**УДК 624.011.1 DOI 10.33042/2311-7257.2023.109.1.8**

**Д.Л. Череднік, О.В. Пригунков, Ю.М. Кузуб**

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

**ВПЛИВ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ СТРУКТУРИ РІЧНИХ КІЛЕЦЬ ТА ПРИРОДНИХ ВАД НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КАРПАТСЬКОЇ ЯЛИНИ**

*У процесі проведення заходів з технічного огляду будівель та споруд, зведених із застосуванням пиломатеріалів з карпатської ялини, масово спостерігаються процеси виходу з робочого стану конструктивних елементів. При проведенні перевірочних розрахунків часто виникають питання до прийнятих конструктивних рішень щодо поперечних перерізів та вузлових з'єднань будівельних конструкцій, виготовлених із цільної деревини. Цей факт може бути обумовлений лише невідповідністю властивостей карпатської ялини до заявлених характеристик у нормативних документах. Проведено порівняльний аналіз результатів комплексних досліджень. Сформульовані часткові рекомендації для внесення змін до чинних норм.*

***Ключові слова****: фізико-механічні властивості, об'ємна вага, вади деревини, тимчасовий опір.*

**Постановка проблеми**

Необхідність уточнення фізико-механічних властивостей карпатської ялини (Picea excelsa) пов'язана з тим, що при проведенні натурних обстежень та перевірочних розрахунків несучої здатності конструктивних елементів виготовлених з даної хвойної породи, спостерігається факт невідповідності механічних та деформативних властивостей будівельного матеріалу до заявлених параметрів у чинних нормативних документах України.

У вітчизняних нормах проєктування, а саме ДБН А.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції» зазначено лише зв'язок між сортами пиломатеріалів та класами міцності, встановленими відповідно до Єврокоду 5 «Проєктування дерев'яних конструкцій» ДСТУ-Н Б EN 1995- 1-1:2010, при цьому немає точних вказівок про об'ємно-вагові та міцностні характеристики даного виду хвойної породи. Часткові вказівки про об'ємно-вагові показники наведено у п.5.1.13 ДСТУ-Н Б В.2.6-217:2016 «Проєктування будівельних конструкцій з цільної та клеєної деревини», проте це була лише перша спроба відобразити хоча б в одному з нормативних документів дані величини. Слід зазначити, що наведенні значення об'ємно-масових показників були запозичені зі старих нормативних документів, у яких відображені характеристики ялини, що зростає в північних широтах, при цьому завжди вказується що досліджувані характеристики хвойних порід приблизно однакові. Однак, спираючись на власний досвід було зроблено висновок про те, що кліматичні умови зони проростання істотно впливають на щільність і фізико-механічні властивості деревини.

До основних факторів, що впливають на фізико-механічні властивості карпатської ялини звичайної відносяться в першу чергу вид повнодеревності стовбура та його розгалуження, тобто наявність та кількість гілок після розпилювання яких визначається число та якість так званих «сучків» які є природними вадами деревини.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій**

На підставі раніше проведених досліджень національним лісотехнічним університетом України (м. Львів) та національним університетом водного господарства та природокористування (м. Рівне) [1,2] встановлено, що в Карпатському регіоні росте два види ялини 1- гребінчаста, 2-щіткоподібна. Ялини гребінчастої форми мають повнодеревність стовбуру, протяжність крони у середніх по висоті дерев таких форм становить - 33%, у щіткоподібної - 38%, а для сосни - 26%; коефіцієнт форми стовбура у гребінчастої ялини 0,73, у щіткоподібної - 0,66, що дуже близько до середніх значень прийнятих для сосни - 0,65. У цьому випадку наявність розгалуженої крони згодом призводить до кількісних характеристик природних вад у деревині, до яких відноситься кількість спилів гілок. Ялинові насадження на Карпатах здебільшого складаються з дерев щіткоподібної форми розгалуження. Ялина гребінчастої форми найчастіше зустрічається у вологих кліматичних зонах, тут вона займає до 38% складу насаджень. За умови того, що відповідно до діючих норм у якості базової породи прийнята сосна, властивості якої відрізняються від ялини, при цьому відсоткове співвідношення гілок до стовбура сосна/ялина становить ½.

