14. МОС 12127 Одяг для захисту від жару і полум'я. Визначення передачі контактного тепла через захисний одяг чи складові матеріали.
15. МОС 17493:01 Одяг для захисту від жару і полум'я. Методи тестування на опір конвективному підвищенню температури з використанням циркуляції нагрітого повітря.
16. EN 1486:1996 Protective clothing for firefighters – Test methods and requirements for reflective clothing for specialized fire fighting (Захисний одяг для пожежників. Методи випробовувань та вимоги до тепловідбивного одягу для спеціального гасіння пожежі).
17. EN 366:1993 Protective clothing –Protection against heat and fire – Method of test: Evaluation of materials and materials assemblies when exposed to a source of radiant heat (Захисний одяг. Захист від нагріву та полум'я. Метод випробувань: оцінка матеріалів та комбінацій матеріалів, що піддаються дії джерела теплового випромінювання).
18. EN 367:1993 Protective clothing –Protection against heat and fire – Method of determining heat transmission on exposure to flame (Захисний одяг. Захист від нагріву та полум'я. Метод визначення теплопередачі під час дії полум'я).
19. EN 533:1997 Protective clothing –Protection against heat and fire – Limited flame spread materials assemblies (Захисний одяг. Захист від нагріву та полум'я. Обмеження розповсюдження полум'я по матеріалу під час дії тепла та полум'я).
20. EN 702:1994 Protective clothing –Protection against heat and fire – Test method: Determination of the contact heat transmission through protective clothing or its materials (Захисний одяг. Захист від нагріву та полум'я. Визначення контакту теплової передачі по захисному одягу або матеріалу).
21. EN ISO 15025:2002 Protective clothing –Protection against heat and fire – Method of test from limited flame spread (ISO 15025:2002) (Захисний одяг. Захист від тепла та полум'я. Метод випробовування обмеження розповсюдження полум'я).
22. ТУ У 18.2-20153970.001-2002 Костюм спеціальний тепловідбивний „Індекс-1". Технічні умови.
23. ТУ У 18.2-20153970.002-2002 Костюм спеціальний термозахисний „Індекс-1200". Технічні умови.
24. ТУ 8570-008-46840277-00 Комплект специальной теплозащитной одежды пожарных „ТК-800-40-Т".

УДК 674.815; 614.641.411.

Є.І. Івашко (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ПРОГНОЗУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЕВНИХ МАТЕРІАЛІВ

Досліджено напружений стан армуючих деревних матеріалів при довільному однорідному силовому полі. Визначено величини середніх напружень в деревному композиті, при яких можливий розрив матеріалу в площині, перпендикулярній напряму волокон і в радіальних та тангенціальних площинах, паралельних напрямку волокон

Актуальність дослідження. Вибір методу оцінки деревних матеріалів при складному напруженому стані базується на існуючих критеріях міцності композитних матеріалів.

В роботах [1, 2] показано, що ранги тензора пружності деревини і тензора міцності збігаються. Тому для повного опису міцності необхідно оперувати не менше ніж дев'ятьма незалежними характеристиками міцності. Анізотропія деревини вносить спеціальні корективи для побудови критерію міцності. Так, анізотропні матеріали на відміну від ізотропних, руйнуються по певних полях. У деревині ці поля називають головними площинами міцності [7]. Тому всі критерії міцності для анізотропних матеріалів записуються у вигляді функцій напружень, що діють на цих площинах.

Аналіз досліджень критеріїв міцності.

Приведемо короткий огляд існуючих критеріїв міцності композитних матеріалів.

Критерії міцності Мізіса-Хілла [4] має вигляд полінома другого степеня компонент напружень $\sigma_{i,j}$ на площині руйнування:

$$\sum\nolimits_{i,j,m,n} \cdot \Pi_{i,j,m,n} \cdot \sigma_{i,j} \cdot \sigma_{mn} = 1 \tag{1}$$

В роботі [1] досліджувалась можливість застосування критерію Мізеса-Хілла для оцінки якості критерію міцності деревини. Встановлено, що для деревини з сильною анізотропією (хвойні породи деревини) умова Мізеса-Хілла призводить до протиріччя з експериментальними даними, а для деревини із слабкою анізотропією (деякі листяні породи) досить задовільно апроксимує дані експерименту.

