

10. Diveyev, B. Different type vibration absorbers design for beam-like structures [Text] / B. Diveyev, I. Vikovych, I. Dorosh, I. Kernyskyyy // Proceeding of ICSV19, Vilnius, Lithuania, 2012. – P. 1499–1506.
11. Sava, R. Optimization Of Dynamic Vibration Multy-Absorber [Text] : monografia / R. Sava, I. Kernyskyyy, B. Divejev. – Systemy i srodki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Seria: Transport. Politechnika Rzeszowska. Rzeszów, 2013. – P. 173–180.

Проведено аналіз існуючих методів визначення статичної твердості деревини, показано їх основні переваги та недоліки. Встановлено, що до найбільш перспективних методів визначення статичної твердості деревини відносять структурний метод, методи Брінелля та Янка. На основі методу аналізу ієрархії було визначено пріоритетні характеристики методів визначення твердості деревини, які потребують першочергового поліпшення

Ключові слова: аналіз, будівництво, визначення, деревина, дослідження, метод, порівняння, пріоритет, твердість, характеристика

Проведен обобщенный анализ существующих методов определения статической твердости древесины, показаны их основные преимущества и недостатки. Установлено, что к наиболее перспективным методам определения статической твердости древесины относятся структурный метод, методы Бринелля и Янка. На основе метода анализа иерархии были определены приоритетные характеристики методов определения твердости древесины, которые требуют первоочередного улучшения

Ключевые слова: анализ, строительство, определение, древесина, исследования, метод, сравнение, пріоритет, твердость, характеристика

УДК 674.031.1/3

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27908

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОЇ ТВЕРДОСТІ ДЕРЕВИНИ

О. П. Космач

Кандидат технічних наук, асистент*
E-mail: alexkos86@gmail.com

А. В. Кадик *

E-mail: ghostik2308@yandex.ua

*Кафедра технологій

машинобудування та деревообробки

Чернігівський національний

технологічний університет

вул. Шевченка 95, м. Чернігів, Україна, 14027

1. Вступ

Достовірно визначення комплексу фізико-механічних показників матеріалів, зокрема різних порід деревини відіграє важливу роль при вивченні процесів, які пов'язані з виготовленням продукції, міцністю, стійкістю, теплопровідністю, звукоізоляцією та ін. Такі дослідження дозволяють встановити стійкі зв'язки між фізико-механічними показниками деревини та процесами, які супроводжують процеси формоутворення поверхонь, їх деформування, різання, зміцнення, жолблення та ін. До одного з таких фізико-механічних показників деревини відносять її твердість. Використання існуючих методів визначення твердості деревини залежить від багатьох факторів, наприклад, якості випробувальних зразків та їх розмірів, часу випробування, обладнання та ін. Порівняння даних методів може бути реалізоване за комплексом характеристик, які притаманні існуючим методам визначення фізичних або механічних величин. В зв'язку з цим виявлення методів визначення твердості деревини, які мають суттєві переваги над іншими методами з використанням їх кількісної оцінки є достатньо актуальною задачею. Такі дослідження дозволяють сформулювати

у дослідників напрямки подальшим теоретичних та експериментальних досліджень, які пов'язані з визначенням твердості деревини, а також інших пружних або пружно-пластичних м'яких матеріалів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

На сьогодні використання деревини в якості одного з основних конструкційних та будівельних матеріалів має широке розповсюдження завдяки, насамперед, високій екологічності, технологічності, низькій собівартості та безвідходності, а також зовнішньому естетичному вигляду. Слід відмітити, що для більшості конструкцій з деревини, а також при її механічній обробці відбувається вплив постійних або змінних механічних та немеханічних навантажень. До механічних навантажень можна віднести навантаження розтягу, стиску, зсуву, згину та кручення, циклічні та ударні навантаження, їх поєднання та ін. В свою чергу до немеханічних навантажень або полів навантажень можна віднести теплове, магнітне, хімічне, акустичне, електричне та ін. Врахування даних чинників при проектуванні конструкцій з деревини, а також

визначення оптимальних режимів різання залежить від визначених фізико-механічних характеристик, які закладаються на основі результатів попередніх експериментальних випробувань та досліджень. До одного з основних фізико-механічних показників деревини відносять її твердість.

