

## 5. Розрахунок елементів дерев'яних конструкцій

### 5.1. Метод граничних станів

Дерев'яні й пластмасові конструкції розраховують за єдиним для всіх будівельних конструкцій *методом граничних станів*. Граничним називають такий стан конструкції, при якому подальша експлуатація їх неможлива. Дерев'яні й пластмасові конструкції розраховують за двома граничними станами: за несучою здатністю (міцністю або стійкістю) і за деформаціями.

Під час розрахунку за *першим граничним станом* визначають зусилля від розрахункових навантажень: поздовжню силу  $N$ , згинальний момент  $M$  та поперечну силу  $Q$ . Розрахункові зусилля в елементі не повинні перевищувати його найменшої несучої здатності. Напруження, що виникають в елементах від дії розрахункових зусиль, не повинні перевищувати розрахункових опорів матеріалів.

$$\sigma, \tau \leq R \quad (2.1)$$

Під час розрахунку за *другим граничним станом* має виконуватись умова, коли деформації або переміщення від нормативних навантажень не перевищують деформацій, встановлених нормами:

$$f/l \leq [f/l]. \quad (2.2)$$

де  $f/l$  — розрахунковий відносний прогин ;

$[f/l]$  — відносний прогин, який допускається за нормами проектування.

Розрахунок за другим граничним станом проводять на дію нормативних навантажень, тобто в нормальних умовах експлуатації, оскільки розрахункові навантаження проявляються рідко і небезпека виходу конструкції з ладу в зв'язку з перевищенням деформацій їхніх граничних значень при розрахункових навантаженнях невелика.

Метою розрахунку є не допустити ні першого, ні другого граничних станів при транспортуванні, монтажу та експлуатації конструкції. При цьому необхідно враховувати нормативні і розрахункові навантаження та опори матеріалів.

### 5.2. Нормативні та розрахункові навантаження

Навантаження, що діють на конструкції, визначаються діючими будівельними нормами і правилами. При розрахунку конструкцій з дерева і пластмас враховуються постійне навантаження від власної ваги конструкцій і інших елементів будівель  $g$  і короточасні навантаження від ваги снігу  $s$  та тиску вітру  $w$ .

Постійне нормативне навантаження  $g^H$ , що діє на конструкцію, складається з двох частин: перша частина — навантаження від всіх елементів конструкцій і матеріалів які підтримує дана конструкція; друга — навантаження від власної ваги основної несучої конструкції.

При попередньому розрахунку навантаження від власної ваги  $g_{e.e}^H$  основної несучої конструкції можна визначити приблизно, задаючись реальними розмірами перерізів і об'ємами елементів конструкції. Для цього можна також скористатися емпіричною формулою

$$g_{e.e}^H = \frac{g^H + s^H}{1000/(k_{e.e}l) - 1},$$

де  $g^H$  — нормативне постійне навантаження від ваги підтримуваних елементів;

$s^H$  — нормативне тимчасове снігове навантаження;

$k_{e.e}$  — коефіцієнт власної ваги,

$l$  — проліт конструкції.

До складу цієї формули включаються й інші значні постійні навантаження.

Постійне розрахункове навантаження  $g$  дорівнює добутку нормативного на коефіцієнт надійності по навантаженню  $\gamma$ . Для навантаження від власної ваги конструкцій  $\gamma = 1,1$ , а для навантажень від утеплення, покрівлі, пароізоляції й інших  $\gamma = 1,3$ .

Нормативне снігове навантаження  $s^H$  визначається виходячи з нормативної ваги снігового покриву  $s_0$ , що дається в нормах навантажень (кН/м<sup>2</sup>) на горизонтальну проекцію покриття в залежності від снігового району країни. Цю величину множать на коефіцієнт  $\mu$ , який враховує ухил і інші особливості форми покриття. Тоді нормативне навантаження  $s^H = s_0\mu$ . При двосхилих покриттях, що мають  $\alpha \leq 25^\circ$  -  $\mu = 1$ , при  $\alpha \geq 60^\circ$  -  $\mu = 0$ , а при проміжних кутах нахилу  $60^\circ > \alpha > 25^\circ$  -  $\mu = (60^\circ - \alpha^\circ)/35^\circ$ .

Розрахункове снігове навантаження дорівнює добутку нормативного навантаження на коефіцієнт надійності по навантаженню  $\gamma$ . Для більшості легких дерев'яних і пластмасових конструкцій при відношенні нормативних постійного і снігового навантажень  $g^H/s^H < 0,8$  коефіцієнт  $\gamma = 1,6$ . При великих відношеннях цих навантажень  $g^H/s^H > 1$  -  $\gamma = 1,4$ .

Монтажне навантаження від ваги людини з вантажем приймаються рівні — нормативне  $P^H = 0,1$  кН і розрахункове  $P = P^H \gamma = 0,1 \cdot 1,2 = 1,2$  кН.

Нормативне вітрове навантаження  $w$  складається з тиску  $w^h_+$  і відсосу  $w^h_-$  вітру. Вихідними даними при визначенні вітрового навантаження є значення тиску вітру, спрямованого перпендикулярно поверхням покриття і стін будинків  $w_0$  (МПа), що залежать від вітрового району країни і приймається по нормах навантажень і впливів. Нормативні вітрові навантаження  $w^h$  визначаються множенням тиску вітру  $w_0$  на коефіцієнт  $k$ , що враховує висоту будівлі, і аеродинамічний коефіцієнт  $c_s$ , що враховує її форму, тобто  $w^h = w_0 k c_s$ .

Розрахункове вітрове навантаження дорівнює нормативному, помноженому на коефіцієнт надійності  $\gamma = 1,4$ . Таким чином,  $w = w^h \gamma$ .

### 5.3. Нормативні та розрахункові опори деревини

Нормативні опори деревини  $R^h$  (Мпа) є основними характеристиками міцності деревини чистих від вад ділянок. Вони визначаються за результатами численних лабораторних короткочасних випробовувань малих стандартних зразків сухої деревини вологістю 12 % на ростяг, стиск, згин, зминання і сколювання. Наприклад, зразок на стиск має періз  $2 * 2$  см і довжину 3 см. Вони обробляються статистично, і з врахуванням коефіцієнта мінливості  $c_v$  нормативний опір обчислюється по формулі

$$R^h = R^{сер}_{тзм} (1 - 2,25 c_v)$$

Наприклад, при стиску  $R^h_c = 33(1 - 2,25 \cdot 0,105) = 25$  Мпа. Отже, 95 % випробуваних зразків деревини будуть при стиску мати міцність  $R_{тзм}$ , рівну чи більшу, ніж її нормативне значення.

Розрахункові опори деревини  $R$  (МПа) — це основні характеристики міцності реальної деревини елементів реальних конструкцій. Ця деревина має природні вади, що допускаються, і працює під навантаженнями протягом багатьох років. Розрахункові опори знаходять на підставі нормативних опорів з врахуванням коефіцієнта надійності по матеріалу  $\gamma$  і коефіцієнта довготривалості дії навантаження  $m_{дов}$  по формулі

$$R = R^h m_{дов} / \gamma. \quad (2.3)$$

Коефіцієнт  $\gamma$  значно більший одиниці. Він враховує зниження міцності реальної деревини в результаті неоднорідності будови і наявності різних вад, яких не буває в лабораторних зразках. Коефіцієнт довготривалості навантаження  $m_{дов} \ll 1$ . Він враховує, що деревина без вад може необмежено довго витримувати лише половину того навантаження, яке вона витримує при короткочасному навантаженні в процесі досліджень.

Розрахункові опори деревини сосни та ялини при тривалій дії статичного навантаження наведено в дод. 1. Значення розрахункових опорів згинанню, стисканню і зминанню вздовж волокон для 1-го і 2-го сортів мало різняться між собою, але вони істотно перевищують розрахункові опори деревини 3-го сорту, в якій допускаються досить значні вади. Тому деревину 3-го сорту використовують тільки в невідповідальних елементах, які працюють на згинання та стискання. Розрахункові опори розтяганню вздовж волокон для 1-го і 2-го сортів значно різняться між собою й зовсім не нормовані для 3-го сорту. Тому для розтягнутих елементів застосовують тільки деревину 1-го сорту.

Розрахункові опори деревини інших порід визначають множенням розрахункових опорів сосни та ялини на перехідні коефіцієнти  $m_{\sigma}$ . Умови роботи конструкцій ураховують, помноживши базові розрахункові опори на відповідні коефіцієнти умов роботи, наведені в дод. 2. Коефіцієнти умов роботи, як і розрахункові опори, визначаються структурою і роботою деревини. Наприклад, зниження коефіцієнта  $m_{\sigma}$  зі збільшенням висоти перерізів балок спричинюється збільшенням неоднорідності деревини, і, навпаки, зростання коефіцієнта  $m_{\sigma}$  - зі зменшенням товщин дощок у багат шаровому елементі пояснюється збільшенням однорідності міцності деревини, і т. ін.

Модуль пружності деревини вздовж волокон  $E=10^4$  МПа, впоперек волокон  $E_{90}=400$  МПа, модуль зсуву  $G=500$  МПа. Коефіцієнт Пуассона відповідно  $\nu_{90,0}=0,05$  і  $\nu_{0,90}=0,02$ .

#### **5.4. Розрахунок дерев'яних елементів**

Елементами дерев'яних конструкцій є дошки, бруси, бруски, колоди суцільних перерізів з розмірами, зазначеними в сортаментах лісоматеріалів. Вони можуть бути окремими конструкціями, наприклад балками чи стійками, а також бути елементами більш складних конструкцій. У результаті розрахунку розв'язуються наступні практичні задачі проектування дерев'яних конструкцій:

*Перевірка міцності і прогину елемента* полягає у визначенні напружень у перерізах, які не повинні перевищувати розрахункових опорів деревини, а також його прогинів, які не повинні перевершувати граничних, що допускаються нормами.

