

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра промислового, цивільного і міського будівництва

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до розрахунково – графічної роботи з дисципліни
«Основи проектування за Єврокодами»

«Розрахунок конструкцій із лісоматеріалів на стиск, розтяг, згин та коливання
згідно Єврокодів»

Кривий Ріг

2020

УДК 694

Укладач: С.І. Сахно

Відповідальний за випуск: Валовой О.І.

Рецензент: Люльченко Є.В.

Рекомендовано кафедрою промислового, цивільного і міського будівництва
протокол № 7 від 05.12 2019 року

Надано правила проектування, формули та дані, пов'язані із ДБН В.2.6–161:2017 та європейським стандартом EN 1995-1-1. Наведено теоретичний матеріал щодо розрахунків конструкцій з деревини на розтяг, стиснення, згин та вібрацію.

Розглянуто на засіданні кафедри
промислового, цивільного і
міського будівництва
Протокол № 7 від 05.12.2019

Схвалено на вченій раді
будівельного факультету.
Протокол № 4 від 10.01.2019

ЗМІСТ

1. Розрахунок елементів на згин	4
1.1. Загальні положення	4
1.2. Перевірка на стійкість плоскої форми деформування елементів	5
1.3. Визначення прогину	6
1.4. Розрахунок міцності елементів, що працюють на косий згин	7
1.5. Концентрація напружень у підрізках	8
2. Розрахунок перекриття на коливання (вібрацію)	10
2.1. Загальні положення	10
2.2. Вібрації, що спричиняються переміщенням людей	10
3. Розрахунок елементів, що працюють на осьовий розтяг та стиск зі згином	13
3.1. Елементи, що працюють на осьовий розтяг зі згином	13
3.2. Елементи, що працюють на осьовий стиск зі згином	13
3.3. Розрахунок відхилень каркасно-дерев'яних стін	14
Рекомендована література.....	17

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ НА ЗГИН

1.1. Загальні положення

Розрахунок міцності елементів, що працюють на згин у площині однієї осі перерізу, розкріплених від втрати стійкості плоскої форми деформування, за нормальними напруженнями від згину слід виконувати за формулою:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1, \quad (1.1)$$

де $\sigma_{m,y,d}$ — розрахункове напруження згину;
 $f_{m,y,d}$ — розрахункове значення міцності при згині.

Розрахункове напруження від згину визначається за формулою:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,d}}, \quad (1.2)$$

де $M_{y,d}$ — розрахунковий згинальний момент;
 $W_{y,d}$ — розрахунковий момент опору поперечного перерізу. За наявності ослаблень $W_{y,d} = W_{y,net}$ визначається за умови, що всі ослаблення на ділянці довжиною 15 см суміщаються в одному розрахунковому перерізі.

Розрахунок міцності елементів, що працюють на згин за сколюванням, виконується за формулою:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1, \quad (1.3)$$

де: τ_d — розрахункове напруження сколювання;
 $f_{v,d}$ — розрахункове значення міцності при сколюванні (визначається згідно з 6.2).

Розрахункові напруження сколювання слід визначати за формулою:

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_{br}}{I_{br} \cdot b_{ef}}, \quad (1.4)$$

де S_{br} — статичний момент (брутто) частини перерізу, що зсувається, відносно нейтральної осі;
 I_{br} — момент інерції перерізу (брутто) відносно нейтральної осі;
 b_{ef} — розрахункова ширина перерізу елемента.

При визначенні напружень сколювання для елементів прямокутного перерізу необхідно враховувати вплив тріщин шляхом застосування розрахункової ширини поперечного перерізу елемента:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b, \quad (1.5)$$

де b — ширина розрахункового поперечного перерізу;
 k_{cr} — коефіцієнт, що враховує вплив тріщин.

Рекомендується приймати такі значення коефіцієнта k_{cr} :

$k_{cr} = 0,67$ — для суцільної та клеєної деревини;
 $k_{cr} = 1,0$ — для інших матеріалів на основі деревини.