З практичної точки зору існує проблема в забезпеченні необхідної, а також мінімально достатньої твердості основних елементів конструкції з деревини. До них можна віднести колоди різного типу, будівельні перекриття, настили та покриття, верстаки, елементи опор та фундаменту тощо. Слід відмітити, що результати багатьох експериментальних досліджень підтверджують прямий зв'язок між твердістю деревини та її тріщиностійкістю, який є важливим показником для будівельного матеріалу. Тому визначення даного також фізико-механічного показника слід проводити для елементів конструкцій, які повинні зберігати сталу несучу здатність.

Необхідна твердість елементів конструкції в першу чергу повинна забезпечуватися вибором правильної породи деревини або деревинного матеріалу, комплексом хімічної та термічної обробки для прийнятих умов навколишнього середовища, які характеризуються діапазоном зміни температури та вологості, а також агресивністю навколишнього середовища.

Для визначення твердості деревини використовуються методи, які ґрунтуються на комплексі різних фізичних та хімічних ефектів. В загальному випадку твердість деревини визначають статичними та динамічними методами. Статичні методи ґрунтуються на визначенні показників твердості деревини при сталих (стабільних) умовах навантаження або постійності умов оточуючого середовища. Динамічна твердість деревини визначається в результаті протікання короткотривалих процесів, наприклад, циклічних або ударних. В даній роботі розглядалися лише методи визначення статичної твердості деревини. Для даних методів характерні особливості, обмеження та певні характеристики. З цієї точки зору необхідне проведення детального аналізу існуючих основних методів на основі науково-технічних літератур.

Результати опрацювання наукової літератури показали, що найбільш розповсюдженими методами визначення статичної твердості деревини є наноінденторний метод, методи Янка та Брінелля.

Наноінденторний метод визначення статичної твердості деревини детально представлений у роботі [1]. Частіше всього даний метод використовується для ідентифікації клітинних структур деревини або виявлення характерних відмінностей між ними, а також дозволяє прогнозувати експлуатаційні характеристики матеріалу після хімічної обробки. До теперішнього часу даний метод залишається нестандартизованим. Головною особливістю наноінденторного методу є використання мікроскопічного індентора, звичайно, з надтвердого матеріалу, який, має складну форму. При цьому твердість деревини визначається до початку деформування її поверхневого шару.

Одним з найбільш розповсюджених лабораторних методів визначення статичної твердості деревини є метод Янка (Janka hardness). Цей метод вважається похідним від методу Брінелля. Детальніше даний метод розглянутий у роботі [2] і використовується в США, Австралії та багатьох Європейських країнах. Метод

Янка оснований на визначенні зусилля, яке необхідне для проникнення кульки-індентора діаметром 11,28 мм (0,44 дюйма) на половину її діаметра (5,64 мм) в досліджувану поверхню зразка деревини в висушеному стані з вмістом вологості в межах $12\% \pm 3\%$. Слід відмітити, що діаметральний розмір кульки був вибраний для утворення індентора з площею 100 квадратних міліметрів. Під час перших впроваджень методу Янка результати досліджень виражалися в одиницях тиску, але коли організація ASTM International провела стандартизацію випробувань (пробне випробування було проведено в 1922 році, стандарт вперше офіційно прийнятий в 1927 році), результати вимірювання вже визначалися в одиницях сили. Проте, як показали результати досліджень [3], даний метод може бути використаний і для зразків, які не відповідають випробувальним вимогам. В загальному випадку в результатах вимірювань як, наприклад в [4], не приводяться характеристики розташування волокон породи деревини.

При лабораторних дослідженнях також визначають твердість деревини по Монніну (Monnin hardness) [5], проте використання даного методу дуже обмежене і не достатньо відображено в науковій літературі.

В межах України та країн колишнього Радянського Союзу для визначення статичної твердості деревини використовують методи Янка та Брінелля згідно нормативних документів [6, 7]. При цьому не існує чітких пріоритетів у використанні того або іншого методу.

