

Тема 5. Станини робочих клітей

Станини з'єднують у єдине ціле окремі пристрої та механізми робочої кліті прокатного стану. Всередині станини передбачено вікно для установки подушок валків. Внизу станина має припливи (лапи) з отворами під гвинти для кріплення до плитовин.

Розрізняють станини закритого та відкритого типів, а також складові (рис.1).

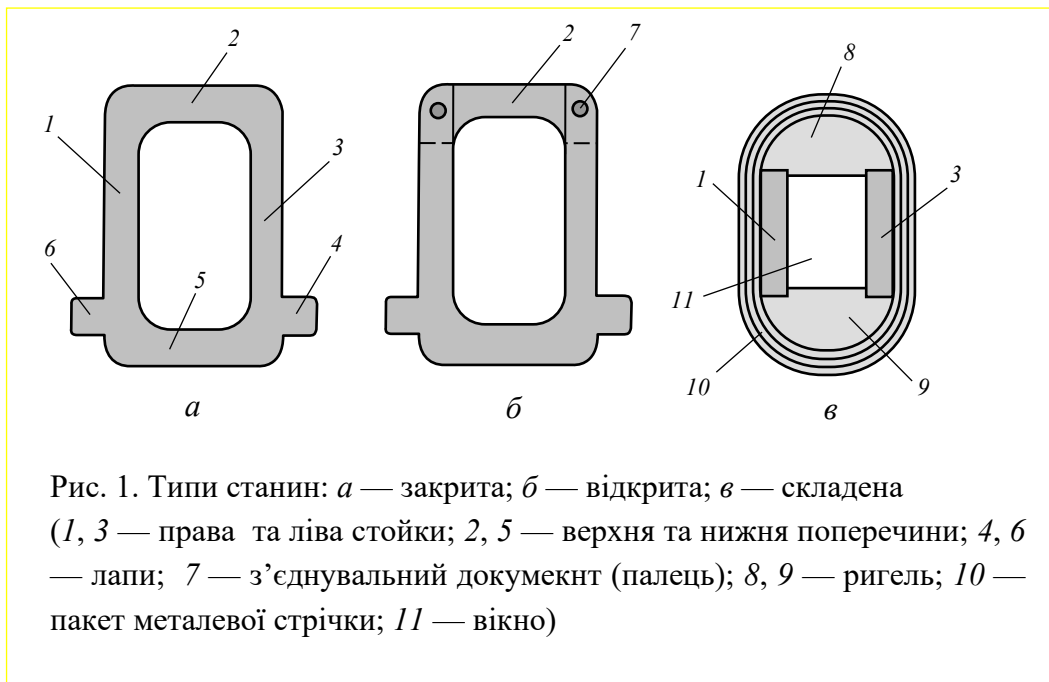


Рис. 1. Типи станин: *а* — замкнута; *б* — відкрита; *в* — складена
(1, 3 — права та ліва стойки; 2, 5 — верхня та нижня поперечини; 4, 6 — лапи; 7 — з'єднувальний документ (палець); 8, 9 — ригель; 10 — пакет металевої стрічки; 11 — вікно)

Замкнута станина є суцільною рамою, а *відкрита* має знімну верхню поперечку, яка кріпиться клинами, пальцями або за допомогою цапф. При однакових розмірах замкнуті станини мають більшу жорсткість, ніж відкриті. Однак основним їх недоліком є більш трудомістка зміна валків з подушками, що здійснюється збоку. Крім того, за наявності валків з буртами, необхідними для прокатки фасонних профілів, потрібне збільшення отвору станини, що підвищує габаритні розміри та масу клітей та знижує їх жорсткість. Відкриті станини забезпечують більш зручну заміну валків (перевалку) і не вимагають збільшення отвору для валків з буртами, але, як зазначалося, мають меншу жорсткість. Тому замкнуті станини застосовують, головним чином, у безперервних та послідовних сортових станах для прокатки простих профілів. В інших випадках перевагу віддають відкритим станинам.