Критерій Маріна був встановлений емпіричним шляхом [8]. і виражається поліномом другого степеня компонент напружень на площині руйнування для двомірного напруженого стану.

$$\begin{aligned}\sigma_{x^2} + \sigma_{y^2} + \left(2 + \frac{1}{\tau_{45}}\left(\sigma_0^- + \sigma_{90}^+ - \sigma_0^+ - \sigma_0^- - \frac{\sigma_0^+}{\sigma_{90}^+} \cdot H\sigma_0^-\right) + \frac{\sigma_0^-\sigma_0^+}{\tau_{45^2}}\right) \cdot \sigma_x\sigma_y\left(\sigma_0^- - \sigma_0^+\right)\sigma_x + \\ + \left(\sigma_0^- \frac{\sigma_0^+}{\sigma_{90}^+} H - \sigma_{90}^-\right)\sigma_y - \sigma_0^+\sigma_0^- = 0\end{aligned} \tag{2}$$

Практичні результати показали, що критерій (2) достовірний тільки для тих матеріалів, в яких межа міцності при розтягу і стиску близькі. Отже застосування його для деревини неможливе через велику різницю інверсії міцності при розтягу і стиску в деревині.

Критерій Л. Фішера використовує величину енергії формостійкості матеріалу при врахуванні різних пружних і міцносних властивостей. Для двомірного напруженого стану ортотропного матеріалу критерій Фішера має вигляд [4]:

$$\frac{\sigma_x{}^2}{\sigma_y{}^2} + \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{90}^2} + \frac{\tau_{xy}^2}{\tau_0^2} - \frac{k\left(\sigma_x, \sigma_y\right)}{\sigma_0\sigma_{90}} = 1 \quad k = \frac{\mathrm{E}_x\left(1 + \nu_{yx}\right) + \mathrm{E}_y\left(1 + \nu_{xy}\right)}{2 \cdot \sqrt{\mathrm{E}_x\mathrm{E}_y\left(1 + \nu_{xy}\right)\left(1 + \nu_{xy}\right)}} \tag{3}$$

Цей критерій не враховує інверсію при розтягу і стиску і тому для анізотропних матеріалів не застосовується.

Критерій К.В. Захарова у випадку двомірного напруженого стану ортотропного тіла має вигляд [8]:

$$\sigma_x{}^2 + k_1\sigma_y{}^2 + k_2\sigma_x\sigma_y + k_3\sigma_x + k_4\sigma_y + k_5 = 0 \tag{4}$$

де

$$k_1 = \frac{\sigma_0{}^+\sigma_0{}^-}{\sigma_{90}{}^+\sigma_{90}{}^-};$$

$$k_2 = 1 + \frac{\sigma_0^+\sigma_0^-}{\sigma_{90}^+\sigma_{90}^-} + \frac{\sigma_0^- - \sigma_0^+}{\tau_{45}} - \frac{\sigma_0^+\sigma_0^-}{\sigma_{90}^+\sigma_{90}^-} \cdot \frac{\sigma_{90}^- - \sigma_{90}^+}{\tau_{45}} - \frac{\sigma_0^-\sigma_0^+}{\tau^2{}_{45}}$$

$$k_3 = \sigma_0{}^- - \sigma_0{}^+; \quad k_4 = \frac{\sigma_0^+\sigma_0^-\left(\sigma_{90}^- - \sigma_{90}^+\right)}{\sigma_{90}^+\sigma_{90}^-} \quad k_5 = -\sigma_0{}^+\sigma_0{}^-$$

Із наведених формул витікає, що критерій враховує інверсію матеріалу при стиску і розтягу. Результати експерименту показали задовільний збіг з даними критеріями міцності для багатьох анізотропних матеріалів, в тому числі і деревини.

Критерій Е.К.Ашкеназі обумовлений тим, що ранг тензорів міцності і пружності збігаються і мають четвертий порядок у випадку ортотропної симетрії. Отже, критерій записується у вигляді поліному четвертого степеня і має вигляд [1]:

$$\left(\frac{H\sigma_x^2}{\sigma_0^2}+\frac{\sigma_y^2}{\sigma_{90}^2}+\frac{\tau_{xy}^2}{\tau_0^2}+\left(\frac{1}{\sigma_0}+\frac{1}{\sigma_{90}}-\frac{1}{\tau_{45}}\right)\sigma_x\sigma_y\right)^2-\sigma_x^2-\sigma_y^2-\sigma_x\sigma_y-\tau_{xy}^2=0 \qquad (5)$$

Експериментальні дослідження показали, що критерій (5) дає задовільні результати для визначення міцності сильно анізотропних матеріалів. Для матеріалів з несильно вираженою анізотропією спостерігаються деякі розбіжності між даними за формулою (5) та експериментом.