*Підбір перерізів при проектуванні нових дерев'яних конструкцій* полягає у визначенні таких розмірів елемента, при яких його міцність і стійкість будуть достатні для сприймання діючих зусиль, а прогини будуть не більше граничних.

*Визначення несучої здатності елемента* в процесі обстеження конструкцій під час їхньої експлуатації. Для цього визначають найбільші навантаження і зусилля які може витримувати елемент відомих розмірів, щоб при цьому розрахункові опори деревини і граничні прогини не були перевищені.

Дерев'яні елементи розраховують на розтяг, стиск, згин, розтяг чи стиск із згинном, зминання і сколювання відповідно до норм СНиП 11-25—80 «Нормы проектирования. Деревянные конструкции». Розрахункові опори, що приводяться нижче, відповідають деревині сосни і ялини. Відповідно до цих же норм проводиться розрахунок дерев'яних елементів, що згинаються, по прогинах.

**1. Розтягнуті елементи** — це нижні пояси ферм, затяжок арок і деякі стержні інших наскрізних конструкцій. Робота дерев'яних елементів на розтяг є найбільш відповідальною, оскільки вони руйнуються майже миттєво, без помітних попередніх деформації. Тому розтягнуті елементи необхідно виготовляти, як правило, з найбільш міцної деревини 1-го сорту з нормативним опором  $R^H_p = 20$  МПа і розрахунковим опором  $R_p = 10$  МПа. Однак при відсутності такого матеріалу допускається в малонапружених елементах застосовувати деревину 2-го сорту з розрахунковим опором  $R_p = 7,0$  МПа.

Міцність розтягнутих елементів у тих місцях, де вони ослаблені отворами чи врізками, знижується додатково в результаті концентрації напружень у їхніх країв. Це враховується знижуючим коефіцієнтом умов роботи  $m_p = 0,8$ . При цьому розрахунковий опір деревини 1-го сорту розтягу  $R_p = 8$  МПа.

При наявності ослаблень у межах ділянки довжиною 20 см у різних перерізах поверхня розриву завжди проходить через них. Тому при визначенні ослабленої площі перерізу  $A_{нт}$  всі ослаблення на цій довжині сумуються, як би суміщають в одному перерізі (рис. 2.1).

Розрахунок на міцність розтягнутих елементів проводиться на розтягуючу силу  $N$  від розрахункових навантажень:

$$\sigma = N/A_{нт} \leq R_p. \quad (2.4)$$

Для підбору перерізів розтягнутих елементів користуються цією ж формулою, написаною для необхідної площі перерізу, враховуючи те, що  $N$  і  $R_p$  відомо. При цьому  $A_n = N / R_p$ . Найбільше розтягуче зусилля, що може витримувати розтягнутий елемент відомих розмірів, можна визначити по цій же формулі, написаній відносно зусилля  $N = A_{нт} R_p$ . По деформаціях розтягнуті елементи не перевіряються.

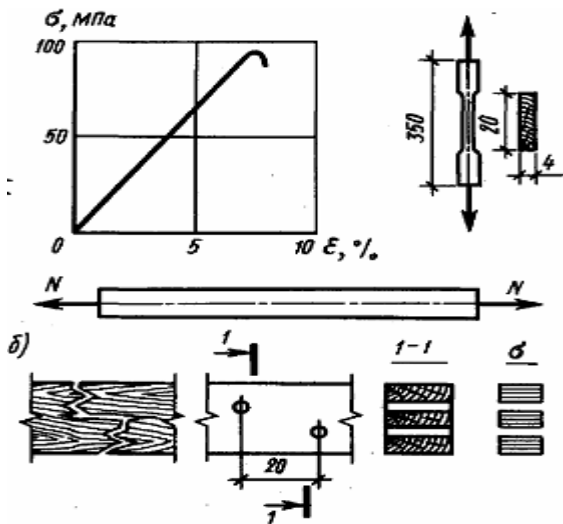


Рис.. 5.1. Розтягнутий елемент: а – графік деформацій і зразок; б- схема роботи і епюра напружень.

**2. Стиснуті елементи.** На стиск працюють стійки, підкоси, верхні пояси й окремі стержні ферм і інших наскрізних конструкцій. Деревина працює на стиск більш надійно, чим на розтяг, але не цілком пружно.

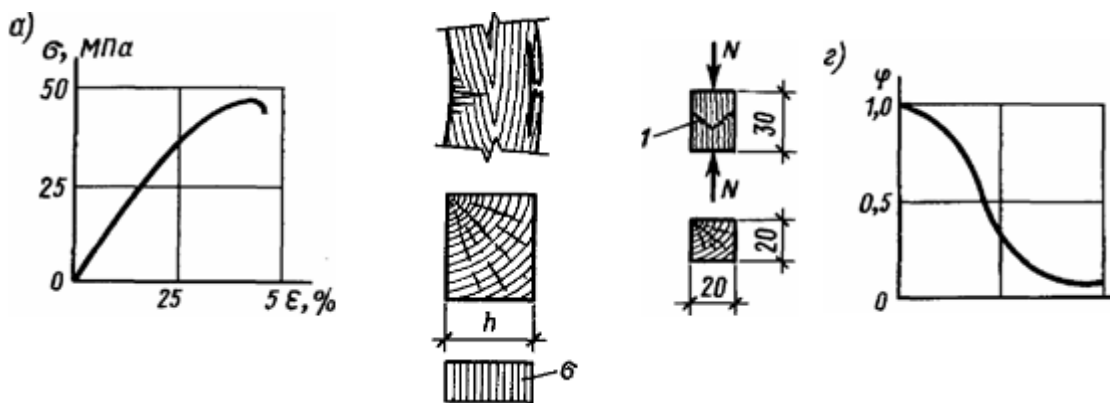


Рис. 5.3. Стиснутий елемент: а — графік деформацій і зразок; б — схеми роботи, руйнування й епюра напруг; г-графік коефіцієнтів стійкості  $\varphi$  в залежності від гнучкості  $\lambda$

Вади реальної деревини менше знижують міцність стиснутих елементів, оскільки самі сприймають частину стискаючих напружень. Тому стиснуті елементи рекомендується виготовляти, як правило, з більш доступної деревини 2-го сорту, що має нормативний опір стиску  $R_c = 25$  МПа і розрахунковий опір стиску  $R_c = 13$  МПа.

Міцність стержня при стиску і втрата його стійкості залежать від площі  $A$  і форми його перерізу, довжини  $l$  і типу закріплення його кінців, що враховується коефіцієнтом стійкості  $\varphi$ , який називають іноді коефіцієнтом подовжнього згину. Стиснуті дерев'яні елементи розраховуються на міцність і стійкість при дії подовжніх сил стиску  $N$  від розрахункових навантажень:

$$\sigma = N/(\varphi A) \leq R_c \quad (2.5)$$

Розрахункова площа перерізу  $A$  приймається рівною його повній площі, якщо вона не має ослаблень, або їїня площа не перевищує  $1/4$  площі перерізу. Великі внутрішні ослаблення знижують його несучу здатність, але менше, ніж їхні відносні розміри, і розрахункова площа перерізу приймається при цьому рівною  $4/3$  неослабленої площі перерізу. Симетричні зовнішні ослаблення зменшують міцність елемента прямо пропорційно їхнім розмірам і площа їх виключається. При несиметричних ослабленнях елемент розраховують як позацентрово стиснутий.

Коефіцієнт стійкості елемента  $\varphi$  визначається в залежності від його розрахункової довжини  $l_0$ , радіуса інерції перерізу  $i$ , гнучкості  $\lambda = l_0/i$  і знаходиться з виразів  $\varphi = 3000/\lambda^2$  при  $\lambda > 70$  і  $\varphi = 1 - 0,8(\lambda/100)^2$  при  $\lambda < 70$ .

Розрахункова довжина  $l_0$  враховує вплив типу закріплення кінців на стійкість стиснутого елемента. При обох шарнірно - закріплених кінцях вона дорівнює геометричній довжині  $l_0 = l$ . При нижньому зацімленому, а верхньому вільному кінці  $l_0 = 2,2l$ . При нижньому зацімленому, а верхньому шарнірному закріпленому кінці  $l_0 = 0,8l$ , при обох зацімлених кінцях  $l_0 = 0,65l$ .

Радіус інерції перерізу  $i$  залежить від площі  $A$  и моменту інерції перерізу  $I$ , тобто  $i = \sqrt{I/A}$ . Радіуси інерції прямокутних переізів з розмірами  $b$  и  $h$  (де  $h$  — менший розмір перерізу) і круглих переізів діаметром  $d$  можна приймати рівними  $0,29h$  и  $0,25d$ .

Гнучкість стиснутих елементів обмежується для того, щоб вони не вийшли недостатньо надійними. Основні елементи конструкцій — окремі стійки, пояси й опорні розкоси ферм і ін. — повинні мати гнучкість не більш 120, інші стиснуті елементи основних несучих конструкцій — не більш 150 і стиснуті елементи зв'язків — не більш 200.

Несучу здатність  $N$  стиснутого елемента, усі розміри якого і спосіб закріплення кінців відомі, можна визначати по формулі  $N = \varphi A R_c$ . При цьому необхідно попередньо обчислити площу перерізу  $A$ , гнучкість  $\lambda$  і коефіцієнт стійкості  $\varphi$ .

