

БУДОВА ДЕРЕВИНИ

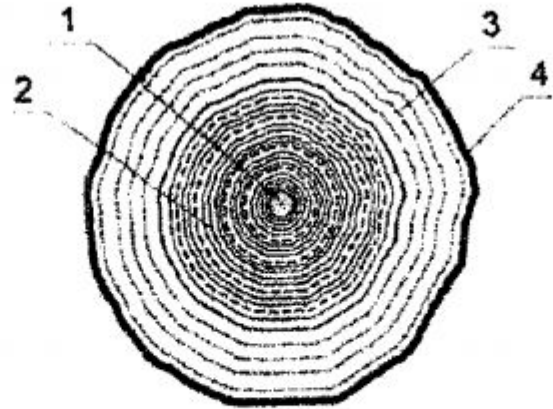


Рис. 1.1. Будова деревини

1 – серцевина; 2 – ядро; 3 – заболонь; 4 – камбій, луб, кора

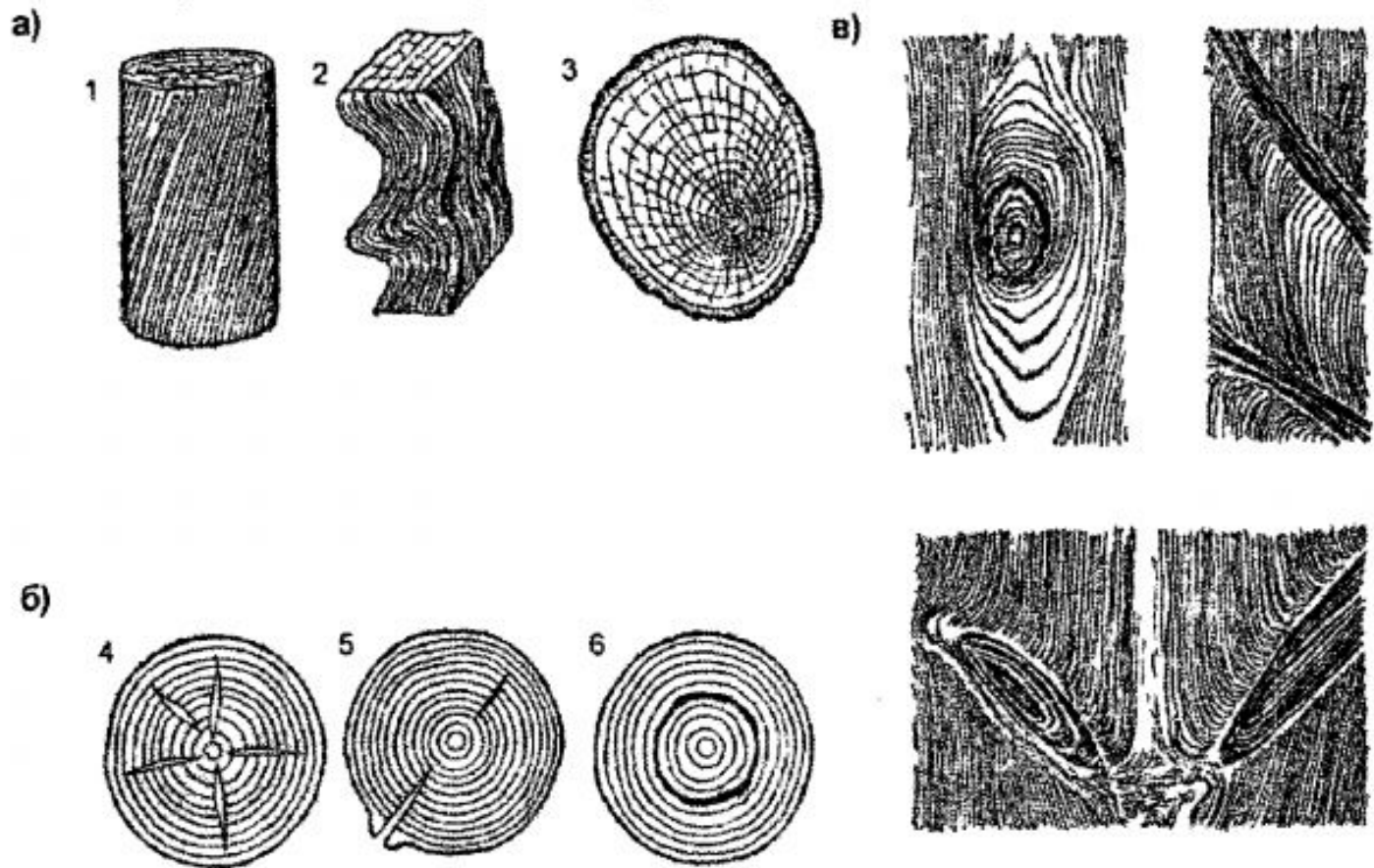


Рис. 1.2. Природні вади деревини

а) – неправильна будова деревини; б) – тріщини; в) – сучки; 1 – нахил волокон; 2 – завилькуватість; 3 – кріп; 4 – метик; 5 – морозобій; 6 – відлуп.

ФІЗИЧНІ ВЛАСИВОСТІ ДЕРЕВИНИ

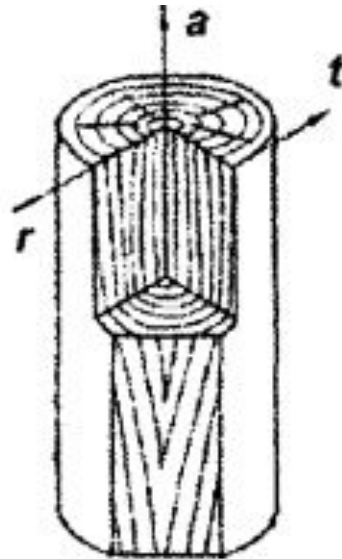


Рис. 2.1. Напрямки анізотропії деревини

a – вздовж волокон; *r* – радіальний напрямок; *t* – тангенціальний напрямок.

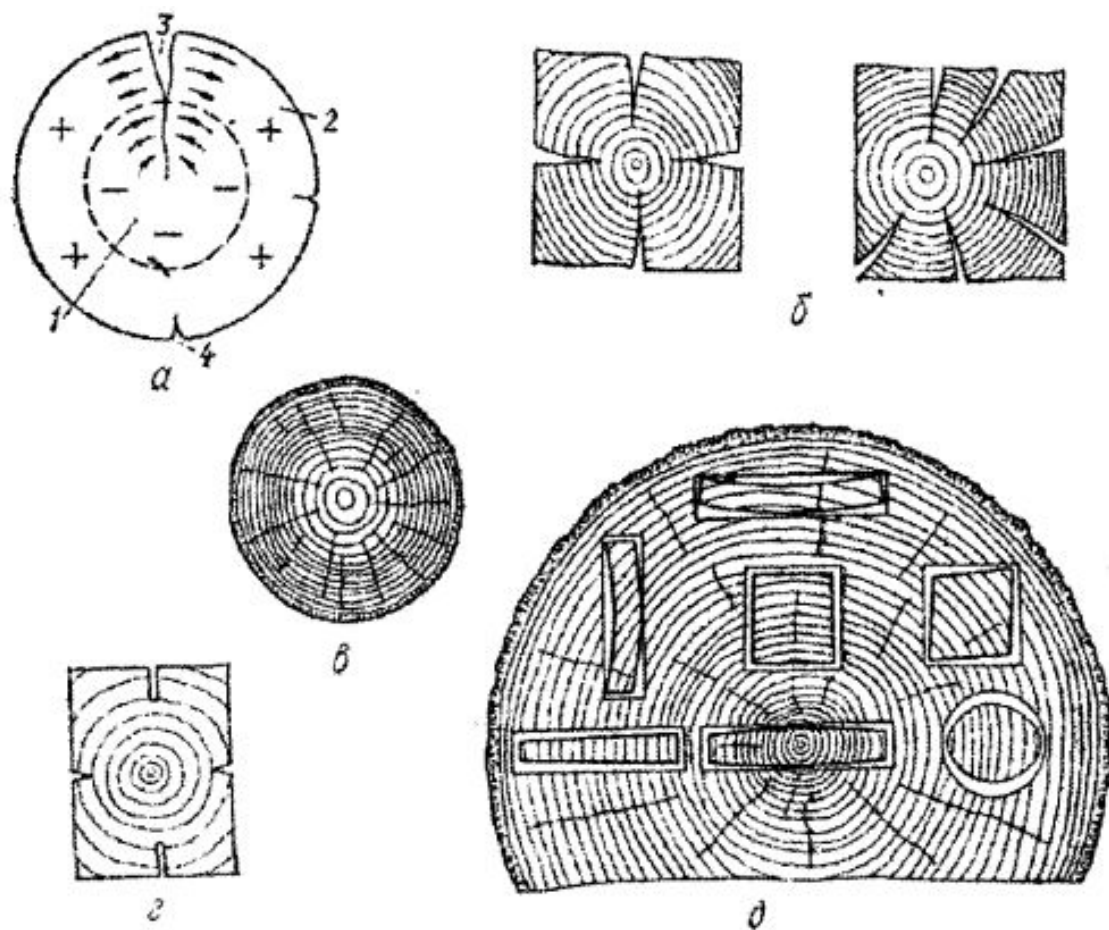


Рис. 2.2. Усихання і короблення деревини

а – схема напруженого стану; б – розташування тріщин у брусах; в – серцевинні тріщини; г – влаштування надрізів; д – зміна форми матеріалів, випиляних із колоди; 1 – стиснута зона; 2 – розтягнута зона; 3 – головна тріщина; 4 – другорядні тріщини.

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕРЕВИНИ

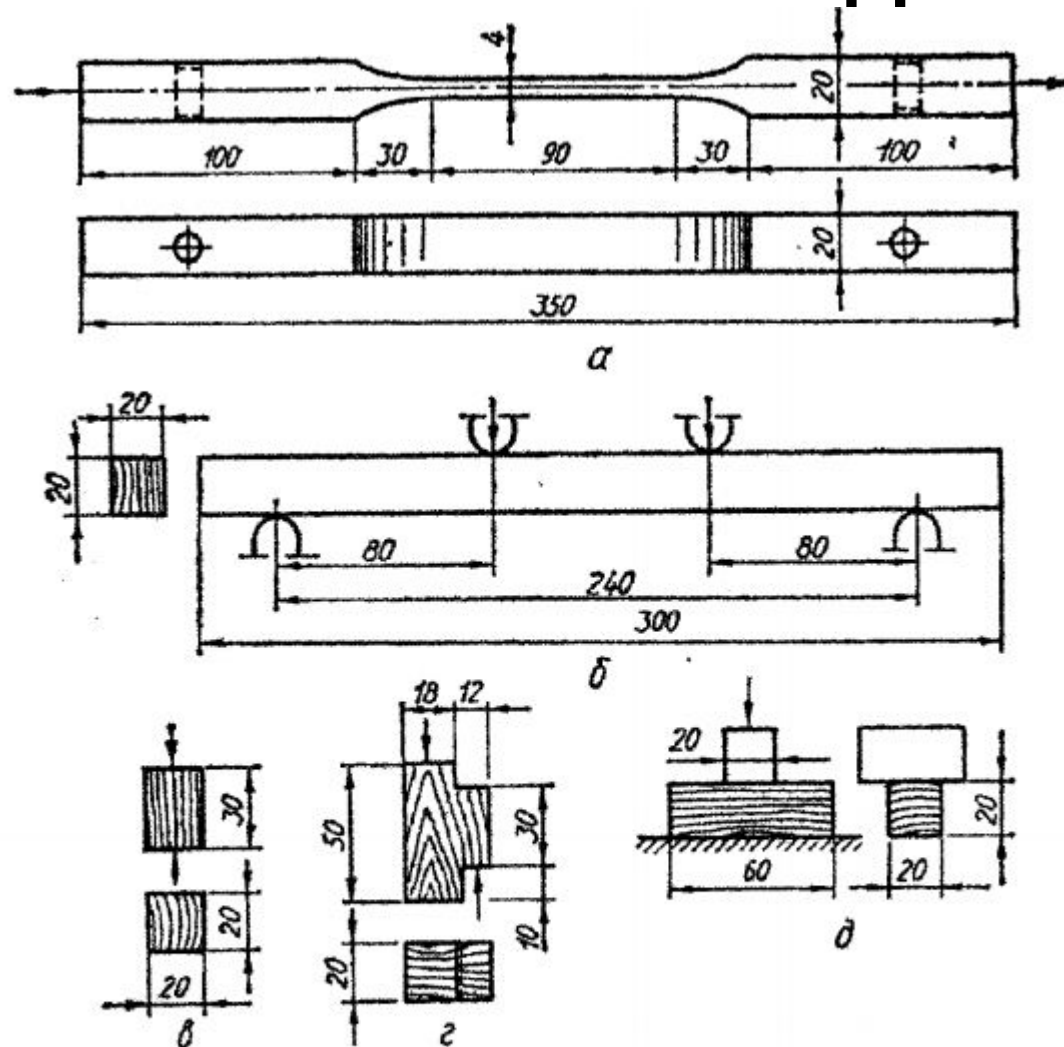


Рис. 2.3. Стандартні зразки для випробування деревини

а – на розтяг; б – на згин; в – на стиск вздовж волокон; г – на сколювання вздовж волокон; д – на стиск впоперек волокон.

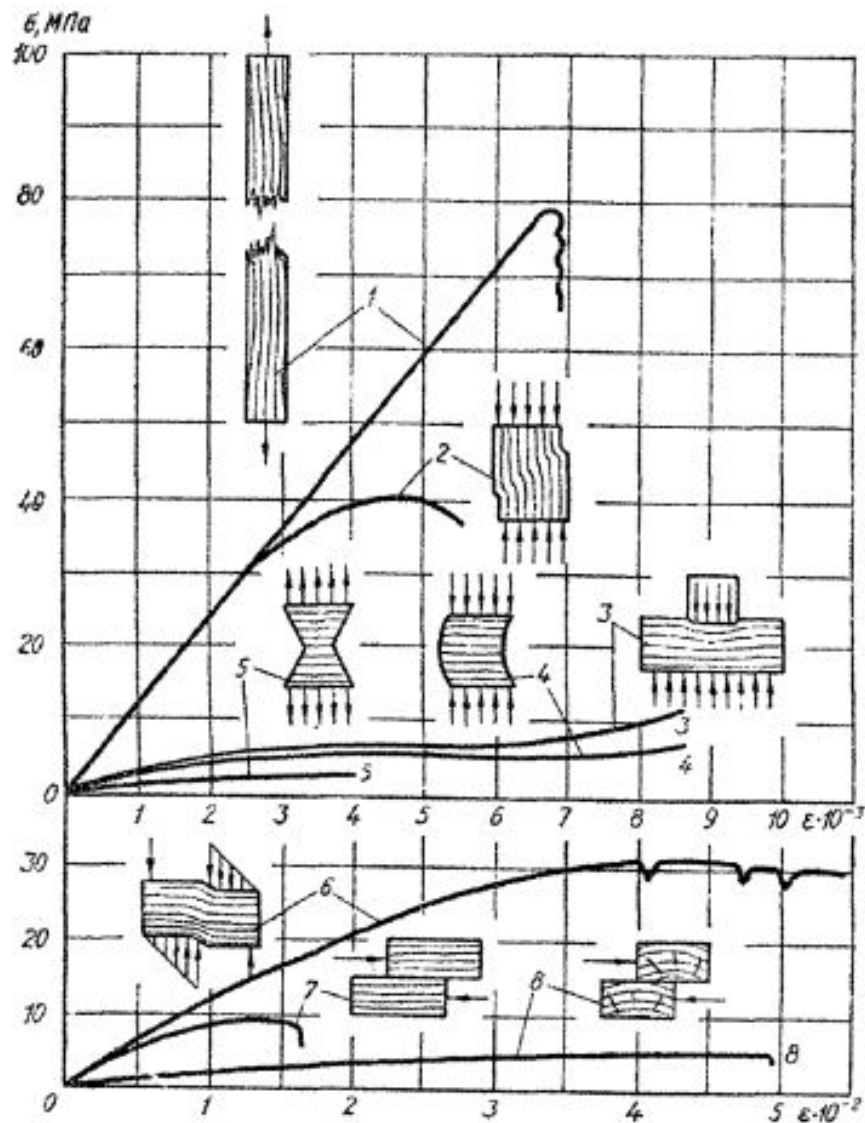


Рис. 2.4. Типові залежності σ - ϵ для сосни

1 – розтяг вздовж волокон; 2 – стиск вздовж волокон; 3 – місцевий стиск вздовж волокон; 4 – зминання по усій поверхні впоперек волокон; 5 – розтяг впоперек волокон; 6 – зріз; 7 – сколювання вздовж волокон; 8 – сколювання впоперек волокон.

СОРТАМЕНТ ЛІСОМАТЕРІАЛІВ

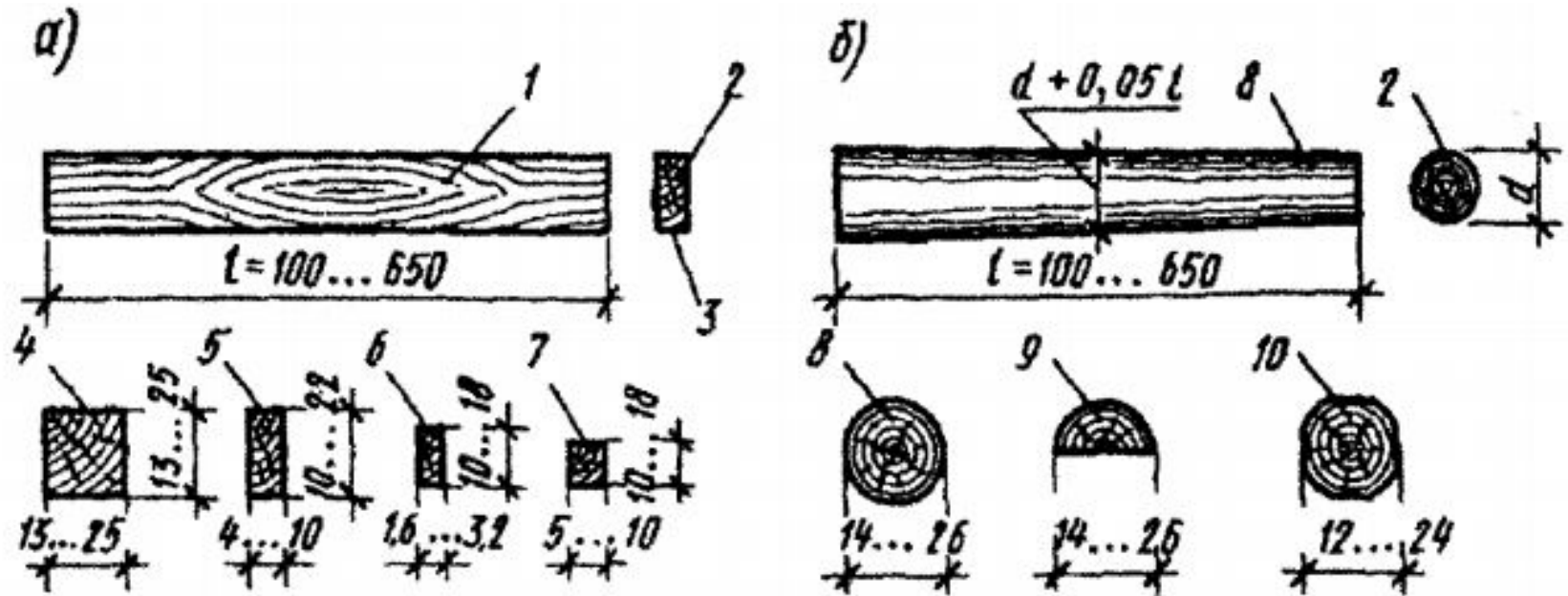


Рис. 2.5. Матеріали з деревини

а) – пиляні; б) – круглі; 1 – пласть; 2 – торець; 3 – кромка; 4 – брус; 5 – товста дошка; 6 – тонка дошка; 7 – брусок; 8 – колода; 9 – пластина; 10 – окантована колода.

СКЛАД І СТРУКТУРА ПЛАСТМАС

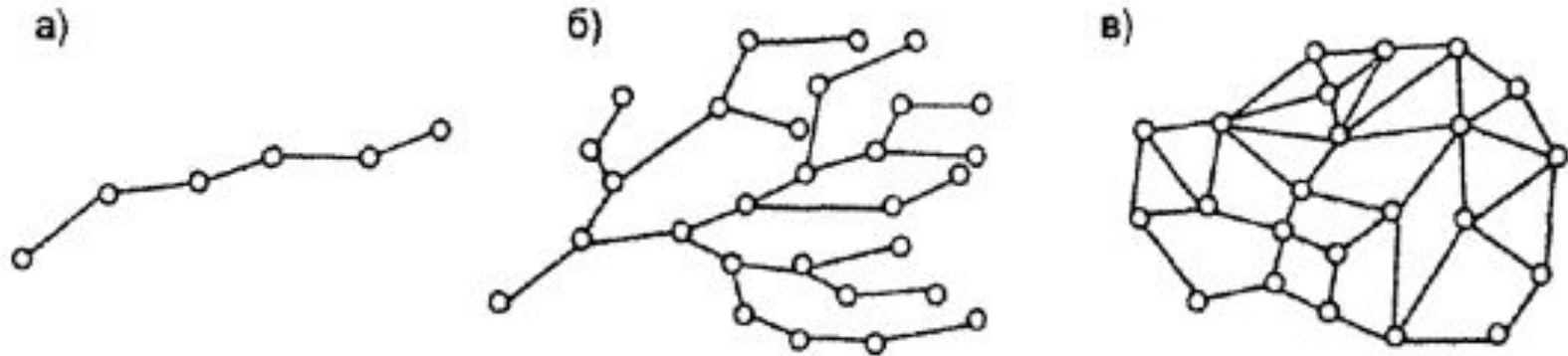


Рис. 3.1. Схеми утворення полімерів

а) – лінійна; б) – розгалужена; в) – сітчаста.

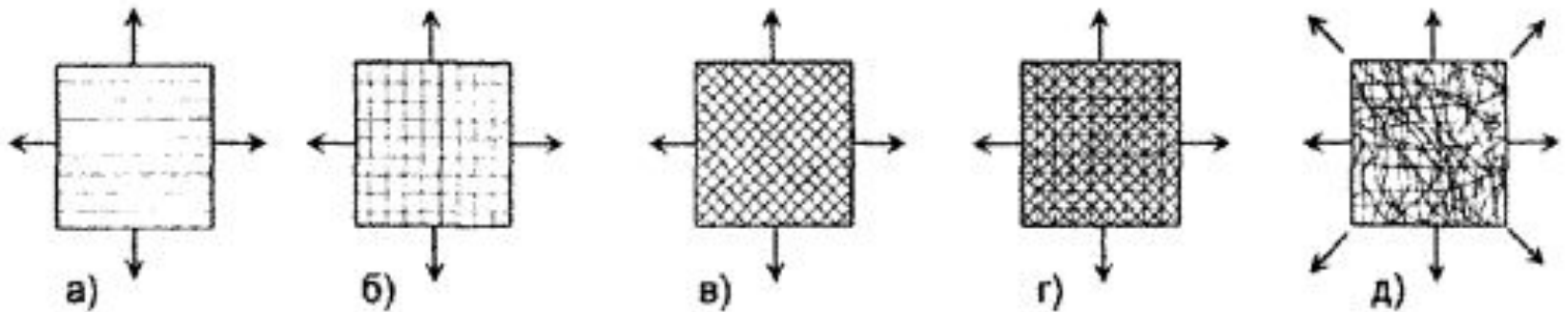


Рис. 3.2. Схеми армування пластмас

а) – однонаправлена; б) – поздовжньо-поперечна; в) – косо-поперечна; г) – комбінована; д) – рівномірна.

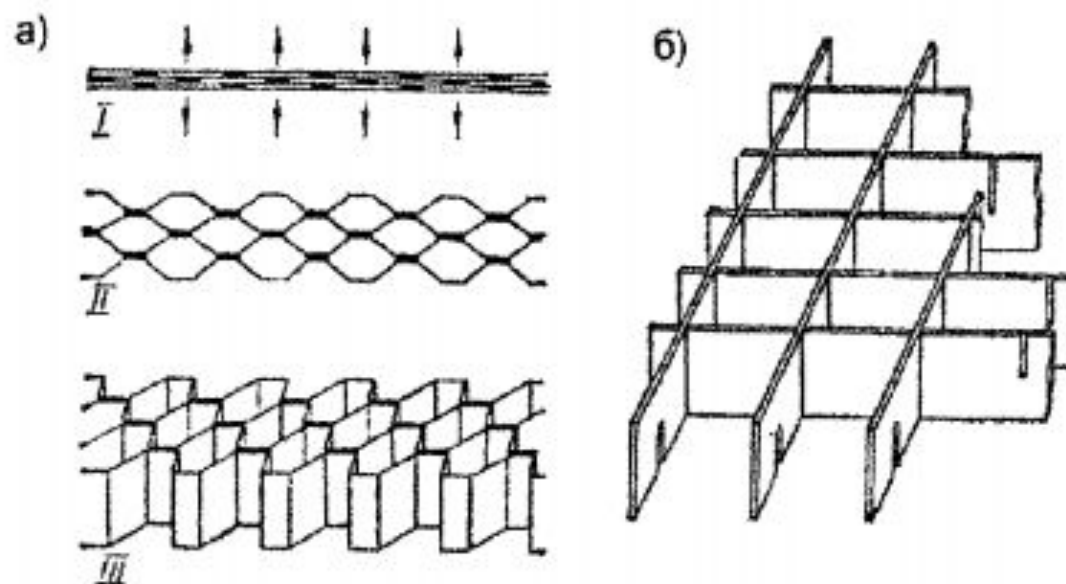


Рис. 3.3. Сотопласти

а) – паперові та тканинні, просочені смолами; б) – із жорстких листових матеріалів.

РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ

Від нормативного опору матеріалу до розрахункового переходять через коефіцієнт надійності за матеріалом $\gamma_m > 1$

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m}, \quad (4.3)$$

де γ_m – враховує різницю властивостей матеріалу натурної конструкції і матеріалу зразка, що випробовувався. Це вади деревини ($K_{вад}=0,36\dots0,67$), масштабний фактор ($K_{розм}=0,75\dots1$), тривалість дії навантаження ($K_{тр}=0,67$). Обчислюють γ_m за формулами:

- для деревини
$$\gamma_m = \frac{1}{K_{вад}K_{тр}K_{розм}}; \quad (4.4)$$

- для пластмас
$$\gamma_m = \frac{1}{K_{тр}K_{одн}}; \quad (4.5)$$

де $K_{одн}=0,6\dots0,8$ - коефіцієнт однорідності пластмаси.