Результати аналізу джерел показують, що на сьогодні не існує узагальненої класифікації методів визначення статичної твердості деревини. Тому з цією метою актуальним напрямком дослідження є збір та аналіз інформації про процеси визначення статичної твердості деревини, а також виявлення основних переваг та недоліків існуючих методів. Такі дослідження дозволяють провести порівняння з подальшим визначенням найбільш перспективних та прогресивних методів.

В свою чергу для подальшого розвитку та удосконалення перспективних методів визначення статичної твердості деревини необхідно визначення найбільш актуальних напрямків теоретичних та експериментальних досліджень з врахуванням існуючих господарських та промислових потреб. Це досягається шляхом прийняття раціональних та обґрунтованих рішень, які витікають з особливостей основних характеристик методів. При цьому засоби для їх реалізації можуть коливатися від звичайної інтуїції спеціалістів до залучення групи висококваліфікованих експертів і використання методів прийняття рішень.

З цієї точки зору для аналізу основних характеристик методів визначення статичної твердості були використані перспективні методи прийняття рішень, зокрема метод розстановки пріоритетів та методу аналізу ієрархії.

На сьогодні не існує загальної класифікації методів визначення твердості деревини, що потребує аналіз літературних джерел в даному напрямку. Результати досліджень показують, що згідно нормативних документів в світовій практиці використовують метод Брінелля та Янка. Проте обґрунтування для використання, а також порівняння даних методів не проводилися. При цьому результати досліджень представляються в різних одиницях вимірювання. Виявлення та аналіз основних характеристик методів на основі методів

прийняття рішень дозволяє виявити найбільш перспективні методи, а також визначити ключові напрямки подальших наукових досліджень.

3. Ціль та задачі досліджень

Проведені дослідження ставили за мету узагальнено проаналізувати існуючі методи визначення статичної твердості деревини, визначити їх основні переваги, недоліки та умови використання, а також виявити пріоритетні напрямки подальших наукових досліджень.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- провести класифікацію існуючих методів визначення статичної твердості деревини;
- визначити основні характеристики методів визначення механічних величин для проведення порівняння;
- провести порівняння методів за виявленими характеристиками з використанням методу прийняття рішень;
- провести порівняння характеристик методів з використанням методу аналізу ієрархії для визначення пріоритетних характеристик методів.
- проаналізувати отримані результати та виявити пріоритетні напрямки подальших наукових досліджень.

4. Визначення пріоритетних методів визначення статичної твердості деревини та їх характеристик

Твердість деревини характеризує її здатність чинити опір проникненню в неї більш твердих тіл. При вимірюванні твердості деревини визначають статичну та динамічну складову. Слід відмітити, що в науковій літературі традиційно розглядається статична твердість деревини. Тому в подальших дослідженнях буде розглядатися статична твердість деревини. Для цього, зазвичай, використовують металеві кульки різного розміру. При цьому в результатах вимірювань існують суттєві відмінності, які пов'язані з напрямком волокон випробувального зразка. Так твердість торцевої поверхні деревини більша ніж радіальна або

тангенціальна. Суттєвий вплив на твердість деревини має її залишкова вологість, порода деревини, місце та умови вирощування. Наприклад, при збільшенні вологості деревини, її твердість зменшується. При цьому навіть для однієї породи дерева статична твердість може суттєво варіюватися при дії вказаних чинників.

Методи визначення статичної твердості деревини використовуються як в наукових дослідженнях, так і в деревообробній галузі. Частіше всього визначення твердості деревини проводять для групування заготовок пиломатеріалів для подальшої остаточної механічної та хімічної обробки, ідентифікації породи деревини, аналізу напружено-деформованого стану елементів конструкцій, співставлення результатів механічного зміцнення деревини.

Слід відмітити, що суттєва відмінність в твердості деревини призводить до зміни наступних показників, які пов'язані з фізико-механічними властивостями та технологічними особливостями виготовлення виробу:

- довговічність елементів конструкцій;
- міцність зразка деревини;
- зносостійкість поверхневого шару;
- механізм мікроруйнування зразку;
- якість обробленої поверхні заготовки;
- часові витрати, які пов'язані з опоряджувальними роботами.