Критерій В.Л. Гілярова і Л.Н. Тер-Мкртичяна [3] описує міцність ортотропних матеріалів, зокрема деревини, при двовимірному напруженому стані квадратичним поліномом напружень на площинах руйнування.

Узагальнені критерії міцності. Аналіз попередніх критеріїв міцності показує, що одні з них з достатньою точністю апроксимують експериментальні дані для матеріалів з сильно вираженою анізотропією, а інші – для матеріалів з слабою анізотропією, крім того, вище наведені критерії задовільно описують міцність певного класу КМ. Тому в роботі [4] запропонований узагальнений критерій міцності для всіх анізотропних матеріалів у вигляді розкладу за степенями інваріантів $\underset{i,k}{\Pi}\sigma_{ik}$, $\underset{ikmn}{\Pi}\sigma_{ik}\sigma_{mn}$ і т. д., тобто у вигляді:

$$\left(\Sigma_{i,k}\Pi_{ik}\sigma_{ik}\right)^{\alpha}+\left(\Sigma_{p,q,m,n}\Pi_{pqmn}\sigma_{pq}\sigma_{mn}\right)^{\beta}+\left(\Sigma_{r,s,t,l,m,n}\Pi_{rstlmn}\sigma_{rs}\sigma_{tl}\sigma_{mn}\right)^{\gamma}+....\leq 1 \qquad (6)$$

де σ_{ik} – компоненти тензора напружень; $\underset{i,k}{\Pi}$, $\underset{pqmn}{\Pi}$ – компоненти тензора міцності різних рангів.

Так для багатьох шарових пластиків у формулі (6) можна обмежитися тільки лініями і квадратичними інваріантами. Але для деревини особливо хвойних порід, необхідно у формулі (6) вибрати члени більш високих порядків. При цьому ускладнюється вигляд критеріальної залежності.

А.К. Малмейстером [5] запропонований узагальнений критерій міцності в такому вигляді:

$$\Sigma_{i,k}\Pi_{ik}\sigma_{ik}+\Sigma_{i,k,m,n}\Pi_{ikmn}\sigma_{ik}\sigma_{mn}+\Sigma_{i,k,m,n,r,s}\Pi_{ikmnrs}\sigma_{ikmnrs}\sigma_{ik}\sigma_{m,n}\sigma_{rs}\pm...=1 \qquad (7)$$

Цей критерій вивчений тільки у вигляді, що містить лінійні і квадратичні члени. Необхідно зауважити, що існують такі критерії міцності для анізотропних матеріалів, що не набули широкого застосування. Так, Ф.П. Белянкіним запропонований критерій на основі деяких змін в класичних критеріях міцності для ізотропних матеріалів.

Норис і Мак-Кинен запропонували умову міцності ортотропних матеріалів у вигляді, дуже близькому до критерію Мізеса-Хілла [5]. Ху і Марін запропонували деяку зміну енергетичного критерію для ортотропної симетрії пружності [6]. Прагер привів критерій міцності для анізотропного матеріалу у вигляді поліному шостого степеня компонент напружень на площині руйнування [8].

Як видно з аналізу формул оцінки міцності анізотропних матеріалів всі вони мають досить складну структуру.

Результати розрахунку. Обгрунтуємо можливість застосування для оцінки міцності деревини при складному напруженому стані деякий спрощений критерій, який обумовлюється механізмом руйнування анізотропних матеріалів на певних площинах при постійній величині нормальних навантажень. Пропонується, що руйнування наступає в результаті зникнення опору відриву на цих площинах, тобто:

$$\sigma_{x_i} = \sigma_0,\ \sigma_{y_i} = \sigma_{90},\ \sigma_{z_i} = \sigma_{90} \tag{8}$$

де: $\sigma_{x_i}, \sigma_{y_i}$ - компоненти нормальних напружень на площинах руйнування деревини; σ_0- границя міцності деревини при розтягу σ^+ або стиску σ^- вздовж волокон; σ_{90} – границя міцності деревини при розтягу (якщо $\sigma_y > 0$) або при стиску (якщо $\sigma_y < 0$) поперек волокон.

