

**ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗНАЧЕНЬ МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ КЛЕЄНОГОДЕРЕВ'ЯНОГОБРУСАПІД ЧАС ПОЖЕЖІ**

**DETERMINATION OF THE CALCULATED VALUES OF STRENGTH AND RIGIDITY OF GLUED WOODEN BEAM DURING A FIRE**

Гузій С.Г., к.т.н., с.н.с, (Національний університет цивільного захисту України, м. Харків,) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0147-5035>

Guzii S., PhD, senior researcher (National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0147-5035>

Визначені розрахункові значення міцності та жорсткості клеєного дерев'яного бруса за нормальних температур і в момент виникнення пожежі. Показано, що центрально стиснутий клеєний брус розмірами 50x270x3000 мм на шарнірній опорі за стандартних температур пожежі тривалістю 60 хв зберігає міцнісні характеристики, але втрачає свою гнучкість в 1,42 рази відносно осі у збільшується в порівнянні з нормальними температурами. Вогнезахист бруса інтумісцентною фарбою товщиною 0,9 мм сприяє зниженню швидкості та глибини обвуглення.

The article deals with the calculation of load-bearing structures made of glued timber in accordance with the requirements of DBN V.2.6-161 "Wooden truss structures. Basic provisions" for the first limiting state, especially at the time of a fire. Calculated values of strength and stiffness of glued timber at normal temperatures and at the time of a fire have been determined. It is shown that centrally compressed glued laminated timber with dimensions 50x270x3000 mm on a hinged support at normal temperatures is characterized by compressive strength along the fibers from a constant load to 12.48 MPa, from a snow load to 16.64 MPa, is characterized by flexibility relative to the y-axis - 207.61. Testing the strength and stability of laminated veneer lumber according to the first limit state meets the requirements of the standard. At the moment of a standard fire of 60 minutes duration, the strength characteristics of laminated veneer lumber sharply decrease due to carbonization and a decrease in the cross-section. The calculated stresses in compression along the fibers from a constant load are 6.2 MPa, from a temporary one - 4.2 MPa. Strength test is carried out. Flexibility about the y-axis is increased by a factor of 1.42 compared to normal temperatures. The fire protection of the timber with an intuitive paint 0.9 mm thick helps to

reduce the rate and depth of charring. The check is not performed, the stability of the laminated veneer lumber, taking into account the residual section in case of fire for 60 minutes. not provided. Since it is impossible to change the geometrical dimensions of laminated veneer lumber, the stability of its section in the event of a fire can be limited to 45 minutes, or the thickness of the intumescent fire-retardant paint can be increased from 0.9 mm to 1.5 mm.

**Ключові слова:** клеєний брус, інтумісцентна фарба, сосна, міцність, жорсткість, переріз, навантаження, пожежостійкість, обвуглювання, швидкість  
glulam, intumescent paint, pine, strength, stiffness, cross-section, loads, fire resistance, charring, speed.

**Вступ.** У будівництві клеєні дерев'яні конструкції набули широкого поширення при зведенні малоповерхових дерев'яних модульних будинків завдяки своїм високим характеристикам міцності, вологостійкості з порівняно невисокими витратами при їх зведенні. Найважливішим моментом, при використанні дерев'яних конструкцій в таких будинках, є забезпечення їх вогнестійкості, запобігання розвитку і поширення полум'я в момент пожежі. Одним з найбільш ефективних і доступних способів надання вогнестійкості дерев'яних виробів і конструкцій в подібних будинках є фарбування їх вогнезахисними ЛФМ.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В основному, для вогнезахисту дерев'яних як масивних, так і клеєних конструкцій використовують ЛФМ інтумісцентного типу на органічних [1-3] і неорганічних основах [4-7]. Інтумісцентні фарби на органічних основах - водно-дисперсійних, характеризуються достатньо високими значеннями фізико-механічних властивостей, водостійкістю, атмосферостійкістю, коефіцієнту спучення, швидкістю утворення шару пінококсу. Основними недоліками таких фарб є низька стійкість шару пінококсу до змінних температурних полів в момент виникнення пожежі, та досить висока окислюваність вуглецю за температур понад 700°C. Інтумісцентні фарби на неорганічних основах – геполімерних, характеризуються достатньо високими значеннями фізико-механічних властивостей та високою стійкістю поризованого алюмосилікатного шару до змінних температурних полів. Основним недоліком таких фарб є низька водостійкість.