Огляд науково-технічної літератури показав, що найбільш розповсюджені методи визначення статичної твердості деревини можна класифікувати на лабораторні та промислові. Загальна класифікація методів визначення статичної твердості деревини представлена на рис. 1.

Лабораторні методи характеризуються, в першу чергу, ретельним відбором дослідних зразків. При цьому не допускається суттєва відмінність в текстурі деревини, сучки, помутніння, тріщини на торцевих та тангенціальних поверхнях, жолоблення та інші зовнішні дефекти. Відмінність в вазі зразків для випробування не повинна коливатися в межах декількох грамів. Лінійні розміри не повинні коливатися в межах декількох десятків частин міліметра, а шорсткість випробовуваної поверхні не повинна перевищувати 200 мкм, при цьому не допускаються значні відхилення від форми зразка. Температура навколишнього середовища повинна бути в межах $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а абсолютна вологість дослідного зразка деревини повинна бути в межах 12–15 %.

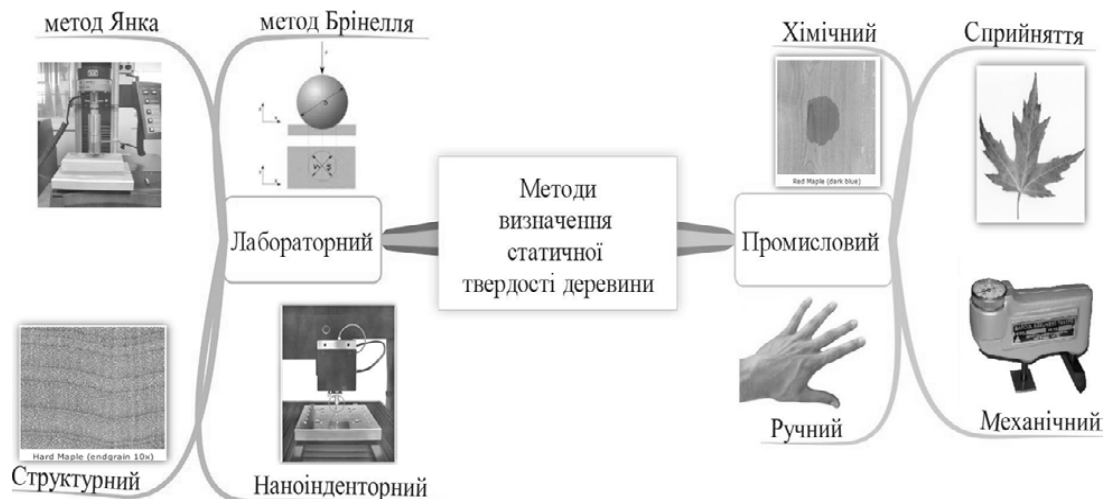


Рис. 1. Загальна класифікація основних методів визначення статичної твердості деревини

Промислові методи характеризуються тим, що досліджувані зразки деревини в подальшому можуть використовуватися у виробництві. При цьому, звичайно, точність визначення статичної твердості деревини є набагато меншою у порівнянні з лабораторними методами. Головною відмінністю групи даних методів є відсутніх високих вимог до досліджуваних зразків. Також не існує специфічних вимог до умов навколишнього середовища в яких проводять випробування зразків. Проте, як і для групи лабораторних методів, для промислових методів характерні вимоги по вологості зразків деревини, яка коливається в більш широких межах від 10–20 %.

До лабораторних методів визначення статичної твердості деревини можна віднести наноінденторний метод, методи Брінелля та Янка, а також структурний метод.

Наноінденторний метод використовується в основному для визначення твердості клітинної стінки деревини в нанометровій шкалі вимірювання. Для цього використовується мікроскопічний індентор з надтвердого матеріалу, який, зазвичай, має складну форму, наприклад піраміда. Отримані результати досліджень, звичайно, опрацьовуються після випробувань. Особливість даного методу полягає в високих вимогах до випробувальних зразків, а також значній трудомісткості, яка пов'язана з визначенням місць для проведення випробувань, процесом деформування поверхневого шару та проведенням повторних випробувань. В зв'язку з цим використання даного методу в сучасній деревообробній галузі дуже обмежене.

