de Rigo, D., & Tinner, W. (2016). *Betula pendula*, *Betula pubescens* and other birches in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.). European Atlas of Forest Tree Species. Publications Office of the EU, Luxembourg, article ID e010226+ 4 p. URL: https://ies-ows.jrc.ec.europa.eu/efdac/download/Atlas/pdf/Betula_spp.pdf
2. Boruvka, V., Dudík, R., Zeidler, A., & Holecck, T. (2019). Influence of Site Conditions and Quality of Birch Wood on Its properties and Utilization after Heat Treatment. Part I – Elastic and Strength Properties, Relationship to Water and Dimensional Stability. *Forests*, 10, article ID 189. <https://doi.org/10.3390/f10020189>
3. Buzyl, M., Bilous, A., & Golyaka, D. (2015). Some features of trees differentiation and debris formation in young stands of *Betula pendula* L. *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(8), 63–68. <https://doi.org/10.15421/40250810>
4. Debryniuk, I., & Myklush, Y. (2021). Influence of *Betula pendula* Roth. on mensurational indices of *Pinus sylvestris* L. in forest plantations of fresh soil conditions of Western Polissia. *Proce-*

- edings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 23, 79–90. <https://doi.org/10.15421/412129>
5. Dubois, H., Verkasalo, E., & Claessens, H. (2020). Potential of Birch (*Betula pendula* Roth. and *B. pubescens* Ehrh.) for Forestry and Forest-Based Industry Sector within the Changing Climatic and Socio-Economic Context of Western Europe. *Forests*, 11, article ID 336. <https://doi.org/10.3390/f11030336>
 6. Dubois, H., Verkasalo, E., & Claessens, H. (2020). Potential of Birch (*Betula pendula* Roth. and *B. pubescens* Ehrh.) for Forestry and Forest-Based Industry Sector within the Changing Climatic and Socio-Economic Context of Western Europe. *Forests*, 11, article ID 336. <https://doi.org/10.3390/f11030336>
 7. Gregory, E., Schlegel, H., & Hein, S. (2013). Zeitbedarf und Kosten der Birkenästung. *Allgemeine Forstzeitschrift. Der Wald*: 11/2013, 26–28. URL: https://www.researchgate.net/publication/259994078_Gregory_E_Schlegel_H_Hein_S_2013_Zeitbedarf_und_Kosten_der_Birkenastung_Allgemeine_Forstzeitschrift_Der_Wald_112013_26-28
 8. Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein, S., & Velling, P. (2009). Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth. and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry*, 83(1), 103–119. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpp035>
 9. Hynynen, J., Repola, J., & Mielikäinen, K. (2014). The effects of species mixture on the growth and yield of mid-rotation mixed stands of Scots pine and silver birch. *Forest Ecology and Management*, 262, 1174–1183. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.006>
 10. Jones, G., Ulan, M., Liziniewicz, M., Lindeberg, Jo., & Adamopoulos, S. (2024). Relating estimates of wood properties of birch to stem form, age and species. *Journal of Forestry Research | Springer Nature Link*, 35, 14 p. <https://doi.org/10.1007/s11676-023-01669-4>
 11. Lidman, F. D., Lundmark, T., Sängstuvall, L., & Holmström, E. (2024). Birch distribution and changes in stand structure in Swedish young forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 39(3–4), 167–175. <https://doi.org/10.1080/02827581.2024.2349520>
 12. Liziniewicz, M., Andrzejczyk, T., & Drozdowski, S. (2016). The effect of birch removal on growth and quality of pedunculate oak in a 21-year-old mixed stand established by row planting. *Forest Ecology and Management*, 364, 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.011>
 13. Normen für Holz. (2009). DIN-Taschenbuch 31: 8te Aufl. Berlin: Beuth, 604 p. URL: <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nafo/din-taschenbuecher-und-weitere-publikationen-65336>
 14. Petrushkevych, Y. M., & Korshukov, I. (2020). Ecological and biological characteristics of *Betula pendula* in the conditions of urban environment. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 11(1), 29–36. <https://doi.org/10.15421/022004>
 15. Šilinskas, B., Varnagiryte-Kabašinskienė, I., Beniušienė, L., Aleinikovas, M., Škėma, M., & Baliuckas, V. (2024). Evaluation of Mechanical Wood Properties of Silver Birch (*Betula pendula* L. Roth.) of Half-Sib Genetic Families. *Forests*, 15, article ID 845. <https://doi.org/10.3390/f15050845>
 16. Valkonen, S., & Ruuska, J. (2003). Effect of *Betula pendula* admixture on tree growth and branch diameter in young *Pinus sylvestris* stands in Southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18, 416–426. <https://doi.org/10.1080/02827581.2003.9610645>
 17. Vintoniv, I., Sopuhysnkyi, I., & Teischinger, A. (2007). Wood Science. *Lviv, Apriory*, 312 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/274085234_Wood_Science

I. M. Sopushynskyi¹, R. T. Maksymchuk¹, Ya. M. Kopolovets², L. I. Bilyk¹

¹ Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

² Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

FEATURES OF FORMATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF WOOD *BETULA PENDULA* ROTH.

The results of a comprehensive study of the physical properties of the wood of silver birch (*Betula pendula* Roth.) of dominant and suppressed trees formed in a fresh hornbeam-beech forest of the Ukrainian Carpathians were analysed. The peculiarities of the distribution of the species in the region where birch forms pure and mixed forest stands with a share in the composition of the stands of 40–60 % were clarified. The physical wood properties of trees growing at altitudes of 400–500 m above sea level were studied, taking into account their social position in the stand. Model dominant and suppressed trees were selected, from which logs were obtained and standard wood samples were made. Current domestic and international methods were applied to determine wood density, porosity, shrinkage and anisotropy indicators of wood. Statistical processing of experimental data was performed using SPSS 17.0 and Excel programs, as a result of which the average values of the indicators, their variation and accuracy were established. It was established that the wood of dominant trees is characterized by higher values of wood density in an absolutely dry state (607 kg m⁻³) and basic density (511 kg m⁻³), lower porosity and somewhat greater drying anisotropy, which indicates the formation of structurally homogeneous and strength wood. It was studied that the wood of suppressed trees is characterized by lower wood density (511 kg m⁻³ in a dry state), increased absolute and basic porosity, higher moisture content and lower shrinkage anisotropy. The linear relationships between the basic wood density and the value of tangential shrinkage, as well as between the basic wood density and absolute wood porosity for both groups of trees, are presented. A comparative analysis was carried out, the results of which revealed the significant influence of the position of the tree in the forest stand on the formation of the physical quality of wood. It is shown that dominant trees form stem wood, which is characterized by higher indicators of physical properties compared to similar indicators in the stem wood of suppressed trees, which is due to the social status of trees in the plantation.

Keywords: hanging birch; physical properties of wood; volumetric mass of wood; porosity of trees; drying of trees; anisotropy of wood; dominant and suppressed trees; Ukrainian Carpathians.