

### 3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 634.0.812

Проф. Б.П. Поберейко, д-р техн. наук; асист. Л.О. Флуд –  
НЛТУ України, м. Львів

#### АНИЗОТРОПІЯ ТА АСИМЕТРІЯ МІЦНОСТІ ДЕРЕВИНИ

Викладено основні результати відомих на сьогодні емпіричних досліджень міцності деревини. Проведено аналіз робіт з вивчення анізотропії характеристик міцності матеріалу, і на його основі встановлено, що абсолютні значення меж міцності у різних напрямках структурної симетрії матеріалу є різними. Абсолютні значення меж міцності деревини вздовж волокон у десятки разів є більшими за абсолютні значення меж міцності поперек волокон. Крім цього, виявлено, що значення меж міцності деревини є залежними не лише від напрямку, але і від способу деформування.

**Ключові слова:** міцність, анізотропія міцності, асиметрія міцності, межі міцності.

**Актуальність.** Складовими проблеми міцності анізотропних тіл, до класу яких належить деревина, є такі задачі: 1) дослідження залежностей характеристик міцності від орієнтації дії механічних навантажень відносно осей структурної симетрії матеріалу; 2) оцінка міцності анізотропних тіл зі складним напруженим станом.

Ці задачі нерозривно пов'язані між собою. Розв'язки першої задачі є основою для побудови поверхні міцності матеріалу з об'ємним напруженим станом та визначення констант міцності для більшості, відомих на сьогодні, критеріїв міцності деревини та інших капілярно-пористих гігроскопічних полімерних ортотропних матеріалів. Розв'язки першої задачі у часткових випадках є розв'язками другої, а загальний розв'язок другої (критерій міцності) – оцінкою достовірності результатів випробовувань матеріалу на міцність вздовж осей структурної симетрії. Тому для удосконалення відомих та побудови нових теорій короткочасної та тривалої міцності деревини актуальним є аналіз відомих на сьогодні результатів відповідних емпіричних досліджень.

**Аналіз результатів емпіричних досліджень міцності деревини.** З відомих на сьогодні досліджень, присвячених вирішенню першої задачі анізотропії міцності деревини, є робота А.Н. Фласермана [1]. Хоча вона була опублікована у 30-х роках минулого століття, однак більшість сучасних дослідників [2-4] вважають, що її результати є значущими і мають вагомий значення для науки про міцність полімерних капілярно-пористих твердих тіл на сучасному етапі її розвитку. У ній вперше експериментальним шляхом визначено значення меж міцності для деревини сосни з відносною вологістю 12 %, випробовуваної на одновісний стиск у напрямках, нахилених під кутом  $\alpha \in [0^\circ; 90^\circ]$  до аксіального напрямку анізотропії матеріалу. Вперше, на прикладі експериментальних вимірювань меж міцності 450 деревних зразків з розмірами  $20 \times 20 \times 30$  мм, виготовлених із трьох колод сосни, виявлено вплив кута нахилу напрямку деформування до одного з головних напрямків структурної симетрії матеріалу на його міц-

ність. Вперше, на емпіричному рівні, підтверджено ортотропію міцності деревини хвойних порід.

Через двадцять років експериментальні дослідження А.Н. Флаксермана удосконалив та істотно доповнив Ю.М. Іванов [5]. Щоб виключити розкид результатів випробовувань деревини на міцність, Ю.М. Іванов вирізав деревні зразки ( $30 \times 30 \times 30$  мм) із однієї соснової колоди. Колоду розпилювали на дошки, з яких вирізали бруски з різними кутами  $\beta$  повороту граней брусків у площині поперечного січення ствола, кутами між поверхнею річних шарів та площиною кутів  $\alpha$  повороту граней зразків до осі ствола. Для бруска з орієнтацією  $\beta = 0^\circ$  площина кутів  $\alpha$  співпадала з площиною річних шарів, з так званою тангентальною площиною структурної симетрії деревини. Кут  $\alpha$  визначав кут нахилу напрямку дії механічних одновісних навантажень до осі ствола. Для бруска з орієнтацією  $\beta = 90^\circ$  площина кутів  $\alpha$  співпадала з радіальною площиною симетрії. Змінюючи значення кута  $\alpha$  у діапазоні від  $15^\circ$  до  $20^\circ$ , Іванов визначив регресійні залежності меж міцності  $\sigma_\alpha$  деревини від напрямку її деформування, від кута нахилу дії механічних одновісних навантажень до аксіального напрямку анізотропії пружних властивостей матеріалу:

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_0}{\cos^2 \alpha}; \sigma_\alpha = \frac{\sigma_{90}}{\sin^2 \alpha}; \sigma_\alpha = \frac{\tau_0}{\sin \sigma \cos \alpha}, \quad (1)$$

де:  $\sigma_0$  та  $\sigma_{90}$  – межі міцності стиску для аксіального та головних поперечних напрямків анізотропії деревини;  $\tau_0$  – межа міцності деревини випробовуваної на зсув вздовж волокон.

Формули (1) є узагальненням чисельних результатів одновісних випробовувань деревини на міцність у різних напрямках деформування. У наш час вони підтверджені роботами Є.К. Ашкеназі, і, як зазначено у [2], мають важливе значення для кількісної оцінки міцності деревини зі складним напруженим станом, зокрема можуть бути використані для перевірки наявних та побудови нових критеріїв міцності.

Не менш оригінальними щодо виявлення анізотропії та асиметрії міцності деревини є роботи Ф.П. Белянкіна [6], Н.Л. Леонтьєва [7] та інших дослідників. За даними цих робіт для аксіального напрямку структурної симетрії деревини ( $a$ ) абсолютні значення меж міцності та текучості у випадку розтягу є меншими за їх абсолютні значення в умовах стиску. Так, наприклад, за Белянкіним для більшості порід аксіальна компонента  $\eta_a$  коефіцієнта асиметрії міцності матеріалу приблизно дорівнює 3, а за Леонтьєвим –  $\eta_a \approx 1,2 \dots 2,5$ .

У випадку стиску поперек волокон міцність деревини істотно відрізняється від міцності стиску вздовж волокон. Межа міцності стиску у тангентальному напрямку у деревині хвойних і листяних кільцесудинних (за винятком дуба) порід є достатньо вираженою і її досить легко зафіксувати експериментальним шляхом [2]. У випадку стиску деревини зазначених порід у радіальному напрямку та інших порід – як у радіальному, так і в тангентальному напрямках, виявити та визначити межі текучості та міцності майже неможливо. Тому межу міцності (текучості) деревини, випробовуваної на стиск поперек волокон

прийнято оцінювати за даними експериментальних вимірювань межі пропорційності [4].

Ще більш проблемною є задача визначення характеристик міцності деревини поперек волокон в умовах одновісного розтягу. Основна складність її вирішення полягає у тому, що у деревині досить важко сформувати граничний напружений стан розтягу в радіальному та тангентальному напрямках анізотропії. За даними робіт Є.К. Ашкеназі [2], С.В. Тутуріна [4] та інших дослідників у стандартних деревних зразках Ф.П. Белянкіна [6], які широко використовують у наш час для випробовувань деревини на одновісний розтяг поперек волокон, окрім деформацій розтягу, виникають деформації зсуву. Понад це, у більшості випадків розвиток останніх істотно випереджає розвиток інших складових повних деформацій, що й утруднює фіксацію граничного напруженого стану розтягу у зазначених зразках. Тому для вирішення цієї проблеми Ю.С. Соболев запропонував випробовувати на розрив тонкостінні кільцеві зразки під дією внутрішнього гідростатичного тиску [8]. Кільцеві зразки діаметром 60 мм і товщиною 2 мм (1-й тип деревного зразка за Ю.С. Соболевим [8]) вирізають таким чином, щоб осі їх симетрії були паралельними волокнам деревини. Окрім цього, кут  $\alpha$  між радіусом кільця та дотичною будь-якого річного кільця деревинного зразка повинен задовольняти подвійну нерівність:  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ . Випробовування проводять на спеціальній установці, у якій передача гідростатичного тиску на внутрішню поверхню кільцевого зразка передається через спеціальний резиновий балон.