Тому актуальним є питання вибору типу фарби для вогнезахисту клеєних дерев'яних конструкцій, що використовуються при зведенні модульних дерев'яних будинків.

**Постановка мети і задач досліджень.** Метою досліджень є визначення розрахункових значень міцності та жорсткості клеєного дерев'яного бруса під час пожежі. Досягнення мети можливо за рахунок використання

вогнестійких алюмосилікатних клеїв при виготовленні клеєних брусів та інтумісцентних фарб на органічній основі, які характеризуються меншими значеннями постійних навантажень в порівнянні з фарбами на геополімерній основі.

**Матеріали, методи досліджень та розрахунки.** Для реалізації поставленої задачі було виготовлено дерев'яний брус розмірами 50x270x3000 мм із ламелів сосни розмірами 10x50x3000 мм вологістю не вище 12%. Ламелі з'єднували поміж собою геополімерним клеєм марки KD 5 виробництва ТОВ "ГЕОФІП" (м. Світловодськ, Україна). В якості вогнезахисту використовували інтумісцентну фарбу FD 5 на водно-дисперсійній основі виробництва ТОВ "ГЕОФІП" (м. Світловодськ, Україна). Фарба після нанесення та тверднення утворювала шар товщиною 0,9 мм.

Розміри бруса є уніфіковані при зведенні модульних малоповерхових будинків. Він використовується у вигляді стійок (як опорний елемент) для клеєних балок такого ж розміру, але більших довжин.

Розрахунок пожежостійкості центрально стиснутого клеєного бруса зроблено згідно вимог ДСТУ-Н-П Б В.26-157 та даних роботи [8]. Постійне навантаження обрано з даних по випробуванню міцності на сколювання вздовж волокон після 28 діб тверднення алюмосилікатного клею. Вихідні дані для розрахунку: перевірка на міцність центрально стиснутою клеєної дерев'яної стійки перерізом  $b \times h = 50 \times 270$  мм, довжиною  $l = 3000$  мм шарнірним закріпленням на опорах (рис.). Розрахункове стискаюче зусилля від постійного  $N_{c, 0, d} = 90 \text{ kN}$  та снігового навантаження  $N_{c, 0, d} = 60 \text{ kN}$ . Деревина - класу міцності С24 (наближено відповідає сосні 2-го сорту). Експлуатаційний клас - 2.

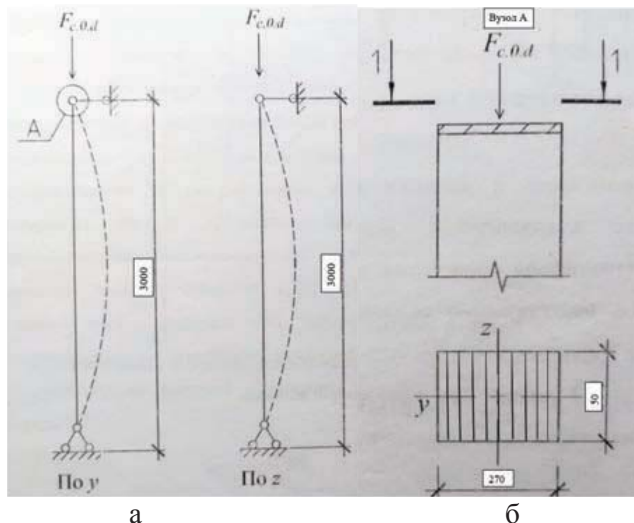


Рис. Центрально стиснута стійка: а – розрахункова схема стійки; б – ділянка стійки зі скошеним оголовком

**Результатирозрахунків.** При розрахунку на міцність центрально стиснутого стрижню має виконуватись умова [8]:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1,$$

в якій  $\sigma_{c,0,d}$  – розрахункове напруження при стиску вздовж волокон для кожного класу навантаження та тривалістю дії;  $f_{c,0,d}$  – розрахункове значення міцності деревини при стиску вздовж волокон для кожного класу навантаження та тривалістю дії.