1.2. Перевірка на стійкість плоскої форми деформування елементів

Перевірку стійкості плоскої форми деформування елементів, що працюють на згин, слід виконувати за формулою:

$$\frac{\sigma_{md}}{k_{crit} \cdot f_{md}} \leq 1, \quad (1.6)$$

де σ_{md} — розрахункове напруження від згину;

f_{md} — розрахункове значення міцності на згин;

k_{crit} — коефіцієнт, що враховує втрату стійкості плоскої форми деформування.

Для елементів з початковим викривленням з площини дії моменту M , k_{crit} можна визначити на основі виразу:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{для } \lambda_{rel,m} \leq 0,75, \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{для } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4, \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{для } 1,4 < \lambda_{rel,m}. \end{cases} \quad (1.7)$$

Коефіцієнт k_{crit} можна прийняти як 1,0 для елемента, у якому бокові переміщення стиснутої грані виключені по всій довжині, а на опорах не припускається кручення.

Відносна гнучкість при згині:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}, \quad (1.8)$$

де $\sigma_{m,crit}$ — критичне напруження від згину, визначене відповідно до класичної теорії стійкості, урахувуючи п'ятивідсотковий квантиль модуля пружності.

Критичне напруження від згину можна визначити так:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}, \quad (1.9)$$

де $E_{0,05}$ — п'ятивідсотковий квантиль модуля пружності деревини уздовж волокон;

$G_{0,05}$ — п'ятивідсоткове значення модуля зсуву деревини уздовж волокон;

I_z — момент інерції перерізу з площини згину;

I_{tor} — крутильний момент інерції перерізу;

l_{ef} — розрахункова довжина елемента, що залежить від умов закріплення та конфігурації навантаження відповідно до таблиці 9.2;

W_y — момент опору перерізу в площині згину.

Крутильний момент інерції прямокутного перерізу можна визначити так [5]:

$$I_{tor} \approx h \cdot b^3 \cdot \left(\frac{1}{3} - 0,21 \frac{b}{h} \left(1 - \frac{b^4}{12h^4} \right) \right), \quad (1.10)$$

де h — довжина довгої сторони;

b — довжина короткої сторони.

Для хвойних порід деревини із суцільним прямокутним поперечним перерізом $\sigma_{m,crit}$ приймається як:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{h \cdot l_{ef}} E_{0,05}, \quad (1.11)$$

де b — ширина поперечного перерізу елемента;
 h — висота поперечного перерізу елемента.

1.3. Визначення прогину

Для визначення прогину за граничними станами експлуатаційної придатності (SLS) слід застосовувати розрахункові експлуатаційні навантаження.

Миттєвий прогин w_{inst} для елемента суцільного перерізу, що працює окремо від інших конструкцій, повинен розраховуватися з використанням середньої величини модуля пружності уздовж волокон E_{mean} та/або середнього значення модуля зсуву G_{mean} . Для дерев'яних елементів $G_{mean} = E_{mean} / 16$, а для елементів, виготовлених із матеріалів на основі деревини, ці значення повинні визначатися за даними на ці матеріали.

Загальний прогин w_{fin} отримують шляхом підсумовування миттєвого прогину та прогину від повзучості.

Для обчислення повних деформацій необхідно використовувати повні середні значення модуля пружності $E_{mean,fin}$, який обчислюється за таким виразом:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + k_{def})}, \quad (1.12)$$

де E_{mean} — середнє значення модуля пружності;
 k_{def} — коефіцієнт для оцінювання деформацій повзучості з урахуванням відповідного експлуатаційного класу (додаток Д.2).

Для граничних станів експлуатаційної придатності, якщо розподілення жорсткості в конструкції впливає на розподілення різних зусиль, повні середні значення модуля пружності $E_{mean,fin}$ повинні обчислюватись за таким виразом:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})}, \quad (1.13)$$

Якщо елемент згинається під дією поперечної сили, додатково до прогину від згинального моменту, повинен бути визначений прогин від цієї сили.

Прогин від зсуву може бути виражений у величинах прогину від згину, помноженого на коефіцієнт, що враховує вплив зсуву. Значення коефіцієнта для вільно обпертої балки прямокутного перерізу шириною b , висотою h і розрахунковим прогоном (прольотом) l для стандартних випадків завантаження наведено в таблиці 1.1. Загальний прогин від зсуву та згину в балці для прийнятого випадку завантаження визначається шляхом множення прогину від згину на відповідний підвищувальний коефіцієнт, що враховує вплив зсуву.