Підібрати переріз стиснутого елемента безпосередньо по формулі (2.5) не можна, тому що від його розмірів залежить коефіцієнт стійкості. У цьому випадку можна попередньо приблизно задатися величинами  $\lambda$  і  $\varphi$ . Наприклад, для основних стійок варто приймати гнучкість  $\lambda \approx 80$  і  $\varphi \approx 0,5$ , для неосновних елементів гнучкість  $\lambda = 120$  і  $\varphi = 0,2$  для елементів зв'язків гнучкість  $\lambda = 180$  і  $\varphi = 0,1$ . Необхідну площу перерізу  $A_n$  можна визначити по формулі  $A_n = N / R_c \varphi$  і потім підібрати розміри перерізу. Гнучкість окремих елементів прямокутного перерізу необхідно визначати найбільшу в напрямку меншого розміру перерізу і меншого

радіуса інерції, а при наявності зв'язків визначати гнучкості в напрямку обох осей перерізу і приймати найбільшу.

Відносно короткі елементи, довжина яких не перевищує семикратної висоти перерізу, працюють на стиск без утрати стійкості і розраховуються по формулі

$$\sigma = N/A \leq R_c. \quad (2.6)$$

Площа перерізу визначається шляхом виключення з загальної площі площ всіх ослаблень, оскільки вони знижують міцність такого елемента пропорційно їхній величині. Стиснуті елементи, що не мають проміжних закріплень, вигідно приймати квадратного перерізу, однакової стійкості щодо обох осей їхніх перерізів.

**3. Елементи які працюють на згинання** — балки, дошки настилів, кроквяні ноги, лати — найбільш поширені елементи дерев'яних конструкцій. В таких елементах від навантажень, що діють поперек його подовжньої осі, виникають згинальні моменти  $M$  і поперечні сили  $Q$ . Наприклад, в середині прольоту однопрольотної шарнірно опертої балки від рівномірного навантаження  $q$  виникає згинальний момент  $M = ql^2/8$ , а від зосередженої в середині прольоту сили  $P$  згинальний момент  $M = Pl/4$ . Поперечні сили дорівнюють опорним реакціям від цих навантажень. Від дії моменту в перерізах елемента виникають напруження згину  $\sigma$ , що складаються зі стиску у верхній половині перерізу і розтягу в нижній.

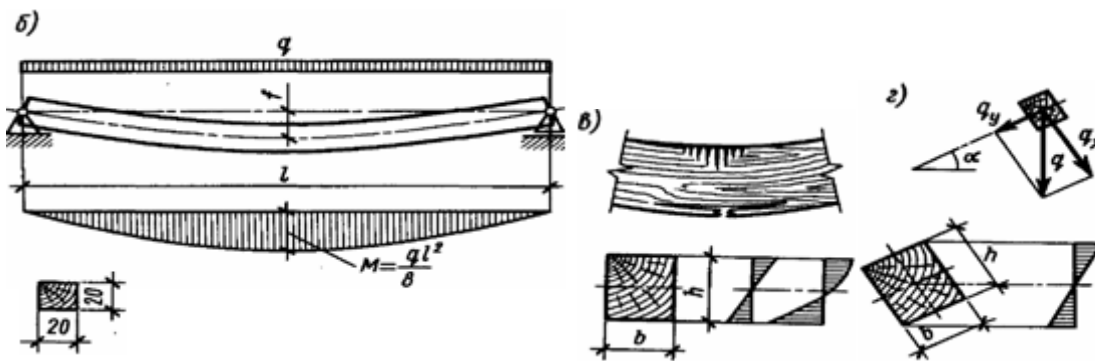


Рис. 5.4. Елементи які працюють на згинання: а — графік прогинів і зразок; б — схема роботи й епюри згинальних моментів; в — схема руйнування й епюри нормальних напружень; г — схема роботи при косому згині й епюра напружень.

Елементи, що згинаються, як і стиснуті, рекомендується виготовляти з деревини 2-го сорту з розрахунковими опорами  $R_{32} = 13$  МПа. У брусах з перерізами більшими 13 см  $R_{32} = 15$  МПа, а в колодах  $R_{32} = 16$  МПа.

Розрахунок елементів, що згинаються, по міцності поперечних перерізів проводиться на дію максимальних згинальних моментів  $M$  (МН\*м) від розрахункових навантажень:

$$\sigma = M/W \leq R_c. \quad (2.7)$$



де  $W$  — момент опору перерізу ( $\text{м}^3$ ).

У найбільш розповсюджених прямокутних перерізах із шириною  $b$  и висотою  $h$  -  $W = bh^2/6$ , а для круглих перерізів діаметром  $d$  -  $W = d^3/10$ .

Підбір перерізу елемента, що згинається, по міцності може проводитися також по формулі (2.7). Для цього можна задатися одним з розмірів прямокутного перерізу —  $b$  чи  $h$  і визначити інший, наприклад:

$$W_{\text{необ}} = M/R_{\text{зг}}; h_{\text{необ}} = \sqrt{6W_{\text{необ}}/b}; b_{\text{необ}} = 6W_{\text{необ}}/h^2;$$
$$d_{\text{необ}} = \sqrt[3]{10W_{\text{необ}}}.$$

Граничне розрахункове навантаження, що може витримувати елемент, що згинається, по міцності, коли всі його розміри відомі, може бути визначене також за допомогою формули (2.7), переписаної відносно згинаючого моменту  $M$ . Наприклад, однопрольотна шарнірно обперта балка прольотом  $l$  з розмірами перерізу шириною  $b$  и висотою  $h$  може витримувати рівномірне навантаження  $q$ , визначене в такому порядку:

$$W = bh^2/6; M = WR_{\text{зг}}; q = 8M/l^2.$$

Розрахунок елементів, що згинаються, на сколювання при згині проводиться на дію максимальних поперечних сил  $Q$  (МН) від розрахункових навантажень по формулі

$$\tau = QS/(Ib) \leq R_{\text{ск}}, \quad (2.8)$$

де  $S = bh^2/8$ ,  $\text{м}^3$  — статичний момент частини перерізу, що сколюється, відносно його нейтральної осі для прямокутного перерізу

$I = bh^3/12$ ,  $\text{м}^4$  — момент інерції всього перерізу;

$R_{\text{ск}} = -1,6$  Мпа - розрахунковий опір сколюванню.

Розрахунок елемента, що згинається, по прогинах полягає у визначенні його найбільшого відносного прогину  $f/l$  від нормативних навантажень і перевірці умови, щоб він не переверщував значення, що допускається нормами, що визначається умовою

$$f/l \leq [f/l]$$

Наприклад, перевірити відносний прогин однопрольотної шарнірно обпертої балки прямокутного перерізу  $b * h$ , прольотом  $l$  при рівномірному нормативному навантаженні  $q^n$  (МН/м) можна по формулі

$$f/l = (5/384) q^n l^3 / (EI) \leq [f/l], \quad (2.9)$$

де  $E = 10^4$  МПа - модуль пружності.

Якщо відносний прогин балки виходить більший, той переріз повинен бути збільшений і підібраний по прогину. Для цього формулу (2.9) варто переписати відносно необхідного моменту інерції:  $I_{необ} = 5/384 [EI(f/l)]$ . Після цього можна задатися одним розміром прямокутного перерізу і визначити інший, наприклад, з виразу  $h_{необ} = \sqrt[3]{12I/b}$ .

**4. Елементи, які працюють на косе згинання** — це лати і прогони похилих покриттів. Косий згин виникає в елементах, осі перерізів яких розташовані похило до напрямку дії навантажень (рис. 2.4, г).

Вертикальне навантаження, наприклад, рівномірне  $q$ , і згинальний момент від нього  $M$  при косому згині елемента прямокутного перерізу під кутом  $\alpha$  розкладається на нормальні і похилі складові уздовж осей перерізів:  $q_x = q \cos \alpha$ ;  $q_y = q \sin \alpha$ ;  $M_x = M \cos \alpha$ ;  $M_y = M \sin \alpha$ . Відносно цих же осей визначаються моменти опору  $W$  і момент інерції  $I$  перерізів. Перевірка міцності косозгинальних елементів виконується за формулою

$$\sigma = M_x W_x + M_y / W_y \leq R_{зг} \quad (2.10)$$

Підбір перерізів елементів може виконуватися методом спроб. При цьому їх варто установлювати великими розмірами прямокутного перерізу в напрямку дії більших складових діючих навантажень. Розрахунок елементів по прогинах виконується з врахуванням геометричної суми прогинів відносно кожної осі за формулою

$$f/l = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} / l \leq [f/l] \quad (2.11)$$

**5. Елементи, які працюють на стискання і згинання** — це верхні пояси ферм при наявності місцевого, позавузлового навантаження, колони каркасів при позацентровому стиску.

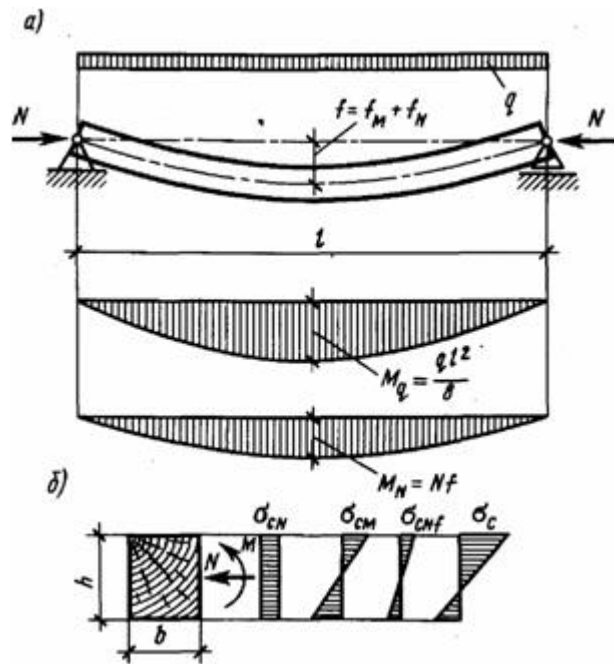


Рис. 5.5. Елементи, що працюють на стискання і згинання: а — схема роботи й епюри згинальних моментів; б — епюри нормальних напружень.