Найбільших значень γ_m набуває при розтягу, коли вплив вад особливо відчутний:

$$\gamma_m = \frac{1}{0,36 \cdot 0,67 \cdot 0,75} = 5,5 \text{ - розтяг вздовж волокон;}$$

$$\gamma_m = \frac{1}{0,67 \cdot 0,67 \cdot 1,0} = 2,2 \text{ - стиск й зминання вздовж волокон;}$$

$$\gamma_m = \frac{1}{0,44 \cdot 0,67 \cdot 0,9} = 3,8 \text{ - згин.}$$

Якщо умови експлуатації відмінні від нормальних, розрахунковий опір знижується. Це враховується коефіцієнтом умов роботи (γ_c)

$$\gamma_c = m_e \cdot m_m \cdot m_\theta \cdot m_H \cdot m_\delta \cdot m_{cl} \cdot m_{2H} \cdot m_\sigma \cdot m_a, \quad (4.6)$$

складові якого розшифровує п. 3.2 [7].

2. РОЗРАХУНОК ЦЕНТРАЛЬНО-РОЗТЯГНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Центрально-розтягнутими вважаються елементи, в яких дія поздовжньої розтягуючої сили викликає появу однакових по висоті перерізу напруг.

На розтяг працюють нижні пояси та елементи решітки ферм, затяжки арок. Розрахунок центрально-розтягнутих елементів виконують за умовою

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_t, \quad (4.7)$$

де N – розрахункове граничне значення поздовжнього зусилля в елементі;

A_n – площа нетто розрахункового поперечного перерізу елемента;

R_t – розрахунковий опір деревини розтягу (з урахуванням коефіцієнта умов роботи γ_c);

За розрахунковий приймають переріз, площа послаблень у якому найбільша. При цьому, якщо відстань між послабленнями по довжині елемента менша 200 мм, визначаючи A_n , вважають, що вони суміщені в одному перерізі (рис. 4.1).

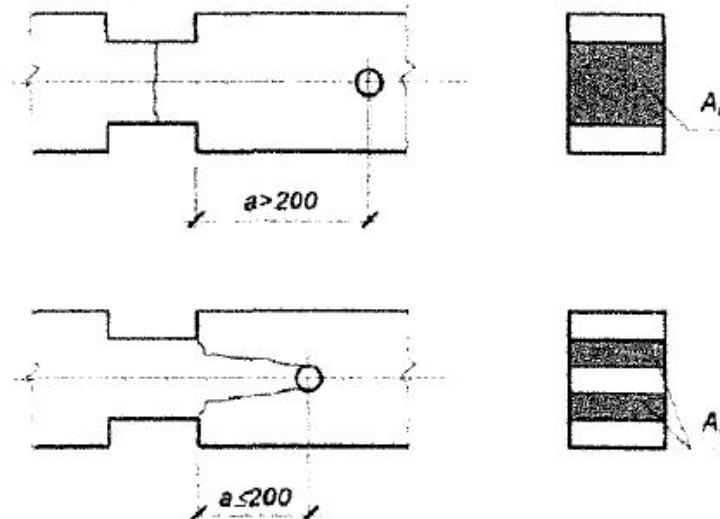


Рис. 4.1. До визначення площі нетто перерізу центрально-розтягнутого елемента

3. РОЗРАХУНОК ЦЕНТРАЛЬНО-СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Руйнування стиснутого елемента може відбутися внаслідок його недостатньої міцності або втрати ним стійкості.

Короткі (жорсткі) центрально-стиснуті елементи (з відношенням довжини до меншого розміру поперечного перерізу $l/b \leq 7$) достатньо розраховувати тільки на міцність, а довгі (гнучкі) – на міцність і стійкість.

Розрахунок на міцність виконують за умовою

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_c, \quad (4.8)$$

де A_n – площа поперечного перерізу нетто. Визначається за тими ж правилами, що й для розтягнутих елементів.

R_c – розрахунковий опір деревини стиску (з урахуванням γ_c);

В конструкціях короткі елементи практично не зустрічаються, тому розрахунок центрально-стиснутих елементів здебільшого зводиться до перевірки його стійкості. Для цього користуються виразом

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_{ef}} \leq R_c, \quad (4.9)$$

де A_{ef} – розрахункова площа поперечного перерізу елемента при перевірці його стійкості;

φ – коефіцієнт поздовжнього згину.

Розрахункова площа перерізу A_{ef} приймається:

- за відсутності послаблень - $A_{ef} = A_{бр}$
- якщо послаблення не виходять на ребро і $A_{посл} \leq 0,25A_{бр}$ - $A_{ef} = A_{бр}$
- якщо послаблення не виходять на ребро і $A_{посл} > 0,25A_{бр}$ - $A_{ef} = 4/3A_{п}$
- якщо послаблення виходять на ребро - $A_{ef} = A_{п}$



Рис. 4.2. Послаблення в центрально-стиснутих елементах

Коефіцієнт поздовжнього згину, φ , являє собою відношення критичних напруг, за яких елемент втрачає стійкість, до межі міцності за простого стиску

$$\varphi = \frac{\sigma_{cr}}{R_c}. \quad (4.10)$$

Значення φ залежить від гнучкості елемента λ . При роботі матеріалу в межах пропорційності $\lambda > \lambda_{min}$ (для дерева $\lambda_{min}=70$, фанери - $\lambda_{min}=70$, пластмас - $\lambda_{min}=38...62$) значення коефіцієнта поздовжнього згину знаходять за формулою Ейлера

$$\varphi = \frac{\sigma_{cr}}{R_c} = \frac{N_{cr}}{A_n R_c} = \frac{\pi^2 E I}{l_0^2 A_n R_c} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2 R_c},$$

де
$$\lambda = \frac{l_0}{i}, \quad i = \sqrt{\frac{I}{A_n}}.$$

За пружної роботи матеріалу значення $\frac{\pi^2 E}{R_c} = A$ постійне і складає:

- | | | | |
|--------------------|-----------|---------------|-----------|
| - для деревини | $A=3000;$ | - для фанери | $A=2500;$ |
| - для склопластику | $A=1230;$ | - для оргскла | $A=550.$ |

При роботі елемента в пружно-пластичній стадії ($\lambda \leq \lambda_{min}$), значення коефіцієнта φ обчислюють за емпіричними формулами. Тоді:

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2} \quad \text{при} \quad \lambda > \lambda_{min}, \quad (4.11)$$

$$\varphi = 1 - \alpha \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 \quad \text{при} \quad \lambda \leq \lambda_{min}, \quad (4.12)$$

де $\alpha=0,8$ – для деревини, $\alpha=1,0$ – для фанери.

Значення гнучкості стиснутих елементів обмежуються в залежності від призначення елемента (табл. 14. [7]): $\lambda_w=120$ - для стиснутих поясів ферм, опорних стояків та розкосів ферм, колон; $\lambda_w=150$ - для інших стиснутих поясів ферм; $\lambda_w=200$ – елементи в'язів.

Гнучкість елемента залежить від його розрахункової довжини, котра, в свою чергу, залежить від способу закріплення кінців елемента

$$l_0 = \mu l, \tag{4.13}$$

де μ - коефіцієнт, який враховує умови закріплення стержня (рис. 4.1).

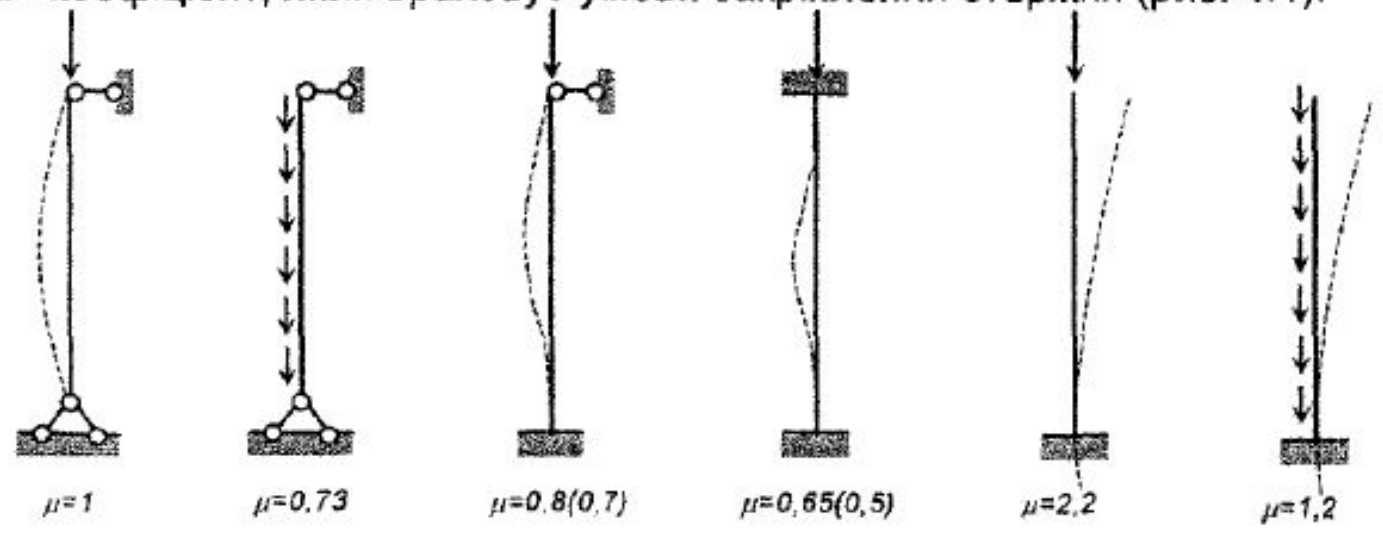


Рис. 4.3. До визначення розрахункової довжини центрально-стиснутих елементів (у дужках подані значення коефіцієнта μ для елементів із пластмас)

Задача першого типу – визначення розмірів поперечного перерізу елемента. При цьому відомі міцнісні характеристики матеріалу, вологість, навантаження, умови роботи, розрахункова довжина.

Відомо: $R_c, N, l_0, \gamma_c, \gamma_n,$

Знайти: $b, h.$

Розв'язок:

- 1) задаються гнучкістю стержня λ (у першому наближенні рекомендується приймати $\lambda = (0,6 \dots 0,7) \lambda_u$);
- 2) знаходять коефіцієнт поздовжнього згину :

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2} \quad \text{при} \quad \lambda > 70,$$

$$\varphi = 1 - \alpha \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 \quad \text{при} \quad \lambda \leq 70;$$

- 3) визначають необхідну площу поперечного перерізу елемента з умови стійкості

$$A_{\text{необх}} = \frac{N}{\varphi R_c};$$

- 4) підбирають за сортаментом розмір перерізу елемента (за центрального стиску найбільш доцільний квадратний переріз, тобто $b=h$);
 5) перевіряють підібрані розміри з умови міцності та стійкості. Для цього визначають геометричні характеристики елемента, його максимальну гнучкість та коефіцієнт поздовжнього згину

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}, \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}},$$

або для прямокутного перерізу
$$i_x = \frac{l_{ox}}{\lambda}, \quad i_y = \frac{l_{oy}}{\lambda}, \quad \Rightarrow$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x} = \frac{l_{ox}}{0,289h}, \quad \lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y} = \frac{l_{ox}}{0,289b} \Rightarrow \lambda_{\max} \Rightarrow \varphi$$

- б) перевіряють виконання умови міцності та стійкості:

$$N \leq A_n R_c; \quad N \leq \varphi A_{ef} R_c.$$

Для коротких елементів ($l/b \leq 7$) умову стійкості не перевіряють.

Якщо хоча б одна з умов не виконується або має місце значне недовикористання матеріалу, розрахунок повторюють, задавшись на початку новим значенням гнучкості.

Задача другого типу – перевірка несучої здатності елемента. При цьому відомі всі геометричні та міцносні характеристики перерізу, навантаження, умови роботи.

Відомо: $b, h, R_c, N, I_0, \gamma_c, \gamma_n,$

Знайти: $N_{adm}.$

Розв'язок: задачу вирішують за рекомендаціями пункту 5, 6 попереднього типу задач.

Розрахунок центрально-стиснутих пластмасових конструкцій виконують в аналогічному порядку.

4. РОЗРАХУНОК ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Згин є найбільш поширеним видом роботи елементів дерев'яних конструкцій. На згин працюють елементи настилів, обрешіток, обшивки, крокви, прогони, балки.

За період завантаження в згинальному елементі виділяють 3 стадії напружено-деформованого стану (рис. 4.4):

1 стадія – пружна робота.

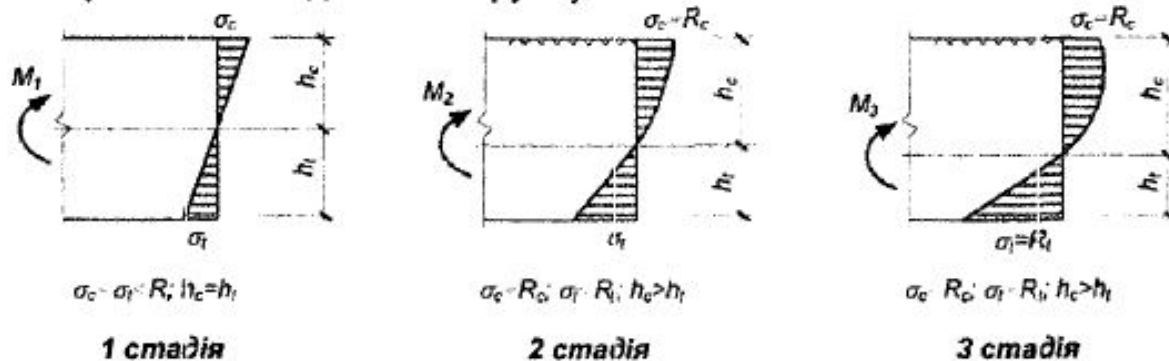
Із збільшенням навантаження межа стиснутої зони перерізу опускається вниз, в ній проявляються пластичні деформації і матеріал переходить до 2 стадії НДС.

2 стадія – в стиснутій зоні з'являються пластичні деформації.

За певного рівня навантаження в крайніх стиснутих волокнах елемента напруги досягають розрахункового опору і проходить їх локальне руйнування – утворення гофр.

3 стадія – руйнування.

З ростом навантаження висота стиснутої зони збільшується, напруги у крайніх волокнах розтягнутої зони досягають межі міцності і елемент руйнується. При цьому напруги в стиснутій зоні залишаються без змін, за рахунок перерозподілу зусиль (збільшення висоти стиснутої зони). В розтягнутій зоні пряма пропорційність між напругами і деформаціями зберігається аж до самого руйнування.



Розрізняють 2 види роботи елементів на згин (рис. 4.5):

- 1) *простий згин* - напрямок лінії дії навантаження співпадає з однією з головних осей перерізу елемента;
- 2) *косий згин* - напрямок дії навантаження не співпадає ні з однією з головних осей перерізу елемента;

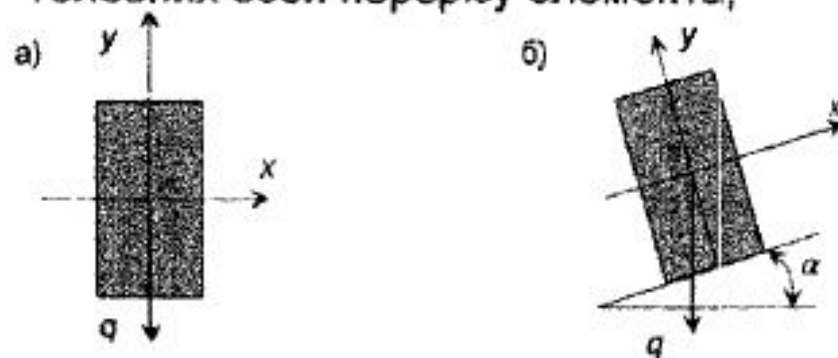


Рис. 4.5. Види згину

а) – простий згин, б) – косий згин.

4.1. ПРОСТИЙ ЗГИН

Розрахунок згинальних елементів на міцність (I група) ведуть за умовами:

- *сприйняття нормальних напруг*

$$\sigma = \frac{M}{W_d} \leq R_b; \quad (4.14)$$

- *сприйняття дотичних напруг*

$$\tau = \frac{QS_{\bar{e}p}}{I_{\bar{e}p}b} \leq R_{sh}, \quad (4.15)$$

де M , Q - розрахунковий згинаючий момент та поперечна сила;

W_d - розрахунковий момент опору поперечного перерізу елемента.

$S_{\bar{e}p}$ - статичний момент бруто частини поперечного перерізу, що зазнає зсуву, відносно нейтральної осі;

$I_{\bar{e}p}$ - момент інерції бруто поперечного перерізу елемента відносно нейтральної осі.

b - розрахункова ширина перерізу елемента;

R_{sh} - розрахунковий опір сколюванню вздовж волокон при згині.

Розрахунковий момент опору поперечного перерізу елемента, W_d , приймають:

$W_d = W_n$ - для суцільних елементів;

$W_d = k_w \cdot W_n$ - для складених балок на податливих в'язях;

$W_d = I_d / y_{max}$ - для елементів із складною формою перерізу.

тут W_n - момент опору нетто перерізу (за наявності послаблень, відстань між якими менша 20 см, вони вважаються розміщеними в одному перерізі);

$k_w < 1$ - коефіцієнт, який враховує податливість з'єднання

Для елементів із великою висотою і малою шириною перерізу ($l_p > 7b$ - високі клеєні балки) перевіряють також стійкість плоскої форми перерізу. Для елементів прямокутного перерізу використовують вираз:

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_m W_d} \leq R_b, \quad (4.16)$$

де коефіцієнт стійкості φ_m для згинальних елементів прямокутного перерізу, шарнірно-закріплених від зсуву із площини згину, слід визначати за формулою:

$$\varphi_m = 140 \frac{b^2}{l_p h} k_\phi, \quad (4.17)$$

тут l_p – відстань між опорними перерізами елемента, а при закріпленні стиснутої зони елемента в проміжних точках від зсуву із площини згину – відстань між цими точками;

b – ширина поперечного перерізу;

h – максимальна висота поперечного перерізу на ділянці l_p ;

k_ϕ – коефіцієнт, що залежить від форми епюри згинальних моментів на ділянці l_p (визначається за табл. 2 дод. 4 [7]).

Розрахунок за II групою граничних станів полягає у визначенні максимального значення відносного прогину елемента за дії розрахункового експлуатаційного навантаження і порівняння його з допустимими значеннями, встановленими нормами

$$\frac{f}{l} = s \frac{M_n l_0}{EI_{\delta p}} \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (4.18)$$

де s – коефіцієнт, який залежить від способу прикладання навантаження та закріплення кінців елемента. Для шарнірно опертої балки завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням $s=5/48$.

$[f/l]$ – гранично допустиме значення відносного прогину.

Задача першого типу.

Відомо: $R_b, M, I_0, \gamma_c, \gamma_n$

Знайти: b, h .

Розв'язок:

1) з умови міцності знаходять необхідний момент опору перерізу

$$W_{\text{нec}} = \frac{M}{R_b};$$

2) за обчисленим $W_{\text{нec}}$ за сортаментом підбирають розміри перерізу елемента. Якщо переріз прямокутний, доцільно задатись співвідношенням між висотою і шириною перерізу (зазвичай $\delta = h/b = 1,4 \dots 2$), тоді

$$h = \sqrt[3]{6\delta W_{\text{нec}}} = \sqrt[3]{\frac{6\delta M}{R_b}}, \text{ звідки } b = h/\delta.$$

Для елементів круглого перерізу

$$d = \sqrt[3]{10W_{\text{нec}}} = \sqrt[3]{\frac{10M}{R_b}}.$$

3) виконують перевірку достатності прийнятих розмірів перерізу елемента за нормальними і дотичними напругами та деформативністю.

Задача другого типу.

Відомо: $R_b, M, Q, I_0, \gamma_c, \gamma_n, b, h$

Знайти: $M_{\text{adm}}, Q_{\text{adm}}$.

Розв'язок:

1) за лінійними розмірами визначають геометричні характеристики перерізу ($W_d, I_{\text{бр}}, S_{\text{бр}}$) і роблять перевірки по σ, τ , а також на прогин.

Для зручності розрахунку косий згин розкладають на два прості (рис. 4.6). Для цього навантаження q або значення загального моменту M розкладають на складові в двох проекціях по головних осях:

$$\begin{aligned}q_x &= q \cos \alpha, & q_y &= q \sin \alpha; \\M_x &= M \cos \alpha, & M_y &= M \sin \alpha.\end{aligned}$$

Перевірку міцності косозігнутих елементів виконують за умовою

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y = \frac{M_x}{W_{dx}} + \frac{M_y}{W_{dy}} \leq R_b. \quad (4.19)$$

$$\frac{M_x}{W_{dx}} \left(1 + \frac{W_{dx} M_y}{W_{dy} M_x} \right) \leq R_b, \text{ оскільки } \frac{W_{dx}}{W_{dy}} = \frac{h}{b} = \delta, \quad \frac{M_y}{M_x} = \operatorname{tg} \alpha \quad \text{тоді}$$

$$W_{dx} \geq \frac{M_x}{R_b} (1 + \delta \operatorname{tg} \alpha). \quad (4.20)$$

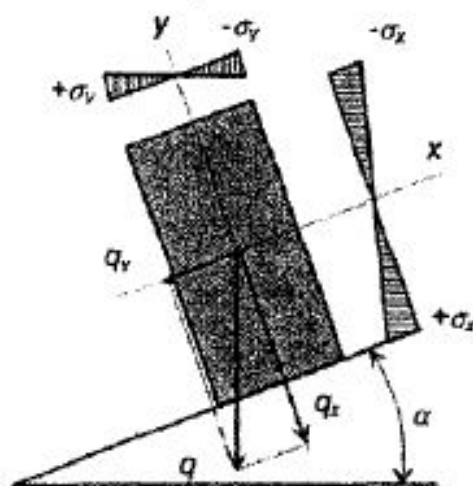


Рис. 4.6. До розрахунку на косий згин

Прогин за косою згину також визначають у двох площинах і сумують за виразом

$$\frac{f}{l} = \frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{l} \leq \left[\frac{f}{l} \right]. \quad (4.21)$$

Жорсткість згинальних пластмасових елементів перевіряють за умовою

$$\frac{f_{\text{нп}}}{l} = \frac{f}{l} \left(1 + \frac{E}{G} \frac{h^2}{l^2} k_s \right) \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (4.22)$$

де f/l – відносний прогин, обчислений без врахування зсуву;

E - модуль пружності пластмас;

G - модуль зсуву

$$G = \frac{E}{12(1 + \mu)}; \quad (4.23)$$

μ - коефіцієнт Пуассона (вказує на відношення між поперечною і поздовжньою деформацією);

k_s - коефіцієнт зсуву, який залежить від форми перерізу і розрахункової схеми елемента (при рівномірному завантаженні однопролітної вільно опертої балки прямокутного перерізу $k_s=0,96$, те ж при завантаженні посередині зосередженою силою - $k_s=1,2$).

5.1. РОЗРАХУНОК ПОЗАЦЕНТРОВО-СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Позацентровий стиск може бути викликаний:

- нецентральним прикладанням стискувочої сили (рис. 4.7, а);
- спільною дією поздовжньої осьової сили і поперечного навантаження (рис. 4.7, б);
- наявністю викривлення центрально-стиснутого елемента (рис. 4.7, в);
- наявністю несиметричних послаблень перерізів центрально-стиснутого елемента (рис. 4.7, г).

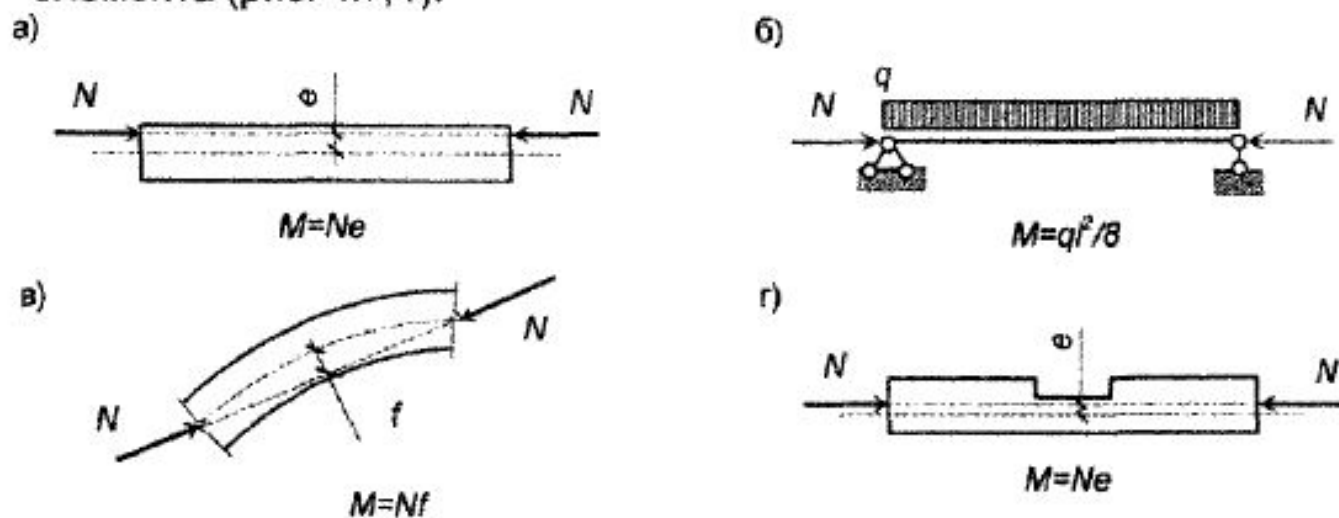


Рис. 4.7. Схеми позацентрово-стиснутих елементів

- а) – позацентрове прикладання стискувочої сили; б) – сумісна дія поздовжньої осьової сили та поперечного навантаження; в) – наявність викривлення в стиснутому елементі; г) – дія поздовжньої стискувочої сили в елементі з послабленнями.

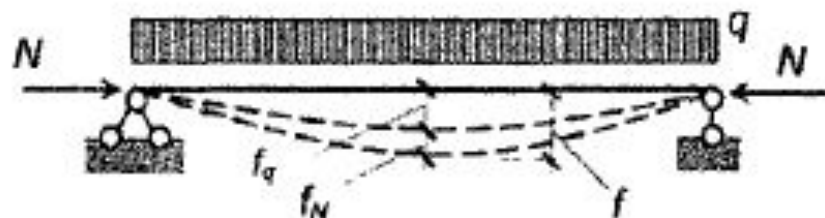


Рис. 4.8. Розрахункова схема позацентрово-стиснутого елемента

$$f = f_q + f_N, \quad M = M_0 + Nf.$$

Для врахування додаткового прогину і моменту від стискуючої сили використовують поправочний коефіцієнт ξ . Тоді

$$M = M_0 + Nf = \frac{M_0}{\xi}, \quad (4.24)$$

де

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi A_{бр} R_c}, \quad (4.25)$$

$A_{бр}$ – площа перерізу елемента бруто в місці найбільшої висоти.

