ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХВОЙНИХ ТА ЛИСТЯНИХ ПОРІД ДЕРЕВИНИ ОДНОРАЗОВИМ КОРОТКОЧАСНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ НА СТИСК УЗДОВЖ ВОЛОКОН ЗА ЖОРСТКОГО РЕЖИМУ ВИПРОБУВАНЬ

С. Гомон, к.т.н.

ORCID ID: 0000-0003-3401-0760

П. Гомон, к.т.н.

ORCID ID: 0000-0002-5312-0351

В. Караван, к.т.н.

ORCID ID: 0000-0002-8261-692X

Національний університет водного господарства та природокористування

<https://doi.org/10.31734/architecture2020.21.034>

Гомон С., Гомон П., Караван В. Експериментальні дослідження хвойних та листяних порід деревини одноразовим короткочасним навантаженням на стиск уздовж волокон за жорсткого режиму випробувань

Детально проаналізовано літературні джерела з дослідження роботи різних порід «чистої деревини» на стиск уздовж волокон закордонними та вітчизняними вченими.

Розроблено методику експериментальних досліджень конструкційних матеріалів хвойних (модрини, сосни, ялини) та листяних порід (берези, вільхи, ясени) деревини одноразовим короткочасним навантаженням на стиск уздовж волокон. Проведено детальний аналіз сучасних випробувальних машин і електромеханічних пресів для таких досліджень.

Уперше цілеспрямовано випробувано конструкційні матеріали хвойних (модрини, ялини) та листяних порід (берези, вільхи, ясени) деревини за жорсткого режиму випробувань на сучасній сервогідравлічній випробувальній машині на стиск уздовж волокон. Уперше побудовані повні діаграми деформування таких порід деревини від початку завантаження зразків і аж до їхнього руйнування. За проведеними експериментальними дослідженнями всіх порід деревини на повних діаграмах деформування матеріалу встановлено основні ділянки роботи на висхідній та спадній вітках. За визначеними ділянками детально проаналізовано роботи різних порід деревини на стиск уздовж волокон одноразовим короткочасним навантаженням за жорсткого режиму випробувань.

Експериментальним шляхом визначено критичні та граничні деформації хвойних (модрини, сосни, ялини) та листяних порід (берези, вільхи, ясени) деревини.

Встановлено основні характери руйнування зразків деревини.

Визначено обсяг експериментальних досліджень у майбутньому.

Ключові слова: деревина, діаграми, гранична міцність, критичні та граничні деформації.

Homon S., Homon P., Karavan V. Experimental investigations of convenient and deciduous timber species with short one-time load on compression along the fiber during hard testing mode

The research supplies a detailed analysis of literary sources on the study of the work of different species of «pure wood» on the compression along the fibers of foreign and domestic scientists.

The technique of experimental research of structural materials of coniferous (larch, pine, spruce) and deciduous (birch, alder, ash) wood with a single short-term compression load along the fibers was developed. A detailed analysis of modern testing machines and electromechanical presses was conducted.

The target testing of structural materials of conifers (larch, spruce) and deciduous (birch, alder, ash) wood with rigid testing on a modern servo-hydraulic testing machine for compression along fibers was first conducted. For the first time, complete diagrams of deformation of such species of wood have been constructed. According to the experimental researches of all kinds of wood on the complete diagrams of deformation of the material the main areas of work on the ascending and descending branches are established. For certain areas, a detailed analysis of the work of different species of wood for compression along the fibers with a single short-term load under rigid test mode was carried out.

The critical and boundary deformations of coniferous (larch, pine, spruce) and deciduous (birch, alder, ash) wood were determined experimentally.

The basic characters of destruction of wood samples are established.

The scope of future experimental studies was determined.

Key words: timber, diagrams, ultimate strength, critical and ultimate deformations.

Постановка проблеми. Використання деревини в різних галузях промисловості з кожним роком зростає. Такий процес триватиме й надалі, тому що щороку зростає виробництво, пов'язане з

переробкою різних листяних та хвойних порід деревини. До таких галузей можливо віднести насамперед деревообробну та меблеву промисловість, будівництво, суднобудування, транспорт,

авіацію. З іншого боку, застосування деревини в різних галузях народного господарства сприяє збільшенню виготовлення екологічно чистої продукції, передусім матеріалів, виробів, елементів, вузлів, деталей машин та механізмів, конструкцій тощо.