Складені станини виконують по-різному, проте найбільш перспективними є складові станини зі стійок і поперечок у вигляді сегментів, званих ригелями, обмотаних по контуру з певною силою високоміцною металевою стрічкою. Як правило, станина є незамінною деталлю робочої кліті прокатного стану, руйнування якої тягне за собою тривалі простой і значні збитки. Станини прокатних станів повинні не тільки мати достатню міцність, але й мати необхідну жорсткість, оскільки деформації станин поряд з деформаціями інших деталей робочої кліті змінюють розчин валків, що погіршує якість прокату. Тому станини розраховуються на міцність та жорсткість.

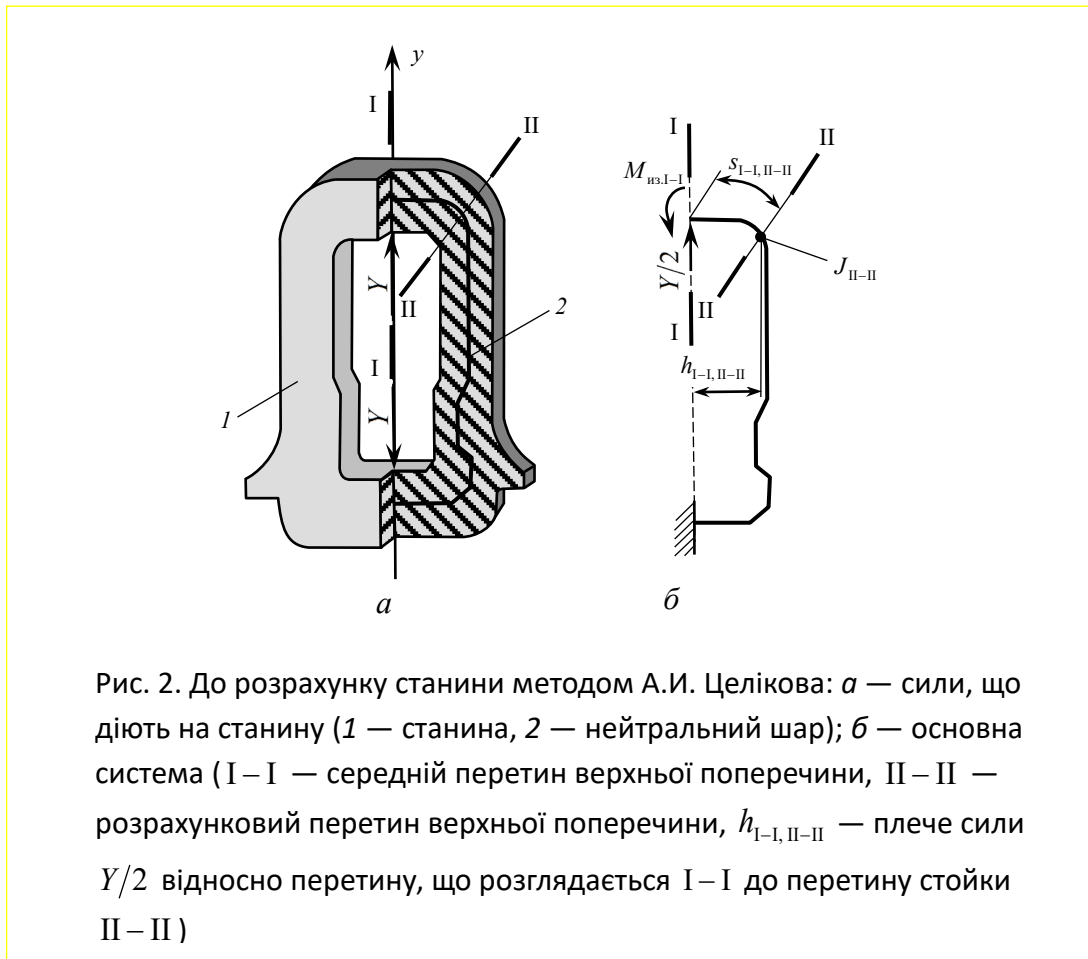
Станину закритого типу, що складається з двох однакових стійок і двох поперечок, розглядають як жорстку статично невизначену раму із прямими або округленими кутами. У закритих станинах прокатних станів, у яких зміни розчину переміщається тільки верхній валок, перетин верхньої поперечки ослаблено отвором для натискної гайки. З цієї причини площі поперечних перерізів верхньої $A_{\text{верх п ст}}$ та нижньої $A_{\text{ниж п ст}}$ поперечок підбирають так, щоб момент інерції верхньої поперечки $J_{\text{верх п ст}}$ був більший за момент інерції нижньої поперечки $J_{\text{ниж п ст}}$ в 1,2 - 1,4 рази. Таке співвідношення забезпечує необхідний запас міцності станини.