Для методів Брінелля та Янка, звичайно, використовують зразки типу брус. При визначенні статичної твердості деревини за методом Брінелля в якості індентора використовують кульки діаметром $D=10$ мм. Проте слід відмітити, що при випробуванні більш твердих порід деревини можуть використовуватися кульки меншого діаметру, наприклад 5 мм. Обґрунтування вибору розміру кульки-індентора для різних порід деревини в науковій літературі не приводиться. За методом Янка завжди використовують кульки однакового розміру 11,28 мм. В якості основного матеріалу для обох методів використовують загартовані або леговані сталі. Випробування зразків деревини для даних методів проводять в двох напрямках, зокрема, в одному радіальному напрямку, а також в двох тангенціальних напрямках. Визначення твердості поперек волокон називають боковою твердістю, а на поверхні зрізу – кінцевою твердістю.

Слід відмітити, що в результатах досліджень не уточнюються за яким напрямком волокон визначалася статична твердість деревини, що може приводити до неоднозначних результатів при їх порівнянні. Величина проникнення індентора в дослідний зразок деревини для методу Брінелля коливається в межах $0,24 D-0,6 D$, а для методу Янка завжди складає $0,5 D$.

До недоліків методів Брінелля та Янка слід віднести високі вимоги для дослідних зразків, зокрема використання тонкостінних випробувальних зразків не допускаються. При цьому дослідження ділянок деревини в місцях, які близькі до бокових граней зразків не проводять. Використання даних методів потребує проведення повторних випробувань з подальшим статистичним аналізом результатів вимірювань, а також визначення їх усереднених значень. В багатьох країнах існує неузгодженість результатів вимірювань за методом Янка. Так, наприклад, за даним методом в США

твердість визначається в фунтах сили, в Швеції визначається в кгс, в Австралії визначається в Ньютонах (Н) або кН. В деяких країнах результати представляються, наприклад, як 660 Янка. При цьому в результатах не вказується напрямок розташування волокон зразка.

Одним з лабораторних неруйнівних методів визначення статичної твердості деревини є *структурний метод*. Його використання на сьогодні суттєво обмежене, що викликано широким різноманіттям текстури, кольору та блиску поверхонь для різних порід деревини. Проте навіть при мінімальному оптичному збільшенні поверхні деревини можливо визначити відмінність в твердості деревини. Так, наприклад, м'який клен має більш темні та нерівномірні відтінки текстури на відмінно від аналогічної породи з більшою твердістю. Мікроскопічні дослідження показують, що висока щільність річних кілець вказує на більш високу твердість породи деревини. Яскраво виражені річні кільця на поверхні зразка вказують на більш високу твердість деревини. Проте дані особливість розповсюджується не на всі породи деревини. Звичайно для дослідження використовують зразки деревини з вираженою текстурою до 10 см. Слід відмітити, що при дослідженнях використовують низьке оптичне збільшення, що не потребує використання високоточного обладнання. На сьогодні не існує стандартизованих методик визначення статичної твердості деревини з використанням даного методу, що суттєво обмежує його область використання.

До групи промислових методів визначення статичної твердості деревини можна віднести хімічний, механічний, ручний та прямиий (сприйняття) методи. Дані методи володіють низькою достовірністю при порівняно високій швидкодії. При цьому вимоги до форми та розмірів випробувальних зразків, а також умов випробування не регламентуються. Ефективність використання даних методів залежить від досвіду дослідника, а також суб'єктивної оцінки отриманих результатів. В зв'язку з цим результати таких досліджень носять попередній та умовний характер, що суттєво обмежує область використання групи даних методів.