Таблиця 1.1. Рекомендовані формули для визначення прогину шарнірно обпертих балок прямокутного поперечного перерізу від згину та підвищувальних коефіцієнтів, що враховують вплив зсуву

Випадок навантаження	Прогин від згину, мм	Підвищувальний коефіцієнт при зсуві
Рівномірно розподілене навантаження по довжині шарнірно обпертої балки дорівнює повному навантаженню q_d	У середині прогону $\frac{5ql_{ef}^4}{32E_{0,mean}bh^3}$	$\left[1 + 0,96 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \right]$
Зосереджене навантаження P (кН) у середині прогону шарнірно обпертої балки	У середині прогону $\frac{4P}{E_{0,mean}b} \left(\frac{l_{ef}}{h} \right)^3$	$\left[1 + 1,2 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \right]$
Зосереджене навантаження P (кН) на кінці консольної балки	У крайній точці консолі $\frac{4P}{E_{0,mean}b} \left(\frac{l_{ef}}{h} \right)^3$	$\left[1 + 0,3 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \right]$
Зосереджене навантаження P (кН) на 1/4 і 3/4 прогону шарнірно обпертої балки	У середині прогону $\frac{11P}{32E_{0,mean}b} \left(\frac{l_{ef}}{h} \right)^3$	$\left[1 + 0,873 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \right]$
Зосереджене навантаження P (кН) на 1/4, 1/2 і 3/4 прогону шарнірно обпертої балки	У середині прогону $\frac{19P}{32E_{0,mean}b} \left(\frac{l_{ef}}{h} \right)^3$	$\left[1 + 1,011 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \right]$

1.4. Розрахунок міцності елементів, що працюють на косий згин

Розрахунок міцності елементів, що працюють на косий згин за нормальним напруженням, слід виконувати за формулами:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1; \quad (1.14)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1;$$

де $\sigma_{m,y,d}$ та $\sigma_{m,z,d}$ — розрахункові напруження згину відносно відповідних осей;

$f_{m,y,d}$ та $f_{m,z,d}$ — розрахункові значення міцності при згині.

Коефіцієнт k_m урахує перерозподілення напружень і вплив неоднорідності матеріалу в поперечному перерізі.

Величина коефіцієнта k_m приймається таким чином.

Для суцільної деревини, клеєної деревини та LVL:

- для прямокутного перерізу: $k_m = 0,7$;
- для інших видів поперечного перерізу: $k_m = 1,0$.

Для інших будівельних виробів на основі деревини для всіх поперечних перерізів: $k_m = 1,0$.

Прогин дорівнює геометричній сумі прогинів:

$$w_{inst} = \sqrt{w_{instx}^2 + w_{insty}^2} \leq [w_{inst}]. \quad (1.15)$$

1.5. Концентрація напружень у підрізках

При перевірці міцності елементів повинна враховуватись концентрація напружень у підрізках.

Впливом концентрації напружень можна знехтувати у таких випадках:

- при розтягу або стиску уздовж волокон при кутах менше 12° ;
- при згині з напруженнями розтягу у підрізці, якщо перехід до звуження не крутіше ніж 1: $i = 1:10$, тобто $i \geq 10$;
- під дією згину із напруженнями стиску в підрізці

Для балок прямокутного перерізу за умови розташування волокон уздовж елемента напруження сколювання на опорі в підрізці повинні визначатись із використанням фактичної (зменшеної) висоти h_{ef}