Деревина й надалі буде однією з пріоритетних сировинних баз промисловості. Матеріали, виробни, елементи, конструкції на основі різних порід деревини широко застосовують у міському, промисловому й цивільному будівництві, утриманні та реконструкції будівель і споруд. Тому потребують всебічного вивчення в експлуатаційних та аварійних умовах роботи, зокрема на виробництві (динамічні та вібраційні навантаження), в умовах агресивного середовища (заводи хімічної, нафтопереробної, вугільної, харчової промисловості, мостові конструкції), в районах сейсмічного впливу. Деревина – природний анізотропний, пружно-пластичний матеріал. Внутрішня будова деревини досить складна. Її міцність та деформативність залежать від низки чинників і впливів. Це зокрема вологість, вік, вади, пошкодження, робота деревини за різних видів навантаження. Отже, для вивчення й детального аналізу реального напружено-деформованого стану матеріалів, виробів, елементів, конструкцій з деревини необхідне найновіше сучасне обладнання. Тобто обладнання, яке б дало змогу випробовувати такі елементи від початку завантаження і аж до їхнього руйнування (за жорсткого режиму випробувань). Окрім того, треба визначати фізико-механічні характеристики матеріалів та конструкцій ще з більшими точністю й достовірністю аж до досягнення матеріалами критичних та граничних деформацій, тобто до повного руйнування.

До такого обладнання можна віднести сервогидравлічні випробувальні машини [1], електро-механічні преси [2; 3] та сучасні комп'ютерні програми до них, які дають змогу випробовувати й визначати більшість основних фізико-механічних властивостей від початку роботи матеріалу (конструкції) до власне руйнування. Це дає змогу будувати повні діаграми механічного стану (зі спадною віткою), задля можливості розкрити дійсний напружено-деформований стан матеріалів, виробів із різних хвойних та листяних порід деревини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню фізико-механічних властивостей деревини різних порід присвячено чимало праць

вітчизняних і закордонних учених [4–6]. Більшість цих досліджень стосується роботи деревини за м'якого режиму випробувань, тобто за приростом навантажень. Тож після таких випробувань на застарілих пресах ми можемо побудувати діаграми напруження-деформації « σ - ϵ » тільки до певної точки, розташованої значно нижче за рівень критичних деформацій. Це звичайно пов'язано із застарілими випробувальними машинами та з відповідним обладнанням для зняття відліків (деформацій). При цьому дослідження проводили на зразках із «чистої деревини» перерізом 20x20x30 мм, які не можуть повністю врахувати макроструктуру деревини.

Наприкінці XIX ст. – на початку XX ст. з'явилися електромеханічні преси та сервогидравлічні випробувальні машини, які дають змогу здійснювати випробування зразків з одночасним зняттям відліків аж до руйнування за допомогою сучасного комп'ютерного обладнання, а відтак – побудувати повні діаграми « σ - ϵ » на висхідній та спадній вітках.

Такі експериментальні дослідження, виконані за жорсткого режиму випробувань, частково проводили кілька років тому С.В. Тутурин [2], К.А. Вареник [3] та ін. [7; 8].

Дослідження переважно стосувалися деревини сосни. Інші породи деревини практично не вивчали. Тож експериментально-теоретичні дослідження інших хвойних та листяних порід на стиск уздовж волокон – актуальне завдання.

Постановка завдання. Наше завдання – експериментальні дослідження хвойних (модрини, сосни, ялини) та листяних (берези, вільхи, ясени) порід деревини на поздовжній стиск за жорсткого режиму випробувань, а також побудова повних діаграм деформування матеріалу та визначення граничного напруження, критичних і граничних деформацій.

Для експериментальних досліджень було обрано такі породи деревини: хвойні – модрина, сосна, ялина; листяні – береза, вільха, ясен. Зразки виготовляли з дерев, які вирощували в різних регіонах України, зокрема сосни, ялини, вільхи – в лісах Рівненської області; берези, ясени – Волинської; модрини – Івано-Франківської області. Древа вибирали приблизно віком 60 років. Після зрізу їх транспортували до підприємств дерево-обробної промисловості та розділяли на кряжі, потім розрізали на бруски. Висушували заготовки деревини у спеціальних висушувальних камерах до стандартної вологості 12 %. Після досягнення

брусками стандартної вологості їх розпилювали на зразки перерізом 30x30x120 мм без вад і пошкоджень (перший сорт деревини).

Для вирішення поставленої мети було виготовлено серію зразків суцільного перерізу конструкторських розмірів першого сорту різних порід деревини.