У перерізі таких елементів діють повздовжні стискаючі сили  $N$ , від яких виникають рівномірні напруження стиску і згинальний момент  $M$ , від якого виникають стискаючі і розтягуючі напруження, максимальні в крайніх волокнах і нульові на нейтральній осі прямокутного перерізу. Напруження стиску складаються, а напруження стиску і розтягу віднімаються (рис. 2.5). Максимальні стискаючі напруження виникають у крайніх волокнах перерізу в місці дії максимального згинального моменту.

Розрахунок елементів по нормальних напруженнях проводиться на дію максимальних повздовжніх стискаючих сил  $N$  і згинальних моментів  $M$  від розрахункових навантажень по формулі

$$\sigma = N/A + M_{\delta}/W = R_c, \quad (2.12)$$

де  $M_{\delta} = M_q/\zeta$  — це згинальний момент з врахуванням додаткового згинального моменту, що виникає в результаті прогину елемента  $f$  від зовнішнього поперечного навантаження. При цьому стискаючі подовжні сили  $N$  починають діяти з ексцентриситетом, рівним  $f$ , і виникає додатковий момент  $M_N = Nf$ . Цей додатковий момент і враховується коефіцієнтом  $\zeta$ , що залежить від повздовжньої сили  $N$ , гнучкості  $\lambda$ , розрахункового опору стиску  $R_c$ , площі перерізу  $A$  і визначається за формулою

??????

Перевірка на напруження сколювання проводиться з врахуванням коефіцієнта  $\zeta$  за формулою

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{b \cdot I \cdot \xi} \leq R_{ск} \quad (2.13)$$

Жорсткість елементів перевіряють за формулою

$$f = f_0 / \xi \quad (2.14)$$

де  $f_0$  — прогин від поперечного навантаження.

Елемент, який працює на стискання і згинання повинний бути також перевірений на міцність і стійкість тільки при стиску повздовжньою силою із площини згинання по формулі (2.5). Перевірки стійкості плоскої форми деформування суцільних елементів, як правило, не потрібно.

**6. Елементами, які працюють одночасно на розтягання і згинання** є нижні пояси ферм, у яких крім розтягу діє ще і згин від міжвузлового навантаження від ваги підвісного перекриття, елементи, розтягуючі сили в яких діють з ексцентриситетом відносно їхніх осей. Схема роботи, епюри згинальних моментів і напружень у перерізах таких елементів показані на рис. 2.6.

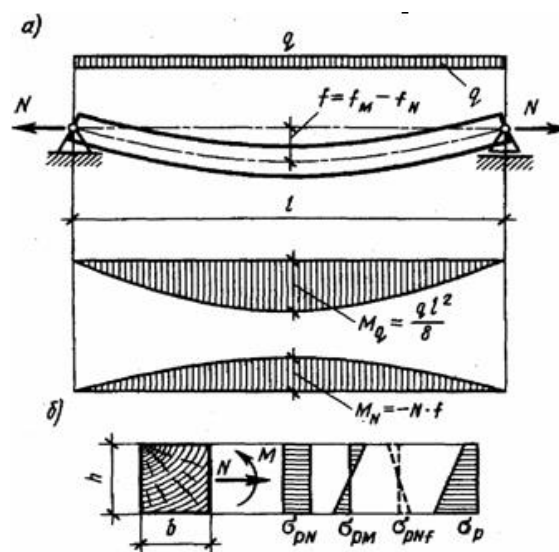


Рис. 5.6. Елементи, які працюють на розтягання та стискання: а — схема роботи й епюри згинальних моментів; б — епюри нормальних напружень.

Міцність елементів перевіряють на дію повздовжніх розтягуючих сил  $N$  і згинальних моментів  $M$  від діючих розрахункових навантажень по формулі

$$\sigma = N A_{хтт} + (M / W_{хтт}) R_p / R_{зз} \leq R_p. \quad (2.15)$$

Підбір перерізів розтягнуто-згинальних елементів, можна робити методом спроб, оскільки використовувати для цього формулу 2.15 неможливо. Додаткове рівномірне навантаження, що може витримувати розтягнутий елемент, розтягуючі напруження в перерізах якого значно менші розрахункових.

## 6. З'єднання елементів дерев'яних конструкцій

### 6.1. Загальна характеристика з'єднань

З'єднання є найбільш відповідальними частинами дерев'яних конструкцій. Для виготовлення більшості будівельних конструкцій дерев'яні елементи повинні бути міцно і надійно з'єднані між собою. З'єднання елементів по довжині називають *зрощуванням*, по ширині і висоті — *сколюванням*, під кутом і прикріплення до опор — *вузлові і анкеруванням*.

При виготовленні багатьох з'єднань в елементах конструкцій робляться отвори та врізи, що послаблюють їхні перерізи і підвищують деформативність. Руйнування дерев'яних конструкцій у більшості випадків починаються в з'єднаннях. Таким чином, від правильного конструювання, розрахунку і виготовлення з'єднань залежать міцність і деформативність конструкцій у цілому. Анізотропія будівлі, мала міцність деревини при сколюванні, розтяганні поперек волокон і зминанні є причиною різноманіття типів з'єднань дерев'яних конструкцій.

По характеру роботи всі основні з'єднання дерев'яних конструкцій можуть бути розділені на наступні групи:

- а) без спеціальних зв'язків, що не вимагають розрахунку – контактні з'єднання;
- б) з металевими зв'язками, що працюють на згин або розтяг — болтами, стержнями, цвяхами, гвинтами, хомутами і пластинками;
- в) зі зв'язками, що працюють на сколювання — клейовими швами;
- г) з дерев'яними зв'язками, що працюють на стиск — шпонками і колодками;

Клейові з'єднання, найбільш прогресивні і технологічні, є основними з'єднаннями при заводському виготовленні клеєдерев'яних конструкцій. З'єднання, що не вимагають спеціальних зв'язків і металеві можуть застосовуватися при виготовленні дерев'яних конструкцій у будь-яких умовах як на спеціальних заводах, так і в умовах будівельних майданчиків. З'єднання з дерев'яними зв'язками вимагають значних витрат ручної праці, тому вони застосовуються рідко.

По характеру роботи з'єднання дерев'яних конструкцій поділяються також на піддатливі і жорсткі. *Піддатливі* з'єднання виготовляються без застосування клеїв. Деформації в них виникають у результаті нещільності, що утворюється при виготовленні, від усушки і зминання деревини, особливо поперек волокон і від згину зв'язків. Величина цих деформацій при тривалій дії навантажень у з'єднаннях, де деревина працює поперек волокон, приймається рівною 3 мм, в інших випадках — 1,5...2 мм. Вони враховуються при визначенні прогинів конструкцій. *Жорсткі* клейові з'єднання такої піддатливості не мають.

У більшості з'єднань дерев'яних конструкцій, крім клейових, у результаті дії стискаючих сил, наприклад при постановці болтів, виникають між елементами сили тертя, що збільшують зусилля в зв'язках. Однак ці сили в результаті знакозмінності зусиль, усушки деревини й послаблення початкових натягів болтів можуть знизитися до нуля і тому розрахунком не враховуються. Вони враховуються тільки при короткочасній дії сил з коефіцієнтами тертя площини по площині 0,2 і торця по площині 0,3 і коли вони викликають додаткові напруги з коефіцієнтом тертя 0,6.

## 6.2. Контактні з'єднання

*Конструктивні врубки* (рис. 3.1) є з'єднаннями, у яких виникають зусилля, набагато менші їхньої несучої здатності, і вони не мають потребу в розрахунку. У дерев'яних конструкціях найбільше застосування знаходять конструктивні з'єднання у чверть, у шпунт, у півдерева і косий прируб.

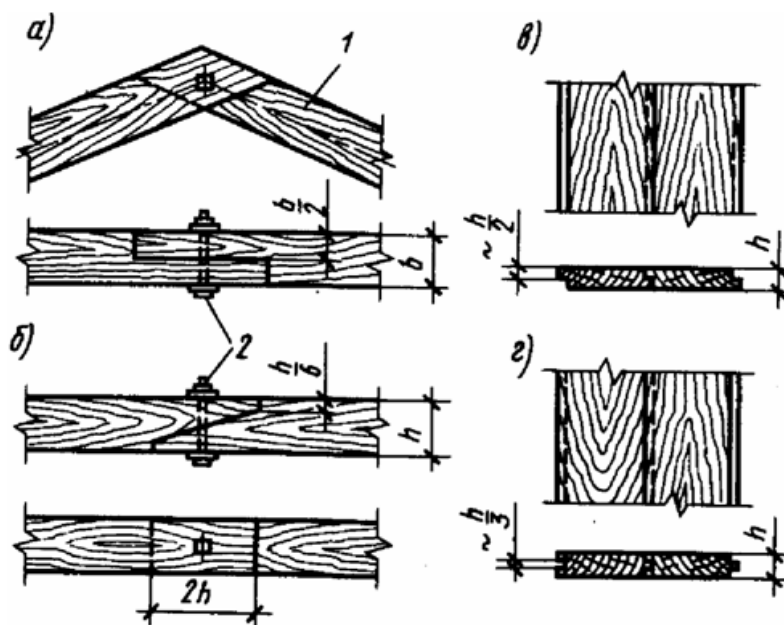


Рис. 6.1. Конструктивні рубки: а — рубка в півдерева; б — косий прируб; в — з'єднання у чверть; г — з'єднання в шпунт

*Лобові упори* (рис. 3.2) є найбільш простими і надійними з'єднаннями і застосовуються в більшості видів дерев'яних конструкцій для кріплення стиснутих елементів. Вони працюють і розраховуються на зминання, що виникає в них від дії повздовжніх стискальних зусиль. На розтягання вони працювати не можуть.