Розрахунок *закритих станин* на міцність здійснюють методами А.І. Целікова, А.А. Корольова, а також за графоаналітичним методом.

Метод А.І. Целікова заснований на використанні теореми Кастільяно, що формулюється наступним чином: переміщення точки додатку узагальненої сили за напрямом її дії дорівнює приватній похідній від потенційної енергії деформації за цією силою. Для визначення переміщення (лінійного чи кутового) у точці, де за умовою завдання зовнішнє зусилля (сила чи момент) відсутнє, необхідно додати фіктивну узагальнену силу. Далі слід написати з виразу для потенційної енергії деформації від усіх сил, включаючи фіктивну, слід взяти похідну за фіктивною силою. В отриманому виразі для узагальненого переміщення фіктивне навантаження необхідно прийняти рівною нулю.

Розглянемо станину довільної форми, симетричну щодо вертикальної осі у (рис.2). З боку нижньої подушки на нижню поперечку і з боку натискного гвинта

на верхню поперечку станини діють вертикальні сили Y , рівні силі, що сприймається шийкою робочого валка при прокатці (для станин листових станів $Y = P_n/2$).



Відповідно до теореми Кастильяно при підрахунку потенційної енергії пружної Π деформації станини враховують лише деформацію вигину:

$$\Pi = \frac{M_{из. I-I}^2 ds_{I-I, II-II}}{2EJ_{II-II}},$$

де $s_{I-I, II-II}$ — довжина нейтрального волокна станини від середнього перерізу попереччини станини $I - I$ до перетину, що розглядається $II - II$; $M_{из. I-I}$ — згинальний момент, J_{II-II} — осьовий момент інерції перерізу $II - II$.

У розрахунках станин таке спрощення вносить похибку трохи більше 5 %.

Припустимо, що середній переріз нижньої поперечки при навантаженні станини не повертається (защемлено). Під впливом сили Y у кутах жорсткої рами виникнуть статично невизначені моменти. Статично невизначений згинальний

момент $M_{\text{из. I-I}}$, що діє в середньому перерізі верхньої поперечки, знаходять, виходячи з потенційної енергії пружної деформації однієї половини станини.

Шукане значення визначаємо за формулою

$$M_{\text{из. I-I}} = \frac{Y}{2} \frac{\int h_{I-I, II-II} \frac{ds_{I-I, II-II}}{J_{II-II}}}{\int \frac{ds_{I-I, II-II}}{J_{II-II}}} \quad (2)$$

Щоб знайти за цим рівнянням $M_{\text{из. I-I}}$, необхідно $h_{I-I, II-II}$ виразити через змінну $s_{I-I, II-II}$.

Приклад 1. Є прямокутна закрита станина з довжинами верхньої та нижньої поперечок $l_{\text{верх п ст}}$ і $l_{\text{ниж п ст}}$ довжинами стійок $l_{\text{с ст}}$. Відомі площі поперечних перерізів $A_{\text{верх п ст}}$, $A_{\text{ниж п ст}}$, $A_{\text{с ст}}$, а також осеві моменти інерції площ перерізів $J_{\text{верх п ст}}$, $J_{\text{ниж п ст}}$, $J_{\text{с ст}}$ Поперечок і стійок (рис. 18). Потрібно знайти напруги в елементах станини.