Міцність позацентрово-стиснутого елемента перевіряють за умовою

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_d} \leq R_c \quad \text{або} \quad \sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M_0}{\xi W_d} \leq R_c. \quad (4.26)$$

Стержні з малою гнучкістю (при $\lambda < \lambda_{min}$), коли напруги згину $\sigma_b = M_0 / W_d$ не перевищують 10 % напруг стиску $\sigma_c = N / A_n$, слід розраховувати на стійкість без врахування додаткового моменту, тобто як центрально-стиснуті.

Розрахунок за дотичними напругами τ та за другою групою граничних станів виконують аналогічно звичайному згину, беручи до уваги, що

$$Q = \frac{Q_0}{\xi}, \quad \text{або} \quad f = \frac{f_0}{\xi}. \quad (4.27)$$

де f_0 – прогин, викликаний дією тільки поперечного навантаження.

5.2. РОЗРАХУНОК ПОЗАЦЕНТРОВО-РОЗТЯГНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

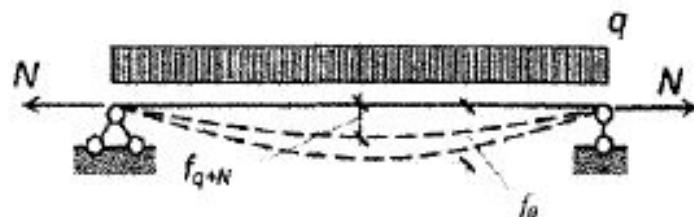


Рис. 4.9. Розрахункова схема позацентрово-розтягнутого елемента

Міцність позацентрово-розтягнутих елементів перевіряють за умовою

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{M}{W_d} \frac{R_t}{R_b} \leq R_t. \quad (4.28)$$

З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ ТА ПЛАСТМАСОВИХ

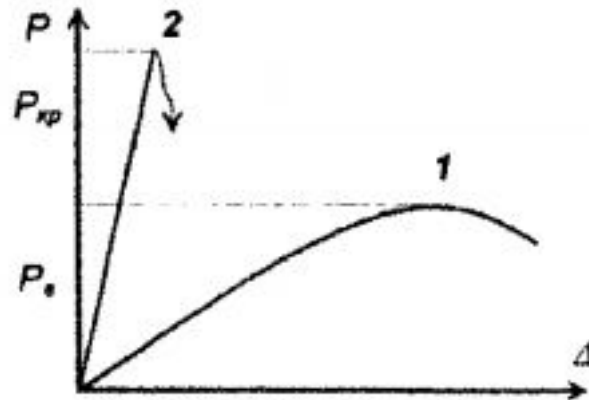


Рис. 5.1. Діаграма роботи з'єднань

1 – податливе, в'язке з'єднання; 2 – жорстке й крихке з'єднання.

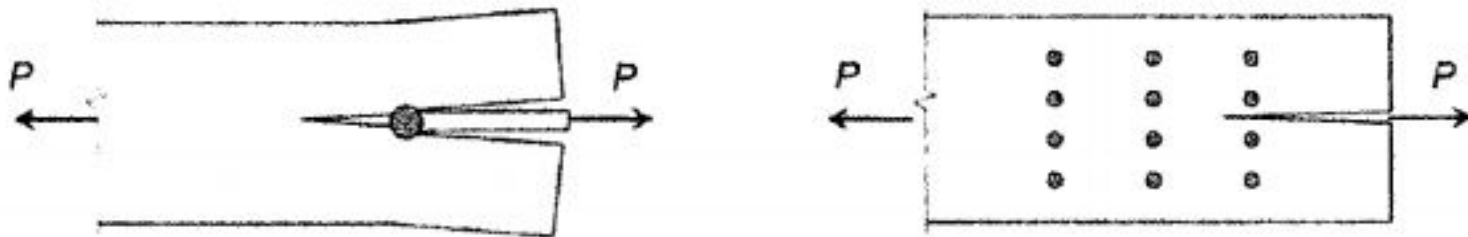


Рис. 5.2. Принцип дробимості

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ І КОНСТРУЮВАННЯ З'ЄДНАНЬ

Розрахунок з'єднань елементів дерев'яних конструкцій виконують у відповідності із [7].

Розрахункове зусилля, що діє на з'єднання чи на окрему в'язь, не повинно перевищувати її несучої здатності. При цьому припускають, що зусилля між в'язями у з'єднанні розподіляються пропорційно їх міцності.

У залежності від типу з'єднання, розрахунок ведеться на зминання та сколювання деревини, а також згин в'язі:

- із умови зминання деревини

$$N_p \leq T = A_p R_p (R_{p\alpha}), \quad (5.1)$$

- із умови сколювання деревини

$$N_{sh} \leq T = A_{sh} R_{sh,m}, \quad (5.2)$$

- із умови згину в'язі

$$N_f \leq T_b, \quad (5.3)$$

де N_p , N_{sh} – розрахункові зусилля відповідно зминання та сколювання,

T – несуча здатність з'єднання або окремої в'язі,

A_p , A_{sh} – розрахункові площі зминання та сколювання,

R_p , $R_{p\alpha}$ – розрахунковий опір зминанню деревини відповідно вздовж волокон та під кутом α до волокон,

$R_{sh,m}$ – розрахунковий середній по площадці сколювання опір деревини сколюванню,

$N_1 = P/n$ – розрахункове зусилля на одну в'язь (P – сумарне зусилля по площині зсуву, n – кількість в'язів),

T_b – несуча здатність в'язі на згин (приймається за табл. 3 [7]).

Розрахунковий опір зминанню деревини під кутом до волокон обчислюють за формулою,

$$R_{p\alpha} = \frac{R_p}{1 + \left(\frac{R_p}{R_{p90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha}, \quad (5.4)$$

де R_{p90} – розрахунковий опір зминанню поперек волокон.

Розрахунковий середній по площадці сколювання опір деревини сколюванню знаходять, користуючись виразом

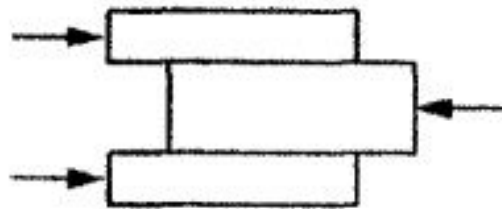
$$R_{sh,m} = \frac{R_{sh}}{1 + \beta \frac{l_{sh}}{e}}, \quad (5.5)$$

де R_{sh} – розрахунковий опір сколюванню вздовж волокон. Якщо сколювання відбувається під кутом до поздовжнього напрямку волокон, у (5.5) замість R_{sh} підставляють $R_{sh,\alpha}$, обчислене аналогічно (5.4);

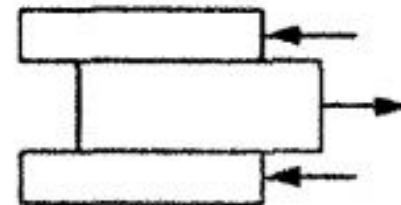
β – коефіцієнт, який залежить від схеми прикладання сил сколювання (рис. 5.3);

e – плече пари сил сколювання (рис. 5.3);

l_{sh} – довжина площадки сколювання. Приймається в межах $1,5h \leq l_{sh} \leq 10h_{ep}$.
Відношення $l_{sh}/e \geq 3$.



проміжне сколювання
отиснутих елементів
 $\beta=0,125$



одностороннє сколювання
розтягнутих елементів
 $\beta=0,25$

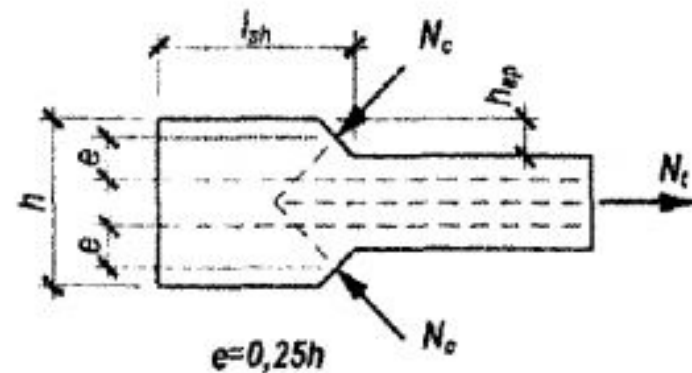
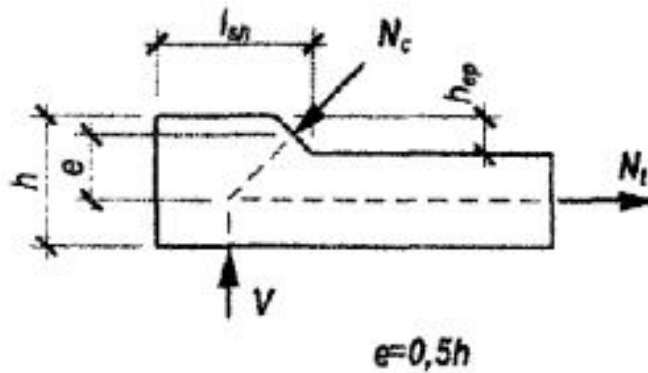


Рис. 5.3. До визначення коефіцієнтів β та e .

З'ЄДНАННЯ БЕЗ СПЕЦІАЛЬНИХ В'ЯЗЕЙ

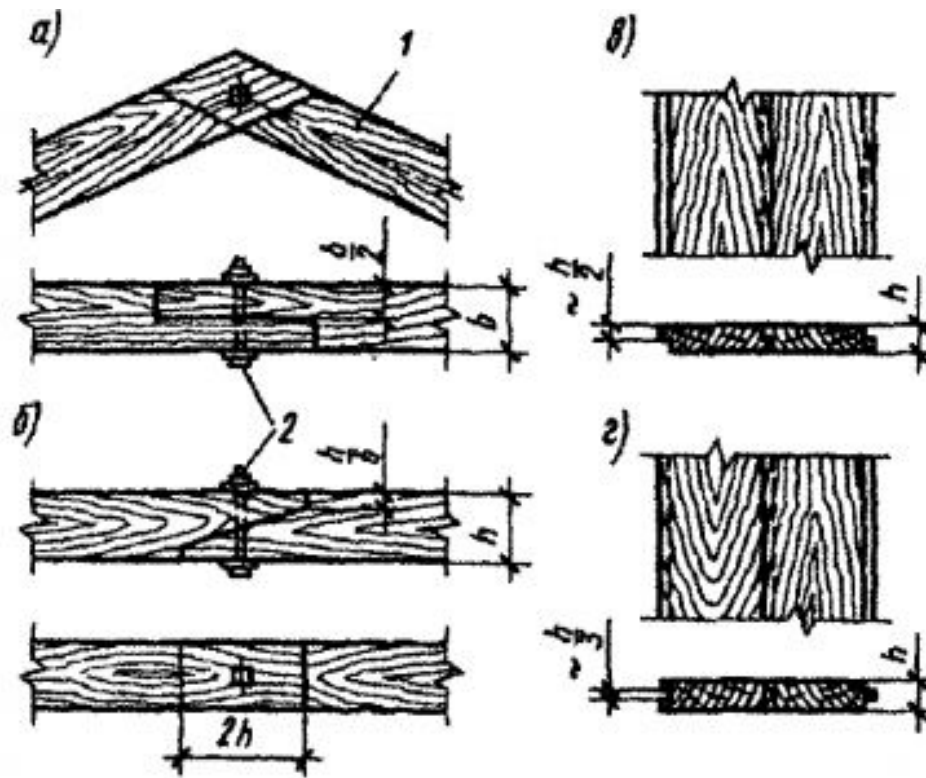


Рис. 5.4. Конструктивні врубки

а) – врубка в півдерева; б) – косий прируб; в) – змикання в чверть; г) – змикання в шпунт;

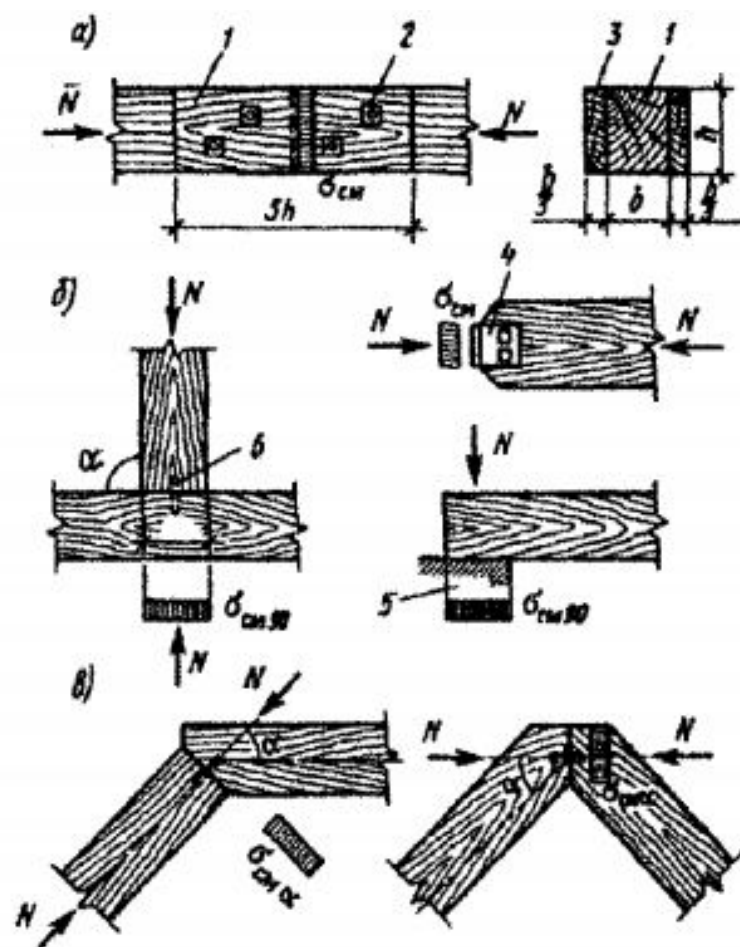


Рис. 5.5. Лобові упори

а) – поздовжній вздовж волокон; б) – поперечний поперек волокон; в) – похилий під кутом до волокон; 1 – елементи; 2 – зтягувальні болти; 3 – накладки; 4 – сталеве кріплення; 5 – опора; 6 – штир.

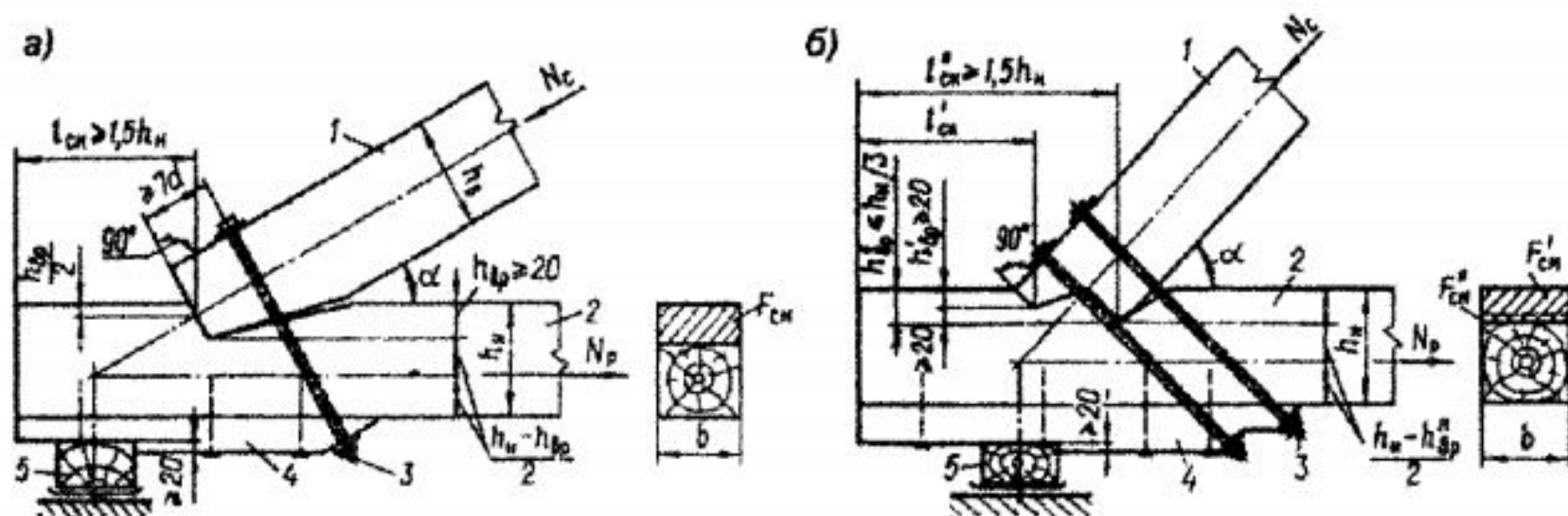


Рис. 5.6. Лобові врубки

а) – з одним зубом; б) – з двома зубами; 1 – стиснуті елементи; 2 – розтягнуті елементи; 3 – болти; 4 – підбалка; 5 – опора.

Руйнування врубки може відбутись внаслідок:

- зминання площадки упору

$$\sigma_p = \frac{N_c}{A_p} \leq R_{pa}, \quad (5.8)$$

- сколювання площадки

$$\tau_{sh} = \frac{N_t}{A_{sh}} \leq R_{sh,m}, \quad (5.9)$$

Додатково варто перевірити міцність послабленого нижнього поясу на розрив

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A_n} \leq R_t. \quad (5.10)$$

Розрахункові зусилля в елементах врубки знаходять із силового трикутника.

Елементи, що з'єднуються лобовою врубкою обов'язково повинні бути стягнуті болтом. Він призначений для того, щоб запобігти миттєвому руйнуванню конструкції у випадку сколювання опорної площадки. В нормальних умовах аварійний болт участі в роботі не бере.

Зусилля в болті визначається із силового трикутника. Сила відпору внаслідок дії сил тертя і зминання між нижнім торцем стиснутого елемента і сколотою поверхнею розтягнутого поясу, відхиляється від вертикального положення на 31° (визначено експериментально) (рис. 5.7). Тоді

$$N_b = N_c \operatorname{tg}(90^\circ - 31^\circ - \alpha). \quad (5.11)$$

Необхідну площу аварійного болта знаходять із умови

$$\sigma_b = \frac{N_b}{A_n} \leq R_y. \quad (5.12)$$

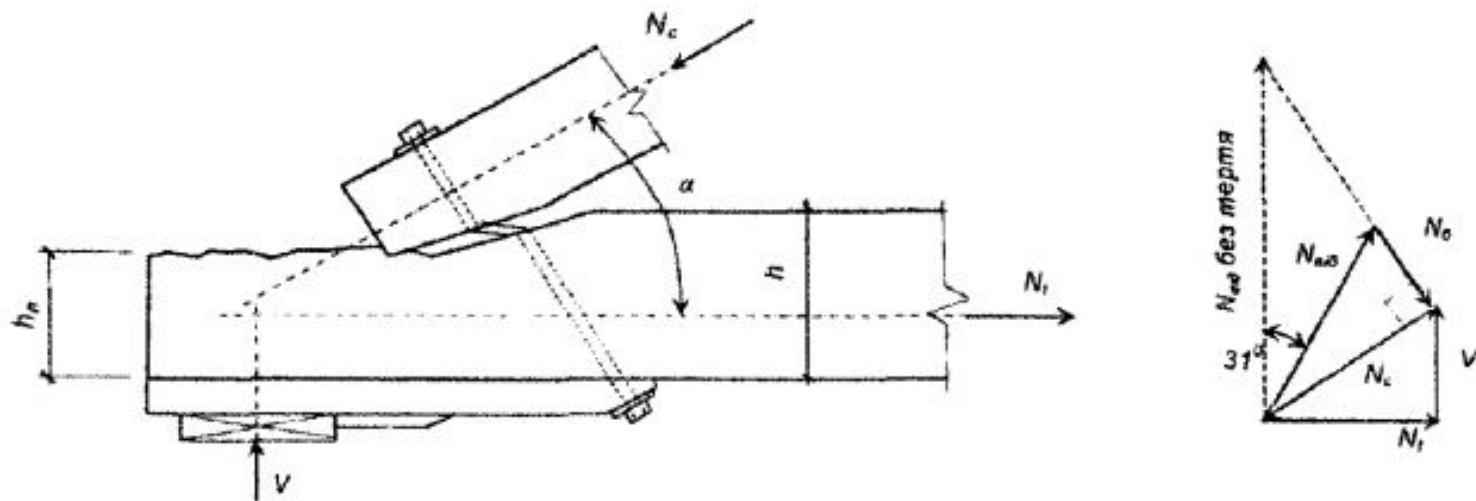


Рис. 5.7. До розрахунку аварійного болта

З'ЄДНАННЯ НА МЕХАНІЧНИХ В'ЯЗЯХ

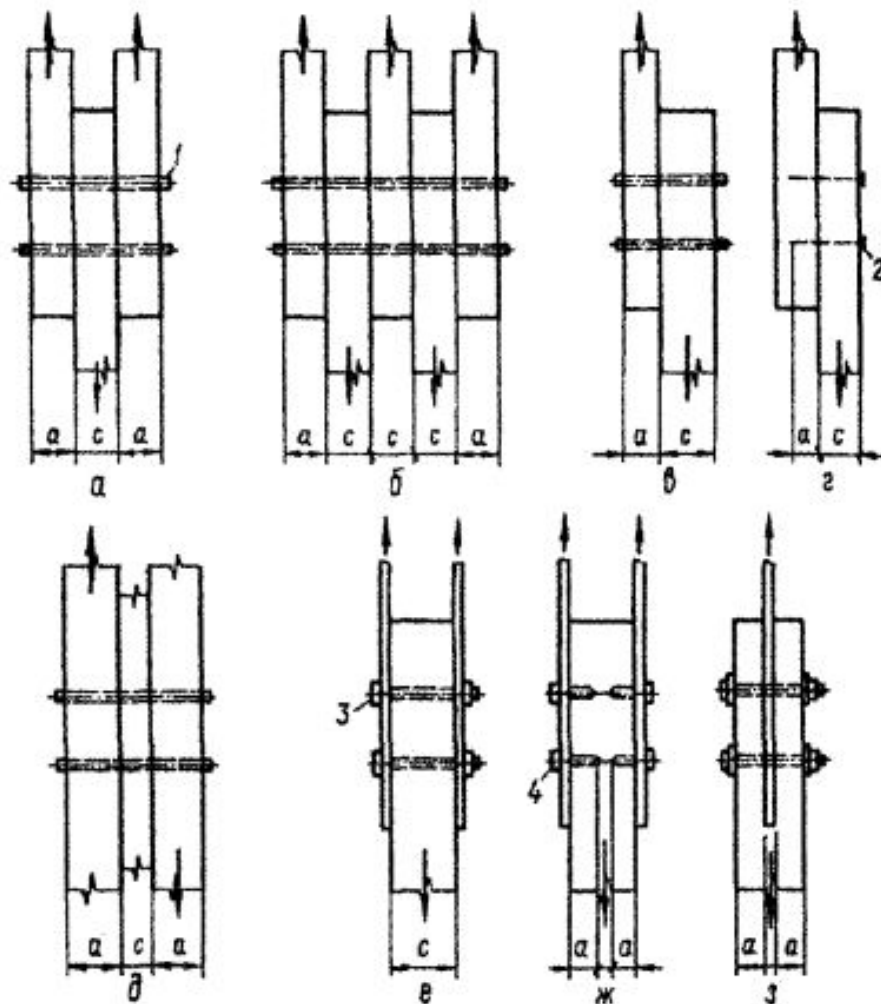


Рис. 5.8. Види з'єднань на нагелях

а – симетричні двозрізні; б – симетричні багатозрізні; в, г – несиметричні однозрізні; д – несиметричні двозрізні; е, ж, з – симетричні з тонкими накладками з металу чи пластмаси; 1 – циліндричний стержень (штир); 2 – цвях; 3 – болт; 4 – глухар.

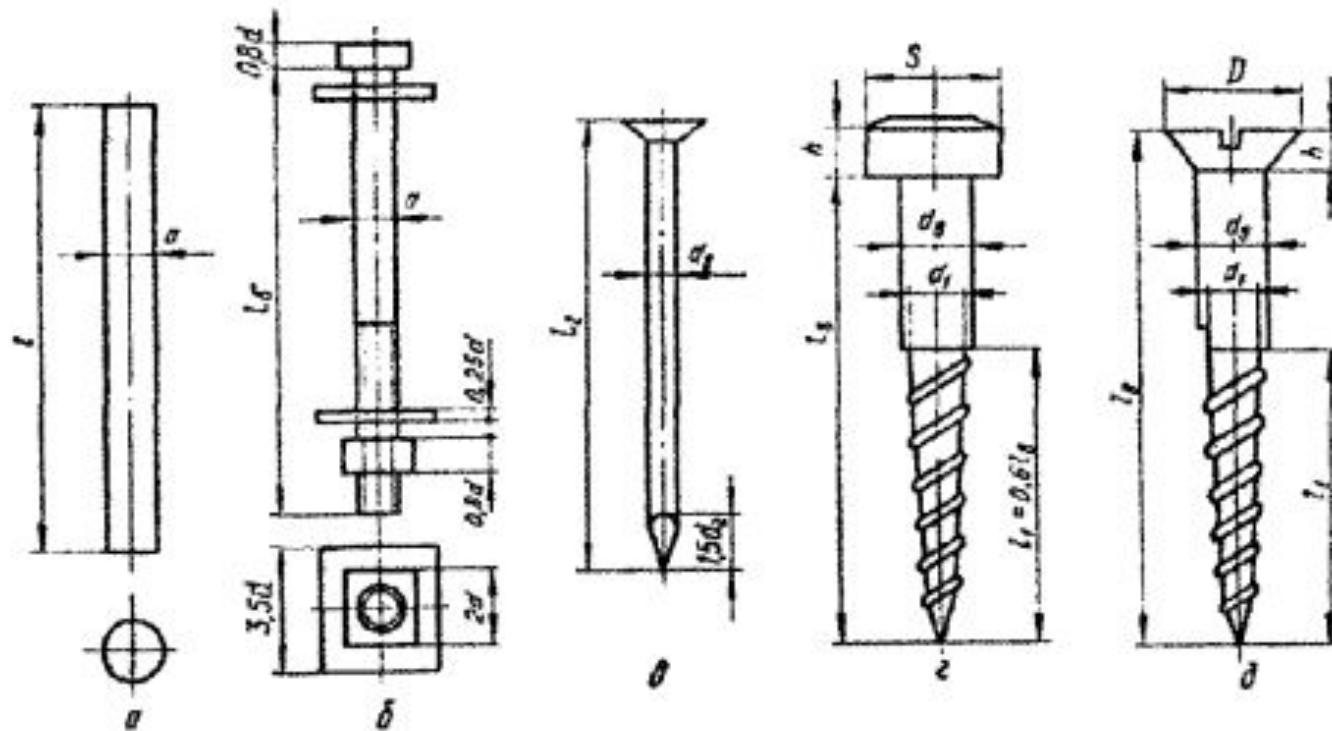


Рис. 5.9. Види циліндричних нагелів

а – циліндричний стержень (штир); б – болт; в – цвях; г – глухар; д – шуруп.