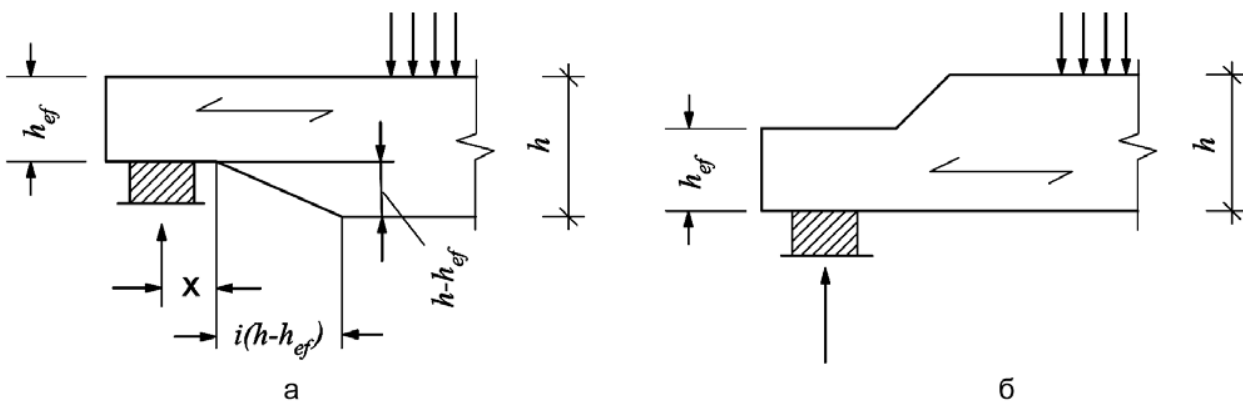


Рисунок 1.1. Схеми підрізки в згинальних елементах

Необхідно перевіряти умову

$$\tau_d = \frac{1,5V}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d}, \quad (1.16)$$

де k_v — коефіцієнт зниження, що визначається:

- для балок з підрізкою згори та низу

$$k_v = 1,0, \quad (1.17)$$

- для балок із підрізкою низу

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right. , \quad (1.18)$$

де i — нахил підрізки;

h — висота балки, мм;

x — відстань від лінії дії опорної реакції до початку підрізки;

$\alpha = h_{ef}/h$

$$k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{для LVL,} \\ 5,0 & \text{для суцільної деревини,} \\ 6,5 & \text{для клеєної деревини.} \end{cases} \quad (1.19)$$

Якщо кілька елементів конструкції мають однаковий прогін або збірні елементи розкріплені з одного боку системою в'язей, характеристики міцності слід множити на коефіцієнт міцності системи k_{sys} .

Передбачена система в'язей забезпечує перерозподілення зусиль від одного елемента до інших, при цьому коефіцієнт k_{sys} приймається 1,1.

Перевірка міцності системи в'язей повинна виконуватися за умови дії короткочасних навантажень.

2. РОЗРАХУНОК ПЕРЕКРИТТЯ НА КОЛИВАННЯ (ВІБРАЦІЮ)

2.1. Загальні положення

При розрахунку згинальних елементів за граничними станами експлуатаційної придатності необхідно перевірити, що впливи, яким можуть піддаватися елементи, а також їх складові частини або споруда в цілому, не викликають коливань, які негативно впливають на роботу споруди й не створюють дискомфорту в людей.

Дискомфорт може бути обумовлений:

- коливаннями, що виникають від працюючої машини (механізму);
- коливаннями, що виникають під час ходьби;
- коливаннями, що виникають через близьке розташування до джерела коливань.

При розрахунку дерев'яних перекриттів необхідно гарантувати, що їх поведінка під дією навантаження, що викликає коливання конструкції, залишається в рамках допустимих меж за граничними станами експлуатаційної придатності.

Рівні безперервних коливань у конструкціях, що виникають унаслідок роботи механізмів, не повинні перевищувати допустимих значень. Якщо коливання від механізму перевищують допустимий рівень, то найбільш поширеним способом розв'язання проблеми є прибудова окремих від конструкції фундаментів під механізм або встановлення віброізоляторів між механізмом і конструкцією. Дані рішення повинні враховуватися під час розрахунку конструкцій.

При розрахунку перекриттів повинні враховуватися коливання, що виникають при ходьбі. Розрахункові вимоги поширюються виключно на конструкції перекриттів, що мають частоту власних коливань понад 8 Гц. Для перекриттів із частотою власних коливань менше 8 Гц необхідне проведення додаткових досліджень.