Хімічний метод оснований на визначення відтінку плями на досліджуваній поверхні зразка деревини після протікання хімічної реакції. В якості взаємодіючих речовин можуть використовуватися сульфіді або кислоти. Так, наприклад, при використанні сульфідів заліза $FeSO_4$ можна ефективно визначати більш м'які або тверді породи кленів. Тривалість випробування складає в межах 10–15 хв. Для отримання більш достовірних результатів порівняння дослідних зразків проводять після 1–2 годин. Проте слід відмітити, що, зазвичай, такі речовини не дуже розповсюджені в побутовому життєвому та мають високу вартість. Результатом дослідження є порівняння зразків за твердістю між собою без їх кількісної оцінки.

Механічний метод оснований на визначенні зусилля, яке необхідне для вдавлювання індентора простої форми або визначення розмірів утвореної порожнини при постійній силі вдавлювання. Зазвичай, зусилля не перевищує 150–250 Н, що не потребує використання складних пристроїв. Типовою формою індентора для цього методу є: прямокутна, овальна, трикутна, сегментна та ін. Перевагою даного методу є простота, а також відносна висока швидкодія.

Ручний метод використовується в промисловості для попереднього визначення твердості деревини на

стадіях лісозаготівлі або при попередній обробки. Промислові зразки деревини деформують або вминають, зазвичай, за допомогою пальців або нігтів рук. Проте використання даного методу можливе лише для більш м'яких порід деревини.

Прямий метод (сприйняття) оснований на аналізі показників зовнішнього вигляду деревини, зокрема кольору, текстури, блиску, запаху та ін. При цьому для аналізу може використовуватися не досліджуваний зразок деревини, а, наприклад, колір, форма та розміри листя, твердість кори тощо.

Аналіз та порівняння існуючих методів визначення статичної твердості деревини проводився для наступних основних характеристик методів [8]: інтегральність, універсальність, швидкодія, достовірність, чутливість, автоматизація, безпечність, вартість.

Під інтегральністю методу розуміють характеристику, яка враховує зміну досліджуваних процесів по всій поверхні або об'єму випробувального зразка. За допомогою інтегральних методів отримують усереднені значення параметрів або критеріїв. При цьому враховуються основні фактори та процеси, які впливають на досліджувані показники. Універсальність методу – характеристика, яка визначає можливість проведення досліджень з використанням мінімальної кількості засобів вимірювання для широкої номенклатури випробувальних зразків деревини. Під швидкістю методу розуміють тривалість часу між закінченням випробування і отриманням опрацьованих результатів досліджень.

Достовірність методу характеризує прийняття безпомилкового рішення в результаті аналізу процесів, які протікають при взаємодії індентору з випробувальним зразком. Чутливість – характеристика методу, яка пов'язана зі здатністю виявлення досліджуваних параметрів для мінімально можливих розмірів елементів. Автоматизація (рівень автоматизації) методу визначає ступінь участі людини в процесах досліджень та випробувань, а також отриманні та обробці отриманої інформації. Безпечність методу відображає комплекс заходів та засобів, які використовуються для захисту персоналу та обладнання під час проведення випробувань. Вартість методу характеризує фінансові витрати, які пов'язані з метрологічною атестацією випробувального обладнання, а також його фізичним зношуванням, підготовкою кваліфікованих кадрів та ін.

Для аналізу та порівняння існуючих методів визначення статичної твердості деревини були використані

методи розстановки пріоритетів та аналізу ієрархії [9, 10] за характеристиками, які були представлені раніше.

Порівняння методів з використанням методу розстановки пріоритетів полягав в наступному. Спочатку формувалася таблиця порівняння в яку були занесені ранги за кожною характеристикою методу. Порівняння методів проводилося попарно з урахуванням інформації, яку було отримано при аналізі літературних джерел. Мінімальне значення рангу відповідало низькому рівню досліджуваної характеристики методу. Після порівняння методів за основними характеристиками розраховувалися середні значення рангів для кожного методу, а також середнє (допустиме) значення рангу, яке визначає межу пріоритетності методів. Після цього визначалися пріоритетні методи для яких значення середніх рангів є мінімальними і не перевищують усереднене значення рангу для всіх проаналізованих методів. В результаті розрахунку усереднене значення рангу для всіх методів склало $\bar{R} = 4,5$.