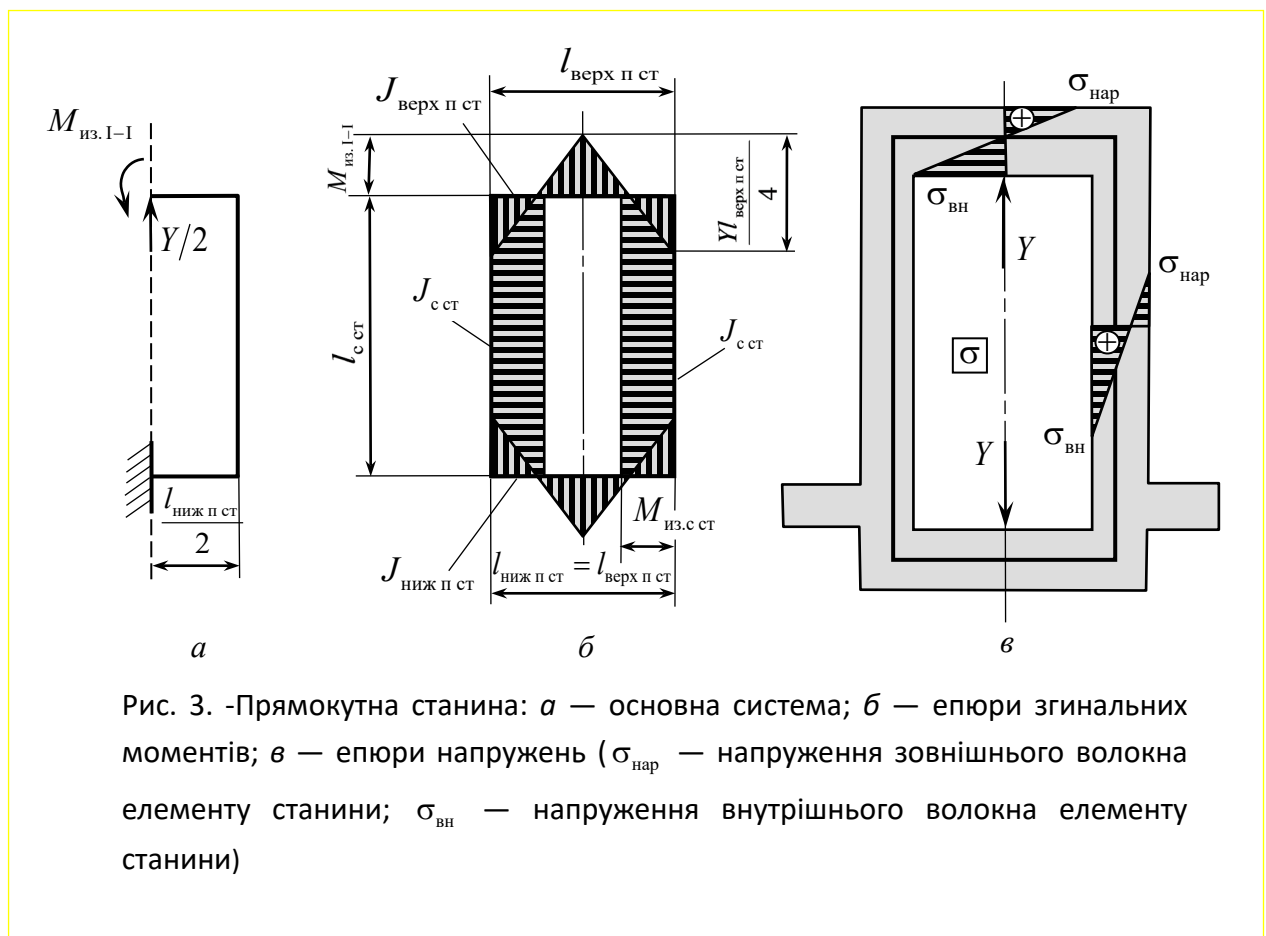


Рис. 3. -Прямокутна станина: а — основна система; б — епюри згинальних моментів; в — епюри напружень ($\sigma_{\text{нар}}$ — напруження зовнішнього волокна елемента станини; $\sigma_{\text{вн}}$ — напруження внутрішнього волокна елемента станини)