Повздовжній лобовий упор — це з'єднання обрізаного під прямим кутом стиснутого стержня з опорою чи з діафрагмою опорного башмака чи з таким же стержнем у стиснутому стику. У стику лобовий упор скріплюється двосторонніми конструктивними дерев'яними накладками товщиною не менш третини товщини стержнів і довжиною не менше трьох висот перерізу і стягається

конструктивними болтами. У повздовжньому лобовому упорі деревина працює на зминання вздовж волокон і має найбільш високий розрахунковий опір зминанню, рівний розрахунковому опору стиску  $R_c$ . У більшості випадків напруги зминання в повздовжніх лобових упорах досягають значної величини і вимагають перевірки міцності у тих випадках, коли на зминання працює тільки частина площі торця елемента.

Поперечний лобовий упор — це з'єднання двох стержнів під прямим кутом, коли торець стиснутого елемента впирається в площину іншого і закріплюється непрацюючими зв'язками. Так, наприклад, з'єднуються стійки з верхніми і нижніми горизонтальними елементами каркаса. В такому з'єднанні деревина торця стійки працює на зминання вздовж волокон, а деревина площини горизонтального елемента — поперек волокон. Це з'єднання розраховується тільки по меншій міцності деревини поперек волокон.

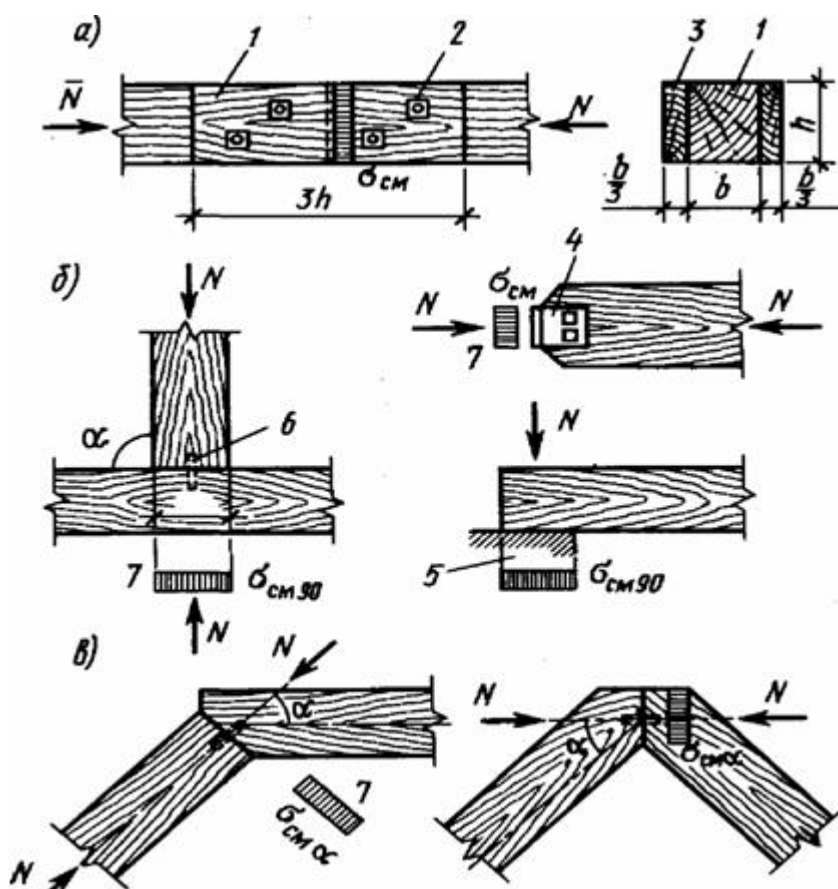


Рис. 6.2. Лобові упори: а-повздовжній вздовж волокон деревини; б — поперечний поперек волокон; в — похилий під кутом до волокон;

1 — елементи; 2 — стяжні болти; 3 — накладки; 4-металеві кріплення; 5-опора; 6-штир; 7— епюри напруг зминання;  $\alpha$  — кут зминання

Похилий лобовий упор являє собою з'єднання кінців двох стиснутих елементів, осі яких розташовані під кутом  $\alpha$  один до одного. При цьому торець одного елемента може бути перпендикулярним його осі чи торці обох елементів нахилені до їх осей (рис. 3.2, в). Так, наприклад, з'єднуються стержні кровів і

підкісних рам. У цих з'єднаннях необхідно перевіряти міцність деревини при зминанні торців тільки розташованих під кутом до осей елементів.

### 6.3. З'єднання з металевими зв'язками

Це з'єднання дерев'яних елементів, у яких діючі в них зусилля передаються за допомогою сталевих болтів, стержнів, цвяхів, гвинтів, хомутів, зубчастих пластинок і інших виробів. Найбільш розповсюдженими металевими зв'язками є болти і цвяхи.

*Болти* - це стандартні вироби з сталі марки С38/23, які для з'єднань дерев'яних елементів виготовляються без точної обробки і називаються *чорними*. Вони відрізняються великою довжиною, що відповідає значним розмірам перерізів дерев'яних елементів, і мають товсті квадратні шайби, необхідні для розподілу зусилля в болті на достатню площу деревини, що працює на зминання.

Для встановлення болтів в елементах, що з'єднуються, просверлюють отвори такого ж діаметру, що і болти. Для надійного співпадання отворів при зборці конструкцій свердлили отвори рекомендується одним проходом свердла через елементи, що з'єднуються, або в окремих елементах по шаблонах. Болтові з'єднання бувають зі стяжними, розтягнутими і болтами, що згинаються.

*З'єднання зі стяжними болтами* служать для щільного поперечного з'єднання окремих елементів і у вузлах конструкцій. У них можуть виникати лише незначні зусилля, тому їхній розрахунок не потрібен. Перерізи стяжних болтів встановлюються конструктивно. Діаметр стяжних болтів встановлюються конструктивно і повинні бути не менший 12 мм або  $\frac{1}{20}$  загальної товщини елементів, що з'єднуються. Шайби стяжних болтів допускаються не меншими 3,5 їхнього діаметра і товщиною до 0,25 діаметра. В початковий період експлуатації конструкцій у результаті висихання деревини їхній натяг нерідко слабшає і їх необхідно підтягувати.

*З'єднання з розтягнутими болтами* застосовуються при анкерному кріпленні дерев'яних конструкцій до опор, при підвішуванні до конструкцій перекриттів і устаткування, у вузлових з'єднаннях. Вони працюють і розраховуються на діючі в з'єднаннях розтягуючі сили від розрахункових навантажень по площі перерізу ослабленою нарізкою (рис. 3.3):

$$\sigma = N(0,8A) \leq R \quad (3.1)$$

де  $R$  — розрахунковий опір сталі,  $R = 235$  МПа; 0,8 — коефіцієнт, що враховує концентрацію напруг у зоні нарізки.



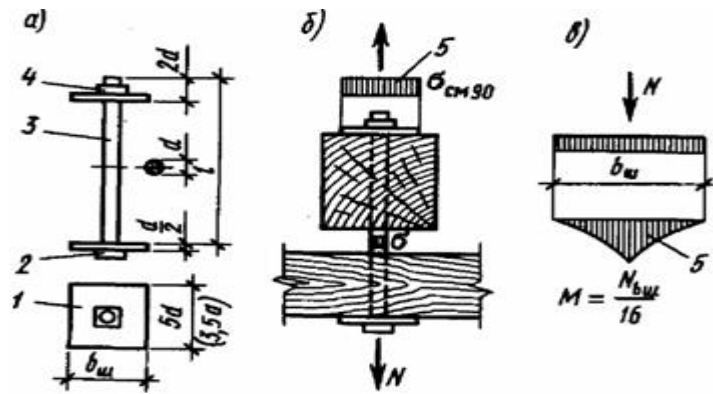


Рис. 6.3. З'єднання на розтягнутих болтах: а — болт; б — схема роботи болта і деревини; г — схема роботи шайби; 1 — шайба; 2 — головка; 3 — стержень; 4 — гайка; 5 — епюри напруг

По цій же формулі, переписаної щодо необхідної площі перерізу болта, за допомогою табличних даних можна підібрати переріз болта.

Деревина під шайбами болта повинна бути перевірена на міцність при місцевому зминанні по формулі (2.15). По цій же формулі можна підібрати розміри сторін шайби:  $A_n = N / (R_{зм90} \cdot 0,8)$ . Розрахунковий опір деревини місцевому зминанню під шайбами, з огляду на підтримуючу дію деревини, що оточує шайбу, приймається  $R_{зм90} = 4$  МПа. Шайби розтягнутих болтів працюють і розраховуються на згин від реактивного тиску деревини, що зминається, як квадратні пластинки шириною  $b$ , обперті в центрі на гайки болтів. При цьому найбільший згинальний момент  $M$  в середньому перерізі шайби, ослабленому отвором діаметром  $d$  і необхідну товщину шайби  $\delta_n$  можна приблизно визначити з виразу:  $M = Nb/16$ ;  $W_n = M/R$ ;

$$\delta_n = \sqrt{6W / R}$$

Аналогічно розраховуються тяжі наскрізних конструкцій круглого перерізу із шайбами і гайками на кінцях, що працюють на розтяг. Їхня максимальна гнучкість не повинна перевищувати 400. Якщо в з'єднанні застосовано декілька тяжів, розрахунковий опір сталі знижується з урахуванням коефіцієнта 0,85. При цьому враховується можлива нерівномірність розподілу зусилля між ними.