**Мета роботи**

Провести уточнення фізико-механічних властивостей Карпатської ялини, виконати порівняльний аналіз властивостей матеріалу із базовою породою. Визначити поправочний коефіцієнт, що враховує особливості породи деревини для визначення тимчасового опору матеріалу та розробити рекомендації до внесення змін до чинних норм щодо проєктування дерев'яних конструкцій із цільної деревини**.**

**Виклад основного матеріалу**

Наявність природних вад та гістометричні особливості будови карпатської ялини свідчать про те, що твердження, про рівноцінність фізико-механічних властивостей двох видів хвойних порід, що зростають у північних широтах та карпатському регіоні України, не зовсім відповідають дійсності. Розподіл співвідношення пізньої та ранньої деревини безпосередньо впливає на фізико-механічні її властивості. Так, наприклад, у ялини звичайної відносний вміст пізньої деревини змінюється від 5 до 35%, а у сосни звичайної цей показник становить від 10 до 40%. Фізико-механічні властивості ялини мають особливості на відміну від інших хвойних порід, наприклад: щільність чистих зразків деревини за вологістю 12-15% становить для ялини – 443м3, що нижче ніж у сосни – 500 м3. Об'ємний коефіцієнт усушки: сосна – 0,49%; ялина карпатська - 0,63%. Цей факт обумовлений досить пористою структурою клітинної будови з великим річним наростом ранньої та пізньої деревини. Це є позитивною і негативною характеристикою карпатської ялини як будівельного матеріалу. Цей вид деревини характеризується високим рівнем природної вологості та комірчастої структури. Ці властивості вимагає встановлення особливого порядку попереднього сушіння деревини при виготовленні будівельних конструкцій.

Різниця в щільності різних порід деревини може відрізнятися в дванадцять разів. Цю різноманітність можна легко проілюструвати порівнянням розмірів клітин та товщиною їх стінок у різних порід [7]. Візуальний аналіз середніх річних кілець зразків деревини карпатської ялини показав, що трахеїди в кільці поділяються на дві чіткі розмірно-морфологічні групи та одну проміжну групу. Зона 1 - відповідає ранній деревині, зона 2 - відповідає пізній деревині, зона 3 - між цими зонами розташовані клітини, які відповідають перехідній деревині. Як показує практика, при проведенні експериментальних досліджень, руйнування зразків відбувається за проміжною зоною, тобто перехідною деревиною по контакту пізньої та ранньої деревини, при цьому дана зона в карпатській ялині досить велика.

Як видно з рисунка 1. стигла деревина карпатської ялини має досить великі клітини з досить великим річним наростом ранньої деревини. При цьому ширші річні кільця деревини мають більший відсоток ранньої деревини і, відповідно, менш міцні. Швидкість зростання, що вимірюється у кількості кілець на 10 мм, має велике значення при візуальній оцінці міцності пиломатеріалу. Результати за відібраними зразками Таблиця 2,3.



Рис. 1 Поперечний розпил карпатської ялини з характерним розподілом радіальних тріщин сушіння.

Розмір клітинної структури та річних наростів стиглої деревини карпатської ялини також характеризує її властивості до природного усихання.

У свою чергу, ширина річних кілець варіює у зв'язку з великою кількістю факторів, наприклад:

- умовами зростання в сезоні; - видовими особливостями; - кліматогеографічними умовами.

На підставі раніше проведених лабораторних досліджень встановлено об'ємно-вагові характеристики карпатської ялини [3,4] та базової породи сосни. Порівняльні характеристики двох різновидів хвойних порід наведено у Таблиці 1.