При використанні критерію (8) для оцінки міцності деревних матеріалів в деревному матеріалі при розриві необхідно знати значення нормальних напружень на площинах руйнування.

В роботі [6] вивчений напружений стан деревних частинок при розтягу вздовж осі X. Узагальнимо ці результати для випадку дії всіх компонентів тензора напружень на деревній матеріалу:

$$\sigma_x = \sigma_x^0; \sigma_y = \sigma_y^0; \sigma_z = \sigma_z^0; \tau_{xy} = 0; \tau_{yz} = 0; \tau_{xz} = 0. \tag{9}$$

Компоненти тензора деформації, що відповідають основному полю (9), мають вигляд:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_x &= \frac{1}{E_{11}}\sigma_x{}^0 - \frac{\upsilon}{E_{11}}\sigma_y{}^0\mathrm{M} - \frac{\upsilon}{E_{11}}\sigma_z{}^0; \gamma_{xy} = 0;\\
\varepsilon_y &= \frac{\nu}{\mathrm{E}_{22}}\sigma_x^0 + \frac{1}{\mathrm{E}_{22}}\sigma_y^0\mathrm{M} + \frac{\nu}{\mathrm{E}_{22}}\sigma_z^0; \gamma_{xz} = 0;\\
\varepsilon_z &= \frac{\nu}{\mathrm{E}_{33}}\sigma_x^0 - \frac{\nu}{\mathrm{E}_{33}}\sigma_y^0\mathrm{M} + \frac{1}{\mathrm{E}_{33}}\sigma_z^0; \gamma_{yz} = 0;
\end{aligned} \tag{10}$$

Виберемо деяку рухому систему x_i, y_i, z_i так, щоб ці осі збігалися з осями пружної і міцністної симетрії деревних частинок. В цих координатах позначаємо $\sigma_{xi}, \sigma_{yi}, \sigma_{zi}, \tau_{xyi}, \tau_{xzi}, \tau_{yzi}$, $\varepsilon_{xi}, \varepsilon_{yi}, \varepsilon_{zi}, \gamma_{xyi}, \gamma_{xzi}, \gamma_{yzi}$ компоненти тензорів напружень і деформацій в деревній частині в напрямі цих осей. Нехай деформації деревини в напрямі фіксованих осей збігаються з деформаціями матеріалу. Тоді деформації деревних частинок в напрямі рухомих осей при однорідному полі напружень виражаються через деформації матеріалу такими формулами:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{xi} &= \varepsilon_x l_1^2 + \varepsilon_y l_2^2 + \varepsilon_z l_3^2; & \gamma_{xiyi} &= 2(\varepsilon_x l_1 m_1 + \varepsilon_y l_2 m_2 + \varepsilon_z l_3 m_3);\\
\varepsilon_{yi} &= \varepsilon_x m_1^2 + \varepsilon_y m_2^2 + \varepsilon_z m_3^2; & \gamma_{xizi} &= 2(\varepsilon_x l_1 n_1 + \varepsilon_y l_2 n_2 + \varepsilon_z l_3 n_3);\\
\varepsilon_{zi} &= \varepsilon_x n_1^2 + \varepsilon_y n_2^2 + \varepsilon_z n_3^2; & \gamma_{yizi} &= 2(\varepsilon_x m_1 n_1 + \varepsilon_y m_2 n_2 + \varepsilon_z m_3 n_3)
\end{aligned} \tag{11}$$

Значення направляючих косинусів $l_i, m_i, n_i,\ (i = 1,2,3)$ визначається формулами:

$$\begin{aligned}
&l_1 = \cos\varphi\cos\upsilon;\ l_2 = \sin\varphi;\ l_3 = \cos\varphi\sin\upsilon\\
&m_1 = -\sin\varphi\cos\upsilon\cos\psi + \sin\upsilon\sin\psi;\ m_2 = \cos\varphi\cos\psi;\\
&m_3 = -\sin\varphi\sin\upsilon\cos\psi + \cos\upsilon\sin\psi;\\
&n_1 = -\sin\varphi\cos\upsilon\sin\psi + \sin\upsilon\cos\psi;\ n_2 = \cos\varphi\sin\psi;\\
&n_3 = -\sin\varphi\sin\upsilon\sin\psi + \cos\upsilon\cos\psi,
\end{aligned} \tag{12}$$

де: υ, φ, ψ – кути переходу від системи координат 0xy, z до системи Oxi, yi, zi. Вони описують нахил головних осей пружної симетрії деревних частинок xi, yi, zi по відношенню до фіксованих осей.