Розрахункову несучу здатність цвяха, що працює на висмикування обчислюють з виразу

$$T = R_{\text{вус}} \pi d l_1 \quad (5.13)$$

де d , l_1 - діаметр і розрахункова довжина заземленої частини цвяха,

$R_{\text{вус}}$ - розрахунковий опір деревини висмикуванню. Приймається для цвяха в сухій деревині $R_{\text{вус}} = 0,3 \text{ МПа}$, у сирій - $R_{\text{вус}} = 0,1 \text{ МПа}$.

Необхідна кількість цвяхів у з'єднанні, n , визначається із відношення діючого зусилля, N , та несучої здатності одного цвяха, T

$$n = \frac{N}{T} \quad (5.14)$$

Робочу довжину цвяха l_1 знаходять по його загальній довжині, з якої виключається товщина дощок, що прибиваються, а також довжина вістря цвяха, $1,5d$ і можлива щілина між елементами шириною $0,2 \text{ см}$, що не приймає участі у роботі на тертя (рис. 5.10). Розміри цвяха підбирають із умови, щоб його розрахункова довжина складала $l_1 \geq 10d$ і не менше подвійної товщини дошки, що прибивається.

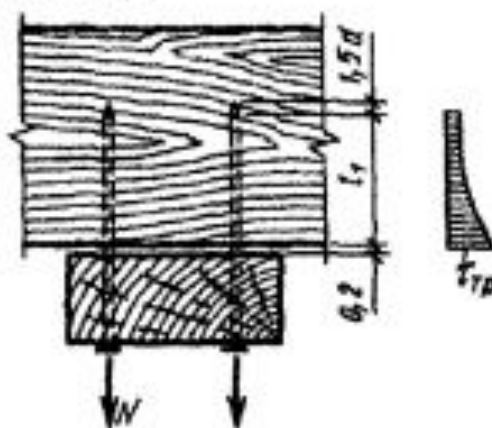


Рис. 5.10. Цвяхи, що працюють на висмикування

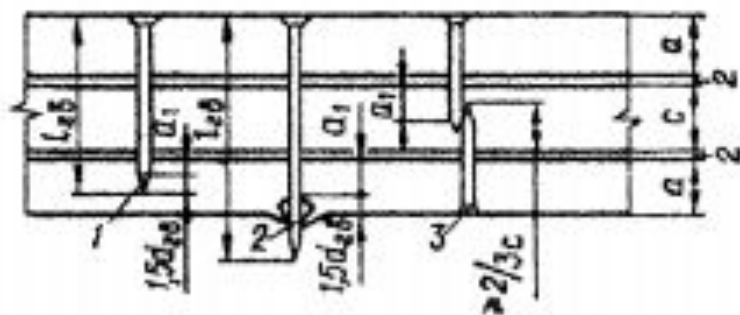


Рис. 5.11. Цвяхи, що працюють на згин

1 – глухе забивання; 2 – наскрізне забивання; 3 – зустрічне забивання по одній рисці.

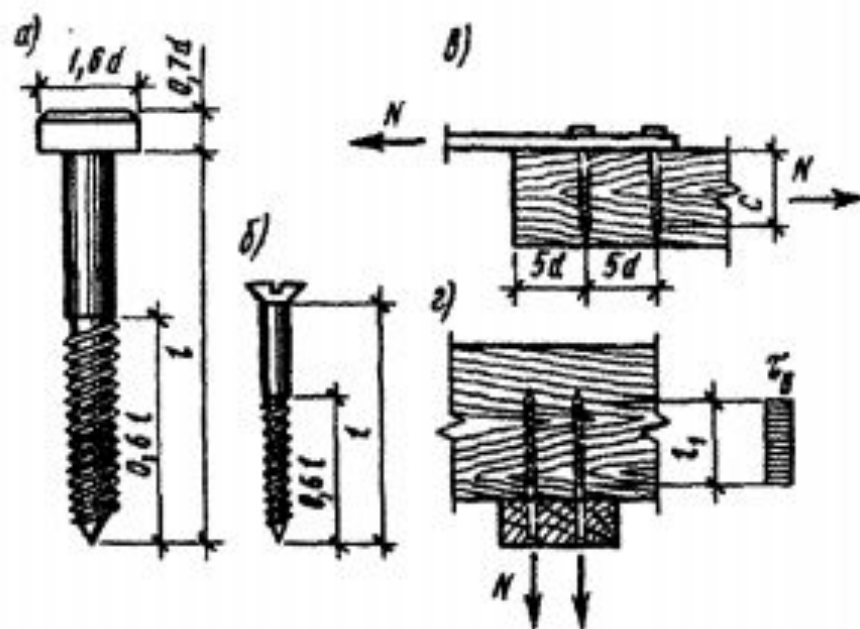


Рис. 5.12. З'єднання на гвинтах

а) – глухар; б) – шуруп; в) – робота гвинта на згин; г) – робота гвинта на висмикування.

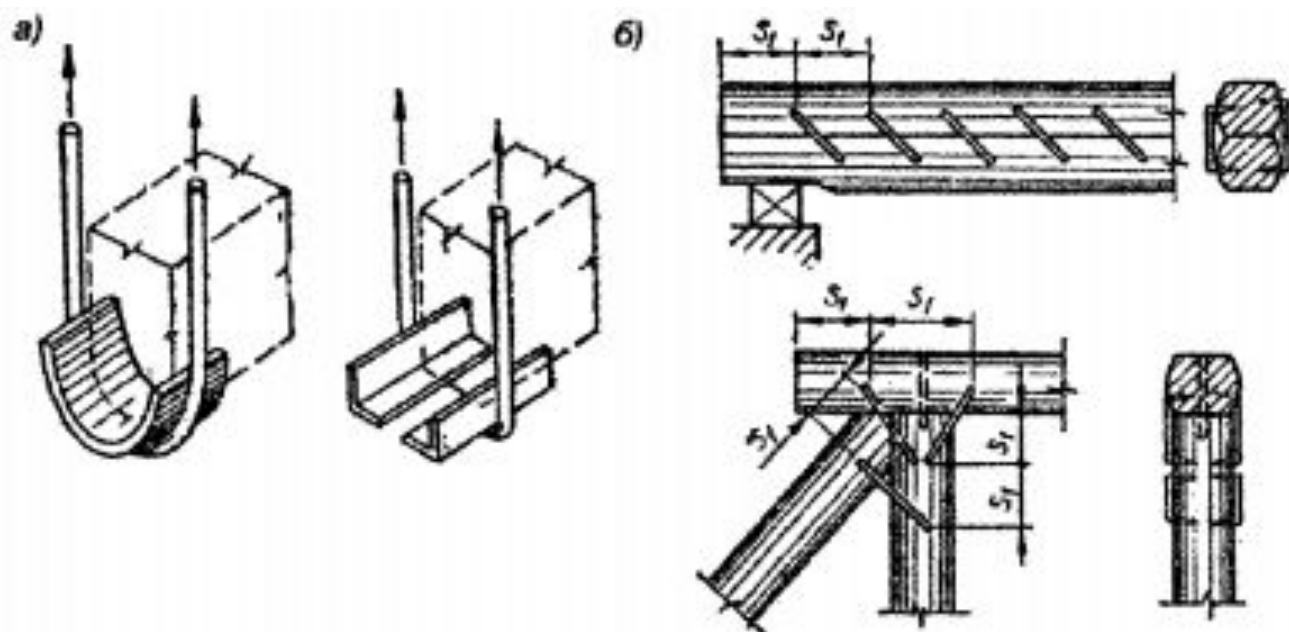


Рис. 5.13. З'єднання на хомутах та скобах
 а) – з'єднання на хомутах; б) – з'єднання на скобах.

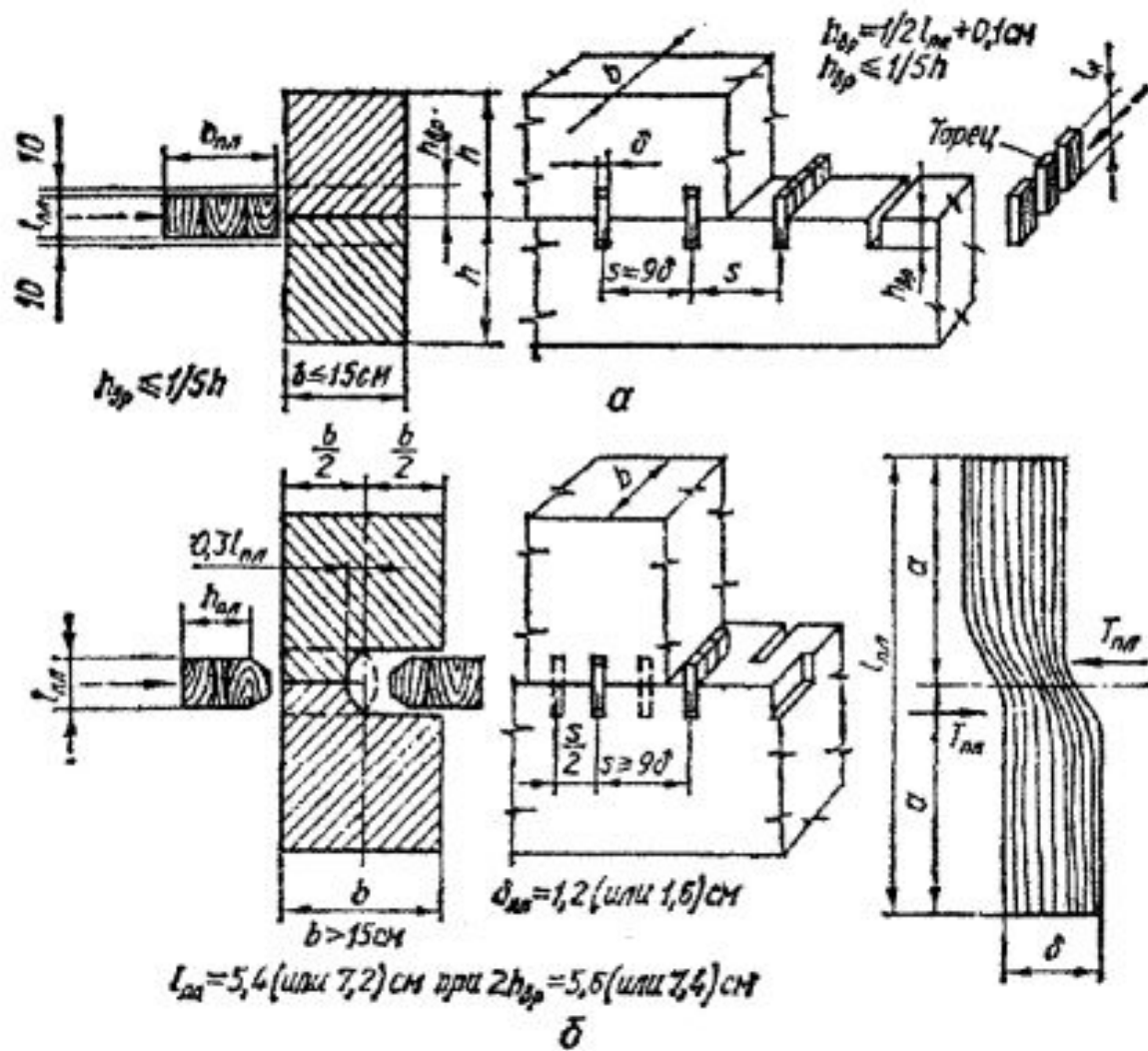


Рис. 5.15. З'єднання на пластинчастих нагелях
 а – наскрізне розташування нагелів; б – глухе розташування нагелі.

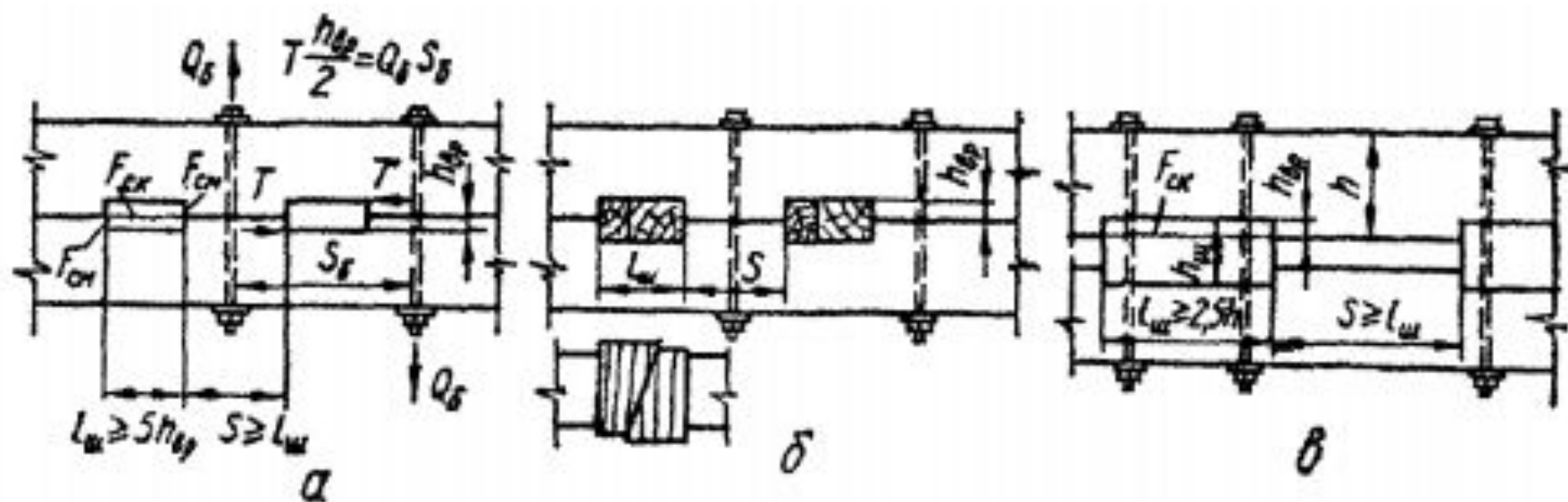


Рис. 5.16. З'єднання на шпонках і колодках

а – на поздовжніх шпонках; б – на поперечних шпонках; в – на колодках.

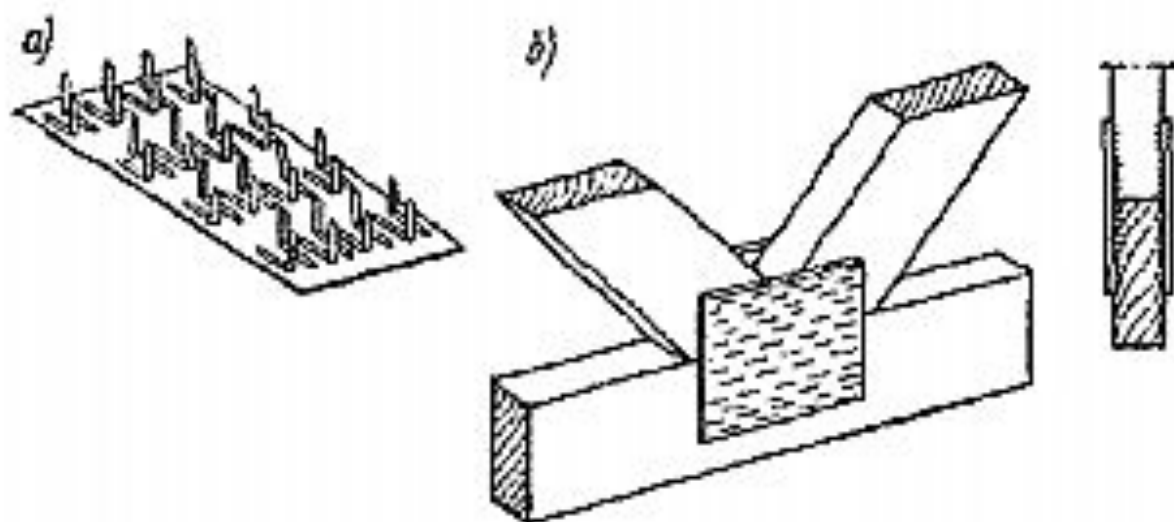


Рис. 5.17. З'єднання на цвяхових пластинках

а) – зубчасті пластини (система „Ганг-Нейл”); б) – вузол дощатої ферми.

СКЛЕЮВАННЯ ДЕРЕВИНИ

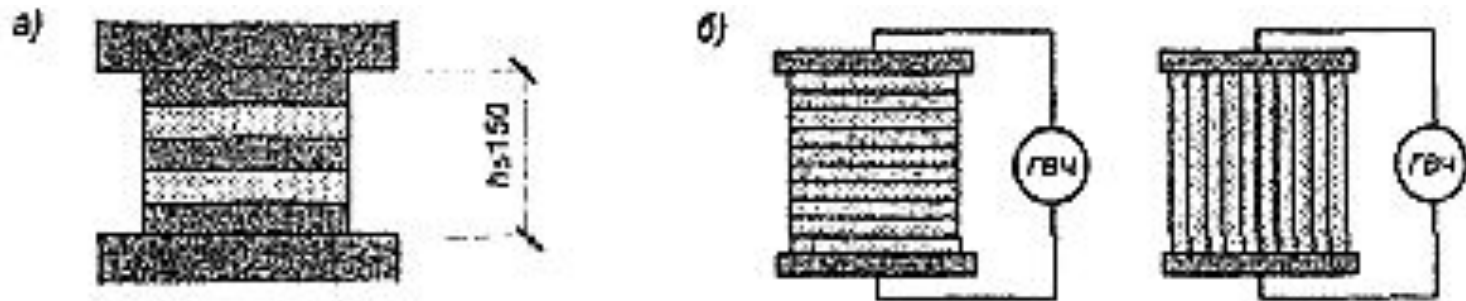


Рис. 5.19. Способи склеювання деревини

а) – контактний спосіб; б) – високочастотний спосіб.

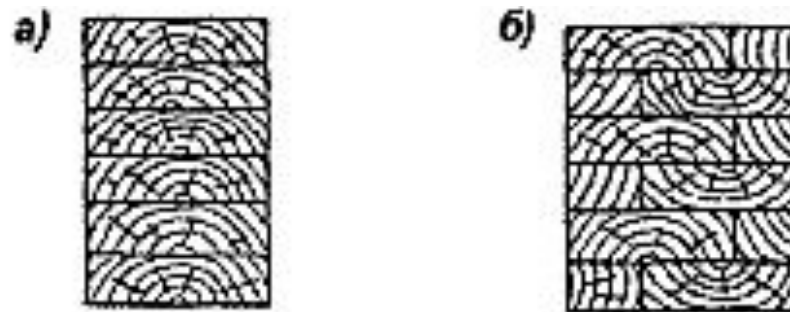


Рис. 5.20. Збільшення ширини перерізу елемента

а) – ширина пакету до 150 мм; б) – ширина пакету більша 150 мм.

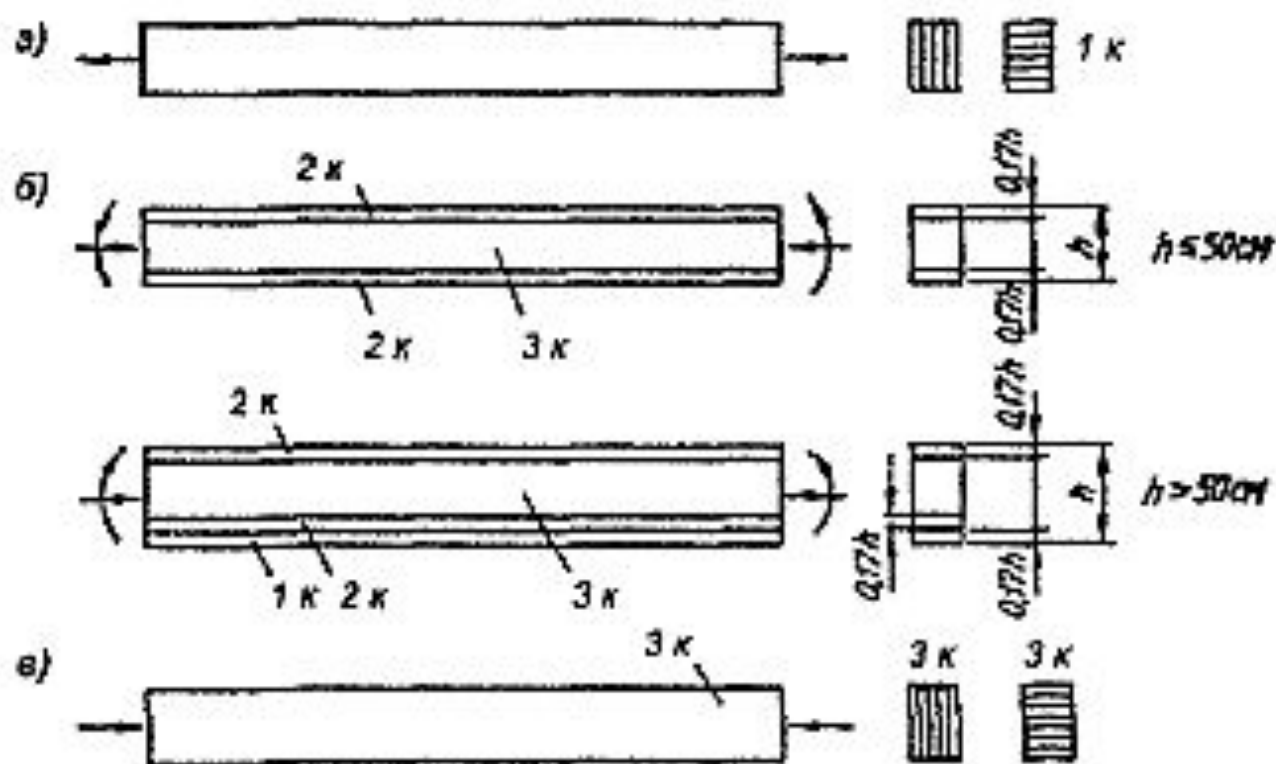


Рис. 5.21. Розташування дощок по висоті перерізу

а) – розтягнутий стержень; б) – згинальні та стиснуто-зігнуті елементи;
 в) – стиснутий стержень.

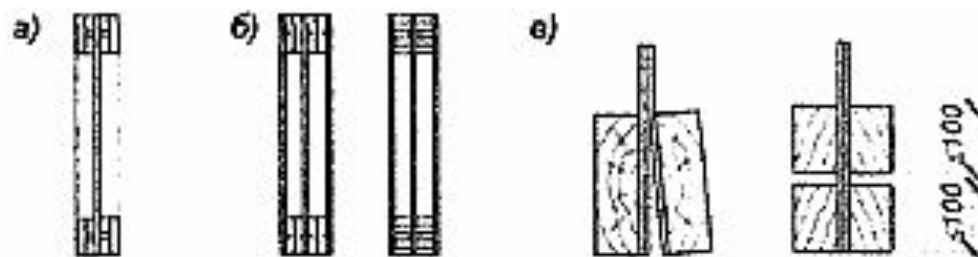


Рис. 5.23. Елементи двотаврового та коробчастого перерізів

а) – елемент двотаврового перерізу; б) – елемент коробчастого перерізу; в) – характер руйнування клеєфанерного елемента.

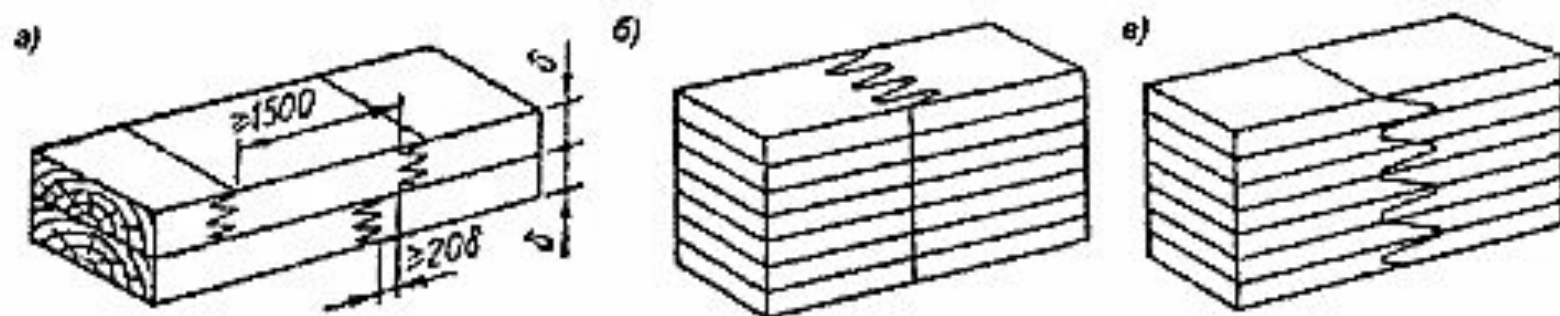


Рис. 5.24. З'єднання зубчастим шипом

а) – стикування дощок; б) – стикування пакетів із виходом зубів на пластів; в) – те ж із виходом зубів на кромку.