Рішення: Враховуючи, що для поперечок $h_{I-I, II-II} = S_{I-I, II-II}$, а для стійок

$h_{I-I, II-II} = l_{\text{верх н ст}}/2$ за рівнянням (2) визначаємо $M_{\text{из. I-I}}$:

$M_{\text{из. I-I}}$

$$= \frac{Y}{J_{\text{верх н ст}}} \int_0^{l_{\text{верх н ст}}/2} S_{I-I, II-II} ds_{I-I, II-II} + \frac{Y}{J_{\text{с ст}}} \int_0^{l_{\text{с ст}}} \frac{l_{\text{верх н ст}}}{2} ds_{I-I, II-II} + \frac{Y}{J_{\text{ниж н ст}}} \int_0^{l_{\text{ниж н ст}}/2} S_{I-I, II-II} ds_{I-I, II-II}$$

$$= \frac{2}{J_{\text{верх н ст}}} \int_0^{l_{\text{верх н ст}}/2} ds_{I-I, II-II} + \frac{2}{J_{\text{с ст}}} \int_0^{l_{\text{с ст}}} ds_{I-I, II-II} + \frac{2}{J_{\text{ниж н ст}}} \int_0^{l_{\text{ниж н ст}}/2} ds_{I-I, II-II}$$

тобто.

$$M_{\text{из. I-I}} = \frac{Y l_{\text{верх н ст}}}{4} \cdot \frac{\frac{l_{\text{верх н ст}}}{4 J_{\text{верх н ст}}} + \frac{l_{\text{с ст}}}{J_{\text{с ст}}} + \frac{l_{\text{ниж н ст}}}{4 J_{\text{ниж н ст}}}}{\frac{l_{\text{верх н ст}}}{2 J_{\text{верх н ст}}} + \frac{l_{\text{с ст}}}{J_{\text{с ст}}} + \frac{l_{\text{ниж н ст}}}{2 J_{\text{ниж н ст}}}}$$

Епюра моментів будується за рівнянням

$$M_{\text{с ст}} = \frac{Y l_{\text{верх н ст}}}{4} - M_{\text{из. I-I}}$$

Для прямокутної станини з однаковими моментами інерції поперечок, тобто симетричної щодо вертикальної та горизонтальної осей, $M_{\text{из. I-I}}$ визначаємо при припущенні, що $J_{\text{верх н ст}} = J_{\text{ниж н ст}}$:

$$M_{\text{из. I-I}} = \frac{Y l_{\text{верх н ст}}}{4} \frac{\frac{l_{\text{верх н ст}}}{2 J_{\text{верх н ст}}} + \frac{l_{\text{с ст}}}{J_{\text{с ст}}}}{\frac{l_{\text{верх н ст}}}{J_{\text{верх н ст}}} + \frac{l_{\text{с ст}}}{J_{\text{с ст}}}}$$

Момент у стійці після перетворень

$$M_{\text{с ст}} = \frac{Y l_{\text{верх н ст}}}{8} \left(1 + \frac{l_{\text{с ст}} J_{\text{верх н ст}}}{l_{\text{верх н ст}} J_{\text{с ст}}} \right)^{-1}$$

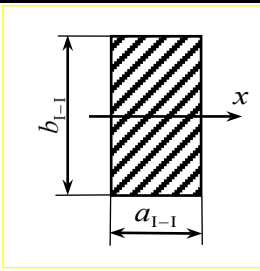
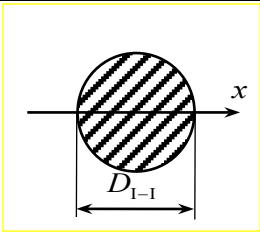
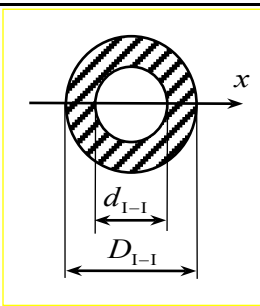
Розглянемо напруги, що виникають у середині верхньої поперечки та стійці станини при навантаженні (табл. 1)