Підставляючи в (10) значення деформацій, отримаємо вирази для деформації деревини в рухових осях координат (Oxi, yi, zi) через напруження, які прикладені до композиту.

Якщо підставляючи в закон Гука ортотропного тіла (11), (10) значення компонент деформації, то знайдемо величини напружень в деревній частинці для однорідного поля напружень (9).

$$\begin{aligned}
\sigma_{x_i} = \sigma_x^0 &\left[A_{11}\left(\frac{l_1^2}{E_{11}} - \frac{\nu_{21}}{E_{22}} l_2^2 - \frac{\nu_{31}}{E_{33}} l_3^2\right) + A_{12}\left(\frac{m_1^2}{E_{11}} - \frac{\nu_{21}}{E_{22}} m_2^2 - \frac{\nu_3}{E_{33}} m_3^2\right) + A_{13}\left(\frac{n_1^2}{E_{11}} - \frac{\nu_{21}}{E_{22}} n_2^2 - \frac{\nu_{31}}{E_{33}} n_3^2\right)\right] + \\
+\sigma_y^0 &\left[A_{11}\left(-\frac{\nu_{12}}{E_{11}} l_1^2 + \frac{l_2^2}{E_{22}} - \frac{\nu_{32}}{E_{33}} l_3^2\right) + A_{12}\left(-\frac{\nu_{12}}{E_{11}} m_1^2 + \frac{m_2^2}{E_{22}} - \frac{\nu_{32}}{E_{33}} m_3^2\right) + A_{13}\left(-\frac{\nu_{12}}{E_{11}} n_1^2 + \frac{n_2^2}{E_{22}} - \frac{\nu_{32}}{E_{33}} n_3^2\right)\right] + \\
+\sigma_z^0 &\left[A_{11}\left(-\frac{\nu_{13}}{E_{11}} l_1^2 + \frac{\nu_{23}}{E_{22}} l_2^2 + \frac{l_3^2}{E_{33}}\right) + A_{12}\left(-\frac{\nu_{13}}{E_{11}} m_1^2 + \frac{\nu_{23}}{E_{22}} m_2^2 + \frac{m_3^2}{E_{33}}\right) + A_{13}\left(-\frac{\nu_{13}}{E_{11}} n_1^2 + \frac{\nu_{23}}{E_{22}} n_2^2 + \frac{n_3^2}{E_{33}}\right)\right] \\
\sigma_{y_i} = \sigma_x^0 &\left[A_{21}\left(\frac{l_1^2}{E_{11}} - \frac{\nu_{21}}{E_{22}} l_2^2 - \frac{\nu_{31}}{E_{33}} l_3^2\right) + A_{22}\left(\frac{m_1^2}{E_{11}} - \frac{\nu_{21}}{E_{22}} m_2^2 - \frac{\nu_3}{E_{33}} m_3^2\right) + A_{23}\left(\frac{n_1^2}{E_{11}} - \frac{\nu_{21}}{E_{22}} n_2^2 - \frac{\nu_{31}}{E_{33}} n_3^2\right)\right] + \\
+\sigma_y^0 &\left[A_{21}\left(-\frac{\nu_{12}}{E_{11}} l_1^2 + \frac{l_2^2}{E_{22}} - \frac{\nu_{32}}{E_{33}} l_3^2\right) + A_{22}\left(-\frac{\nu_{12}}{E_{11}} m_1^2 + \frac{m_2^2}{E_{22}} - \frac{\nu_{32}}{E_{33}} m_3^2\right) + A_{23}\left(-\frac{\nu_{12}}{E_{11}} n_1^2 + \frac{n_2^2}{E_{22}} - \frac{\nu_{32}}{E_{33}} n_3^2\right)\right] + \\
+\sigma_z^0 &\left[A_{21}\left(-\frac{\nu_{13}}{E_{11}} l_1^2 + \frac{\nu_{23}}{E_{22}} l_2^2 + \frac{l_3^2}{E_{33}}\right) + A_{22}\left(-\frac{\nu_{13}}{E_{11}} m_1^2 + \frac{\nu_{23}}{E_{22}} m_2^2 + \frac{m_3^2}{E_{33}}\right) + A_{23}\left(-\frac{\nu_{13}}{E_{11}} n_1^2 + \frac{\nu_{23}}{E_{22}} n_2^2 + \frac{n_3^2}{E_{33}}\right)\right] \\
\sigma_{z_i} = \sigma_x^0 &\left[A_{31}\left(\frac{l_1^2}{E_{11}} - \frac{\nu_{21}}{E_{22}} l_2^2 - \frac{\nu_{31}}{E_{33}} l_3^2\right) + A_{32}\left(\frac{m_1^2}{E_{11}} - \frac{\nu_{21}}{E_{22}} m_2^2 - \frac{\nu_3}{E_{33}} m_3^2\right) + A_{33}\left(\frac{n_1^2}{E_{11}} - \frac{\nu_{21}}{E_{22}} n_2^2 - \frac{\nu_{31}}{E_{33}} n_3^2\right)\right] + \\
+\sigma_y^0 &\left[A_{31}\left(-\frac{\nu_{12}}{E_{11}} l_1^2 + \frac{l_2^2}{E_{22}} - \frac{\nu_{32}}{E_{33}} l_3^2\right) + A_{32}\left(-\frac{\nu_{12}}{E_{11}} m_1^2 + \frac{m_2^2}{E_{22}} - \frac{\nu_{32}}{E_{33}} m_3^2\right) + A_{33}\left(-\frac{\nu_{12}}{E_{11}} n_1^2 + \frac{n_2^2}{E_{22}} - \frac{\nu_{32}}{E_{33}} n_3^2\right)\right] + \\
+\sigma_z^0 &\left[A_{31}\left(-\frac{\nu_{13}}{E_{11}} l_1^2 + \frac{\nu_{23}}{E_{22}} l_2^2 + \frac{l_3^2}{E_{33}}\right) + A_{32}\left(-\frac{\nu_{13}}{E_{11}} m_1^2 + \frac{\nu_{23}}{E_{22}} m_2^2 + \frac{m_3^2}{E_{33}}\right) + A_{33}\left(-\frac{\nu_{13}}{E_{11}} n_1^2 + \frac{\nu_{23}}{E_{22}} n_2^2 + \frac{n_3^2}{E_{33}}\right)\right]
\end{aligned} \qquad (13)$$