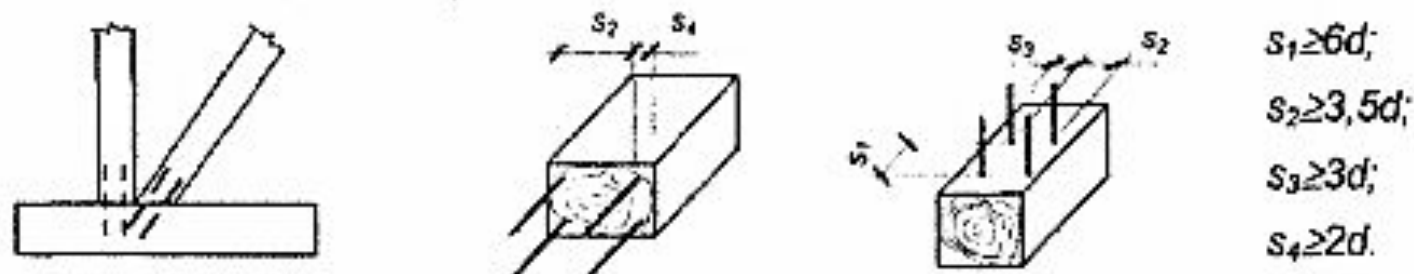


Рис. 5.25. З'єднання на вклеєних стержнях

З'ЄДНАННЯ ПЛАСТМАС

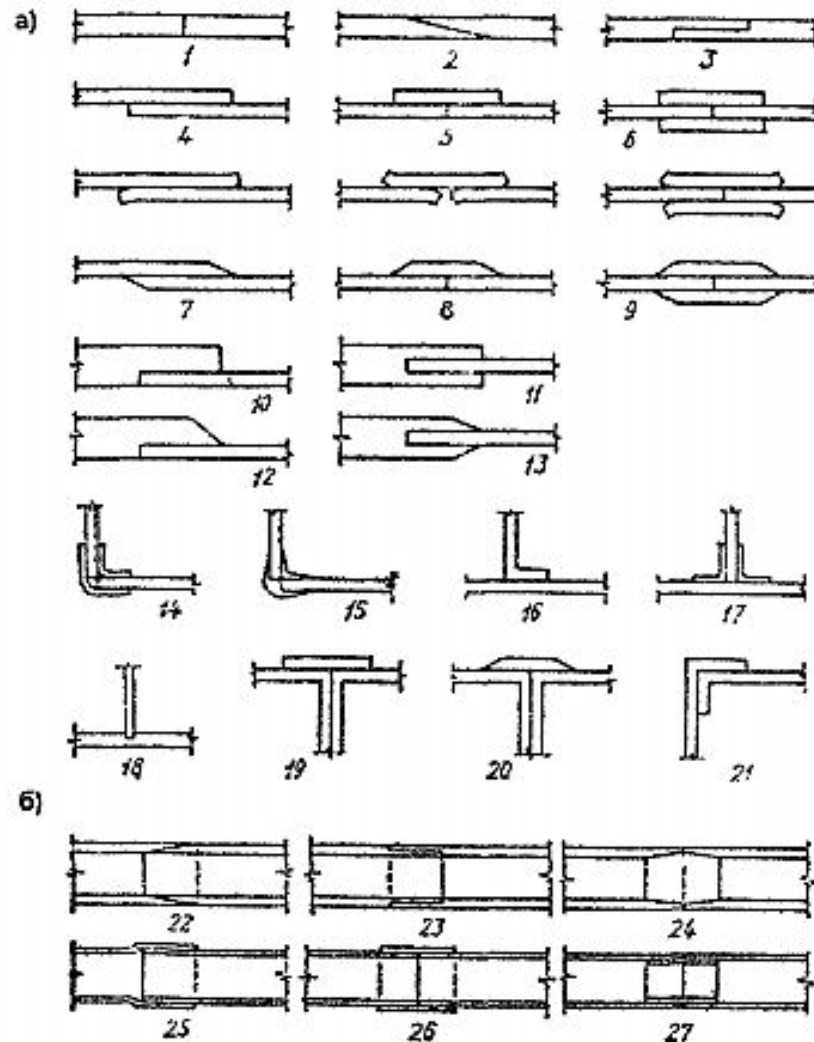


Рис. 5.26. Види клейових з'єднань пластмас

а) – листових матеріалів; б) – трубчастих матеріалів; 1, 16, 21 – в стик; 2, 22 – на „вус“; 3, 23 – в напівпереріз; 4, 7 - в напуск; 5, 6, 8, 9, 14, 15, 17, 19, 20 – з накладками; 10, 12, 18 – врізани; 11, 13 – в шпунт; 24 – із вкладишами; 25 – в розтруб; 26 - з муфтою; 27 - із втулкою.

Клейові шви в основному працюють на зсув, тому розрахунок їх ведуть за дотичними напругами

$$\tau = \frac{Nk_w}{A_w} \leq R_{sh}, \quad (5.21)$$

де k_w - коефіцієнт розподілу зсувних напруг по довжині шва,

A_w - площа шва,

R_{sh} - розрахунковий опір зсуву клейового шва.

При з'єднанні внапуск, з одною накладкою та "на вус", виникаючий момент $M=Ne$, створює відривні зусилля, котрі різко знижують міцність шва, тому варто надавати перевагу більш трудомістким з'єднанням з двома накладками. Розрахунок таких з'єднань ведуть за дотичними і нормальними напругами:

$$\tau = \frac{N \sin \alpha \cos \alpha}{A_w} \leq R_{sh}, \quad (5.22)$$

$$\sigma = \frac{N \sin^2 \alpha}{A_w} \leq R_t, \quad (5.23)$$

де α - кут нахилу шва відносно лінії дії сили,

R_t - розрахунковий опір розтягу клеєного шва.

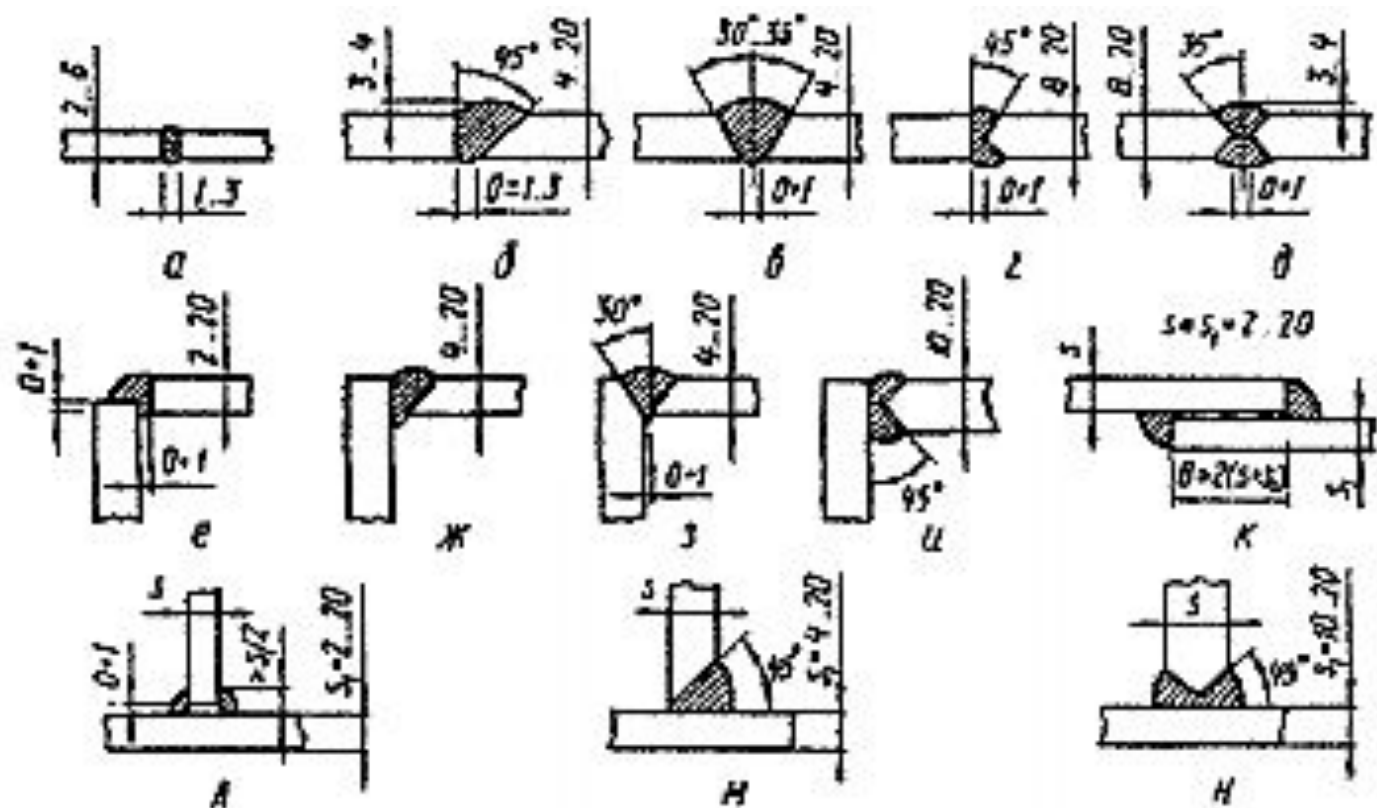


Рис. 5.27. Види зварних швів

а, б, в, г, д – встик; е, ж, з, и – кутові; к – в напуск; л, м, н – таврові.

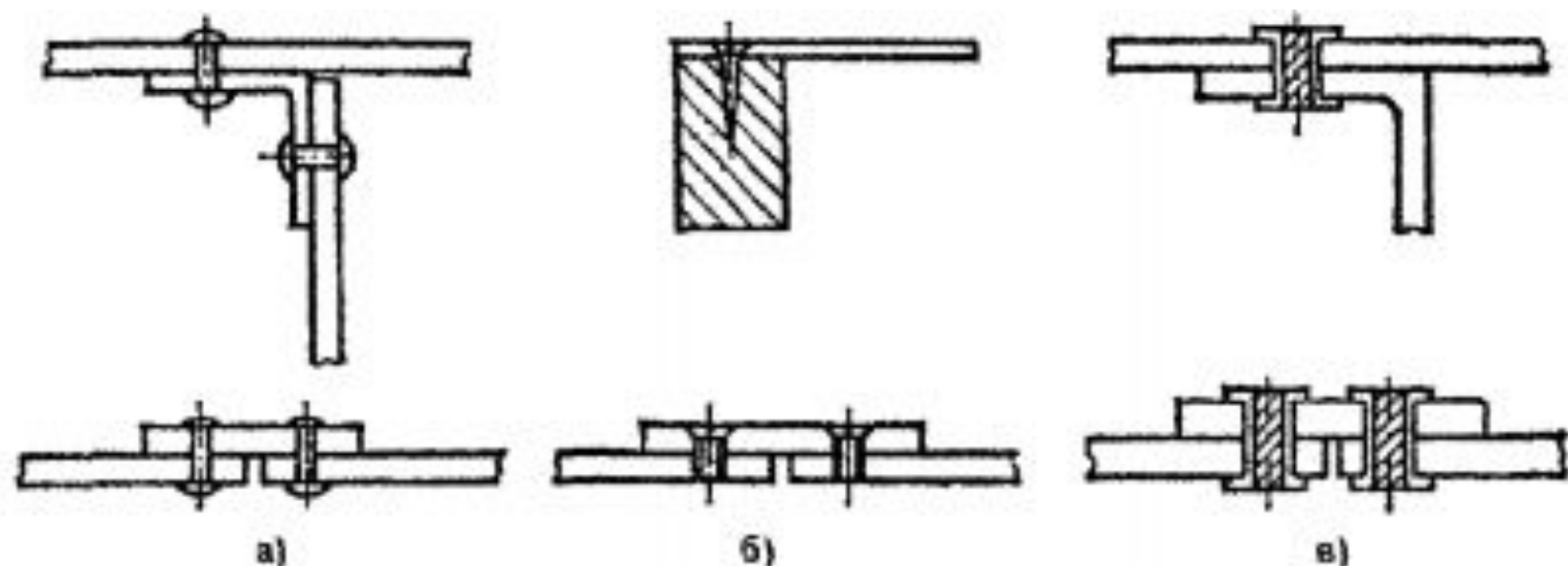


Рис. 5.28. Механічні з'єднання пластмас

а) – заклепкові; б) – гвинтові; в) – трубчастими заклепками.

СКЛАДЕНІ ЕЛЕМЕНТИ НА ПОДАТЛИВИХ Р'ЯЗЯХ

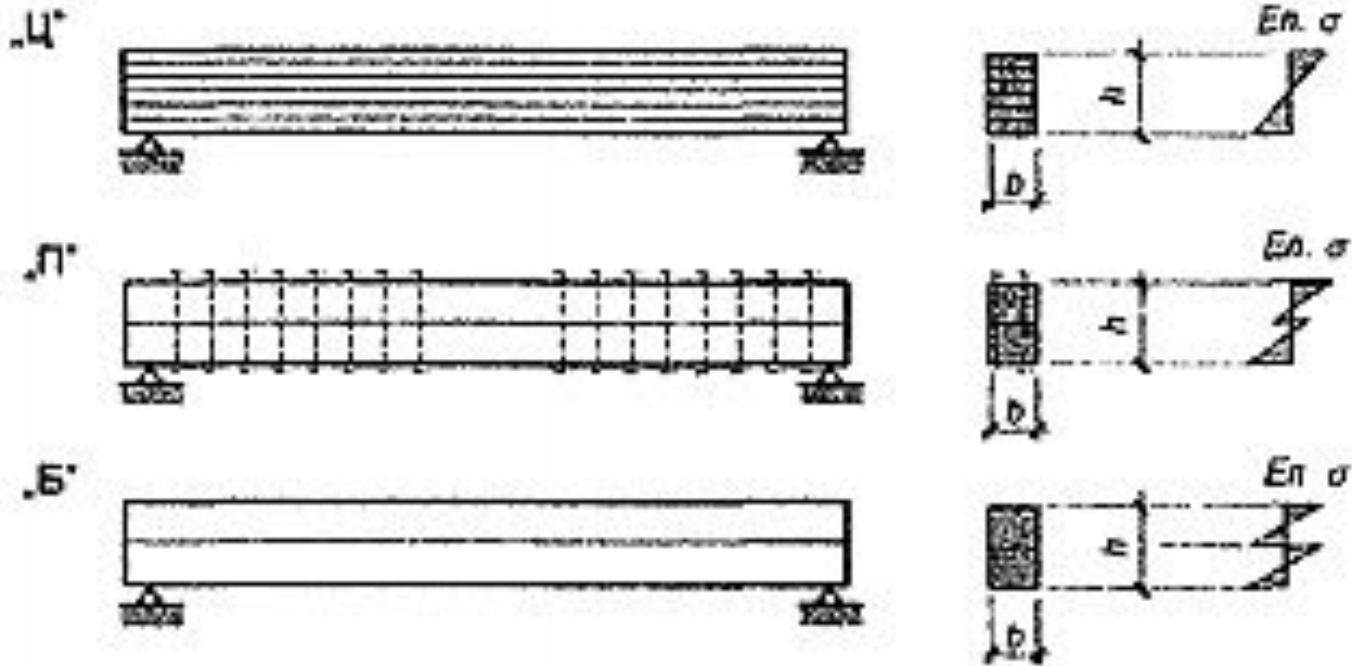


Рис. 6.1. Три типи складеного згинального елемента

Прийнято, що співвідношення моментів інерції балок однакових розмірів обернено пропорційне їх прогинам

$$I_B : I_n : I_U = f_U : f_n : f_B \quad (6.1)$$

Звідси всі геометричні характеристики поперечного перерізу балки на податливих в'язях виражають через геометричні характеристики балки цільного перерізу:

$$I_n = \frac{f_U}{f_n} I_U = k_x I_U, \quad (6.2)$$

$$W_n = k_w W_U, \quad (6.3)$$

де k_x, k_w - коефіцієнти, які враховують податливість з'єднання. Значення їх залежить від прольоту та кількості шарів у конструкції (табл. 13 [7]).

При розрахунку стиснутих елементів складеного перерізу необхідно знати також їх розрахункові гнучкості. Виражаючи гнучкість складеного стержня через його момент інерції, отримують

$$\lambda_n = \frac{l}{I_n} = \frac{l}{\sqrt{\frac{I_n}{A}}} = \frac{l}{\sqrt{\frac{k_x I_U}{A}}} = \frac{1}{\sqrt{k_x}} \lambda_U = \mu \lambda_U. \quad (6.4)$$

Сумісну роботу окремих елементів складеної балки забезпечують в'язі, котрі сприймають зсувні зусилля, перешкоджаючи взаємному зсуву елементів.

НАСТИЛИ

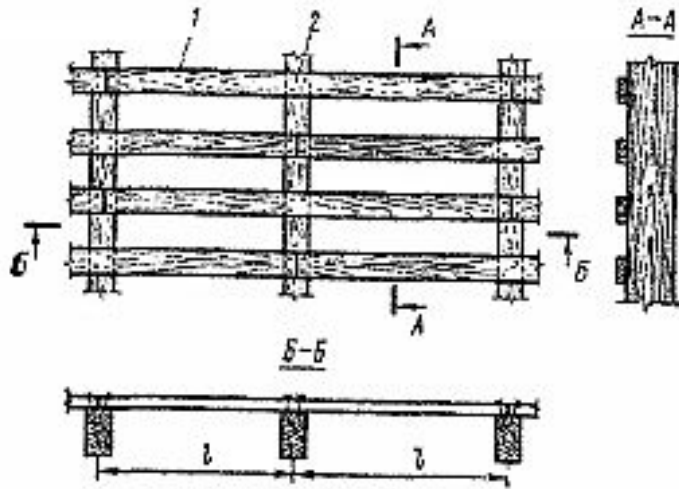


Рис. 7.1. Розріджений настил

1 – дошки; 2 – цвяхи.

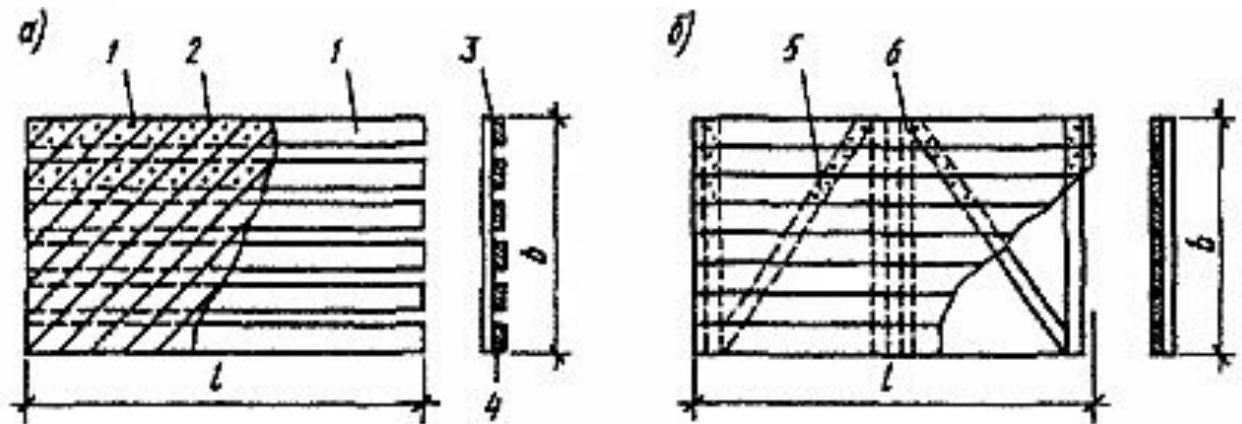


Рис. 7.2. Дощато-цвяхові щити настилів

а) – щит подвійного перехресного настилу; б) – щит одношарового розкiсного настилу; 1 – дошки; 2 – цвяхи; 3 – косий захисний настил; 4 – розріджений робочий настил; 5 – розкоси; 6 – поперечини.

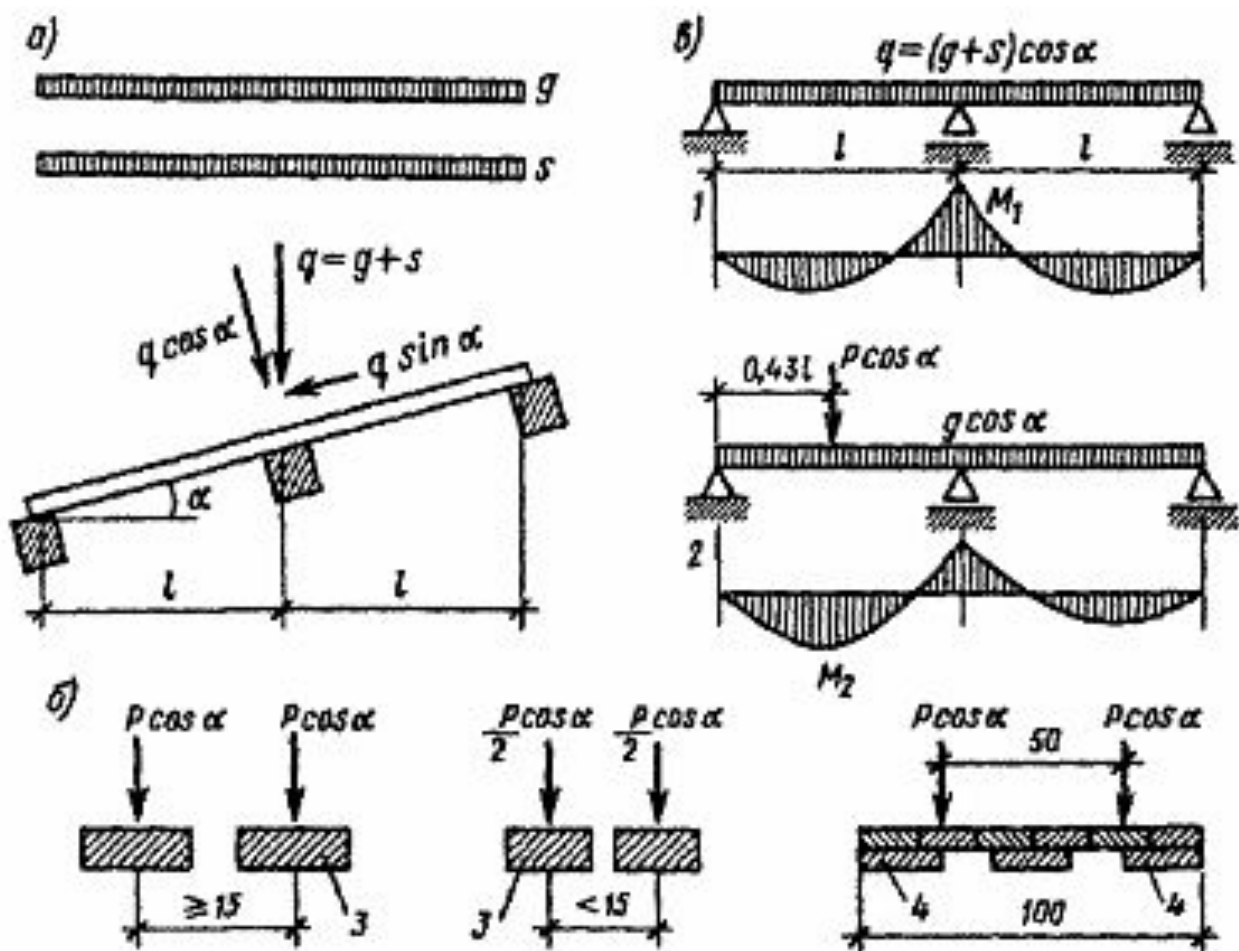


Рис. 7.3. Розрахункові схеми настилів

а) – схеми рівномірно розподілених навантажень; б) – схеми зосереджених навантажень; в) – розрахункові схеми; 1 – перше сполучення навантажень; 2 – друге сполучення навантажень; 3 – дошки розрідженого настилу; 4 – дошки робочого настилу.

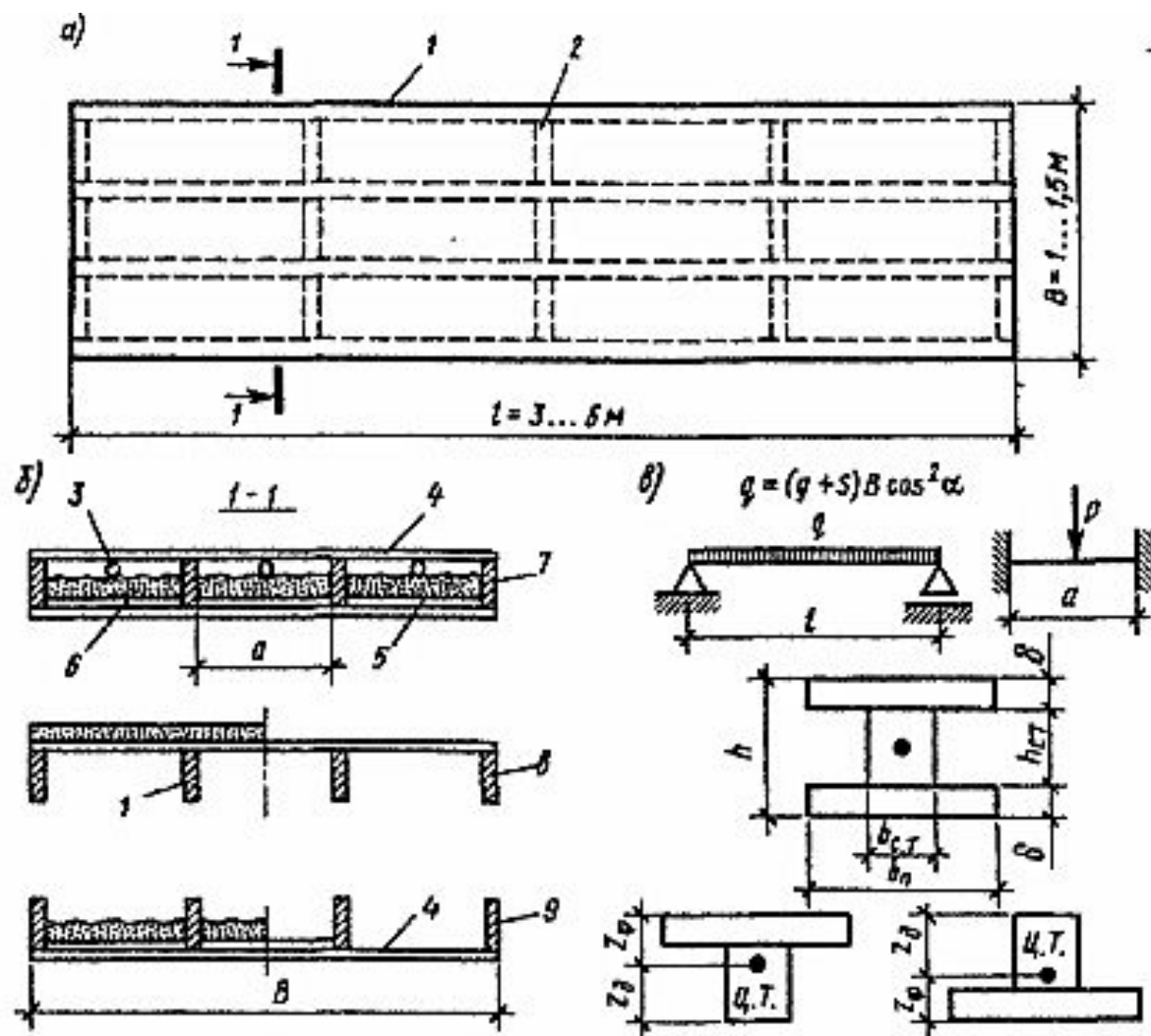


Рис. 7.4. Клефанерні ребристі плити настилів

а) – план плити; б) – перерізи плити; в) – розрахункові схеми і перерізи; 1 – поздовжні ребра; 2 – поперечні ребра; 3 – вентиляційні отвори; 4 – обшивки; 5 – пароізоляція; 6 – утеплювач; 7 – плита коробчастого перерізу; 8 – плита з верхньою обшивкою; 9 – плита з нижньою обшивкою.