**1. З'єднання з болтами, що згинаються**, відносяться до класу так званих **нагельних** (рис. 3.4), у яких зв'язки (у даному випадку болти) працюють, головним чином, на згин і в незначній мірі на зріз. Ці з'єднання широко застосовуються в стиках і вузлах дерев'яних конструкцій, перешкоджаючи взаємним зсувам елементів, що з'єднуються, причому зусилля в них можуть бути знакозмінні, які стискають і розтягують. Шайби цих болтів не сприймають розрахункових зусиль і можуть мати такі ж розміри, як і в стяжних болтів. Від дії повздовжніх сил у такому з'єднанні по площі контакту болта зі стінками отвору в

деревині виникають нерівномірні по периметру і по довжині напруження зминання, а також розтягання поперек волокон між отворами. У результаті реактивного тиску деревини в болті виникають зусилля згину і зрізу.

Розміщення болтів у з'єднанні буває пряме, шахове і виконується за правилами, що виключає небезпеку передчасного руйнування деревини від сколювання і розтягання поперек волокон. Відстані між осями болтів вздовж волокон деревини і до торців елемента повинні бути не менше  $7d$ , а поперек волокон між осями — не більш  $3,5d$  і до країв —  $3d$ .

Болтові з'єднання можуть бути симетричними, коли повздовжні сили діють вздовж осі симетрії з'єднання, і несиметричними, коли осі сил не збігаються з осями елементів. Елементи, що з'єднуються, можуть розташовуватися на одній осі вздовж волокон деревини чи під кутом один до одного. Швами, чи зрізами, у болтових з'єднаннях називаються площини зсуву між елементами, від числа яких прямо залежить несуча здатність з'єднання. Однак напруги зрізу в перерізах болтів незначні і не визначають їхньої несучої здатності. Найбільш розповсюджений болтовий стик розтягнутих елементів із двосторонніми дерев'яними накладками є симетричним двозрізним з'єднанням, а такий же стик з однобічною накладкою — несиметричним однозрізним з'єднанням (див. [рис. 3.4](#))

Розрахунок з'єднання на болтах, що згинаються, проводиться на дію повздовжніх сил  $N$  від розрахункових навантажень:

$$n_n = N/Tn_{ш} \quad (3.2)$$

де  $n_n$  — необхідне число болтів на половині з'єднання;  $n_{ш}$  — число зрізів (швів);  $T$  (кН) — найменша несуча здатність болта в одному шві, що визначається з урахуванням діаметра болта  $d$  (см), товщини середнього елемента  $c$  (см), товщини крайніх елементів  $a$  (см), симетричності і кута нахилу між елементами, коефіцієнтом  $K_\alpha$  з наступних виразів по міцності:

$$T_{зз} = (1,8d^2 + 0,02a^2) \sqrt{K_\alpha}, \text{ кН} - \text{при згинанні болта для дерев'яних накладок};$$

$$T_{зз} = 2,5a^2 \sqrt{K_\alpha}, \text{ кН} - \text{при згинанні болта для сталевих накладок};$$

$$T_{зм} = 0,5cdK_\alpha, \text{ кН} - \text{при зминанні середнього елемента};$$

$$T_{зм} = 0,8adK_\alpha, \text{ кН} - \text{при зминанні крайнього і більш тонкого однозрізного елемента};$$

$$T_{зм} = 0,3adK_\alpha, \text{ кН} - \text{при зминанні крайнього і більш товстого однозрізного елемента}.$$

Коефіцієнт  $K_\alpha$  враховує меншу несучу здатність болтового з'єднання на болтах, що згинаються, під кутом у результаті меншої міцності і більшої піддатливості

деревини при зминанні під кутом до волокон. Вони залежать від величини кута  $\alpha$ , діаметра болта  $d$  і приймаються по нормах. Наприклад, при куті між елементами  $\alpha = 90^\circ$  для болтів діаметрами  $d = 12, 16$  і  $20$  мм відповідно  $K_\alpha = 0,7, 0,6$  і  $0,55$ .

Болтові з'єднання зі металевими накладками застосовуються у вузлах конструкцій. Накладки робляться звичайно двосторонніми з листової чи кутової сталі. Відстань від осей болтів до країв накладок повинна бути не менше двох діаметрів болтів вздовж і півтора — поперек напрямку дії сил. При сталевих накладках болти працюють на згин краще через їхнє часткове зацімлення в отворах накладок.

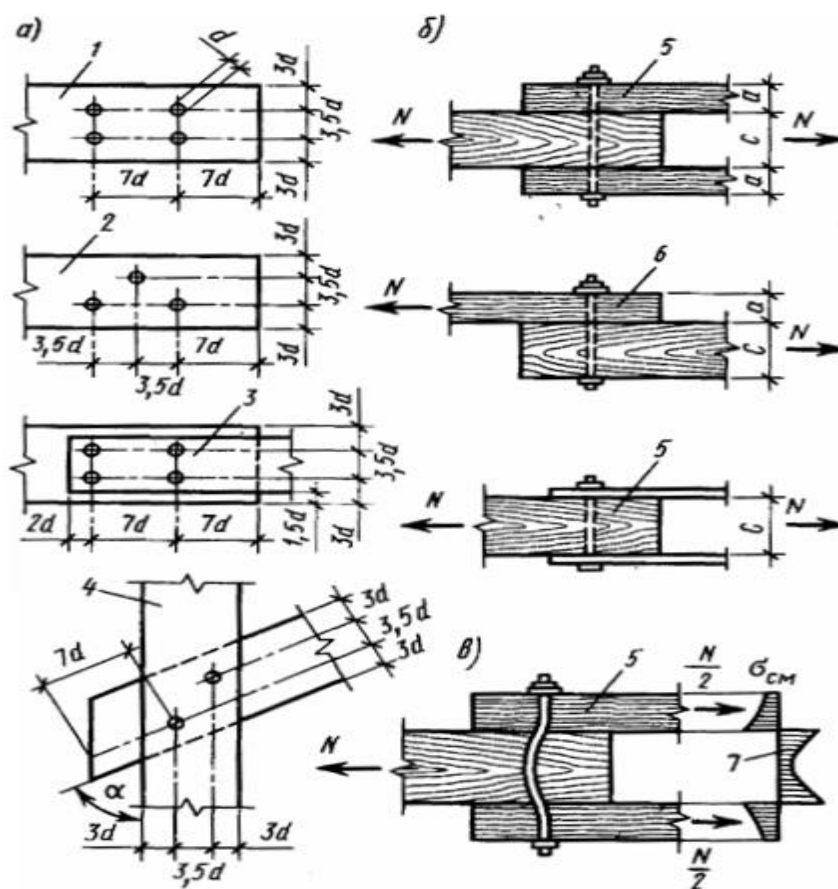


Рис. 6.4. З'єднання на болтах, що згинаються: а — схеми розміщення; б — розрахункові схеми; в — схема роботи; 1 — пряме розміщення; 2 — шахове; 3 — при металевих накладках; 4 — в з'єднаннях під кутом; 5-симетричне; 6 — несиметричне; 7 — епюра напруг зминання деревини

**2. З'єднання цвяхами** прості, але трудомісткі і застосовуються в основному при невеликому обсязі виготовлених конструкцій. Вістря цвяха має чотиригранну форму і довжину, рівну півтора діаметра. Головка має діаметр, рівний двом діаметрам цвяха. Найбільше застосування в дерев'яних конструкціях знаходять цвяхи діаметром 3, 4, 5 і 6 мм і довжиною відповідно 80, 100, 150 і 200 мм.

Правила розміщення цвяхів у з'єднаннях виключають небезпеку розколювання деревини елементів, що з'єднуються, і тому діаметр цвяхів повинний бути не більший чверті товщини елементів. Відстань між осями цвяхів діаметром  $d$  вздовж волокон деревини елементів, що з'єднуються, повинне бути не меншою: від торців  $-15d$ ; між осями в елементах товщиною більшою  $10d - 15d$ ; між осями в елементах товщиною  $4d - 25d$ ; в елементах проміжної товщини ця відстань приймається по інтерполяції. Відстань між осями цвяхів поперек волокон і до країв елементів повинна бути при прямому розміщенні не меншою  $4d$ , при шаховій і косому розміщенні не меншою  $3d$  (рис. 3.5).

З'єднання з цвяхами, які працюють на висмикування, (рис. 3.6) відносять до класу з'єднань з розтягнутими зв'язками. Вони застосовуються для кріплення дощок підшивок стель, щитів перекриттів і опалубки залізобетону. Від дії навантажень у них виникають сили  $N$ , що висмикують цвяхи з деревини елемента, до якого прибиті дошки. Це зусилля сприймають сили тертя між поверхнею цвяхів і навколишньою деревиною.