Узагальнені результати порівняння методів визначення статичної твердості деревини представлені в табл. 1.

Результати досліджень з використанням методу розстановки пріоритетів показують, що до пріоритетних методів визначення статичної твердості деревини можна віднести структурний метод, методи Брінелля та Янка, а також ручний метод.

Для визначення пріоритетних характеристик методів визначення статичної твердості деревини було використано метод аналізу ієрархії, який дозволяє провести декомпозицію досліджуваних підсистем, а також провести її синтез при виявленні зв'язків між підсистемою різних рівнів [10]. Даний метод оснований на визначенні чисельного значення вектору пріоритетів, який відповідає пріоритетним напрямкам поставленої задачі.

При порівнянні результатів враховується чисельна та транзитивна узгодженість даних, що відповідає адекватності поставленої задачі дослідження. Ієрархічне представлення дозволяє описувати вплив елементів ієрархії одного рівня на елементи іншого рівня. Утворена ієрархія має високу стійкість та гнучкість, що характеризується незмінністю структури при її малих змінах.

Загальну класифікацію методів визначення статичної твердості деревини можна представити у вигляді ієрархічної дворівневої структури (рис. 2).

Таблиця 1

Узагальнена таблиця порівняння методів визначення статичної твердості деревини за методом розстановки пріоритетів

Метод визначення твердості деревини	Інтегральність	Ранг	Універсальність	Ранг	Швидкодія	Ранг	Достовірність	Ранг	Чутливість	Ранг	Автоматизація	Ранг	Безпечність	Ранг	Вартість	Ранг	Ср. зн. рангу	Пріоритет
Наноінденторний	0	8	1	7	0	8	7	1	7	1	7	1	3	5	0	8	4,875	6
Брінелля	5	3	2	5	2	6	6	2	6	2	5	2	1	7	2	6	4,125	2
Янка	4	4	1	6	3	5	5	3	4	4	5	3	2	6	4	4	4,375	3
Структурний	7	1	5	3	5	3	3	5	5	3	4	4	6	2	4	3	3	1
Хімічний	5	2	0	8	1	7	4	4	3	5	2	5	0	8	3	5	5,5	8
Механічний	3	5	4	4	4	4	2	6	2	6	2	6	4	4	2	7	5,25	7
Ручний	2	6	5	2	7	1	1	7	1	7	1	7	5	3	6	2	4,375	4
Прямий (сприйняття)	1	7	7	1	6	2	0	8	0	8	0	8	7	1	7	1	4,5	5

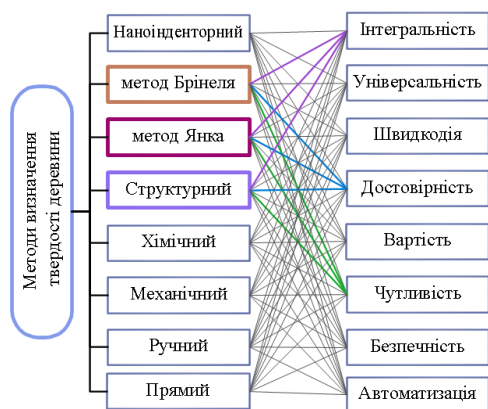


Рис. 2. Дворівнева ієрархія методів визначення статичної твердості деревини

Результати досліджень з використанням даного методу прийняття рішень також підтвердили пріоритетність структурного методу, а також методів Брінелля та Янка (рис. 3, а). В свою чергу до найбільш пріоритетних характеристик розглянутих методів слід віднести їх інтегральність, достовірність та чутливість (рис. 3, б).

З рис. 3 також видно, що пріоритетність ієрархії другого рівня більш рівномірна у порівнянні з ієрархією першого рівня, що свідчить про важливість кожної з проаналізованих характеристик досліджуваних методів.

Отримані результати досліджень дозволили визначити пріоритетні напрямки подальших наукових досліджень з використанням проаналізованих методів.