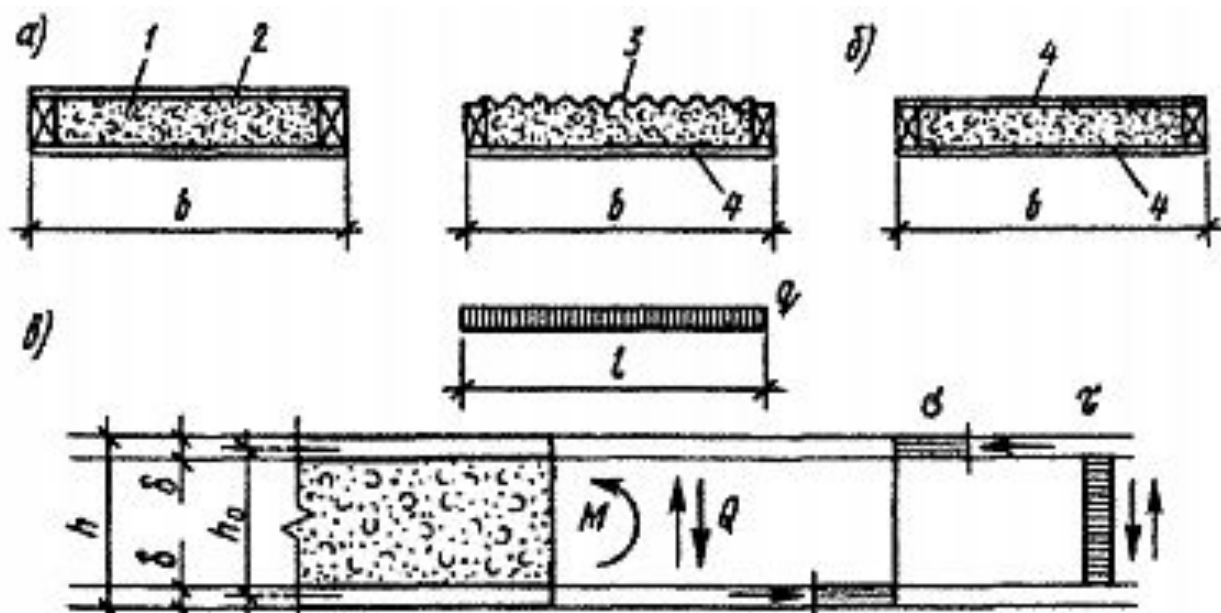


Рис. 7.6. Суцільні тришарові пластмасові плити

а) – з азбестоцементними обшивками; б) - з алюмінієвими обшивками; в) – розрахункові схеми; 1 – пінопласт; 2 – азбестоцемент; 3 – гофрований алюміній; 4 – плоский алюміній.

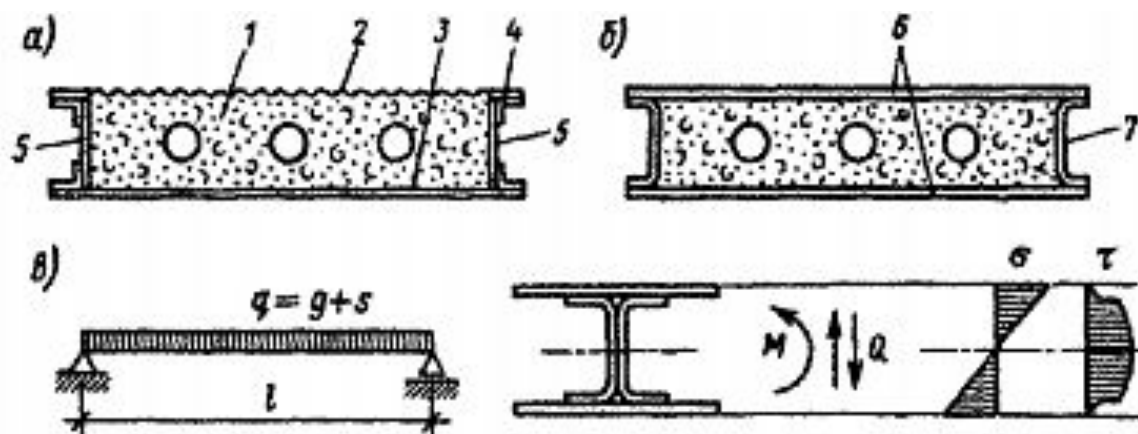


Рис. 7.7. Ребристі тришарові пластмасові плити

а) – з алюмінієвими обшивками; б) – з азбестоцементними обшивками; в) – розрахункові схеми; 1 – пінопласт; 2 – гофрований алюміній; 3 – плоский алюміній; 4 – алюмінієві кутики; 5 – бакелізована фанера; 6 – плоский азбестоцемент; 7 – азбестоцементні швелери.

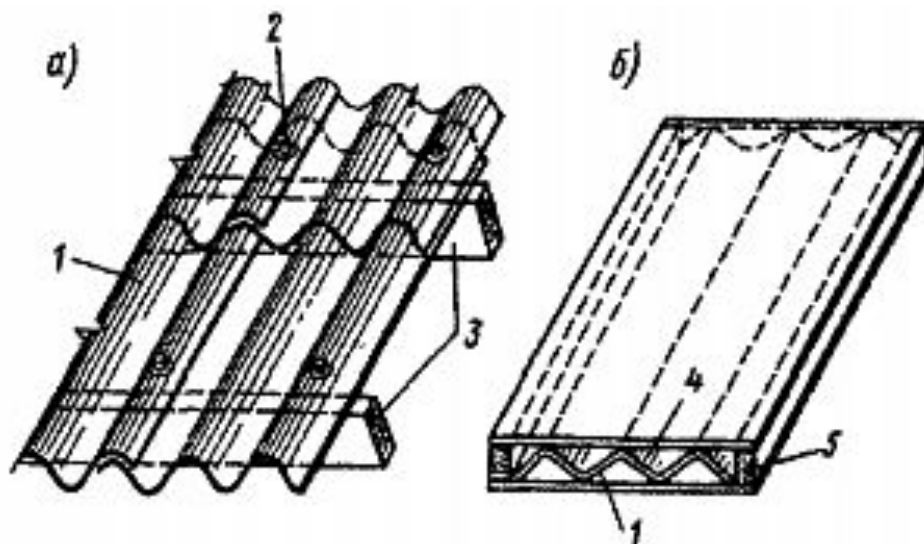


Рис. 7.8. Прозорі пластмасові настили

а) – хвилясті листи; б) – плита; 1 – хвилясті склопластикові листи; 2 – кріплення; 3 – дерев'яні прогони; 4 – плоскі склопластикові листи; 5 – дерев'яні бруски.

ПЛОСКІ КОНСТРУКЦІЇ СУЦІЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ

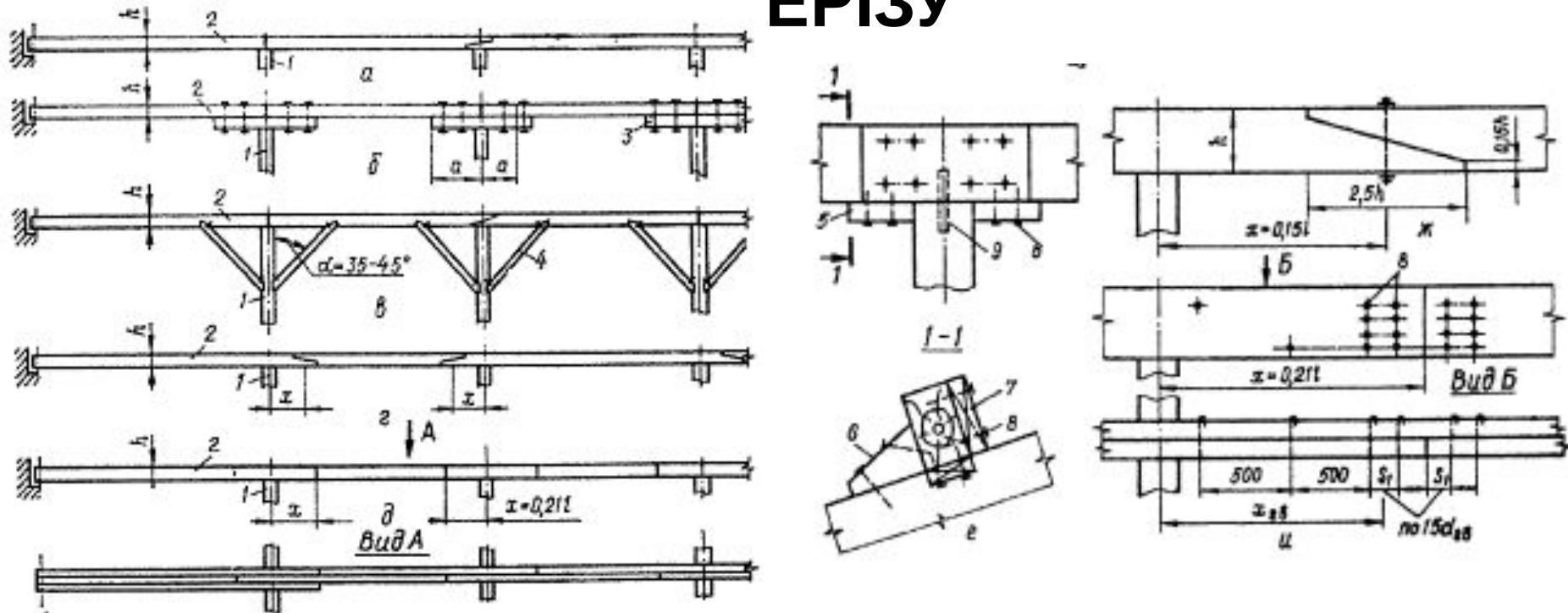


Рис. 8.1. Схеми і конструкції прогонів

а – розрізний; б – розрізний з підбалками; в – розрізний з підкосами; г – консольно-балочний; д – нерозрізний; е – стик розрізного прогону; ж – стик консольно-балочного прогону; и – стик нерозрізного прогону; 1 – несуча конструкція; 2 – прогон; 3 – підбалка; 4 – підкіс; 5 – упорні кобилки; 6 – оцупок (рос. „бобышка”); 7 – накладка на стику; 8 – цвяхи; 9 – сталевий стержень.

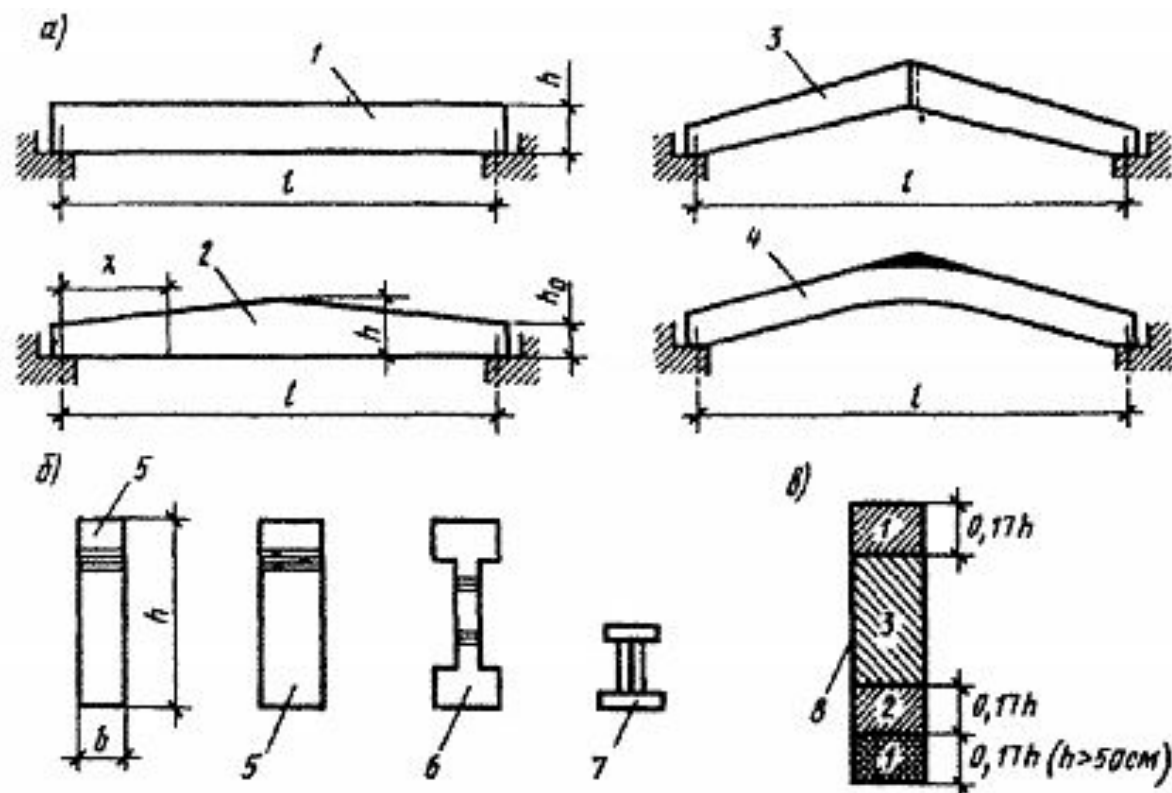


Рис. 8.2. Дощатоклесні балки

а) – види балок; б) – типи розрізів; в) – сорти якості деревини; 1 – односхила балка; 2 – двосхила; 3 – складена; 4 – гнутоклесна; 5 – прямокутний переріз; 6 – двотавровий; 7 – рельсовий; 8 – сорти якості дощок.

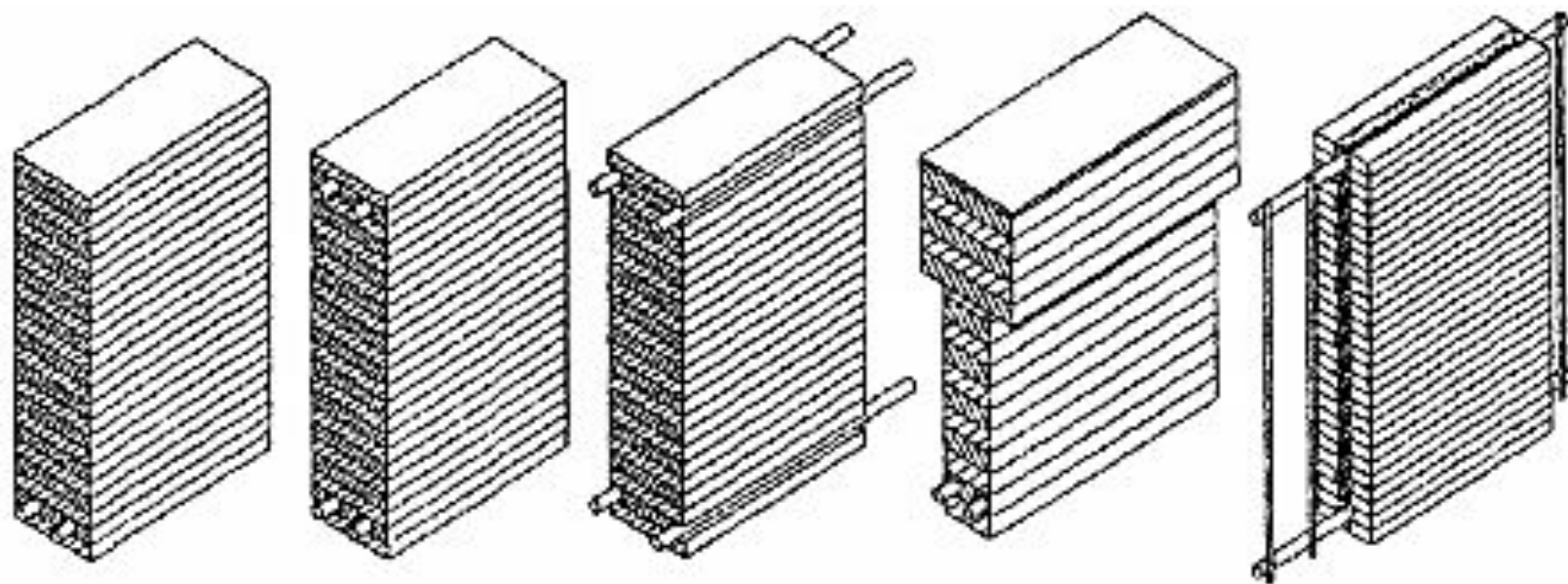


Рис. 8.3. Армовані дощатоклесні балки

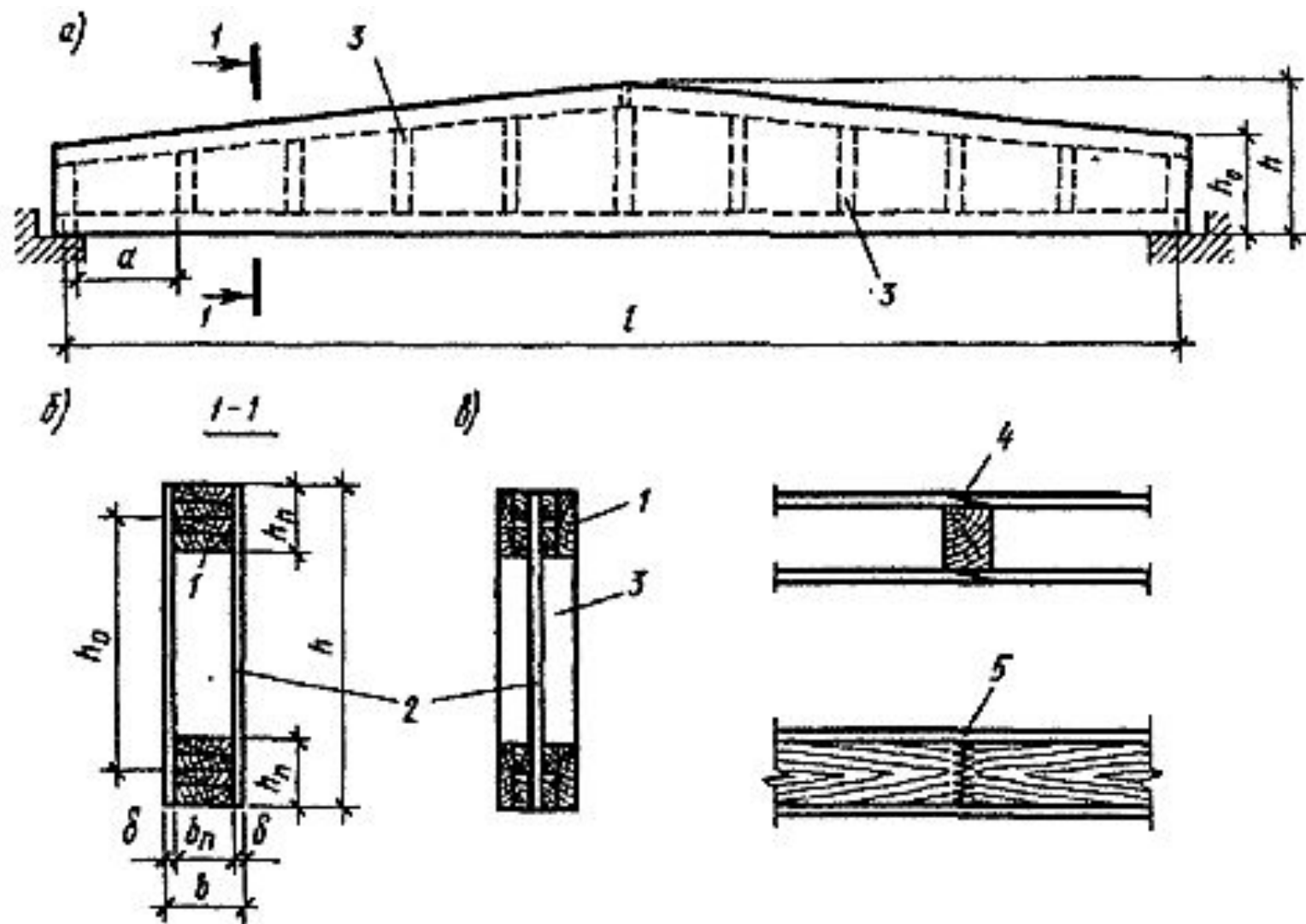


Рис. 8.4. Клеєфанерна ребриста балка

а) – загальний вигляд балки; б) – коробчастий переріз; в) – двотавровий переріз; 1 – дощатоклеєні пояси; 2 – фанерна стінка; 3 – дощаті ребра; 4 – стик стінки; 5 – стик поясів.

АРКИ

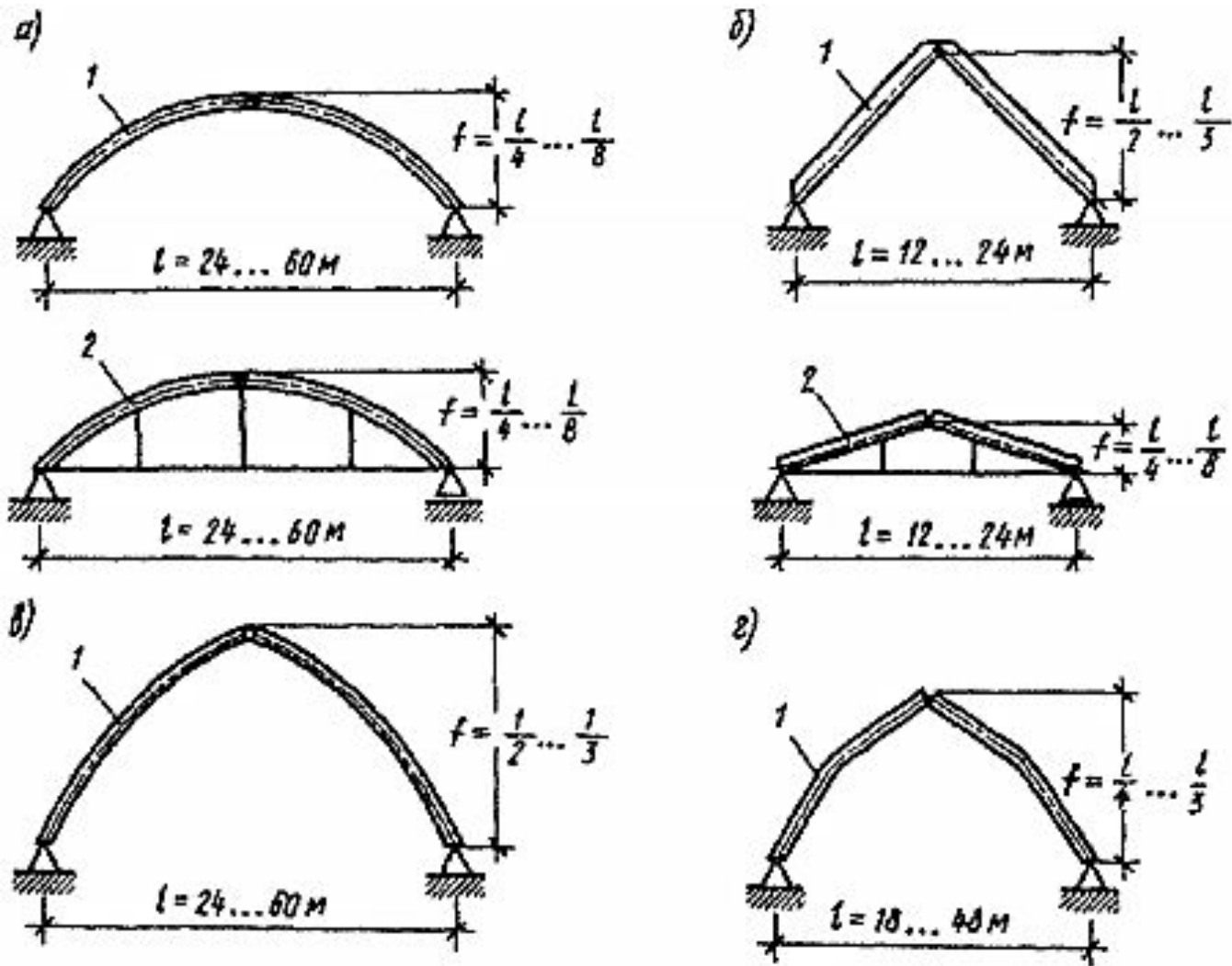


Рис. 8.5. Клесдерев'яні арки

а – сегментні; б – трикутні; в – стрілочні; г – ламані; 1 – без затяжок; 2 – із затяжками.