Експериментальні дослідження проводили на сервогідролінійній випробувальній машині СТМ-100 [1] (рис. 1) із відповідним програмним забезпеченням у Тернопільському національному

технічному університеті ім. Пулюя. Інтерфейс із програмним забезпеченням показано на рис. 2. Максимальне навантаження випробувальної машини становить 10 т.

Навантаження зразків здійснювали й контролювали за допомогою комп'ютера та відповідного програмного забезпечення. За випробування зразків інтерфейс комп'ютера показує швидкість завантаження, навантаження за відповідного переміщення преса, час випробування зразка та інші параметри.

Рис. 1. Сервогідролінійна випробувальна машина СТМ-100

Рис. 2. Інтерфейс із програмним забезпеченням

Виклад основного матеріалу. Зразки випробовували за стандартної вологості 12% без пошкоджень (перший сорт деревини) за швидкості навантаження 0,025 мм/с (1,5 мм/хв.) [9]. Перед початком кожного випробування додатково вимірювали переріз зразків та їхньої вологості. До випробувань допускали призми з перерізом 30x30x120 мм (± 1 мм) та з вологістю 12% (± 1 %). Якщо зразки не відповідали цим параметрам, їх вибракували. Кількість призм для досліджень становила щонайменше шість штук для кожної породи деревини. Зразки центрували за фізичними осями.

Після проведення експериментальних досліджень та побудови повних діаграм деформування були визначені характерні ділянки для всіх порід деревини.

Отже, умовно поділимо діаграму на висхідну (від 0 до точки максимального напруження та критичних деформацій) і спадну вітки (від точки максимального напруження та критичних деформацій до моменту руйнування). На нашу думку, на висхідній вітці доцільно виокремити чотири ділянки (рис. 3):

Перша ділянка – перебуває в межах $\eta = 0$ до $\eta = 0,2$ (η – рівень завантаження зразка залежить від максимального напруження) – початковий етап роботи зразка характерний незначним викривленням діаграми.

Друга ділянка – від $\eta = 0,2$ до $\eta = 0,5$ – експлуатаційний режим роботи зразка – робота матеріалу за нормальних умов експлуатації, при цьому діаграма набуває більшого характеру викривлення.

Третя ділянка – від $\eta = 0,5$ до $\eta = 0,8$ – аварійний режим роботи зразка – на цьому етапі матеріал може зруйнуватися за певного часу тривалого або малоциклового навантаження – дефор-

мації починають зростати з більшою швидкістю порівняно з першими двома ділянками, ділянка набуває ще більшого викривлення.

Четверта ділянка – від $\eta = 0,8$ до $\eta = 1$ – режим роботи зразка за максимального напруження та досягнення ним критичних деформацій. На цій ділянці діаграма на висхідній вітці досягає найвищої точки максимальних напружень, їм відповідають критичні деформації. Деформації ще з більшою швидкістю починають наростати, діаграма досягає максимального викривлення.

Далі матеріал переходить у наступну фазу роботи – на спадній вітці, де виділимо ще три ділянки (рис. 4):

П'ята ділянка – від $\eta = 1,0$ до $\eta = 0,9$ – режим роботи зразка за досягнення ним так званої точки граничних деформацій за відповідних залишкових напружень (приріст деформацій зростає, діаграма починає працювати на спадній вітці).

Шоста ділянка – від $\eta = 0,9$ до $\eta = 0,8 \dots 0,6$ – режим роботи зразка після досягнення ним граничних деформацій, діаграма продовжує викривлятися на спадній вітці, приріст деформацій збільшується, залишкові напруження зменшуються. На цій ділянці діаграма досягає точки, після якої починається руйнування зразка.

Сьома ділянка – ділянка руйнування зразка (найбільша ділянка, але проходить з найменшим часом) – характерна різким приростом деформацій із найбільшою швидкістю, залишкові напруження різко зменшуються. Робота зразка має незворотній характер, матеріал руйнується.

Після випробування зразків були побудовані діаграми деформування деревини « σ - u » хвойних (модрина, сосни, ялини) та листяних (берези, вільхи, ясена) порід деревини (рис. 5, 6).