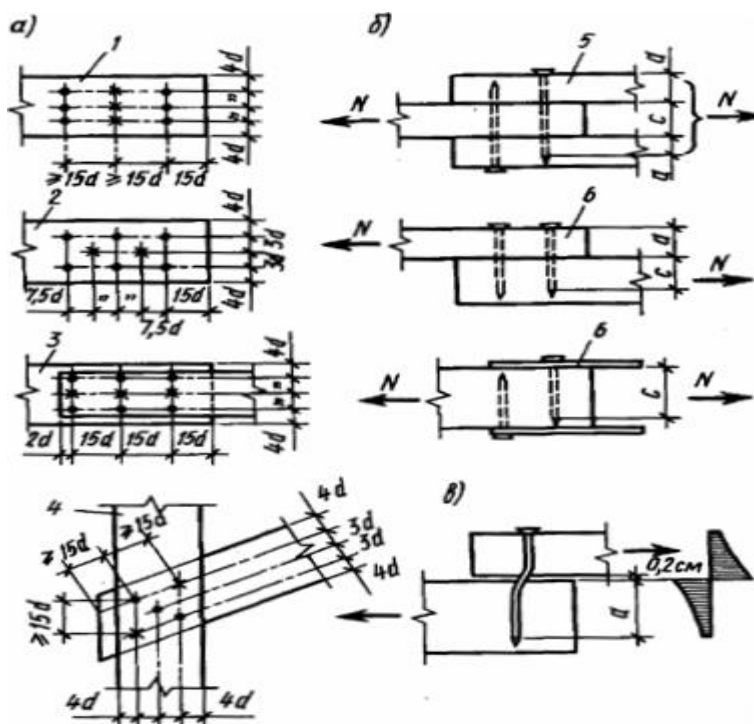


Рис. 6.5. З'єднання на цвяхах, що згинаються: а — схеми розміщення; б — розрахункові схеми; в — схема роботи епюри напруг змінання деревини; 1,2 — пряме і шахове розміщення; 3-в сталевих накладках; 4 — у з'єднаннях під кутом; 5 — симетричне двозрізне; б — несиметричне однозрізе

Розрахунок цвяха на висмикування проводиться на дію сили, що розтягує, від розрахункових навантажень по формулі

$$T_{e,u} = R_{e,u} \cdot \pi d l_1, \quad (3.3)$$

де  $T_{e,u}$  — несуча здатність цвяха при висмикуванні, НМ;

$R_{в.ц} = 0,3$  МПа — розрахунковий опір сухої деревини висмикуванню з неї цвяха поперек волокон,  $R_{в.ц} = 0,1$  МПа— при сирій деревині;

$d$  — діаметр цвяха, м;

$l_1$  — розрахункова довжина цвяха, яка дорівнює його загальній довжині  $l$  з якої виключена товщина дощок, що прибиваються  $\delta$ (м), довжина вістря  $1,5d$  (м), і ширина можливої щілини 0,2 см між елементами, що з'єднуються, (м).

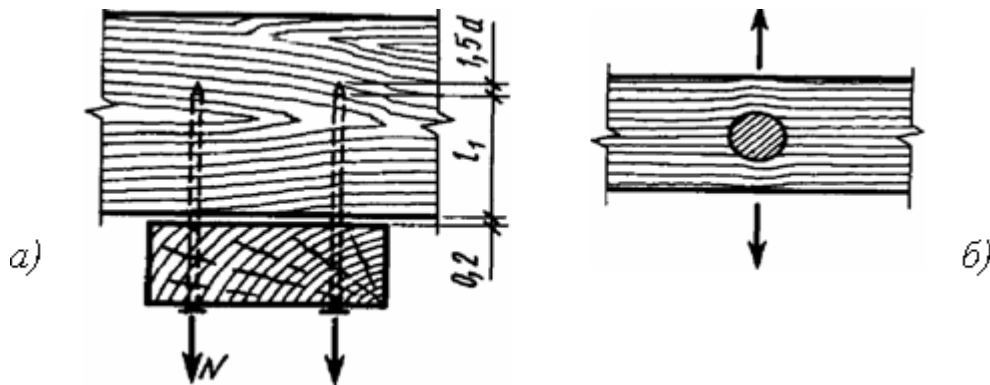


Рис. 6.6. З'єднання на цвяхах, що висмикуються: а-схема роботи напруг тертя; б-деформація деревини

Необхідна кількість цвяхів, що висмикуються  $n_n$  необхідних для сприймання розтягуючої сили  $N$  (МН) від розрахункових навантажень, визначається з виразу  $n_n = N/T_{в.ц}$ . Розміри цвяхів, що висмикуються, підбираються з умов, щоб розрахункова довжина цвяха була не меншою  $10d$  і не меншою подвійної товщини дощок, що прибиваються -  $2\delta$ .

З'єднання з цвяхами, що згинаються, через малий діаметр і щільне зацімлення в деревині несуча здатність цвяха не залежить від кута дії зусиль відносно напрямку волокон деревини елементів, що з'єднуються. Якщо цвях пробиває всі елементи наскрізь, то розрахункова довжина його зменшується на  $1,5d$  см, що враховує небезпеку відколювання крайніх волокон при виході вістря. Якщо цвях не пробиває з'єднання наскрізь, то враховується тільки глибина його зацімлення  $l_1$  в останньому елементі, знайдена так само, як і  $l_1$  у цвяхів, що висмикуються, з умови, що вона не менша  $4d$ . Несуча здатність цвяха в одному зрізі по міцності при згині визначається з виразу  $T_z = 2,5d^2 + 0,01 a^2$  кН, але не більшою  $4d^2$ . Несуча здатність одного зрізу цвяха по міцності деревини при зминанні с середнього іа крайніх елементів визначається по тим же виразах, що і при розрахунку з'єднань на болтах, що згинаються. Несуча здатність цвяха в одному зрізі  $T$  є найменшої з обчислених.

З'єднання з цвяхами, що згинаються, і сталевими накладками застосовуються у вузлах деяких конструкцій. Цвяхи при цьому забиваються через отвори, просвердлені в сталевих накладках. Це з'єднання відносно роботи цвяхів є несиметричним і однозрізним. Несуча здатність цвяха в одному зрізі визначається

з відповідного виразу для болтових з'єднань з урахуванням глибини його зацімлення в деревині  $a$ , а по його вигині — з врахуванням його часткового зацімлення в отворі накладки з виразу  $T_3 = 4d^2$ .

**3. Гвинтові з'єднання** (рис. 3.7, а). Гвинти - це стандартизовані сталеві вироби і складаються з головки, гладкої і нарізаної частин. Їхній діаметр  $d$  вимірюється по гладкій частині. Гвинти діаметром менше 12 мм називаються *шурупами*. Вони мають сферичні чи плоскі голівки з прорізами для закручування їх у деревину викрутками. Гвинти діаметром 12 мм і більш називаються *глухарями*. Вони мають квадратні чи шестигранні голівки і вкручуються в деревину ключами.

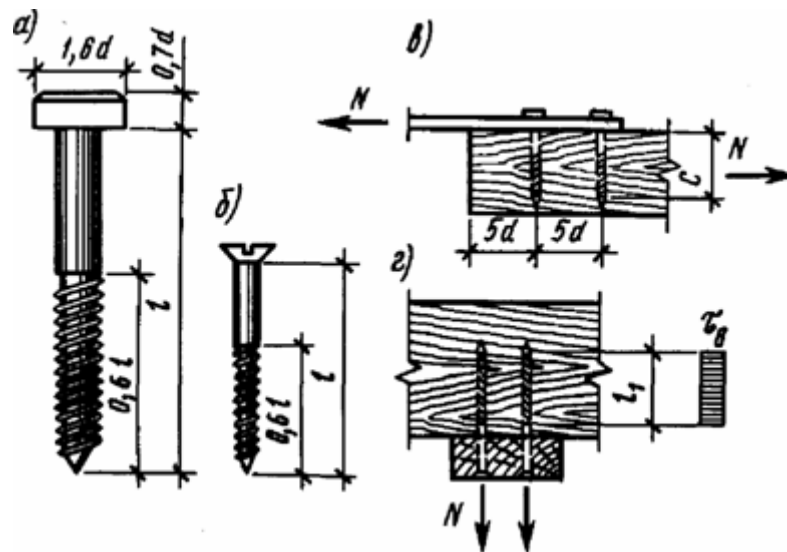


Рис. 6.7. З'єднання на гвинтах: а—глухар; б—шуруп; в—схема роботи гвинтів на вигин; г — те ж, на висмикування.

Вздовж волокон відстані між осями гвинтів повинні бути не меншою десяти їхніх діаметрів —  $10d$ , поперек волокон — не меншою  $5d$ . Глибина зацімлення гладкої частини гвинта повинна бути не меншою  $4d$ .

Розрахунковий опір висмикуванню гвинтів вище, ніж цвяхів, і складає  $R_{св.в} = 1$  МПа. Несуча здатність гвинтів при висмикуванні визначається по формулі (3.3). При цьому  $l_1$  – довжина нарізаної частини гвинта.

З'єднання з гвинтами, що згинаються, відносяться до класу з'єднань зі зв'язками, що згинаються. Несуча здатність гвинта визначається, як і болта, що згинається, при сталевій накладці.

#### 6.4. Клейові з'єднання

Це найбільш прогресивні види з'єднань при заводському виготовленні клеєних дерев'яних конструкцій. Їхньою основою є конструкційні синтетичні клеї. Ці з'єднання мають ряд важливих переваг. Склеювання дає можливість з дощок обмежених розмірами перерізів і довжин виготовляти дощатоклеєні елементи

несучих конструкцій практично будь-яких розмірів і форм. Вони можуть бути прямими і вигнутими, постійного, перемінного і профільного перерізів, висотою, вимірюваної метрами, а довжиною — десятками метрів.