Таблиця 1

Об'ємна вага та коефіцієнти лінійної та об'ємної усушки

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Порода | Об'ємна вага при 12-15% вологості, г/см3 | Коефіцієнт усушки, % | | |
| радіальний | тангентальний | об'ємний |
| Карпатська ялина | 0,43 | 0,225 | 0,372 | 0,626 |
| Сосна | 0,5 | 0,170 | 0,220 | 0,440 |

На підставі вищезгаданого порівняльного аналізу, коефіцієнт усушки карпатської ялини в 1,42 рази вище, ніж у сосни. Цей факт характеризує структурні особливості трахеїд ялини з наявністю в клітинах досить великої кількості природної вологи. У свою чергу, цей ефект призводить до утворення великої кількості радіальних та тангентальних тріщин у процесі примусового чи природного сушіння деревини (рис.1). Також, слід пам'ятати що у процесі сушіння відбувається деформація клітинної структури деревини що призводить до ефекту депланації пиломатеріалів. Це безпосередньо пов'язане з параметрами клітинної структури деревини, які характеризуються кількістю річних наростів на 10 мм зрізу стиглої деревини. Так, наприклад, сосна звичайна має середній показник 4,48, а карпатська ялина 3,65.

На підставі раніше проведених низки експериментальних випробувань національним лісотехнічним університетом України (м. Львів), метою яких був порівняльний аналіз фізико-механічних властивостей різних видів карпатської ялини [1]. Всього на пробних площах лісового масиву було відібрано 32 модельних дерева (без вад) двох форм: гребінчастої та щіткоподібної. З усіх моделей з висоти 1,3 м і з половини висоти стовбура випилювалися ділянки довжиною 0,65 м, з яких виготовлялися стандартні зразки для проведення лабораторних випробувань з метою вивчення: фізико-механічних характеристик; кількості річних кілець що приходяться на 10 мм зразка; об'ємної ваги; межі міцності при стиску, розтягу вздовж волокон та при статичному згині.

Таблиця 2

Результати досліджень фізико-механічних властивостей ялини гребінчастої форми

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Властивості при вологості 12-15% | Гребінчаста форма | | | |
| n | М | σ | M |
| Число річних шарів на 10мм | 24 | 3,9 | 1.37 | 0,088 |
| Об'ємна вага, г/см3 | 33 | 0,44 | 0,05 | 0,003 |
| Тимчасовий опір при стисканні вздовж волокон, Н/мм2 | 24 | 38,2 | 51,95 | 3,35 |
| Тимчасовий опір при розтягуванні вздовж волокон, Н/мм2 | 23 | 102,3 | 242,4 | 15,89 |
| Тимчасовий опір при статичному згині у тангентальному напрямку, Н/мм2 | 23 | 74,3 | 116,65 | 7,62 |

Усі випробування проводилися в лабораторних умовах відповідно до чинних норм. Обробка результатів випробувань проводилася з урахуванням статистичних методів дослідження. Надійність дослідження визначалася квантилем 0,95. У цьому випадку для 5% ймовірності необхідна кількість зразків приймалася в залежності від варіаційного коефіцієнта υ. Кількість необхідних стандартних зразків приймалася згідно з критерієм Пірсона-Стьюдента. Результати обробки експериментальних даних для гребінчастої форми карпатської ялини наведено у Таблиці 2.

Результати обробки експериментальних даних для щіткоподібної форми карпатської ялини наведено у Таблиці 3.

Таблиця 3

Результати досліджень фізико-механічних властивостей ялини щіткоподібної форми

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Властивості при вологості 12-15% | Щіткоподібна форма | | | |
| n | М | σ | m |
| Число річних шарів на 10 мм | 24 | 3,4 | 1,173 | 0,076 |
| Об'ємна вага, г/см3 | 23 | 0,42 | 0,336 | 0,002 |
| Тимчасовий опір при стисканні вздовж волокон, Н/мм2 | 24 | 36,5 | 36,64 | 2,36 |
| Тимчасовий опір при розтягуванні вздовж волокон, Н/мм2 | 22 | 94,9 | 170,4 | 11,31 |
| Тимчасовий опір при статичному згині у тангентальному напрямку, Н/мм2 | 23 | 68,8 | 88,95 | 5,85 |

де: n – кількість зразків; М – середнє арифметичне значення; σ - середнє квадратичне відхилення; m-середня помилка середнього арифметичного значення.