Рис. 3. Висхідна вітка діаграми « σ - u » з обмеженням у точці критичних деформацій

Рис. 4. Повна діаграма деформування деревини « σ - u » зі спадною віткою

Рис. 5. Повні діаграми деформування хвойних порід деревини:
а) модрина; б) сосни; в) ялини

Рис. 6. Повні діаграми деформування листяних порід деревини: а) берези; б) вільхи; в) ясена

Детальний аналіз проведемо на деревині модрина (рис. 5а). При випробовуванні зразка модрина на ділянці першої діаграми за рівня напруження $\sigma_c = 0,2f_{c,0,d,cr}$ відносні деформації деревини утворили $u_c = 0,00092$. На другій ділянці за напружень $\sigma_c = 29,85 \text{ МПа}$ ($\sigma_c = 0,5f_{c,0,d,cr}$) відносні деформації зросли до позначки $u_c = 0,00255$. На наступній (третій) ділянці за рівня напруження $\sigma_c = 0,8f_{c,0,d,cr}$ відносні деформації порівняно з другою ділянкою зросли на 69,4 % ($u_c = 0,00432$). При досягненні позначки максималь-

них напружень (найвища точка діаграми) $\sigma_c = f_{c,0,d,cr} = 59,70 \text{ МПа}$ (четверта ділянка) відносні деформації утворили $u_{c,fin,d} = 0,00641$, що на 48,4 % більше порівняно з третьою ділянкою.

На спадній вітці на ділянці п'ять граничні деформації збільшились та сягнули $u_{c,fin,d,u} = 0,00928$, що на 44,8 % більше, ніж критичні деформації, при залишковій міцності $\sigma_{c,u,d} = 0,9f_{c,0,d,cr} = 53,73 \text{ МПа}$. На шостій ділянці відносні деформації досягли позначки $u_c = 0,03536$ за напружень $\sigma_c = 41,79 \text{ МПа}$ ($\sigma_c = 0,7f_{c,0,d,cr}$). На останній (сьомій) ділянці

зразок руйнувався. При цьому остаточні відносні деформації, які вдалося зафіксувати комп'ютером, становили $u_c = 0,4499$ з відповідною залишковою міцністю $\sigma_c = 5,97$ МПа.

Висновки. Уперше проведено цілеспрямовані випробування конструкційних матеріалів хвойних (модрини, ялини) та листяних (берези, вільхи, ясена) порід деревини за жорсткого режиму випробувань на сучасній сервогидравлічній випробувальній машині на стиск вздовж волокон. Уперше побудовані повні діаграми деформування таких порід деревини. Експериментальним шляхом визначено критичні та граничні деформації хвойних та листяних порід деревини. У майбутньому необхідно провести аналогічні дослідження для клеєної та модифікованої деревини.

Бібліографічний список

1. Ясній П. В. Пластично деформовані матеріали: в тому і тріщинозчужіть: монографія. Львів: Світ, 1998. 292 с.
2. Тутурин С. В. Механическая прочность древесины: дис. ... докт. техн. наук: 01.02.04. Москва, 2005. 318 с.
3. Вареник К. А. Расчет центрально-сжатых деревянных элементов с учетом ползучести: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Новгород Великий: НГУ им. Ярослава Мудрого, 2015. 167 с.
4. Иванов А. М. Исследования диаграммы механических испытаний древесины. *Изв. вузов. Строительство и архитектура*. 1959. № 4. С. 116–122.
5. Быков В. В. Экспериментальные исследования прочности и деформативности древесины сибирской лиственницы при сжатии и растяжении вдоль волокон с учетом длительного действия нагрузки: *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1967. № 8. С. 3–8.
6. Белянкин Ф. П. Длительное сопротивление дерева: науч. пособ. Москва: Госстройиздат, 1934. 134 с.
7. Гомон С. С., Гомон С. С., Сасовський Т. А. Діаграми механічного стану деревини сосни за одноразового короточасного деформування до повної втрати міцності матеріалу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: зб. наук. праць. Рівне: Вид-во НУВГП, 2012. Вип 23. С. 166–171.
8. Гомон С. С., Гомон С. С., Сасовський Т. А. Діаграми механічного стану деревини сосни за повторного деформування до повної втрати міцності матеріалу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: зб. наук. праць. Рівне: Вид-во НУВГП, 2012. Вип 24. С. 106–112.
9. Гомон С. С., Гомон П. С. Побудова дійсних діаграм механічного стану деревини «с-и» суцільного перерізу ялини та берези за жорсткого режиму випробувань. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: зб. наук. праць. Рівне: Вид-во НУВГП, 2020. Вип 38. С. 321–330.

Стаття надійшла 23.01.2020