Тоді розрахункове напруження стиску вздовж волокон:

- для постійного навантаження

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{net}} = \frac{90}{135} = 0,667 \frac{kN}{cm^2} = 6,67 \text{ МПа}$$

- для снігового навантаження

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{net}} = \frac{60}{135} = 0,444 \frac{kN}{cm^2} = 4,44 \text{ МПа},$$

де  $A_{net} = 5 \cdot 27 = 135 \text{ см}^2$  – площа поперечного перерізу нетто перпендикулярно до напрямку волокон (переріз 1-1 на рис.).

Розрахункове значення міцності клеєного бруса при стиску вздовж волокон визначається:

- для постійного навантаження

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,6 \frac{26}{1,25} = 12,48 \text{ МПа},$$

- для снігового навантаження

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{26}{1,25} = 16,64 \text{ МПа},$$

де  $k_{mod} = 0,6$  та  $k_{mod} = 0,8$  – коефіцієнти перетворення для 2-го експлуатаційного класу та постійного і навантаження середньої тривалості (снігове) відповідно [8];  $f_{c,0,k} = 26 \text{ МПа}$  – характеристичне значення міцності деревини класу міцності С24 (наближено відповідає сосні 2-го сорту) при стиску вздовж волокон [8];  $\gamma_M = 1,25$  – коефіцієнт надійності за матеріалом для клеєної деревини [8].

$$\frac{6,67}{12,48} + \frac{4,44}{16,64} = 0,53 + 0,27 = 0,8 < 1$$

Перевірка виконується, міцність клеєному стрижню забезпечується.

При розрахунку на стійкість центрально стиснутого стрижню має виконуватись умова [8]:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1 \text{ та } \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1,$$

де  $\sigma_{c,0,d}$  – розрахункове напруження при стиску вздовж волокон, що визначається за виразом  $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{net}}$  для кожного класу навантаження за

тривалістю дії;  $f_{c,0,d}$  – розрахункове значення міцності деревини при стиску вздовж волокон, що визначається за виразом  $f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}$  для кожного класу навантаження за тривалістю дії;  $k_{c,y}$ ,  $k_{c,z}$  – коефіцієнти повздовжнього згину відносно відповідних осей, визначаються за формулами, наведеними в роботі [8].

Гнучкість стійки відносно осі  $y$  буде дорівнювати:

$$\lambda_y = \frac{l_{y,d}}{i_y} = \frac{300}{1,445} = 207,61,$$

де  $l_{y,d} = \mu_y \cdot l = 1 \cdot 300 = 300$  см- розрахункова довжина елемента при шарнірному защемленні кінців;  $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0,289 \cdot b = 0,289 \cdot 50 = 14,45$  мм – радіус інерції перерізу відносно осі  $y$ .

Гнучкість стійки відносно осі  $z$  буде дорівнювати:

$$\lambda_z = \frac{l_{z,d}}{i_z} = \frac{300}{7,803} = 38,45,$$

де:  $l_{z,d} = \mu_z \cdot l = 1 \cdot 300 = 300$  см- розрахункова довжина елемента при шарнірному защемленні кінців;  $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 0,289 \cdot h = 0,289 \cdot 270 = 78,03$  мм – радіус інерції перерізу відносно осі  $z$ .

Подальші розрахунки можна вести тільки відносно осі  $z$  з більшим значенням гнучкості.

Відносна гнучкість стійки відносно осі  $y$  визначається за формулою [8]:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{207,61}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26}{9333,33}} = 3,5,$$

де:  $f_{c,0,k} = 26$  МПа – характеристичне значення міцності деревини класу міцності С40 (наближено відповідає сосні 2-го сорту) при стиску вздовж волокон у відповідності [8];  $E_{0,05} = 9333,33$  МПа – 5%-й квантіль модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за даними [8].

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(3,5 - 0,3) + 3,5^2] = 6,76$$

де  $\beta_c = 0,1$  – коефіцієнт для елементів з клеєної деревини [8].

Коефіцієнт повздовжнього згину відносно осі  $y$  визначається за формулою, наведеною в роботі [8]:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{7,515 + \sqrt{7,515^2 - 3,7^2}} = 0,078.$$

Розрахункове значення нормальних напружень в місці перевірки стійкості:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{sup}} = \frac{150}{5 \cdot 27} = 1,11 \frac{kN}{cm^2} = 11,1 \text{ МПа.}$$

$$\frac{6,67}{1,11 \cdot 12,48} + \frac{4,4}{1,11 \cdot 16,44} = 0,72 < 1.$$

Перевірка виконується, стійкість клеєного бруса забезпечується.