Достоїнством такого випробовування (за умови забезпечення належного контролю рівнотовщинності кільця) є можливість визначення мінімальної міцності (межі текучості) деревини поперек волокон в умовах розтягу. Окрім цього, у таких зразках спостерігається розвиток лише деформацій розтягу. Однак, оскільки товщина кільця (2 мм) є співрозмірна з шириною річного шару (1 мм для сосни та ялини), то згідно з [9], значення його фізико-механічних характеристик істотно відрізняються від значень фізико-механічних характеристик матеріалу, кількість річних шарів у якому є набагато більшою, ніж у досліджуваному зразку. Тому, оскільки межі текучості та міцності є механічними характеристиками твердих тіл, то кільцеві зразки Ю.М. Соболева є малопридатними для визначення міцності розтягу деревини у тангентальному та радіальному напрямках структурної симетрії, а відповідна методика, у випадку деревини, потребує удосконалення.

Отже, хоча запропонована Ф.П. Белянкіним методика визначення характеристик міцності капілярно-пористих композитних матеріалів не завжди дає змогу відокремити деформації розтягу від деформацій зсуву у деревині. Однак, як зазначено у роботах С.В. Тутуріна [4], через відсутність ефективніших та точніших методик вона сьогодні є єдиним прийнятним варіантом для вивчення граничних напружених станів у деревині листяних та хвойних порід. Згідно з цією методикою абсолютні значення меж текучості деревини випробовуваної на розтяг поперек волокон становить приблизно 0,02-0,04 від абсолютного значення міцності розтягу вздовж волокон [4]. Більше цього, за наявності крупних

серцевинних променів значення меж міцності деревини у радіальному напрямку є більшими, ніж у тангентальному [5, 7].

**Висновок.** Виявлена анізотропія міцності та деформативності деревини, випробовуваної на стиск та розтяг, обґрунтовується міцністю матеріалу клітинних оболонок, зокрема їхнім хімічним складом. Фундаментальними у цьому напрямку досліджень є роботи В.В. Москвітін [10]. Справді, за даними роботи [9], складовими частинами клітинних оболонок деревини на молекулярному рівні є, в основному, молекули лігніну  $C_{39}H_{29}O_6(OH)_5(OCH_3)_4$  і целюлози  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Їх молекулярна маса становить від 5000 до 1000000 вуглецевих одиниць. При таких великих розмірах макромолекул фізико-механічні властивості полімерів, до класу яких належить деревина, визначаються їхнім взаємним розташуванням та будовою [9]. Макромолекули полімеру – це ланцюги, що складаються з окремих ланок. Поперечний переріз ланцюга становить декілька ангстрем, а довжина – тисячі ангстрем. Тому, як зазначає В.В. Москвітін макромолекулам лігніну та целюлози властива гнучкість. Атоми, які входять в основний ланцюг, зв'язані міцним хімічним (ковалентним) зв'язком.

Енергія хімічних зв'язків (у ккал/моль) становить уздовж ланцюга 80 для С – С, 79 – для С – О, 66 – для С – Н. Сили міжмолекулярної взаємодії, що мають фізичну природу, є значно меншими [10]. Наприклад, міцність між-молекулярних зв'язків електростатичного характеру не перевищує 9 ккал/моль. Тому молекули лігніну та целюлози характеризуються міцними зв'язками у самих макромолекулах і відносно слабкими між ними. Тому, оскільки молекули лігніну та целюлози у деревині орієнтовані вздовж волокон [9], то її міцність в аксіальному напрямку структурної симетрії є більшою за її значення у радіальному та тангентальному напрямках.