Оскільки відсоткове співвідношення розтягнутих елементів у сучасних дерев'яних конструкціях незначне і зберігається лише у спеціалізованих конструкціях, результати досліджень на розтяг упоперек волокон нами не розглядалися. Також було проаналізовано дані експериментальних досліджень з вивчення межі міцності деревини хвойних порід в ортотропній площині LR [8] та різноманітних моделей для прогнозування руйнування та пошкодження деревини, викликаного навантаженням [10].

Як видно з результатів обробки експериментальних досліджень, у типах лісів з вологими кліматичними умовами гірського масиву ялина має вищі фізико-механічні властивості, ніж у вологій зоні рівнини. Пояснюється це різними гістометричними характеристиками будови деревини. В межах одного типу лісу фізико-механічні властивості деревини ялини істотно залежать від форми крони. Найкраща якість деревини має ялина гребінчастої форми, річні шари у якої вузькі та відрізняються більшою рівношаровістю. Різниця за всіма фізико-механічними властивостями цілком достовірна або близька до цього. Так, наприклад, в залежності від типу місцевості зростання лісу різниця в об'ємній вазі становить 3,33%, міцність при стиску - 4,2%, міцність при статичному згині 5,7%. Однак, при здійсненні промислової вирубки лісу і як правило її пересортування на заготівельних майданчиках, важко виділити до якого типу крон належить той чи іншій стовбур. Також, на підставі проведених досліджень, спостерігається незначна розбіжність у фізико-механічних властивостях різних типів карпатської ялини, що у відсотковому співвідношенні практично не перевищує прийняту межу ймовірності 5%. На підставі даних тверджень подальший порівняльний аналіз проводився на основі середньоарифметичних значень.

Слід зазначити, що дослідження проводилися на чистих зразках, без наявності природних вад (сучків, тощо). Які у великих зразках значно впливають на зниження тимчасового опору елементів за рахунок зменшення ефективної площі поперечного перерізу, виникнення в них ексцентричного зусилля (особливо при виході сучків на край зразка), за рахунок концентрації напруг у місцях їх отвору, або викружки, а також за рахунок утворювання поблизу сучка косих шарів річних наростів [9]. Цей ефект спостерігається під час проведення лабораторних досліджень при вивченні впливу масштабного фактору чи випробувань конструкцій виготовлених у реальному масштабі 1:1. Тому в подальших дослідженнях планується проведення експериментальних заходив для встановлення впливу масштабного фактору та впливу природних вад для зразків, виготовлених з карпатської ялини.

Таблиця 4

Результати порівняльного аналізу фізико-механічних властивостей хвойних порід

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Порода | Об'ємна вага при 12-15% вологості, г/см3 | Число річних шарів на 10 мм | Тимчасовий опір fit, Н/мм2 |
| Карпатська ялина | 0,43 | 3,65 | 38,2 |
| Сосна | 0,5 | 4,48 | 46,4 |
| Співвідношення | 0,86 | 0,81 | 0,80 |

Для проведення порівняльного аналізу фізико-механічних властивостей карпатської ялини використовувалися матеріали лабораторних досліджень, проведених у різний час, що наведено в матеріалах [1-6] з контрольними зразками, які виготовлені із сосни як базової породи на підставі результатів лабораторних досліджень, проведених у лабораторії ХНУБА (м. Харків) [5]. Фізичні властивості та середньоарифметичне значення тимчасової межі міцності *fit* на стиск уздовж волокон для різних порід представлено в Таблиці 4.

Незважаючи на те, що розглянуті хвойні породи відносяться до одного класу деревини, вони мають часткові невідповідності. Наприклад, об'ємна вага впливає на результати збору постійних навантажень при проєктуванні дерев'яних конструкцій, число річних шарів частково впливає на анізотропні властивості матеріалу, а тимчасовий опір безпосередньо впливає на об'єктивність розрахунків при новому проєктуванні або проведенні перевірочних розрахунків. Як видно з результатів проведеного порівняльного аналізу, мінімально можливий коефіцієнт для карпатської ялини по відношенню до базової породи становить в межах 0,80-0,86. Тобто під час проведення розрахунків на стадії визначення характеристичних значень розрахункових опорів, необхідно застосовувати понижувальний коефіцієнт щодо базової породи на рівні 0,85.