Для розрахунку центрально стиснутого клеєного бруса при необхідній пожежостійкості=60хв. Зусилля від характеристичних навантажень приймемо наступні; постійного  $N_{t,0,k}=75 \text{ kN}$  та тимчасового навантаження  $N_{t,0,k}=50 \text{ kN}$ .

Згідно даних роботи [8] потрібно визначити значення постійного та тимчасового навантаження під час пожежі. Перед цим визначаємо значення коефіцієнту зниження, що визначає рівень навантаження під час пожежі за формулами:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{ki}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{ki}} = \frac{75 + 0,7 \cdot 50}{1,35 \cdot 75 + 1,5 \cdot 50} = 0,624;$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}} = \frac{75 + 0,7 \cdot 50}{1,35 \cdot 75 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 50} = 0,715;$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\xi \gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} = \frac{75 + 0,7 \cdot 50}{0,85 \cdot 1,35 \cdot 75 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 50} = 0,683,$$

де  $\gamma_G=1,35$  – для несприятливого постійного навантаження;  $\gamma_{Q,1} = 1,5$  – для супутніх тимчасових навантажень;  $\psi_{fi} = 0,7$  – для категорії А, житлові приміщення (див. дані [8]).

Розрахункові значення навантаження під час пожежі становитимуть:

- для постійного навантаження:

$$G_{d,fi} = \eta_{fi} G_d = 0,624 \cdot 90 = 56,16 \text{ kN,}$$

- для тимчасового навантаження (середньої тривалості):

$$Q_{d,fi} = \eta_{fi} Q_d = 0,624 \cdot 60 = 37,44 \text{ kN}$$

Визначаємо умовну розрахункову глибину обвуглювання для вогне незахищеного клеєного бруса за формулою [8]:

$$d_{char,n} = \beta_n t = 0,55 \cdot 60 = 33 \text{ мм,}$$

де  $\beta_n = 0,55 \text{ мм/хв}$  – умовна розрахункова швидкість одновимірного обвуглювання за стандартного температурного режиму, що враховує вплив заокруглених граней та тріщин[8].

Визначаємо розрахункову глибину обвуглювання за формулою [8]:

$$d_{char,0} = \beta_0 t = 0,5 \cdot 60 = 30 \text{ мм,}$$

де  $\beta_0 = 0,5 \text{ мм/хв}$  – розрахункова швидкість одновимірного обвуглювання за стандартного температурного режиму;  $t$  – тривалість вогневого впливу.

Для визначення швидкості одновимірного обвуглювання розрахуємо умовну мінімальну ширину поперечного перерізу при  $d_{char,0} = 30 \text{ мм} > 13 \text{ мм}$  за формулою:

$$b_{min} = 2d_{char,0} + 80 = 2 \cdot 30 + 80 = 140 \text{ мм.}$$

В нашому випадку, ширина поперечного перерізу клеєного бруса  $b=50 \text{ мм} < b_{min}=140 \text{ мм}$ .

Скористуємось іншою формулою для  $d_{char,0} < 13 \text{ мм}$ :

$$b_{min} = 8,15d_{char,0} = 8,15 \cdot 30 = 244,5 \text{ мм.}$$

Отримана величина ширини поперечного перерізу клеєного бруса ще більша в порівнянні з першим випадком.

Приймаємо робочу глибину обвуглювання:

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 d_0 = 30 + 1 \cdot 7 = 37 \text{ мм,}$$

де  $d_0 = 7 \text{ мм}$ ,  $k_0 = 1$  – коефіцієнт, прийнятий згідно даних роботи [8].

Визначена робоча глибина обвуглювання не є сприятливою тому, що максимальна ширина бруса складає величину 50 мм, тобто в умовах пожежі клеєний брус втратить свою несучу спроможність на протязі 15-20 хв.

Щоб зберегти перш початкові геометричні розміри бруса, його поверхню доцільно оброблювати вогнезахисною фарбою інтумісцентного типу [9], що має швидкість обвуглювання за стандартного температурного режиму  $\beta_0 = 0,0058 \text{ мм/хв}$ . Тоді розрахункова глибина обвуглювання становить  $d_{char,0} = \beta_0 t = 0,0058 \cdot 60 = 0,348 \text{ мм} < 13 \text{ мм}$ .