## Література

1. Флаксерман А.Н. Влияние наклона волокон на механические свойства древесины сосны / А.Н. Флаксерман. – М. : Изд-во ГИТИ, 1931. – 48 с.
2. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1978. – 224 с.
3. Сашин М.А. Прогнозирование и повышение долговечности и длительной прочности древесины в строительных изделиях и конструкциях : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.05 – "Строительные материалы и изделия" / М.А. Сашин. – Тамбов, 2006. – 18 с.
4. Тутурин С.В. Механическая прочность древесины / С.В. Тутурин. – М. : Изд-во "Компания Спутник+", 2007. – 312 с.
5. Иванов Ю.М. Длительная прочность древесины при растяжении поперек волокон / Ю.М. Иванов, Ю.Ю. Славин // Строительство : Известия ВУЗов. – 1986. – № 10. – С. 22-26.
6. Белянкин Ф.П. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязко-пластического тела / Ф.П. Белянкин, В.Ф. Яценко. – К. : Изд-во АН УССР, 1957. – 200 с.
7. Леонтьев Н.Л. Влияние влажности на физико-механические свойства древесины / Н.Л. Леонтьев. – М. : Изд-во "Госбумиздат", 1962. – 114 с.
8. Соболев Ю.С. Древесина как конструкционный материал / Ю.С. Соболев. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1979. – 248 с.
9. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами товароведения : учебник [для студ. лесотехн. ВУЗов] / Б.Н. Уголев. – М. : Изд-во МГУД, 2002. – 340 с.
10. Москвитин В.В. Сопротивление вязкоупругих материалов / В.В. Москвитин. – М. : Изд-во "Наука", 1972. – 327 с.

**Поберейко Б.П., Флуд Л.О. Анизотропия и асимметрия прочности древесины**

Изложены основные результаты известных эмпирических исследований прочности древесины. Проведен анализ работ по изучению анизотропии характеристик прочности материала, и на его основании установлено, что абсолютные значения пределов прочности в разных направлениях структурной симметрии материала различные. Абсолютные значения пределов прочности древесины вдоль волокон в десятки раз превышают абсолютные значения пределов прочности поперек волокон. Кроме того, установлено, что значения пределов прочности древесины являются зависимыми не только от направления но и от способа деформирования.

**Ключевые слова:** прочность, анизотропия прочности, асимметрия прочности, пределы прочности.

**Pobereyko B.P., Flud L.O. Anisotropy and Asymmetry Strength of Wood**

The main results of empirical studies of known wood strength are provided. The analysis of the work devoted to the study of the anisotropy of the strength characteristics of the material is conducted, and on this basis the absolute values of ultimate strength in different directions of different structural symmetry of the material are found. The absolute values of the ultimate strength of wood along the grain are ten times higher than the absolute value of the maximum strength across the grain. Ultimate strength values are also found to dependent on the wood, not only the direction but also the mode of deformation.

**Keywords:** strength, strength anisotropy, asymmetry strength, ultimate strength, wood.

УДК 662.61:621

**Проф. Н.М. Фиалко<sup>1</sup>, д-р техн. наук;**

**вед.н.с. Ю.В. Шеренковский<sup>1</sup>, канд. техн. наук; м.н.с. Н.В. Майсон<sup>1</sup>;**  
**вед.н.с. Н.О. Меранова<sup>1</sup>, канд. техн. наук; доц. М.З. Абдулин<sup>2</sup>, канд. техн. наук;**  
**доц. Л.С. Бутковский<sup>2</sup>, канд. техн. наук; м.н.с. Н.П. Полозенко<sup>1</sup>;**  
**аспир. А.В. Клиш<sup>1</sup>; м.н.с. С.Н. Стрижеус<sup>1</sup>; м.н.с. А.Б. Тимощенко<sup>1</sup>**

**ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТУРБУЛИЗАТОРОВ ПОТОКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЯ И СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ ТОПЛИВА И ОКИСЛИТЕЛЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СТАБИЛИЗАТОРНОМ ГОРЕЛОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ**

Представлены данные численных исследований закономерностей эффектов влияния на процессы переноса в цилиндрической стабилизаторной горелке пластинчатых турбулизаторов потока установленных на срывной кромке стабилизатора пламени. Приведены особенности структуры течения топлива и окислителя при наличии и отсутствии турбулизаторов потока. Проанализированы результаты расчетов, касающиеся особенностей процессов смесеобразования в рассматриваемом горелочном устройстве.