**Висновки**

На підставі проведеного порівняльного аналізу можна зробити такі висновки:

- фізико-механічні властивості карпатської ялини не відповідають порівнюваним характеристикам базової породи;

- необхідне подальше проведення лабораторних досліджень для уточнення фізико-механічних властивостей карпатської ялини;

- існує необхідність щодо проведення досліджень по вивченню впливу анізотропних, деформативних властивостей та впливу масштабного фактора з урахуванням наявності природних вад;

- проведення низки експериментальних досліджень на тривалий вплив статичних навантажень.

- рекомендувати внесення змін до національних стандартів а саме до ДСТУ-Н Б В.2.6-217:2016 «Проєктування будівельних конструкцій з цільної та клеєної деревини» та ДБН А.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції», а саме введення додаткового коефіцієнта якій враховує властивості породи деревини для визначення значень розрахункових опорів.

**Література**

*1. Дебринюк Ю.М. Фізичні властивості деревини Рicea abies [L] karst, Науковий вісник НЛТУ України м. Львів.- 2008. Вип. 18.11, с. 10-21.*

*2. Гомон С.С. Визначення критичних деформацій різних порід деревини вирощених на території України та за її межами. Sciences of Europe. Praha, 2020. No 54. Vol.1.Pp. 36–41.*

*3. Ясній П.В., Гомон С.С. Експериментальні дослідження суцільної деревини конструкційних розмірів з врахуванням фактора вологості. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Вінниця: ВНТУ, 2020. Том 28. №1. С. 41–48.*

*4. Гомон С.С. Визначення критичних деформацій різних порід деревини вирощених та території Україні та за її межами. Sciences of Europe # 54, (2020) с.36-42.*

*5. Фурсов В.В., Пригунков О.В. Експериментальне дослідження механічних властивостей деревини після тривалої експлуатації. Матеріали науково-технічної конференції ХІБІ. м. Харків -1993. с. 78-79.*

*6. Green D.W., Kretschmann D.E. Properties and grading of Southern Pine Timbers. Forest Products Journal, 1992. 47 (9). P. 78–85. 278.*

*7. Gu H., Zink-Sharp A., Sell J. Hypothesis of the role ofcell wall structure in differential transverse shrinkage of wood. Holz Roh Werkst, 2001.№59. Pp. 436– 442. 279.*

*8. Galicki J., Czech M. Tensile strength of softwood in LR orthotropy plane. Mechanics of Materials, 2005. 37(6). Pp. 667–686. 270.*

*9. Brandner R. Stochastic System Action and Effects in Engineered Timber Products and Structures. Dissertation in Bearbeitung, voraussichtliche Fertigstellung, 2012. 257.*

*10. Davids W.G., Landis E.N., Vasic S. Lattice models forthe prediction of load-induced failure and damage in wood. Wood Fiber Sci, 2003. №35. Pp. 120–135. 263.*

**References**

*1. Debrynyuk Yu.M. Physical power of the village Рicea abies [L] karst, Scientific bulletin of NLTU of Ukraine, Lviv, 2008. VIP. 18.11, p. 10-21.*

*2. Gomon S.S. Identification of critical deformations in various types of wood growing on the territory of Ukraine and beyond. Sciences of Europe. Prague, 2020. No. 54. Vol.1.Pp. 36–41.*

*3. Yasniy P.V., Gomon S.S. Experimental investigation of a sustainable tree of structural dimensions with the influence of the moisture factor. Current technologies, materials and designs in everyday life. Vinnytsia: VNTU, 2020. Volume 28. No. 1. pp. 41–48.*

*4. Gomon S.S. Significance of critical deformations in various types of wood growing in the territories of Ukraine and beyond. Sciences of Europe #54, (2020) pp.36-42.*