Підставляючи залежності (13) в критерії міцності для деревини (8), отримуємо значення середніх напружень в композиті, при яких наступає обрив деревних частинок. Для компактного запису формул введемо такі позначення:

$$\begin{aligned}
f(x) &= \frac{x_1^2}{E_{11}} - \frac{\nu_{21}}{E_{22}} x_2^2 - \frac{\nu_{31}}{E_{33}} x_3^2 \;; \\
g(x) &= -\frac{\nu_{12}}{E_{11}} x_1^2 - \frac{x_2^2}{E_{22}} - \frac{\nu_{32}}{E_{33}} x_3^2 \;; \\
p(x) &= -\frac{\nu_{13}}{E_{11}} x_1^2 + \frac{\nu_{23}}{E_{22}} x_2^2 + \frac{x_3^2}{E_{33}}
\end{aligned} \qquad (14)$$

Тоді вирази для нормальних компонент напружень (13) можна записати в такому вигляді:

$$\sigma_{x_i} = \sigma_x^0\left(A_{11}f(1)+A_{12}f(m)+A_{13}f(n)\right)+\sigma_y^0\left(A_{11}g(1)+A_{12}g(m)+A_{13}g(n)\right)+$$
$$+\sigma_z^0\left(A_{11}p(1)+A_{12}p(m)+A_{13}p(n)\right)$$
$$\sigma_{yx_i} = \sigma_x^0\left(A_{21}f(1)+A_{22}f(m)+A_{23}f(n)\right)+\sigma_y^0\left(A_{21}g(1)+A_{22}g(m)+A_{23}g(n)\right)+$$
$$+\sigma_z^0\left(A_{21}p(1)+A_{22}p(m)+A_{23}p(n)\right)$$
$$\sigma_{z_i} = \sigma_x^0\left(A_{31}f(1)+A_{32}f(m)+A_{313}f(n)\right)+\sigma_y^0\left(A_{31}g(1)+A_{32}g(m)+A_{33}g(n)\right)+$$
$$+\sigma_z^0\left(A_{31}p(1)+A_{32}p(m)+A_{33}p(n)\right) \qquad (15)$$