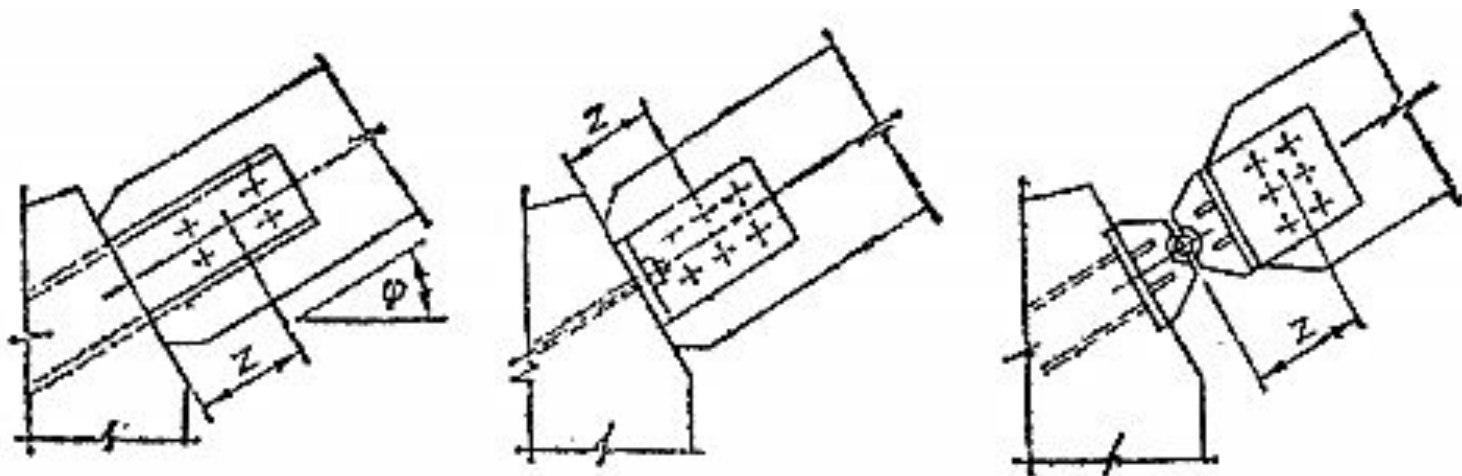


Рис. 8.7. Опорні вузли арок без затяжок

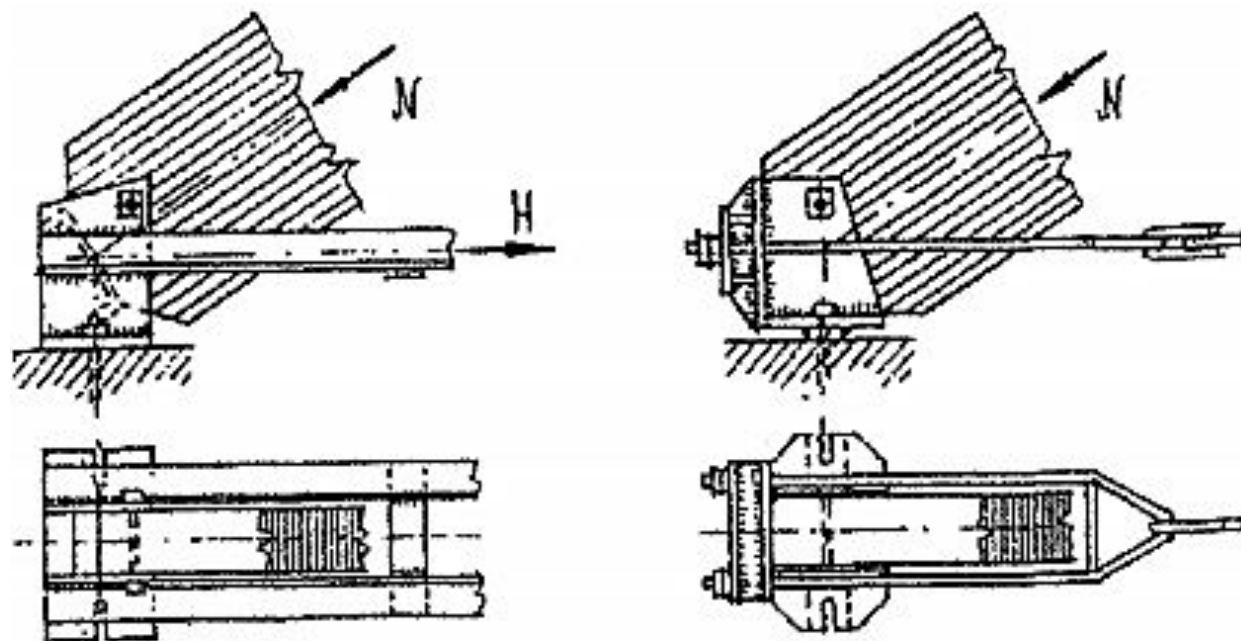


Рис. 8.8. Опорні вузли із металевими затяжками

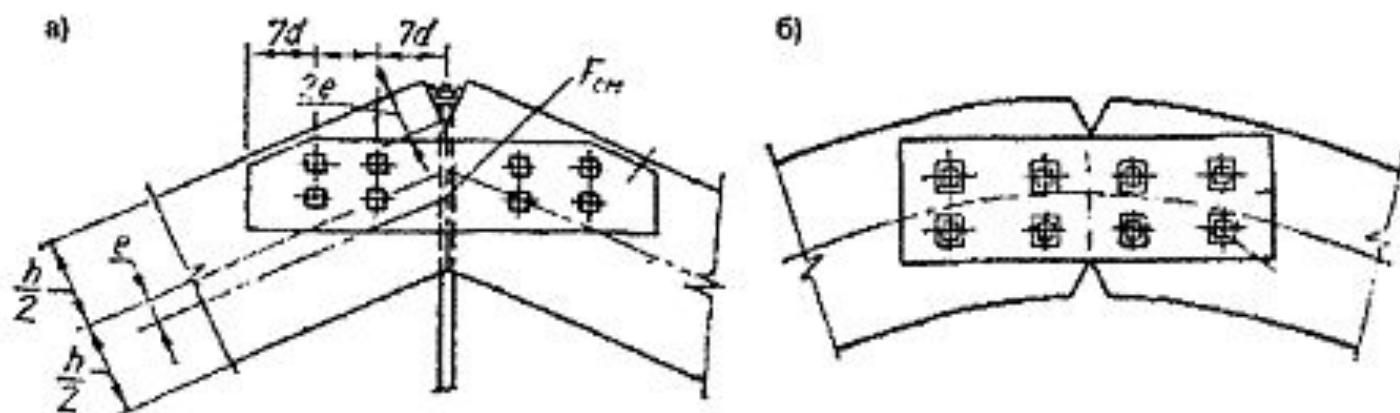


Рис. 8.9. Гребеневі вузли трикутної (а) та сегментної (б) арок

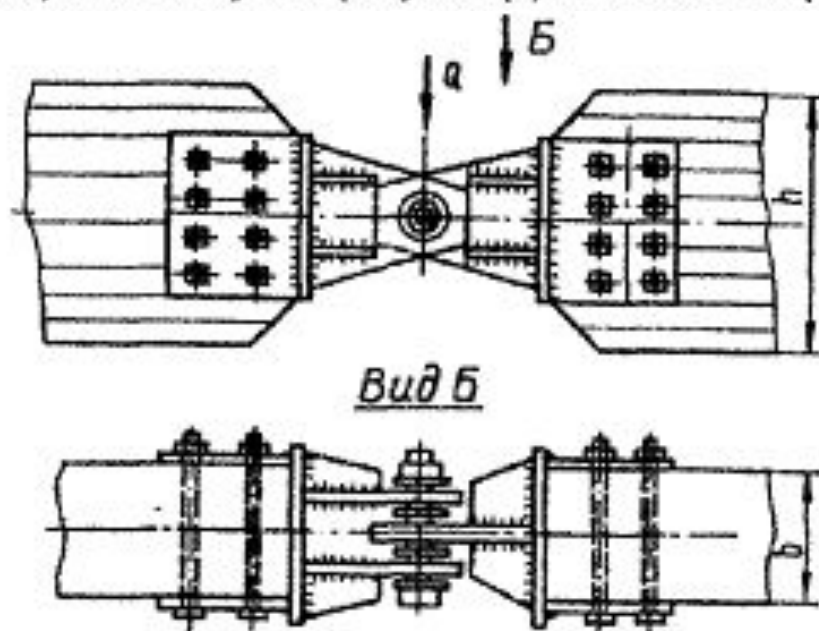


Рис. 8.10. Гребеневий вузол рухомої конструкції

РАМИ

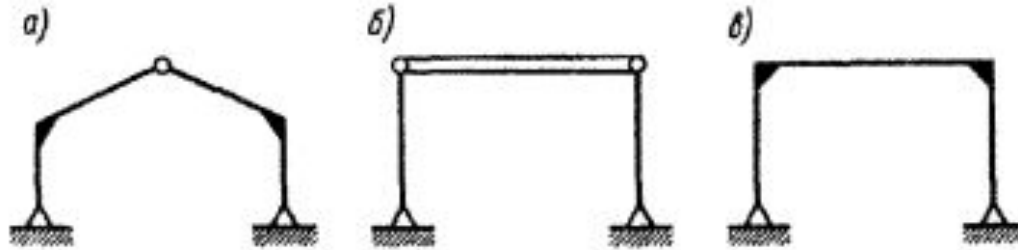


Рис. 8.11. Статичні схеми дерев'яних рам

а) – тришарнірна; б) – двошарнірна з жорстким опиранням; в) – двошарнірна з шарнірним опиранням.

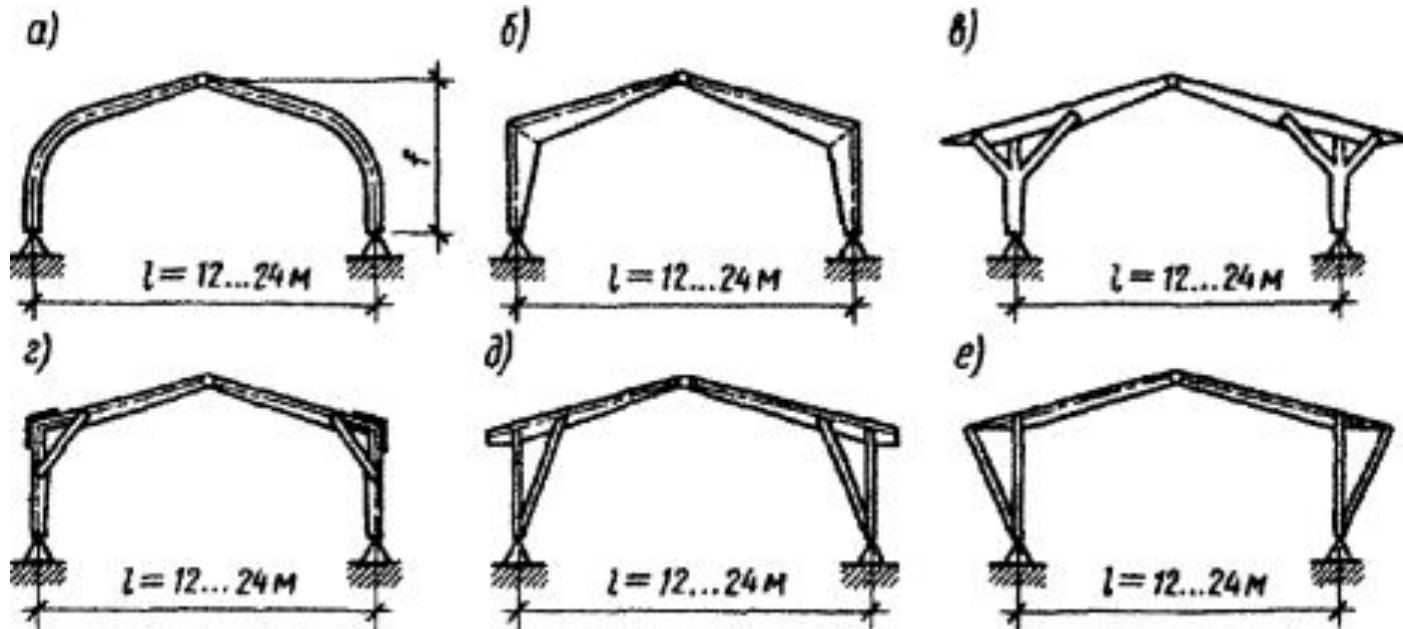
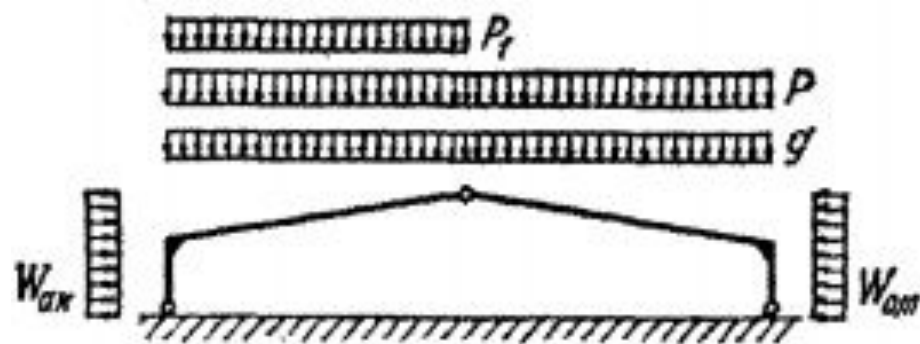


Рис. 8.12. Доштоклесні тришарнірні рами

а) – гнукотлесна; б) – із прямолінійних елементів; в) – чотирьохпідкісна; г) – двохпідкісна; д) – із внутрішніми опорними підкосами; е) – із зовнішніми опорними підкосами.



$$\begin{aligned}
 &g + p; \quad g + p_1; \\
 &g + (p + W_{ак} + W_{от}) 0,9; \\
 &g + (p_1 + W_{ак} + W_{от}) 0,9
 \end{aligned}$$

Рис. 8.13. Сполучення навантажень при розрахунку рам

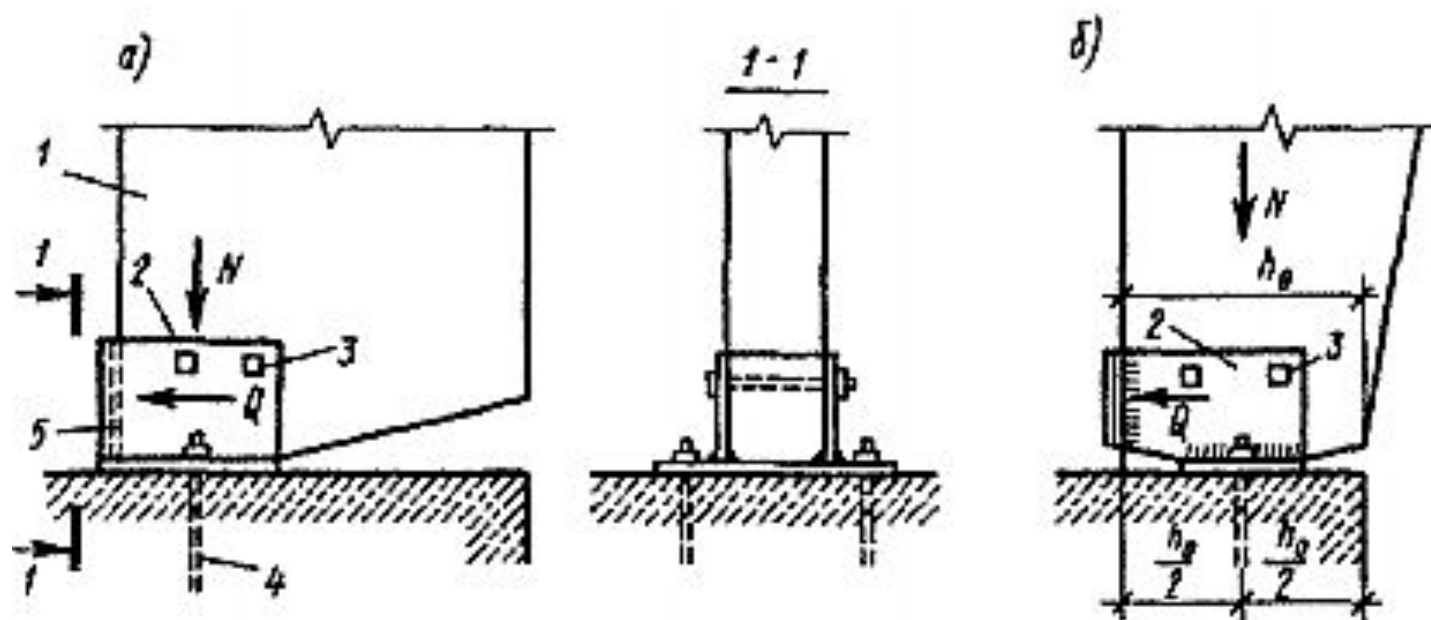


Рис. 8.14. Опорні вузли дощатоклесних рам

а) – зі стійкою постійного перерізу; б) – зі стійкою змінного перерізу; 1 – стійка; 2 – металевий башмак; 3 – болт; 4 – анкер; 5 – зварювання.



Рис. 8.15. Гребеневі вузли рам

а – з боковими накладками; б – з нижньою накладкою.

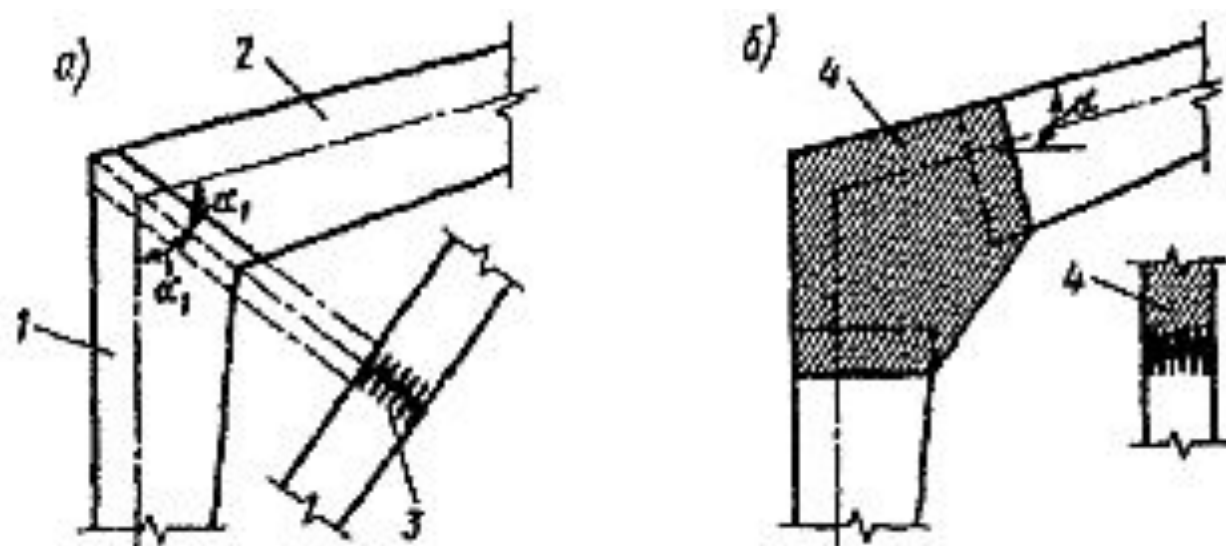


Рис. 8.16. Карнизні стики рам із прямолінійних елементів

ПЛОСКІ КОНСТРУКЦІЇ НАСКРІЗНОГО ПЕРЕРІЗУ

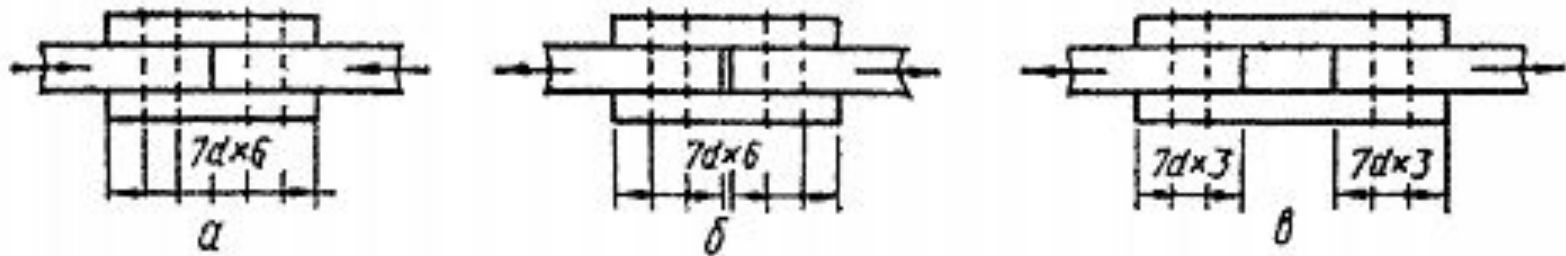


Рис. 9.1. Стиги дерев'яних елементів

а – стиснутий; б – розтягнутий зімкнутий; в – розтягнутий розімкнутий.

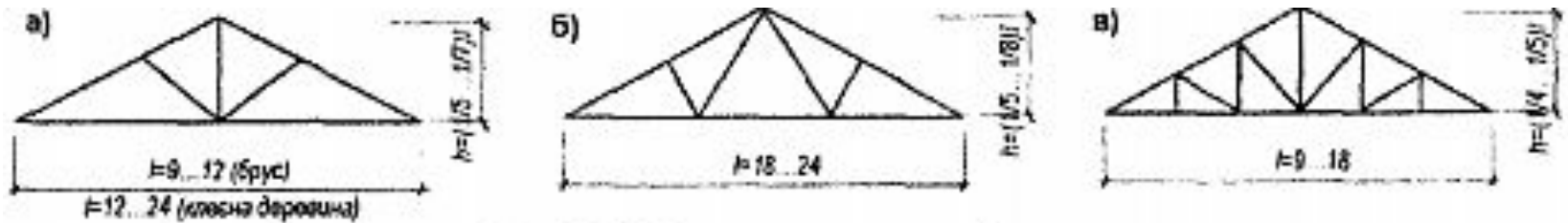


Рис. 9.2. Схеми трикутних ферм

а), б) - металодерев'яні з верхнім поясом із брусів чи клесних блоків;
в) – ферма на врубках із брусів або колод.