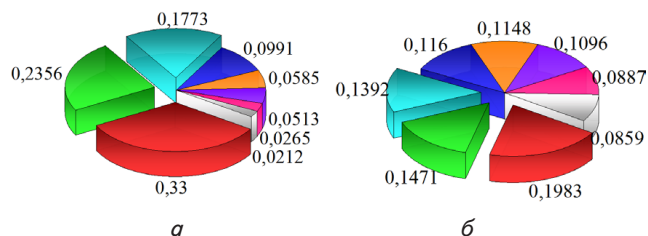


Рис. 3. Пріоритети ієрархії методів визначення статичної твердості деревини: а – пріоритети першого рівня (методи): структурний – 0,33; Брінелля – 0,2356; Янка – 0,1773; ручний – 0,0991; прямий – 0,0585; наноінденторний – 0,0513; механічний – 0,0265; хімічний – 0,212; б – пріоритети другого рівня (характеристики методів): інтегральність – 0,1983; достовірність – 0,1471; чутливість – 0,1392; безпе́чність – 0,116; автоматизація – 0,1148; швидкодія – 0,1096; вартість – 0,0887; універсальність – 0,0859

5. Висновки

Проведено аналіз існуючих методів визначення статичної твердості деревини, а також представлено їх загальна характеристика. Створена узагальнена класифікація методів, а також визначено їх основні переваги та недоліки.

Методи розстановки пріоритетів та аналізу ієрархії дозволили визначити перспективні методи визначен-

ня статичної твердості деревини, а також виявити напрямки подальших актуальних наукових досліджень.

Було показано, що до пріоритетних методів визначення статичної твердості деревини можна віднести структурний метод, методи Брінелля та Янка. З урахуванням основних переваг та недоліків методів найбільш перспективним методом визначення статичної твердості деревини виглядає структурний метод, проте дослідження в даному напрямку практично не проводилися.

На основі методів прийняття рішень було показано, що найбільш актуальні напрямки наукових досліджень пов'язані з такими характеристиками методів як інтегральність, достовірність та чутливість. Встановлено, що для досліджуваних характеристик методів властива рівномірність пріоритетів, що свідчить про важливість кожної з проаналізованих їх характеристик.

Перспективними та актуальними напрямками як експериментальних, так і теоретичних досліджень є детальне вивчення процесів, які виникають при визначенні статичної твердості деревини. Такі дослідження дозволяють виявити вклад складових процесів на кінцевий результат визначення статичної твердості деревини, що підвищить достовірність досліджуваних методів.

Література

1. Vincent, M. A comparison of nanoindentation cell wall hardness and Brinell wood hardness in jackpine [Text] / M. Vincent, Q. Tong, N. Terziev, G. Daniel, C. Bustos, W. Escobar, I. Duchesne // Journal of the international Academy of wood science. – 2014. – Vol. 48. – P. 7–22. doi: 10.1007/s00226-013-0580-5
2. Doyle, J. Indentation Hardness of Wood [Text] / J. Doyle, J. C. F. Walker // Wood and Fiber Science. – 2007. – Vol. 17. – P. 369–376.
3. Riggio, M. Hardness Test [Text] / M. Riggio, M. Piazza // In Situ Assessment of Structural Timber RILEM State of the Art Reports. – 2011. – Vol. 7. – P. 87–97. doi: 10.1007/978-94-007-0560-9_10
4. Janka hardness [Electronic resource] / Wikipedia, the free encyclopedia. – Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Janka_hardness_test – 12.07.2012.
5. Green, D. Janka hardness using nonstandard specimens [Text] / D. Green, M. Begel, W. Nelson // US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. – 2006. – Vol. 303 – P. 13.
6. ГОСТ 16483.17-81. Метод определения статической твердости [Текст] / Взамен ГОСТ 16483.17-72; введ. 21.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 5 с.
7. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю [Текст] / Взамен ОСТ 10241-40; введ. 01.01.1960. – М.: Изд-во стандартов, 1963. – 39 с.
8. Демина, Л. Н. Методы и средства измерений, испытаний и контроля [Текст] : уч. пос. / Л. Н. Демина. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 292 с.
9. Farndale, K. Standard for Portfolio Management [Text] / K. Farndale // Project Management Institute, 2006. – P. 40–63.
10. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 316 с.