2.2. Вібрації, що спричиняються переміщенням людей

У житлових будинках для прямокутних у плані перекриттів, із власною частотою понад 8 Гц і розмірами $l \times b$, вільно обпертих по чотирьох сторонах, виконаних по дерев'яних балках прогоном l , значення частоти власних коливань f_1 може бути визначене з виразу:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l_{ef}^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}, \quad (2.1)$$

- де l_{ef} — розрахунковий прогін балки перекриття, м;
 $(EI)_l$ — еквівалентна згинальна жорсткість конструкції перекриття відносно осі, перпендикулярної до напрямку прогону балки, Н·м²/м;
 m — маса на одиницю площі, кг/м², яка визначається з постійних навантажень.

Якщо настил перекриття не розрахований на спільну роботу з балками перекриття, то $(EI)_l$ повинна залежати тільки від згинальної жорсткості балок перекриття. Урахування настилу при визначенні $(EI)_l$ можливе, якщо він жорстко з'єднаний із дерев'яними балками перекриття, тобто з'єднаний на клею й розраховувався як обшивка плит перекриття відповідно до 9.1.2 ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1.

Основним типом перекриттів, виконаних з дерев'яних конструкцій, є балкові перекриття. При розрахунку таких перекриттів повинні розглядатися:

- низькочастотні ефекти (ефект від частоти кроку при ходьбі);
- високочастотні ефекти (ударний ефект від п'яти при ходьбі).

Якщо вимушені коливання перекриття від дії частоти кроку будуть менші за 8 Гц, то навантаження вважається статичним. Прогин у центрі перекриття від дії статичного навантаження в 1 кН, прикладеного в даній точці, що моделює ефект від сили, з якою тисне нога людини на перекриття, повинен бути не більше:

$$a \leq 1,8 \quad - \text{при довжині прогину} \leq 4000 \text{ мм} \quad (2.2)$$

$$a \leq \frac{16500}{l^{1.1}} \text{ мм} \quad - \text{при довжині прогину} > 4000 \text{ мм} \quad (2.3)$$

де a — прогин балки, мм;
 l — прогін балки перекриття, мм.

Прогин перекриття w під дією зосередженого навантаження в середині прогону перекриття з розрахунковим прогоном l_{ef} визначається з виразу:

$$w = \frac{1000 \cdot k_{dist} \cdot l_{ef}^3 \cdot k_{amp}}{48 \cdot (EI)_{joist}}, \quad (2.4)$$

де k_{dist} — переводить навантаження 1кН в навантаження на одну балку;
 l_{ef} — розрахунковий прогін балки перекриття, мм; для вільно обпертих балок l_{ef} повинен бути прийнятий аналогічним до прогону l , для крайніх прогонів нерозрізних балок $l_{ef} = 0,9l$, а для середніх прольотів - $l_{ef} = 0,851l$;
 k_{amp} — підвищувальний коефіцієнт, що враховує вплив зсуву на прогин у разі використання суцільних дерев'яних і клеєних балок, або податливість з'єднання у разі використання механічних зв'язків;
 $(EI)_{joist}$ — згинальна жорсткість балки, Н·мм², що розраховується з використанням середнього значення модуля пружності балки $E_{0,mean}$.

Значення коефіцієнта k_{amp} приймаються такими, що дорівнюють:

- 1,05 — для шарнірно обпертих суцільних дерев'яних балок;
- 1,1 — для нерозрізних суцільних дерев'яних балок;
- 1,15 — для шарнірно обпертих двотаврових клеєних балок з тонкою стінкою;
- 1,3 — для нерозрізних двотаврових клеєних балок з тонкою стінкою;
- 1,3 — для вільно обпертих ферм покриття на механічних зв'язках у з'єднаннях;
- 1,45 — для нерозрізних ферм покриття на механічних зв'язках у з'єднаннях.

Значення коефіцієнта k_{dist} для нерозрізних ферм покриття на механічних зв'язках в з'єднаннях слід визначати таким чином

$$k_{dist} = \max \left\{ \left[0,38 - 0,018 \ln \left[\frac{14(EI)_b}{s^4} \right]; 0,30 \right] \right\}, \quad (2.5)$$

де $(EI)_b$ — згинальна погонна жорсткість перекриття, Н·м²/м;
 s — крок балок, мм.

Примітка. Згинальна жорсткість обчислюється як $(EI)_b$ із використанням середнього значення модуля пружності перекриття, а неоднорідності на кінцях перекриття можуть бути проігноровані.