Клейові з'єднання є не менш міцними, чим реальна деревина, монолітними і мають настільки малу піддатливість, що її можна не враховувати при розрахунках і вважати дощатоклеєні елементи як суцільні. Клейові з'єднання є водостійкими. Вони не піддаються загниванню і стійки проти впливу ряду хімічно агресивних середовищ, що забезпечує довговічність клеєдерев'яних елементів. Ці з'єднання технологічні і їхнє виготовлення без особливих труднощів механізується й автоматизується, вимагаючи обмежених трудозатрат. При склеюванні можна використовувати деревину маломірну і зниженої якості шляхом видалення значних вад наступним стикуванням. Клеєні з'єднання безметальні, що важливо для конструкцій, експлуатованих у приміщеннях з хімічно агресивними середовищами.

Клейові з'єднання по їхньому розташуванню й особливостям роботи можуть бути поперечні, повздовжні і кутові (рис. 3.8). З'єднання дощок по пластях -поперечне - застосовується для виготовлення клеєдерев'яних елементів необхідної висоти перерізу. З'єднання застосовується при виготовленні клеєдерев'яних елементів із шириною перерізів, більшою, ніж ширина окремих дощок.

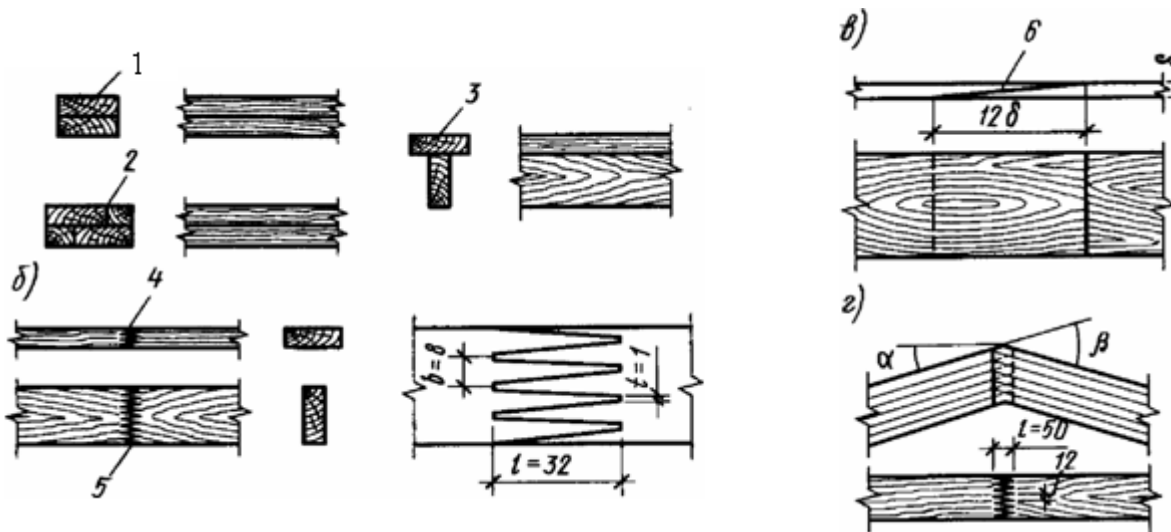


Рис. 6.8. Клейові з'єднання: а — поперечні стики; б — повздовжні стики; в — кутовий стик; 1 — стики по площинам; 2 — по краях; 3 — по площині і краю; 4 — зубчастий шип; 5 — вусовий стик фанери; 6 — кутовий зубчастий шип

Зубчастий шип -це клейове з'єднання кінців дощок по зубчастій поверхні у вигляді ряду гострих клинів, що виходять на пласті або ребра дощок. Зубчастий шип характеризується трьома параметрами — довжиною зубів  $l$ , шириною їхньої основи і шириною вершини — затупленням  $b$ . Довжина зубів звичайно не перевищує товщини дощок, а інші параметри забезпечують необхідний ухил зубів відносно осі дощок не більш 1:8 і затуплення не більш 1 мм.

Кутовий зубчастий шип має ту ж форму, що і прямий, і застосовується, головним чином, при виготовленні ломаноклеєних напіврам. Елементи цих рам розташовуються під кутом більшим  $120^\circ$ . Такий зубчастий шип працює на стиск із вигином як суцільний дерев'яний похилий переріз

Розрахунок клейових з'єднань, через те, що вони мають міцність вище міцності деревини 1-го сорту, не потрібен.

**З'єднання на вклеєних сталевих стержнях** є клейові з'єднання клеєдерев'яних елементів за допомогою коротких стержнів з арматури періодичного профілю класів А-II і А-III діаметром 12...25 мм. Вони вклеюються в прямокутні пази з накладками чи в круглі отвори клеєм (наприклад, епоксидно-цементним), що забезпечує надійне з'єднання деревини зі сталлю (рис. 3.9).

Глибина вклеювання  $l$  повинна бути не менш 10 і не більш 30 діаметрів  $d$  стержня, ширина паза чи діаметр отвору виконується на 5 мм більше діаметра стержня. Відстань між осями стержнів приймається не менш  $3d$ , а до країв перерізу — не менш  $2d$ . Вклеєні стержні застосовуються для повздовжнього і кутового з'єднань клеєдерев'яних елементів, що працюють на повздовжні сили чи згинальні моменти. Вони сприймають повздовжні розтягуючі сили  $N$  (висмикування) чи стискаючі (вдавлення). Сховані в товщі деревини сталеві стержні захищені від хімічно агресивного середовища і швидкого нагрівання при пожежі, що підвищує стійкість з'єднання проти корозії і межу вогнестійкості.

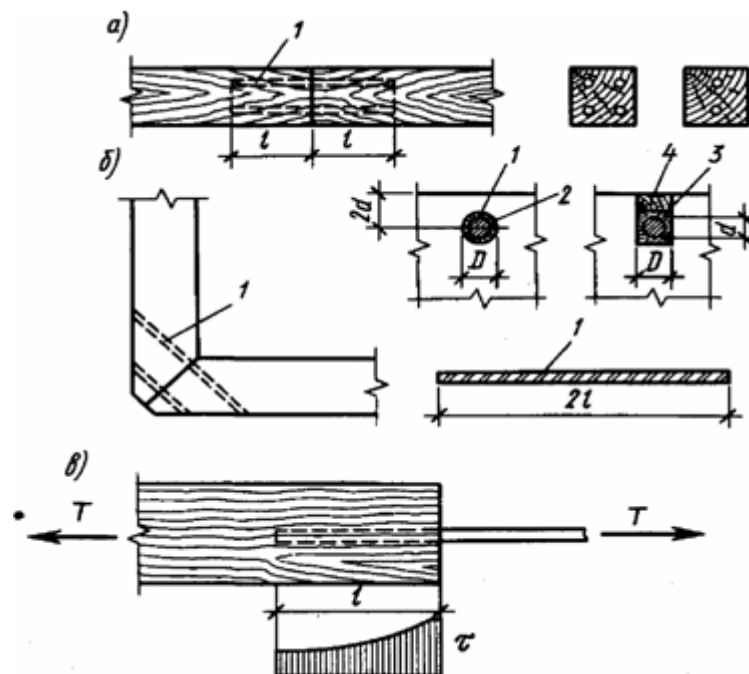


Рис. 6.9. З'єднання на вклеєних стержнях: а — повздовжньо вклеєні; б — похило вклеєні; в — схема роботи; 1-арматурний стержень; 2-отвір; 3 — паз; 4 — рейка



Розрахункова несуча здатність повздовжньо вклеєного стержня  $T$  (МН) при висмикуванні чи вдавненні визначається по формулі

$$T = \pi l (d + 0,005) R_{ск} K_{ск} \quad (3.4)$$

де  $l$  — глибина вклеювання, м;

$d$  — діаметр стержня, м;

$R_{ск} = 2,1$  Мпа — розрахунковий максимальний опір деревини місцевому сколюванню вздовж волокон в з'єднаннях;

$K_{ск}$  — коефіцієнт, що враховує нерівномірності розподілу напруг сколювання по довжині вклеювання;  $K_{ск} = (1,2 - 0,02) l/d$ .

Необхідне число повздовжньо вклеєних стержнів у з'єднанні, на якому діють розтягуючі чи стискаючі сили  $N$  від розрахункових навантажень, визначаються по формулі

$$n_x = N/T. \quad (3.5)$$

Самі сталеві вклеєні стержні працюють у цьому з'єднанні на розтяг звичайно з великими запасами міцності.

З'єднання на поперечно вклеєних стержнях працюють аналогічно на зсув і зминання поперек волокон деревини біля поверхні отвору. Працюють вони спочатку пружно, потім пластично і руйнуються після великих деформацій, як при місцевому зминанні деревини. Несуча здатність такого з'єднання вище, ніж повздовжнього і коефіцієнт нерівномірності напруг теж вище. Розрахункова несуча здатність такого з'єднання може визначатися по формулі (3.4). Для визначення несучої здатності таких стержнів  $T$  (МН) можна рекомендувати більш точну емпіричну формулу

$$T = \pi l (d + 0,005) R_{зм90} K_{зм}, \quad (3.6)$$

де  $R_{зм90} = 3$  Мпа — розрахунковий опір поперечному місцевому зминанню у вузлових з'єднаннях конструкцій;

$K_{зм} = (1 - 0,025) l/d$  — коефіцієнт нерівномірності напруг зминання.

З'єднання на поперечно вклеєних сталевих стержнях з великим ефектом застосовуються в опорних і проміжних вузлах конструкцій. При цьому виключається робота деревини елемента на зминання поперек волокон і розміри з'єднань істотно зменшуються.