Таблиця 1 - Напруження в елементах прямокутної закритої станини

Елемент станини	Волокно	
	Зовнішнє	Внутрішнє
Поперечка	$\sigma_{\text{нар}} = \frac{M_{I-I}}{W_{\text{нар}}}$ (розтягування)	$\sigma_{\text{вн}} = -\frac{M_{I-I}}{W_{\text{вн}}}$ (стиснення)
Стійка	$\sigma_{\text{нар}} = \frac{Y}{2A_{\text{с ст}}} - \frac{M_{\text{с ст}}}{W_{\text{нар}}}$	$\sigma_{\text{вн}} = \frac{Y}{2A_{\text{с ст}}} + \frac{M_{\text{с ст}}}{W_{\text{вн}}}$ (розтягування)

Примітка: $W_{\text{вн}}$, $W_{\text{нар}}$ - моменти опору вигину для поперечних перерізів по внутрішнім та зовнішнім волокнам (табл. 2)

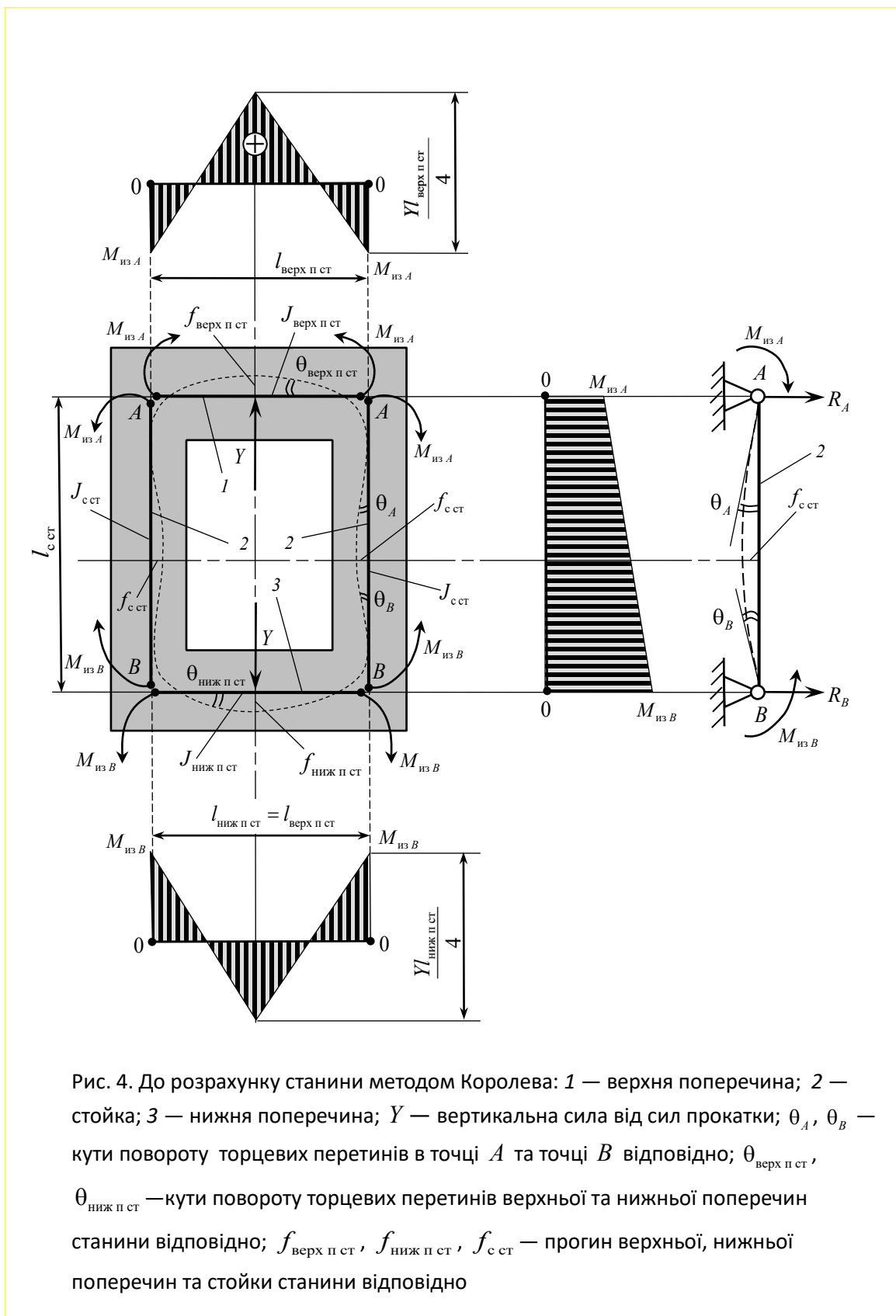
Таблиця 2 - Геометричні характеристики плоских перерізів