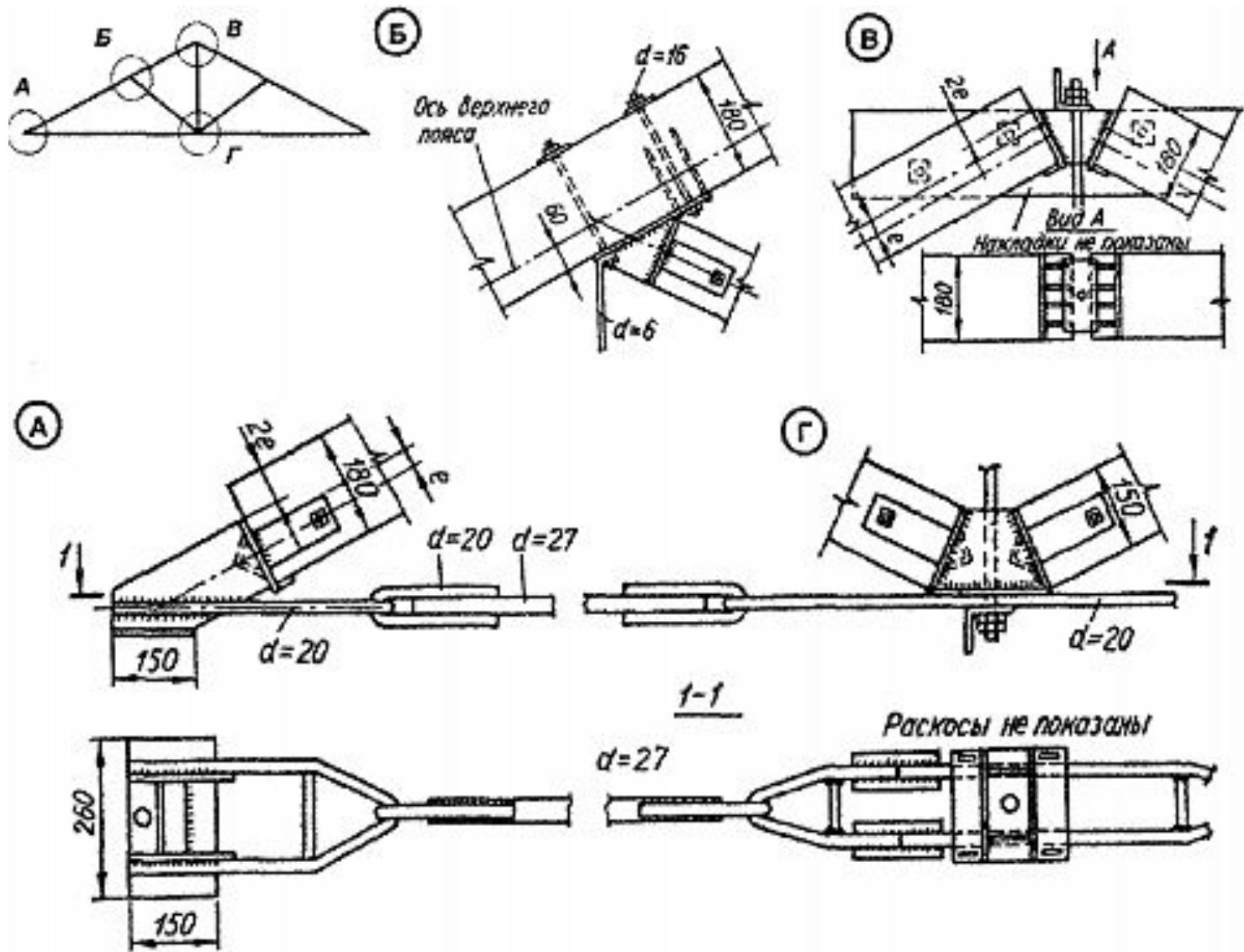


Рис. 9.3. Трикутна брусцата ферма із нерозрізним верхнім поясом

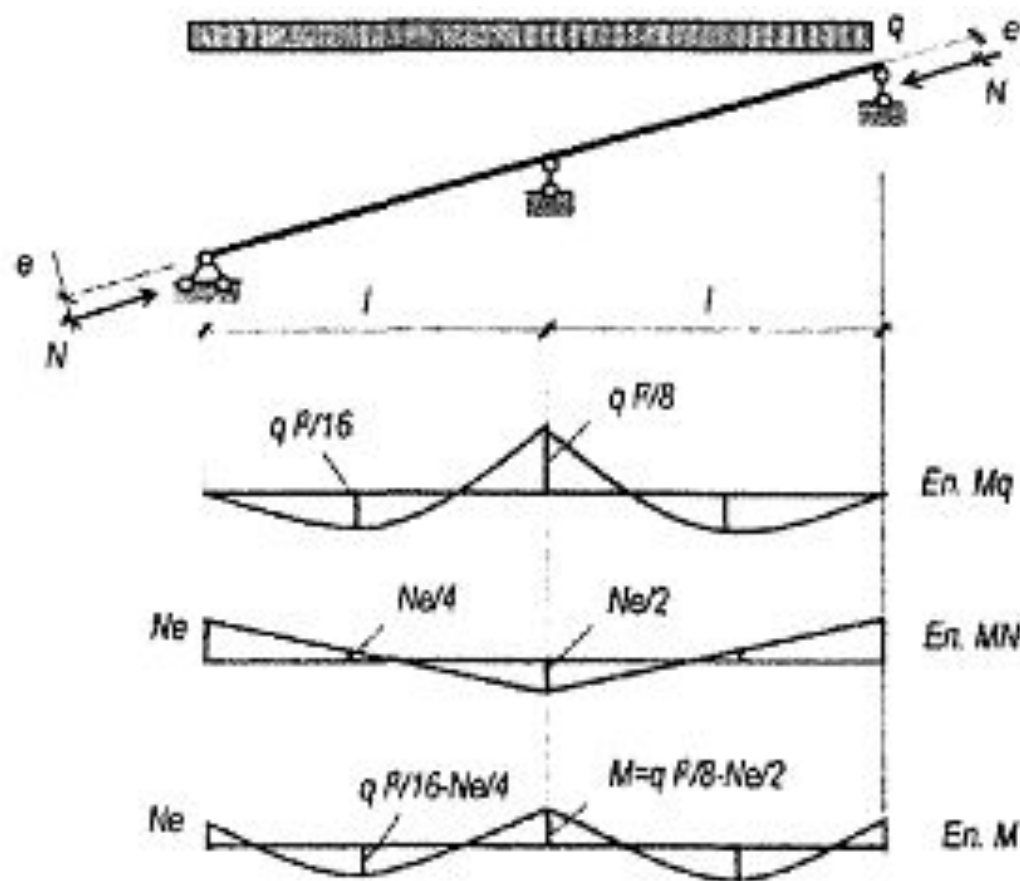


Рис. 9.4. До розрахунку верхнього поясу трикутної брусчатї ферми

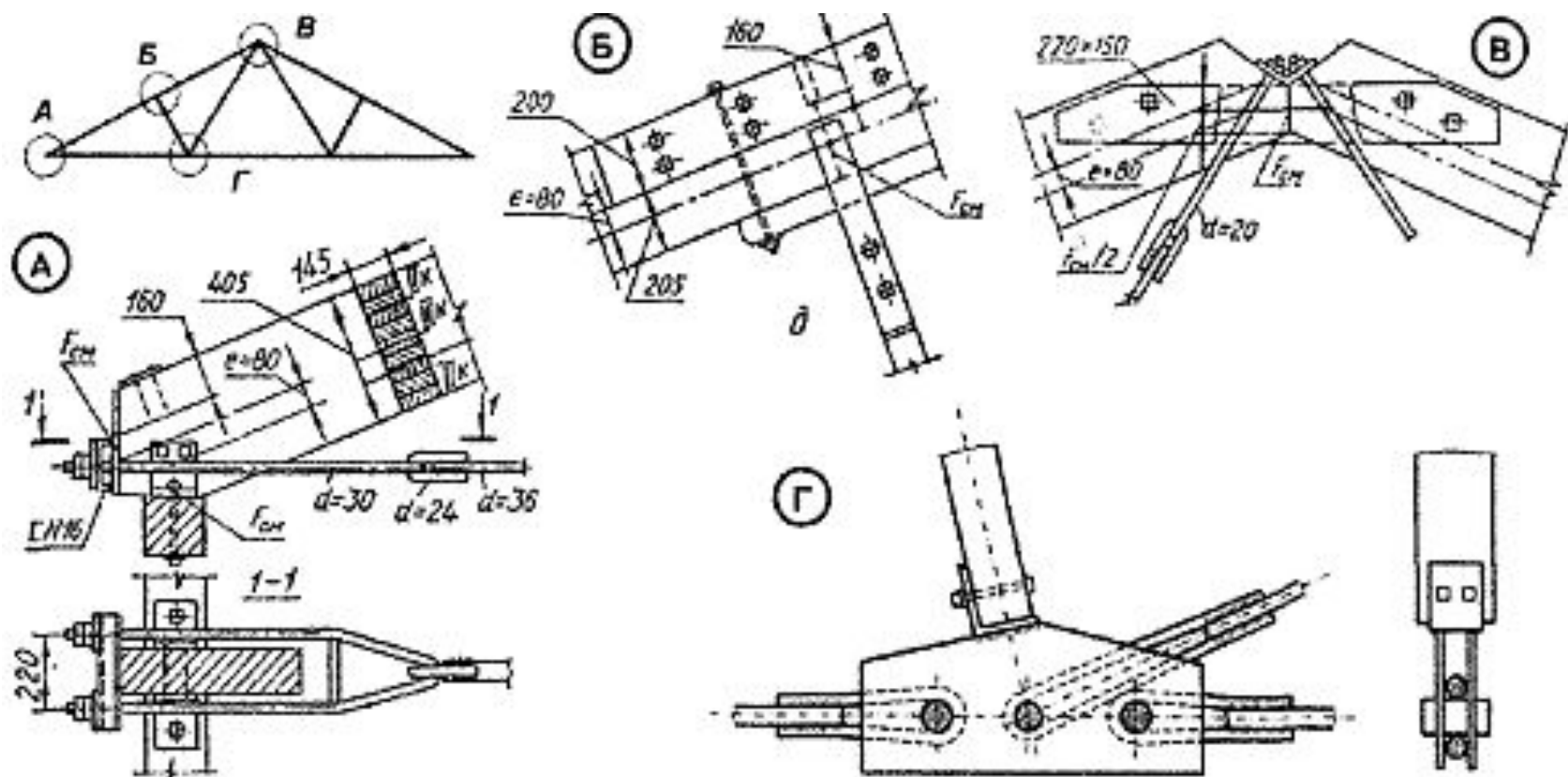


Рис. 9.5. Трикутна металодерев'яна ферма

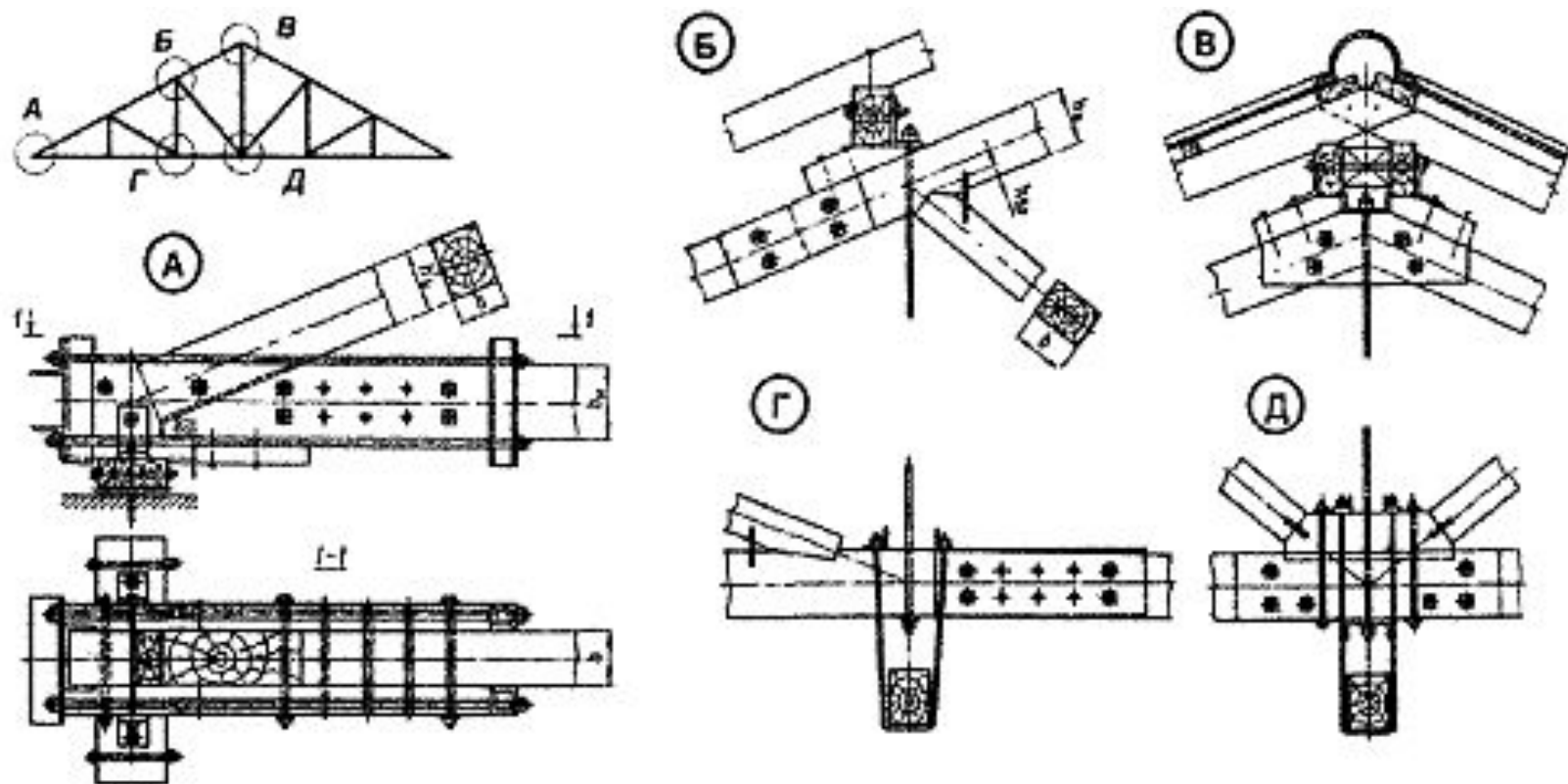


Рис. 9.6. Трикутна металодерев'яна ферма

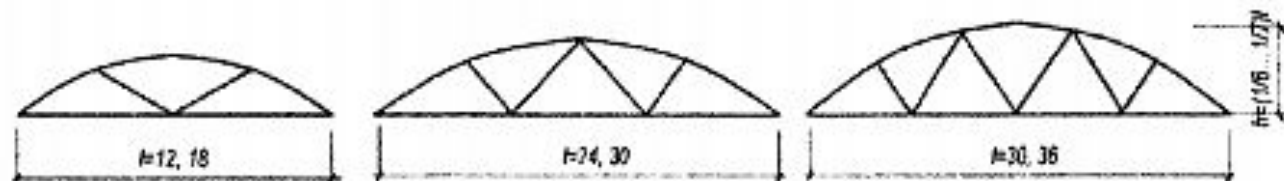


Рис. 9.11. Схеми сегментних ферм

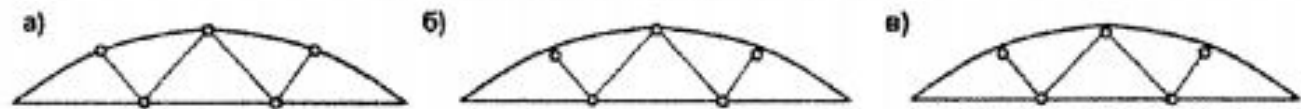


Рис. 9.12. Схеми верхнього поясу сегментних ферм

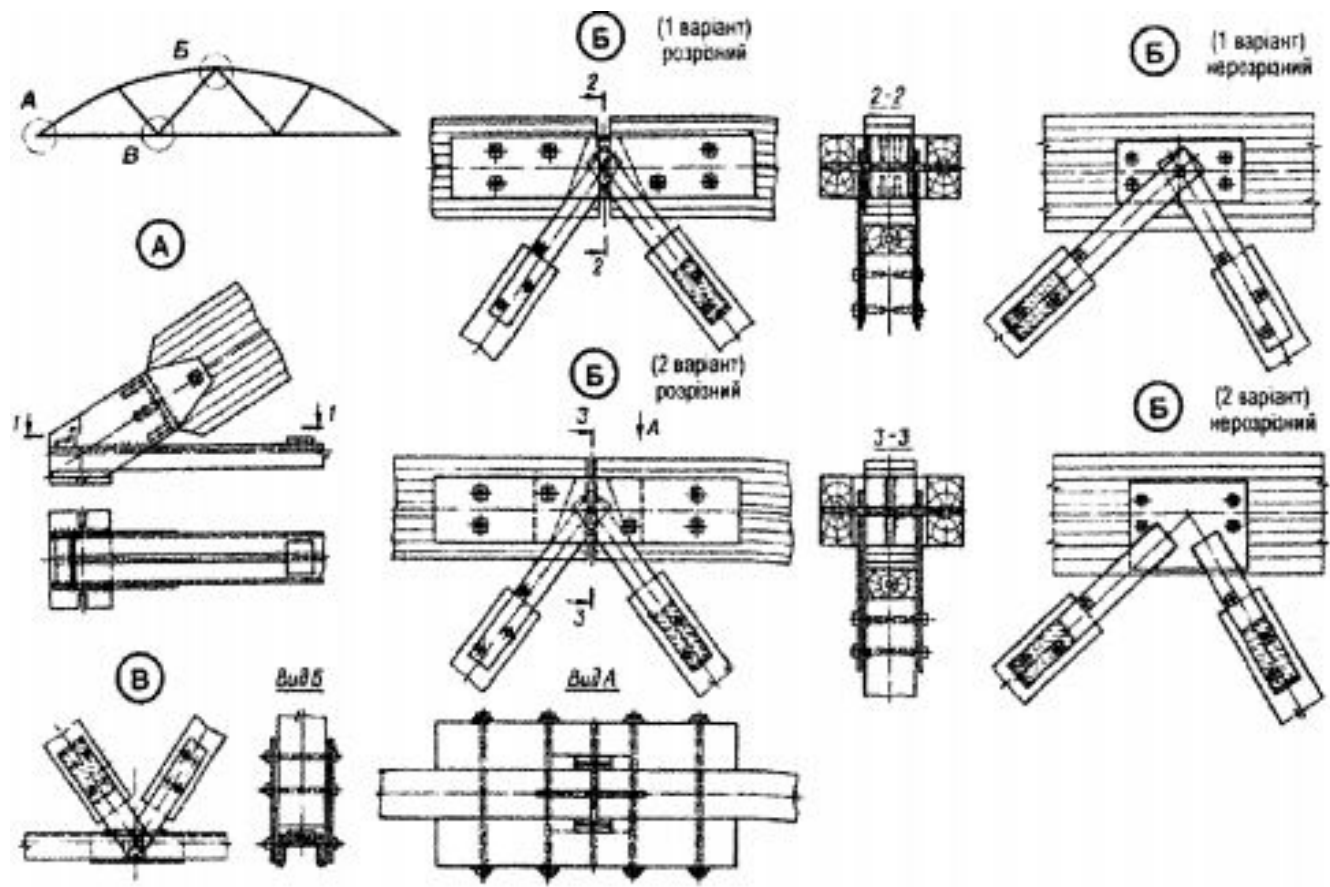


Рис. 9.13. Сегментні ферми

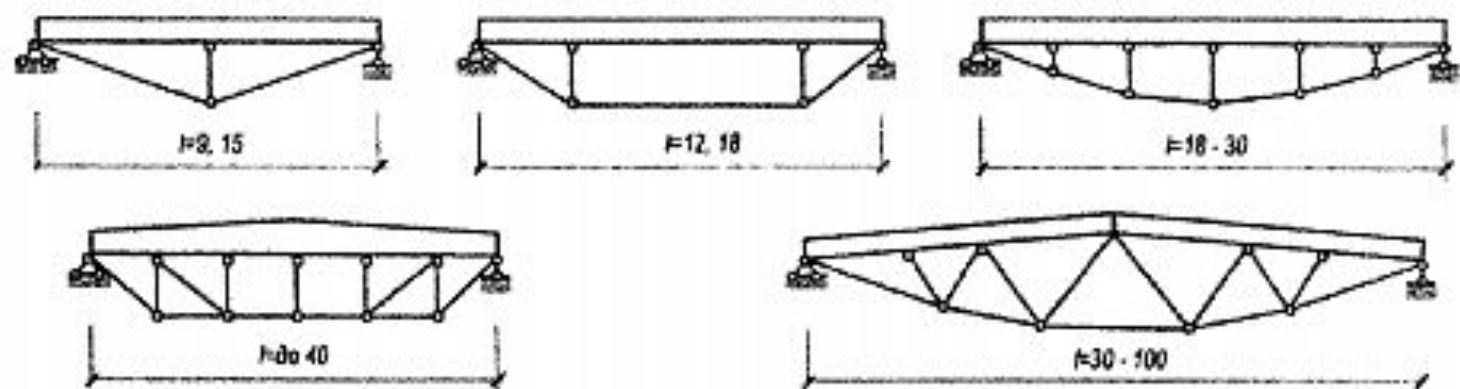


Рис. 9.15. Схеми шпренгельних ферм

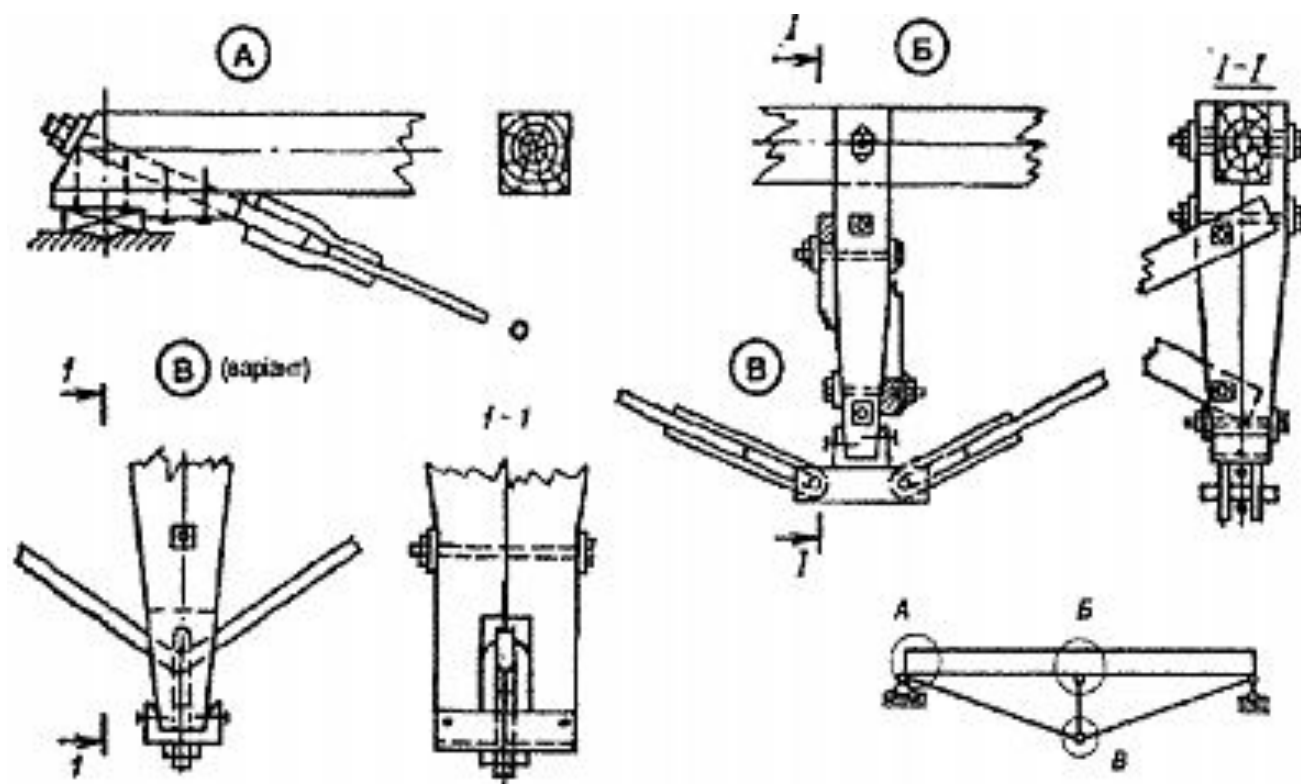


Рис. 9.16. Шпренгельні системи

АРКИ

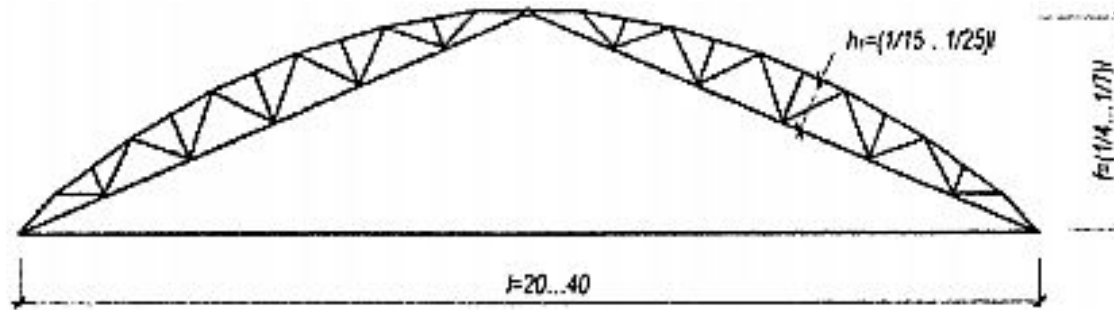


Рис. 9.17. Арка наскрізного перерізу

РАМИ

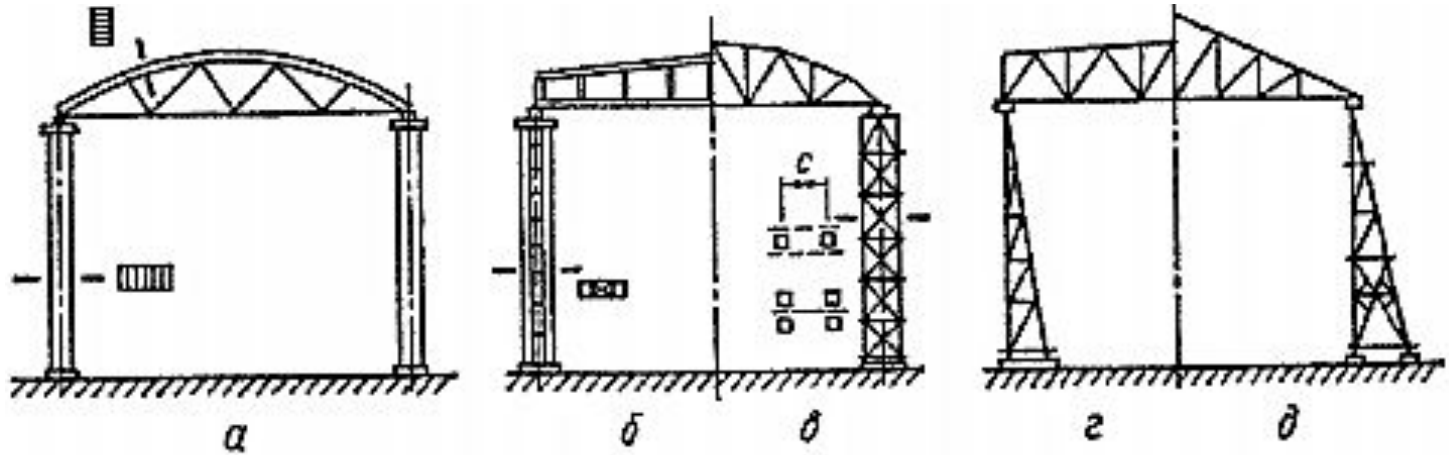


Рис. 9.18. Схеми наскрізних рамних поперечників

а – із суцільними стійками; б – із складеними стійками; в – із наскрізними стійками; г, д – із стійками-контрфорсами.

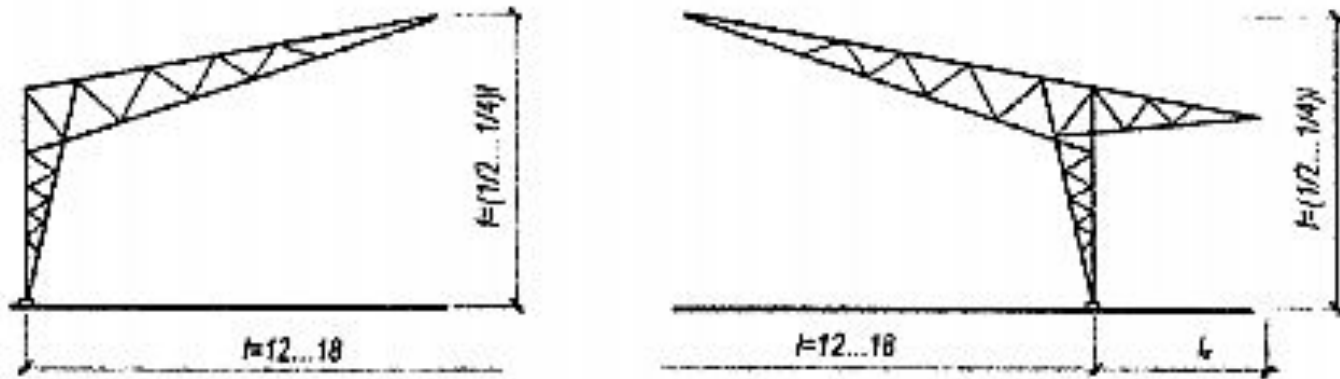


Рис. 9.19. Схеми наскрізних напіврам

НАСКРІЗНІ КОНСТРУКЦІЇ ІЗ ФАНЕРНИХ ТА СКЛОПЛАСТИКОВИХ ТРУБ

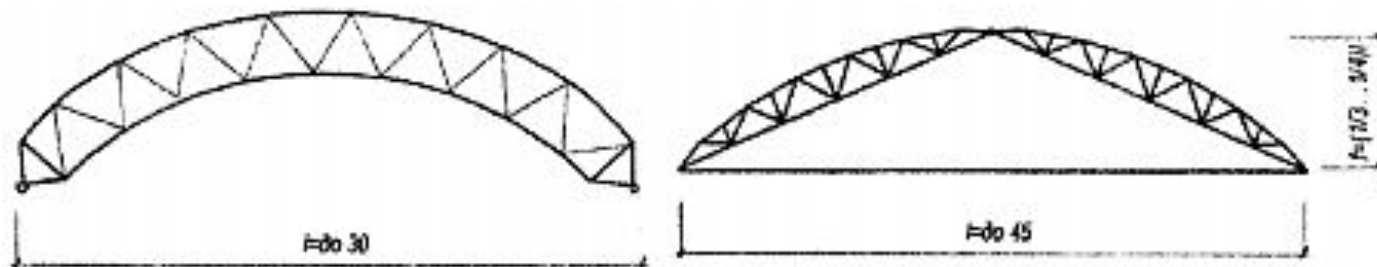


Рис. 9.20. Схеми наскрізних конструкцій із фанерних і склопластикових труб

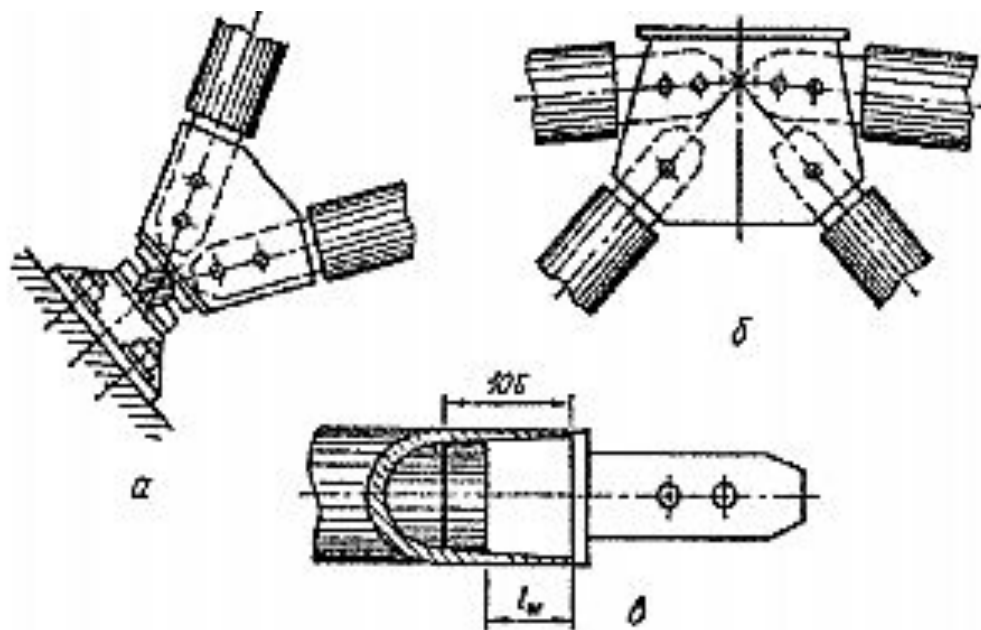


Рис. 9.21. Вузли арки із склопластикових труб

а – опорний вузол; б – проміжний вузол; в – деталь оголовка стержня.