Для зручності введемо позначення.

$$A_{11}F(l)+A_{12}F(m)+A_{13}F(n)=K(F);$$
$$A_{21}F(l)+A_{22}F(m)+A_{23}F(n)=L(F); \qquad (16)$$
$$A_{31}F(l)+A_{32}F(m)+A_{33}F(n)=M(F);$$
$$де\_F\_\in\_(f,g,p).$$

Підставляючи (15) в формули (8) і враховуючи позначення (14) і (16), отримаємо такі залежності:

$$\sigma_0=\sigma_{X^0}K(f)+\sigma_{Y^0}K(g)+\sigma_{Z^0}K(p);$$
$$\sigma_{90}=\sigma_{X^0}L(f)+\sigma_{Y^0}L(g)+\sigma_{Z^0}L(p)$$
$$\sigma_{900}=\sigma_{X^0}M(f)+\sigma_{Y^0}M(g)+\sigma_{Z^0}M(p) \qquad (17)$$

Звідси знаходимо середні значення напружень деревних матеріалів для яких можливий розрив деревини

$$\sigma_{11}=\sigma_{X^0}=\frac{\Delta_1}{\Delta};$$
$$\sigma_1=\sigma_{Y^0}=\frac{\Delta_2}{\Delta};$$
$$\sigma_1^{\backslash}=\sigma_{Z^0}=\frac{\Delta_3}{\Delta}. \qquad (18)$$

де Δ, Δ_1, Δ_2, Δ_3 визначники 3-го порядку системи алгебраїчних рівнянь (17) відносно невідомих σ_x^0, σ_y^0, σ_z^0. Зважаючи на громіздкість, в явному вигляді значення компонент напружень σ_x^0, σ_y^0, σ_z^0 не приводяться. Для випадку, коли композит знаходиться під дією сили розтягу вздовж осі x, тобто в (9) $\sigma_y^0 = \sigma_z^0 = 0$, то з (18) отримаємо:

$$\sigma_{11}=\frac{E_{11}\sigma_{x^0}}{A_{11}\left(l_1^2-\nu_{12}l_2^2-\nu_{13}l_3^2\right)+A_{12}\left(m_1^2-\nu_{12}m_2^2-\nu_{13}m_3^2\right)+A_{13}\left(n_1^2-\nu_{12}n_2^2-\nu_{13}n_3^2\right)};$$
$$\sigma_1=\frac{E_{11}\sigma_{90}}{A_{21}\left(l_1^2-\nu_{12}l_2^2-\nu_{13}l_3^2\right)+A_{22}\left(m_1^2-\nu_{12}m_2^2-\nu_{13}m_3^2\right)+A_{23}\left(n_1^2-\nu_{12}n_2^2-\nu_{13}n_3^2\right)}; \qquad (19)$$
$$\sigma_1^{\backslash}=\frac{E_{11}\sigma_{90}}{A_{13}\left(l_1^2-\nu_{12}l_2^2-\nu_{13}l_3^2\right)+A_{23}\left(m_1^2-\nu_{12}m_2^2-\nu_{13}m_3^2\right)+A_{33}\left(n_1^2-\nu_{12}n_2^2-\nu_{13}n_3^2\right)};$$

Значення σ_{11} характеризує величину середніх напружень в матеріалі, при яких можливий розрив деревини в площині, перпендикулярній до напрямку волокон. Величини σ_{11} і σ_1 визначають аналогічну величину в площинах паралельних напрямку волокон – радіальній і тангенціальній.

Висновок. У статті обгрунтовано критерій міцності деревних матеріалів для складного напруженого стану . Це дозволяє визначити граничні критерії у деревних матеріалів з врахуванням анізантропії механічних властивостей матеріалу.