В результаті такого заходу, ширина поперечного перерізу клеєного бруса становить:

$$b_{min} = 8,15d_{char,0} = 8,15 \cdot 0,348 = 2,84 \text{ мм.}$$

Приймаємо робочу глибину обвуглювання:

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 d_0 = 0,348 + 1 \cdot 7 = 7,35 \text{ мм.}$$

Приймаємо розміри робочого поперечного перерізу з урахуванням розрахункової глибини обвуглювання при умові чотирьохбічного впливу вогню:

$$b = 50 - 7,35 \cdot 2 = 35,3 \text{ мм}; h = 270 - 7,35 \cdot 2 = 255,3 \text{ мм.}$$

Таким чином робоча площа залишкового поперечного перерізу становить:

$$A_r = b \cdot h = 35,3 \cdot 255,3 = 90,12 \text{ см}^2.$$

Визначаємо розрахункове значення міцності під час пожежі:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} = 0,484 \frac{17,25}{1} = 8,35 \text{ МПа,}$$

де  $f_{20}$  – 20%-й квантиль розрахункового значення міцності за нормальної температури, визначений за формулою

$$f_{20} = k_{fi} f_k = 1,15 \cdot 15 = 17,25 \text{ МПа,}$$

де  $k_{fi} = 1,15$  – значення коефіцієнту для клесної деревини;  $f_{t,0,k} = 15$  МПа – характеристичне значення міцності деревини класу міцності С24 (наближено відповідає сосні 2-го сорту) при стиску вздовж волокон у відповідності даних, зазначених в роботі [8].

Коефіцієнт зміни під час пожежі, який для  $t > 20$  хв визначається за формулою:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{P}{A_T} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{0,5812}{0,00901} = 0,484,$$

де  $P = 35,3 \cdot 2 + 255,3 \cdot 2 = 581,2$  мм – периметр залишкового поперечного перерізу, що зазнає вогневого впливу;  $A_T = 0,00901$  м<sup>2</sup> – площа залишкового поперечного перерізу.

Значення коефіцієнта надійності за матеріалом, для цільної та клесної деревини під час пожежі  $\gamma_{M,fi} = 1$ .

Визначаємо розрахункові напруження при стиску вздовж волокон:

- від постійного навантаження:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{G_{d,fi}}{A_T} = \frac{56,16}{90,12} = 0,62 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 6,2 \text{ МПа},$$

- від тимчасового навантаження:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{Q_{d,fi}}{A_T} = \frac{37,44}{90,12} = 0,42 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 4,2 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо міцність центрально розтягнутого елемента за формулою:

$$\frac{6,2}{17,25} + \frac{4,2}{17,25} = 0,36 + 0,24 = 0,6 < 1$$

Перевірка виконана, міцність клеєного бруса за умови заданої пожежостійкості забезпечена.

Міцність бруса відносно осі уз умов залишкового розрахункового перерізу буде дорівнювати:

$$\lambda_y = \frac{l_{y,d}}{i_y} = \frac{300}{1,02} = 294,12,$$

де  $l_{y,d} = \beta_y \cdot l = 1 \cdot 300 = 300$  см – розрахункова довжина елемента при шарнірному защемленні кінців;  $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0,289 \cdot b = 0,289 \cdot 35,3 = 10,2$  мм

– радіус інерції перерізу відносно осі у.

Гнучкість стійки (бруса) відповідно осі z з умов залишкового розрахункового перерізу буде дорівнювати:

$$\lambda_z = \frac{l_{z,d}}{i_z} = \frac{300}{7,38} = 40,65,$$

де  $l_{z,d} = \beta_z \cdot l = 1 \cdot 300 = 300$  см – розрахункова довжина елемента при шарнірному защемленні кінців;



$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 0,289 \cdot h = 0,289 \cdot 255,3 = 73,78 \text{ мм}$  – радіус інерції перерізу відносно осі z.