Перетин $I - I$	Площа A_{I-I}	Осьовий момент інерції J_{I-I}	Момент опору вигину W_{I-I}
	$a_{I-I} b_{I-I}$	$\frac{a_{I-I} b_{I-I}^3}{12}$	$\frac{a_{I-I} b_{I-I}^2}{6}$
	$\frac{\pi D_{I-I}^2}{4}$	$\frac{\pi D_{I-I}^4}{64}$	$\frac{\pi D_{I-I}^3}{32} \approx 0,1 D_{I-I}^3$
	$\frac{\pi D_{I-I}^2}{4} \left[1 - \left(\frac{d_{I-I}}{D_{I-I}} \right)^2 \right]$	$\frac{\pi D_{I-I}^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d_{I-I}}{D_{I-I}} \right)^4 \right]$	$\frac{\pi D_{I-I}^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d_{I-I}}{D_{I-I}} \right)^4 \right]$

Примітка. D_{I-I} - Діаметр круглого зовнішнього поперечного перерізу $I - I$; d_{I-I} - Внутрішній діаметр поперечного перерізу $I - I$; b_{I-I} - Ширина прямокутного поперечного перерізу $I - I$; a_{I-I} - Довжина прямокутного поперечного перерізу $I - I$; A_{I-I} - Площа поперечного перерізу $I - I$; W_{I-I} - момент опору вигину для площі поперечного перерізу $I - I$

Напруги зовнішнього $\sigma_{\text{нар}}$ і внутрішнього $\sigma_{\text{вн}}$ волокон для кожного елемента станини повинні бути меншими, ніж допускаються $[\sigma]$.

Метод А.А. Королева заснована на розрізанні станини на чотири вільні 2-опорні балки — дві поперечки та дві стійки. Це необхідно визначення статично невизначених моментів (рис. 4).



Для розрахунку впливу жорстких кутів у з'єднаннях поперечок зі стійкою до кінців A і B відрізаної балки AB прикладаються фіктивні моменти $M_{\text{из } A}$ і $M_{\text{из } B}$ після чого система стає статично визначальною.

З курсу опору матеріалів відомо, що кут нахилу θ дотичної до вигнутої осі в точці опори балки (кут повороту поперечного перерізу балки) дорівнює опорній реакції R від моментного фіктивного навантаження, поділеної на жорсткість балки:

$$\theta = \frac{R}{EJ_x},$$

де J_x - осьовий момент інерції площі поперечного перерізу балки.

Кут повороту торцевого перерізу верхньої поперечки виражається різницею, оскільки прогин від вертикальної сили Y та від фіктивних моментів $M_{\text{из } A}$ спрямовані у протилежні сторони:

$$\theta_{\text{верх } n \text{ ст}} = \frac{Y l_{\text{верх } n \text{ ст}}^2}{16EJ_{\text{верх } n \text{ ст}}} - \frac{M_{\text{из } A} l_{\text{верх } n \text{ ст}}}{2EJ_{\text{верх } n \text{ ст}}}.$$

Це стосується і нижньої поперечки:

$$\theta_{\text{ниж } n \text{ ст}} = \frac{Y l_{\text{ниж } n \text{ ст}}^2}{16EJ_{\text{ниж } n \text{ ст}}} - \frac{M_{\text{из } B} l_{\text{ниж } n \text{ ст}}}{2EJ_{\text{ниж } n \text{ ст}}}.$$

Вертикальна стійка станини завдовжки $l_{\text{с.ст}}$ згинається всередину вікна станини фіктивними моментами $M_{\text{из } A}$ та $M_{\text{из } B}$.