Під дією імпульсного навантаження в 1 Н в центрі перекриття, що моделює контакт п'яти людей, максимальне початкове значення вертикального коливання (швидкості переміщення) перекриття V (м/с) має задовольняти умову:

$$v \leq b^{(f_i \cdot \zeta - 1)}, \quad (2.6)$$

де v — величина імпульсної швидкості, $\text{м}/(\text{Н}\cdot\text{с}^2)$, тобто граничне значення швидкості коливання ($\text{м}/\text{с}$) у вертикальному напрямку, викликаній імпульсом у $1 \text{ Н}\cdot\text{с}$, що моделює випадок впливу п'яти людей, діючої на перекриття, при максимальному переміщенні;

b — постійна величина для контролю значення реакції імпульсу залежно від прогину перекриття a . Значення b визначається таким чином:

$$b = 150 - \frac{30(w - 0,5)}{0,5} = 180 - 60w \text{ при } w \leq 1 \text{ мм}, \quad (2.7)$$

$$b = 120 - 40(w - 1) = 160 - 40w \text{ при } w > 1 \text{ мм}, \quad (2.8)$$

де a — прогин, мм, який визначається з виразу (5.4);

f_1 — частота власних коливань перекриття, Гц, яка визначається з виразу (5.1);

ζ — модальний декремент загасання коливань перекриття, який для перекриттів приймається 0,02.

При обчисленні фактичної величини імпульсної швидкості конструкції повинні дотримуватися такі вимоги ДСТУ-Н Б БИ 1995-1-1:

- для прямокутних перекриттів із розмірами в плані $b \times h$ і вільно обпертих по чотирьох сторонах середнє значення v може бути визначене з виразу:

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot l_{ef} + 200}, \quad (2.9)$$

де b — ширина перекриття, м;

l_{ef} — розрахунковий прогін перекриття, м;

m — визначається в $\text{кг}/\text{м}^2$;

n_{40} — номер першої форми коливання з власною частотою до 40 Гц.

- значення n_{40} визначається з виразу

$$n_{40} = \left(\left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{l_{ef}} \right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right)^{0,25}, \quad (2.10)$$

де $(EI)_l$ — еквівалентна згинальна жорсткість перекриття за напрямом прогону балок, $\text{Нм}^2/\text{м}$. При цьому $(EI)_b < (EI)_l$.

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ОСЬОВИЙ РОЗТЯГ ТА СТИСК ЗІ ЗГИНОМ

3.1. Елементи, що працюють на осьовий розтяг зі згином

Розрахунок міцності елементів, що працюють на осьовий розтяг зі згином, слід виконувати за формулою:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (3.1)$$

де $\sigma_{t,0,d}$ — розрахункове напруження розтягу уздовж волокон;

$\sigma_{m,y,d}$ — розрахункове напруження згину;

$f_{t,0,d}, f_{m,y,d}$ — розрахункові значення міцності розтягу уздовж волокон та згину.

3.2. Елементи, що працюють на осьовий стиск зі згином

Розрахунок елементів, що працюють на осьовий стиск зі згином, слід виконувати:

при $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ за формулою:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1, \quad (3.2)$$

при $\lambda_{rel,z} > 0,3$ за формулою:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1, \quad (3.3)$$

де $\sigma_{c,0,d}$ — розрахункове напруження стиску уздовж волокон;

$\sigma_{m,y,d}$ — розрахункові напруження при згині з врахуванням деформованої схеми;

$f_{c,0,d}, f_{m,y,d}$ — розрахункові значення міцності стиску уздовж волокон та згину;

$k_{c,y}$ — коефіцієнт поздовжнього згину;

$\lambda_{rel,z}$ — приведена гнучкість.

У випадку сумісної дії напружень від стиску зі згином повинна задовольнятися умова плоскої форми деформування:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (3.4)$$

де k_{crit} — коефіцієнт, що враховує зменшення міцності при втраті стійкості плоскої форми деформування, визначається за рівнянням (4.7).