*5. Fursov V.V., Prigunkov O.V. Experimental investigation of the mechanical power of the village after heavy exploitation. Materials of the scientific and technical conference of KHIBI. m. Kharkiv -1993. With. 78-79.*

*6. Green D.W., Kretschmann D.E. Properties and grading of Southern Pine Timbers. Forest Products Journal, 1992. 47 (9). P. 78–85. 278.*

*7. Gu H., Zink-Sharp A., Sell J. Hypothesis of the role ofcell wall structure in differential transverse shrinkage of wood. Holz Roh Werkst, 2001.№59. Pp. 436– 442. 279.*

*8. Galicki J., Czech M. Tensile strength of softwood in LR orthotropy plane. Mechanics of Materials, 2005. 37(6). Pp. 667–686. 270.*

*9. Brandner R. Stochastic System Action and Effects in Engineered Timber Products and Structures. Dissertation in Bearbeitung, voraussichtliche Fertigstellung, 2012. 257.*

*10. Davids W.G., Landis E.N., Vasic S. Lattice models forthe prediction of load-induced failure and damage in wood. Wood Fiber Sci, 2003. №35. Pp. 120–135. 263.*

**Автор: ЧЕРЕДНІК Димитрій Леонідович**

***кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри будівельного проєктування***

Харківський національний університет міського ***господарства імені О.М. Бекетова***

E-mail: *[Dymytrii.Cherednik@kname.edu.ua](mailto:Dymytrii.Cherednik@kname.edu.ua);*

*ID ORCID:*[*orcid.org/ 0000-0001-9049-2085*](https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-9049-2085)

**Автор: ПРИГУНКОВ Олександр Вячеславович**

***кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельного проєктування***

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail *[Oleksandr.Pryhunkov@kname.edu.ua](mailto:Oleksandr.Pryhunkov@kname.edu.ua);,*

*ID ORCID:orcid.org/0009-0005-8182-8882*

**Автор:** **КУЗУБ Юрій Михайлович,**

***студент***

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail *yurii.kuzub@kname.edu.ua*

**INFLUENCE OF ANNUAL GROWTH RING STRUCTURE REGULARITIES AND NATURAL DEFECTS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CARPATHIAN SPRUCE**

D. Cherednik, O. Pryhunkov, Y.Kuzub

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

*In the process of technical inspection of buildings and structures constructed with the use of both solid logs and Carpathian spruce lumber massively observed processes of deplanation of the wall fence, exit from functional state of constructive elements of inter-storey floors and rafter systems. During inspection calculations of existing construction elements, which are in exploitation for all types of stress-deformed state, there are often questions to the accepted constructive solutions of cross-sections and nodal joints of building structures made of solid wood. This fact can only be due to the discrepancy between the strength and deformation properties of Carpathian spruce and the declared characteristics in normative documents.*

*The presence of natural defects and structural features of the Carpathian spruce structure indicate that the unequal physical and mechanical properties of the two coniferous species that grow in the northern latitudes and the Carpathian region of Ukraine are not entirely true. The distribution of the ratio of latewood to earlywood has a direct influence on the physical and mechanical properties of wood. This fact is caused by rather cellular structure of wood with large annual growth of early and late wood. Such characteristics can have both positive and negative effects on the properties of Carpathian spruce as a building material. This type of wood with a high degree of natural moisture content and cellular structure requires a special pre-drying procedure for the production of building structures.*

*To establish the factual physic-mechanical properties of Carpathian spruce, the current normative documents were analysed and the existing scientific research on this issue was studied. In the process of conducting a comparative analysis of the results of comprehensive studies of standard samples of Carpathian spruce for compression along the fibres and control samples made from the base species - pine, the fact of partial inconsistency of physical and mechanical parameters of the two varieties of conifers was established. In general view, recommendations are made for changes to the current norms for the construction of solid timber structures.*

***Keywords:*** *physic-mechanical properties, bulk weight, wood defects, temporary resistance*