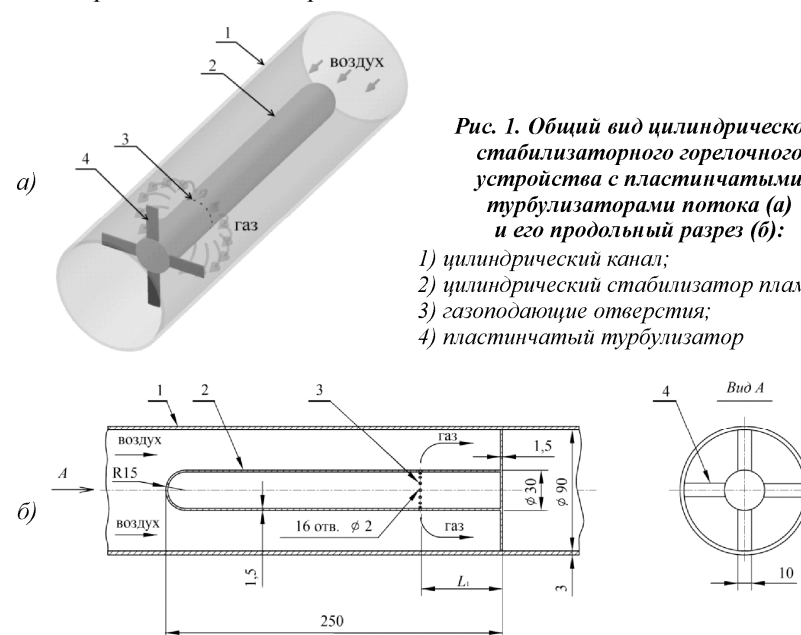
**Ключевые слова:** пластинчатый турбулизатор потока, цилиндрическая стабилизаторная горелка, CFD-моделирование.

**Введение.** К важным способам повышения эффективности сжигания топлива в стабилизаторах горелочных устройствах относится интенсификация их рабочих процессов [1-5]. В рамках данной работы рассматривается возможность использования такого метода интенсификации, как установка пластинчатых турбулизаторов потока.

<sup>1</sup> Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев;  
<sup>2</sup> Национальный технический университет Украины "КПИ", г. Киев

Указанная возможность исследуется относительно цилиндрического горелочного устройства стабилизаторного типа с подачей топлива через систему отверстий на боковой поверхности стабилизатора в сносящий поток окислителя. Выбор данного горелочного устройства как объекта исследования, обусловленный растущими потребностями энергетической практики в применении этих устройств, сферой внедрения которых являются огнетехнические объекты малой мощности.

**Постановка задачи и результаты исследования.** Общий вид рассматриваемого горелочного устройства с турбулизаторами потока и его геометрические характеристики представлены на рис. 1. В качестве исходных данных исследования принимались следующие значения: расход газа (метана) 10 м<sup>3</sup>/час; коэффициент избытка воздуха составлял 1,1; абсолютная температура газа и воздуха – 300 К; интенсивность турбулентности потока на входе в горелку принималась равной 3 %; расстояние L<sub>1</sub> от газоподающих отверстий до срывной кромки стабилизатора пламени – 0,06 м.



**Рис. 1. Общий вид цилиндрического стабилизаторного горелочного устройства с пластинчатыми турбулизаторами потока (а) и его продольный разрез (б):**

- 1) цилиндрический канал;
- 2) цилиндрический стабилизатор пламени;
- 3) газоподающие отверстия;
- 4) пластинчатый турбулизатор

Приведенные ниже результаты исследования получены с использованием программного пакета FLUENT.

Перейдем к рассмотрению закономерностей течения топлива и окислителя в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве при наличии на его срывной кромке пластинчатых турбулизаторов потока. При этом полученные данные сопоставляются с ситуацией, когда такие турбулизаторы отсутствуют. В соответствии с результатами математического моделирования установка на срывной кромке стабилизатора пластинчатых турбулизаторов приводит к существенному изменению структуры потока топлива и окислителя (рис. 2).