Розрахунок елементів, що працюють на осьовий стиск з косим згином:

при $\lambda_{rel,y} < 0,3$ та $\lambda_{rel,z} < 0,3$ повинні виконуватись умови:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (3.5)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (3.6)$$

при $\lambda_{rel,y} > 0,3$ та $\lambda_{rel,z} > 0,3$ повинні виконуватись умови:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (3.7)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (3.8)$$

де $\sigma_{c,0,d}$ — розрахункове напруження стиску уздовж волокон (визначається за (3.13));

$\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$ — розрахункові напруження при згині відносно відповідних осей із урахуванням деформованої схеми (визначаються згідно з розділом 4.1);

$f_{c,0,d}$, $f_{m,y,d}$, $f_{m,z,d}$ — розрахункові значення міцності деревини при стиску уздовж волокон та згину відносно відповідних осей (визначаються згідно з 6.2);

$k_{c,y}$, $k_{c,z}$ — коефіцієнти поздовжнього згину відносно відповідних осей, визначаються за рівнянням (3.6);

k_m — коефіцієнт, що враховує перерозподілення напружень і вплив неоднорідності матеріалу в поперечному перерізі елемента, визначається згідно з поясненнями до рівняння (4.14);

$\lambda_{rel,y}$, $\lambda_{rel,z}$ — приведена гнучкість визначається з рівняння (3.9).

У випадку сумісної дії напружень від стиску зі згином повинна задовольнятись умова плоскої форми деформування:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,d} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (3.9)$$

де, k_{crit} розраховується згідно з рівнянням (4,7).

3.3. Розрахунок відхилень каркасно-дерев'яних стін

Поведінка стінових стояків (і колон) із початковим відхиленням і підданих осьовому навантаженню розглядається в ДБН В.2.6–161:2017 як проблема міцності. Вихід з площини в нормах не враховується. Проте може існувати конструктивна ситуація, коли потрібно розрахувати таке відхилення. Для розрахунку цієї деформації наведено таку методику.

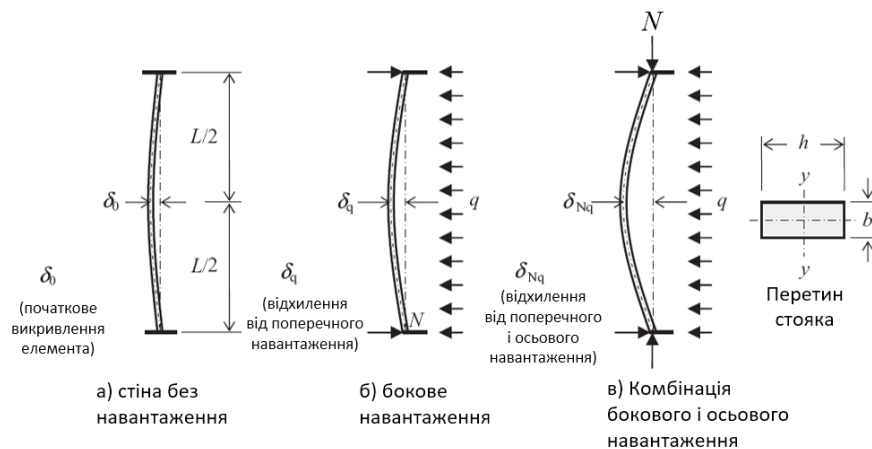


Рисунок 3.1. Відхилення стінки під дією вертикальних і поперечних навантажень

Коли елемент із початковим викривленням із площини піддається осьовому навантаженню, завдяки додатковому моменту, індукованому в елементі осьовим навантаженням, викривлення буде посилено. У випадку стінового стояка зміщення буде

включати початкове відхилення від прямолінійності, δ_0 , і, якщо воно піддається поперечному навантаженню, додаткове зміщення, δ_q , як показано на рисунках 3.1 а і 3.1 б, відповідно.

Згідно з таблицею 10.2 ДБН В.2.6–161:2017 (таблиця Д.15 додатка), максимальне початкове відхилення від прямолінійності, виміряне на середині елемента, δ_0 , не може перевищувати $L/300$ для твердої деревини та $L/500$ для клеєного ламінованого дерева або LVL, де L — довжина елемента.