Подальші розрахунки будуть виконані тільки відносно осі з більшим значенням гнучкості. Відносна гнучкість стійки відносно осі у визначається за формулою:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0,05}}} = \frac{294,12}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{26}{9333,33}} = 4,96,$$

де:  $f_{c,0k} = 26$  МПа – характеристичне значення міцності деревини класу міцності С40 (наближено відповідає сосні 2-го сорту) при стиску вздовж волокон у відповідності [8];  $E_{0,05} = 9333,33$  МПа – 5%-й квантіль модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за даними [8].

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(4,96 - 0,3) + 4,96^2] = 15,13$$

де  $\beta_c = 0,1$  – коефіцієнт для елементів з клеєної деревини [8].

Коефіцієнт повздовжнього згину відносно осі у визначається за формулою, наведеною в роботі [8]:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{15,13 + \sqrt{15,13^2 - 4,96^2}} = 0,34.$$

Розрахункове значення нормальних напружень в місці перевірки стійкості:

- від постійного навантаження:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{G_{d,fi}}{A_r} = \frac{56,16}{90,12} = 0,62 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 6,2 \text{ МПа},$$

- від тимчасового навантаження:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{Q_{d,fi}}{A_r} = \frac{37,44}{90,12} = 0,42 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 4,2 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо міцність центрально розтягнутого елемента за формулою:

$$\frac{6,2}{0,34 \cdot 8,35} + \frac{4,2}{0,34 \cdot 8,35} = 2,18 + 1,48 = 2,96 > 1.$$

Перевірка не виконується, стійкість клеєного бруса з урахуванням залишкового перерізу під час пожежі на протязі 60 хв. не забезпечена.

Так як неможливо змінити геометричні розміри клеєного бруса, то стійкість його перерізу під час пожежі можливо обмежити до 45 хв, або збільшити товщину інтумісцентної вогнезахисної фарби від 0,9 мм до 1,5 мм.

В розрахунках не враховувались теплофізичні показники вогнезахисної фарби і алюмосилікатного клею, що використаний для склеювання ламелів сосни при виготовленні бруса.

В подальших дослідженнях планується врахувати вище зазначені недоліки та виконати імітаційне моделювання клеєного бруса як окремого

елементу, так і в складі конструкції в математичного середовищі САПФІР-3D та ANSYS.

**Висновки.** Визначені розрахункові значення міцності та жорсткості клеєного дерев'яного бруса за нормальних температур і в момент виникнення пожежі. Показано, що центрально стиснутий клеєний брус розмірами 50x270x3000 мм на шарнірній опорі за нормальних температур характеризується міцністю при стиску вздовж волокон від постійного навантаження до 12,48 МПа, від снігового навантаження до 16,64 МПа, та характеризується гнучкістю відносно осі у207,61. Перевірка на міцність та стійкість клеєного бруса з нормальних температур відповідає вимогам ДСТУ-Н-П Б В.26-157. В момент виникнення стандартної пожежі тривалістю 60 хв міцнісні характеристики клеєного бруса різко зменшуються внаслідок обвуглювання та зменшення поперечного перерізу. Розрахункові напруження при стиску вздовж волокон від постійного навантаження становлять 6,2 МПа, від тимчасового – 4,2 МПа. Перевірка на міцність виконується. Гнучкість відносно осі збільшується в 1,42 рази в порівнянні з нормальними температурами. Вогнезахист бруса інтумісцентною фарбою товщиною 0,9 мм сприяє зниженню швидкості та глибини обвуглення. Перевірка не виконується, стійкість клеєного бруса з урахуванням залишкового перерізу під час пожежі на протязі 60 хв. не забезпечена. Так як неможливо змінити геометричні розміри клеєного бруса, то стійкість його перерізу під час пожежі можливо обмежити до 45 хв, або збільшити товщину інтумісцентної вогнезахисної фарби від 0,9 мм до 1,5 мм.

В розрахунках не враховувались теплофізичні показники вогнезахисної фарби і алюмосилікатного клею, що використаний для склеювання ламелів сосни при виготовленні бруса, що буде предметом подальших досліджень.

**Подяка.** Автор висловлює подяку архітекторам Сергію та Павлу Безвергих за надані ескізи дерев'яних модульних конструкцій (Свідоцтво про реєстрацію авторських прав № 630092 за роботу "Колекція архітектурних робіт ергономічних модульних малоповерхових будинків архітекторів Безвергих").