Максимальне відхилення від площини відбуватиметься на середній висоті й згідно з класичною теорією пружної стійкості можна показати, що якщо стиснуті стінові стояки, які мають початкове відхилення від площини δ_0 (тобто від основного положення осі у-у, показаного на рисунку 3.1), і кожен стояк піддається осьовому розрахунковому навантаженню N_d , відхилення від площини відхилення стінки (або колони) збільшиться до δ_{N0} , де

$$\delta_{N0} = \alpha \delta_0. \quad (3.10)$$

У рівнянні (6.10) α є коефіцієнтом посилення, отриманим із:

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{N_d}{P_E}}, \quad (3.11)$$

де

$$P_E = \frac{\pi^2 E_{0,05} (bh^3 / 12)}{L^2} \quad (3.12)$$

- де P_E — критична сила Ейлера на вигин кожного стояка навколо осі у-у,
 L — ефективна довжина стояка,
 b — ширина стояка,
 h — товщина стояка,
 $E_{0,05}$ — п'ятий перцентиль модуля пружності матеріалу стояка, уздовж волокон.

Хоча це рішення є приблизним, його похибка не перевищує 2 % для значень N/P_E менше 0,6, що достатньо для розрахунків за граничними станами експлуатаційної придатності (SLS).

Для наведеної вище умови збільшення відхилення стінок, δ_{N0} , може бути записане так:

$$\delta_{N0} = \alpha \delta_0 - \delta_0 = \delta_0 (\alpha - 1). \quad (3.13)$$

Під дією на стінку тільки поперечного рівномірно розподіленого навантаження та з урахуванням впливу зсуву з даних, наведених у таблиці 3.1, відхилення δ_q на стояк на середній висоті стінки, викликане навантаженням q кН/м², буде:

$$\delta_q = \frac{5qL^4}{32 \cdot E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} \left(1 + 0,96 \cdot \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \cdot \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right) \cdot (S_P), \quad (3.14)$$

- де δ_q — вигин стояка (у мм);
 L — висота стояка (у метрах);
 $E_{0,mean}$ — середній модуль пружності стояка, уздовж волокон (у кН/м²);
 b — ширина стояка (у метрах);
 h — товщина стояка (у метрах);
 S_P — крок рознесення стояків (у мм).

Згідно з рівнянням (3.11), коли кожен стіновий стояк піддається осьовому розрахунковому навантаженню N_d , δ_q збільшується до $\alpha \delta_q$ і при додаванні до відхилення від прямолінійності стінки остаточне відхилення δ_{Nq} буде:

$$\delta_{Nq} = \alpha\delta_0 + \alpha\delta_q, \quad (3.15)$$

чисте збільшення відхилення, δ_{net} , за рахунок комбінації осьового й бічного навантаження буде:

$$\delta_{net} = (\alpha\delta_0 + \alpha\delta_q) - \delta_0 \quad (3.16)$$

що зводиться до

$$\delta_{net} = \frac{(N_d / P_E)\delta_0 + \delta_q}{1 - N_d / P_E}. \quad (3.17)$$

Із рівняння (3.17) видно, що відхилення від площини є функцією початкового викривлення стінки (або колони) й осьового навантаження. Якщо стіна (або колонка) ідеально пряма, δ_0 буде дорівнювати нулю, а якщо нема осьового навантаження, додаткове відхилення δ_{net} буде дорівнювати (3.14).

Розрахунок відхилень каркасно-дерев'яної стіни розглянуто в прикладі 3.4.1.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-161:2017 Дерев'яні конструкції. Основні положення. – Київ. Мінрегіонбуд України, 2017
2. EN 1995-1-1 (2004) (English): Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1
3. ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010. Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1995-1-1:2004, IDT)

Методичні вказівки до розрахунково – графічної роботи з дисципліни «Конструкції з дерева та пластмас» «Розрахунок конструкцій із лісоматеріалів на стиск, розтяг, згин та коливання» (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», спеціалізація «Промислове та цивільне будівництво»)

Укладач: Сахно Сергій Іванович.

Реєстрац. №

Підписано до друку « ____ » _____ 2019 р.

Формат А5

Обсяг 41 стор.

Тираж _____ прим

Видавничий центр ДВНЗ «КНУ»,
вул. Віталія Матусевича , 11,
м. Кривий Ріг