1. Павлович А.В., Владенков В.В., Изюмский В.Н., Кильчицкая С.Л. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия. Лакокрасочная промышленность. 2012. №5. С. 22-27.

Pavlovych A.V., Vladenkov V.V., Yziumskiy V.N., Kylchytskaia S.L. Ohnezashchytnye vspuchyvaiushchiesia pokrytyia. Lakokrasochnaia promyshlennost. 2012. №5. S. 22-27.

2. Кропачев Р.В., Новокшенов В.В., Вольфсон С.И., Михайлова С.Н. Терморасширяющиеся полимерные композиционные материалы. Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. №5. С. 60-63.

Kropachev R.V., Novokshenov V.V., Volfson S.Y., Mykhailova S.N. Termorasshyriaiushchiesia polimernye kompozytsyonnye materyaly. Vestnyk tekhnolohycheskoho unyversyteta. 2015. T. 18. №5. S. 60-63.

3. Tsapko Yu.V., Kravchenko A.V., Guzii S.G., Tsapko O.Yu. Structure formation of the expanded layer of foam coke and effective measures for its management. Scientific and technical collection Building materials, products and sanitary ware. 2017. No 58. P. 171-179.

4. Гузий С.Г., Копылова Т.И., Божелко И.К. Оцінка огнезахисних властивостей мінеральних красок для деревини. ProblemsofEmergencySituations: Mater.mizhnar.nauk.-prakt.konf. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2020. – с. 45-47.

Huzyi S.H., Korylova T.Y., Bozhelko Y.K. Otsenka ohnezashchytnykh svoystv myneralnykh krasok dlia drevesyny. ProblemsofEmergencySituations: Mater.mizhnar.nauk.-prakt.konf. – Kharkiv: Natsionalnyi unyversytet tsyvilnoho zakhystu Ukrainy, 2020. – s. 45-47.

5. Кривенко П.В., Цапко Ю.В., Гузий С.Г. Вогнезахист будівельних конструкцій з деревини. Теорія та практика: Монографія. - Харків: Видавництво та друкарня ПП «Технологічний центр», 2018. – 348 с.

Kryvenko P.V., Tsapko Yu.V., Huzii S.H. Vohnezakhyst budivelnykh konstrukttsii z derevyny. Teoriia ta praktyka: Monohrafiia. - Kharkiv: Vydavnytstvo ta drukarnia PP «Tekhnolohichniy tsestr», 2018. – 348 s.

6. Sotiriadis, K., Guzii, S., Mácová, P., Viani, A., Dvořák, K. and Drdácý, M. (2019). Thermal Behavior of an Intumescent Alkaline Aluminosilicate Composite Material for Fire Protection of Structural Elements. Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 31(6) DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002702.

7. Guzii, S.G., Bazhelka, I., Svitlychna, N. and Lashchivskiy, V. (2020). Protection of Wood from Burning with Paints on Alkaline Aluminosilicates-Based. Materials Science Forum. Vol. 1006, pp. 19-24 DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.19.

8. Розрахунок елементів та вузлів дерев'яних конструкцій за ДБН В.2.6-161 Дерев'яні конструкції. Основні положення: навчальний посібник / Уклад.: Д.В. Михайловський – К.: РНЦ КНУБА, 2018. – 115 с.

Rozrakhunok elementiv ta vuzliv derevianykh konstrukttsii za DBN V.2.6-161 Derevani konstrukttsii. Osnovni polozhennia: navchalnyi posibnyk / Uklad.: D.V. Mykhailovskiy – K.: RNShch KNUBA, 2018. – 115 s.

9. Гузий С.Г., Отрош Ю.А., Курская Т.Н. Сравнительная характеристика интумесцентных красок для огнезащиты деревянных конструкций / Актуальні проблеми інженерної механіки: тези доп. VIII Міжнар. наук.-практ. Конф. – Одеса: ОДАБА, 2021. – С. 156-159.

Huzyi S.H., Otrosh Yu.A., Kurskaia T.N. Sravnytelnaia kharakterystyka yntumestsentnykh krasok dlia ohnezashchyty dereviannykh konstrukttsyi / Aktualni problemy inzhenernoimekhaniky: tezy dop. VIII Mizhnar. nauk.-prakt. Konf. – Odesa: ODABA, 2021. C. 156-159.