Фіктивні опорні реакції

$$R_A = (2M_{\text{из } A} + M_{\text{из } B}) \frac{l_{\text{с.ст}}}{6};$$

$$R_B = (M_{\text{из } A} + 2M_{\text{из } B}) \frac{l_{\text{с.ст}}}{6}.$$

Кути повороту торцевих перерізів стійки

$$\theta_A = \frac{R_A}{EJ_{c\text{ ст}}}; \theta_B = \frac{R_B}{EJ_{c\text{ ст}}}.$$

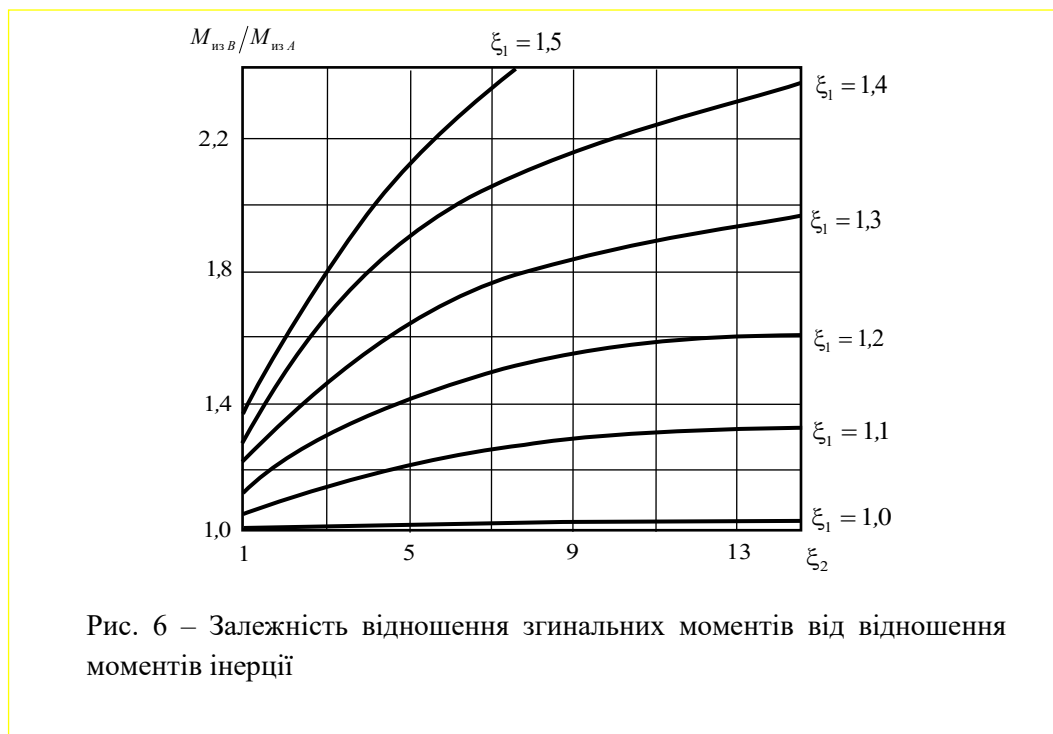
Оскільки опори A і B кутах жорсткої рами належать як поперечкам, так і стійці, кути повороту торцевих перерізів повинні бути рівними між собою, тобто $\theta_{\text{верх п ст}} = \theta_A$; $\theta_{\text{ниж н ст}} = \theta_B$.

Моменти, що діють у верхніх та нижніх кутах жорсткої рами

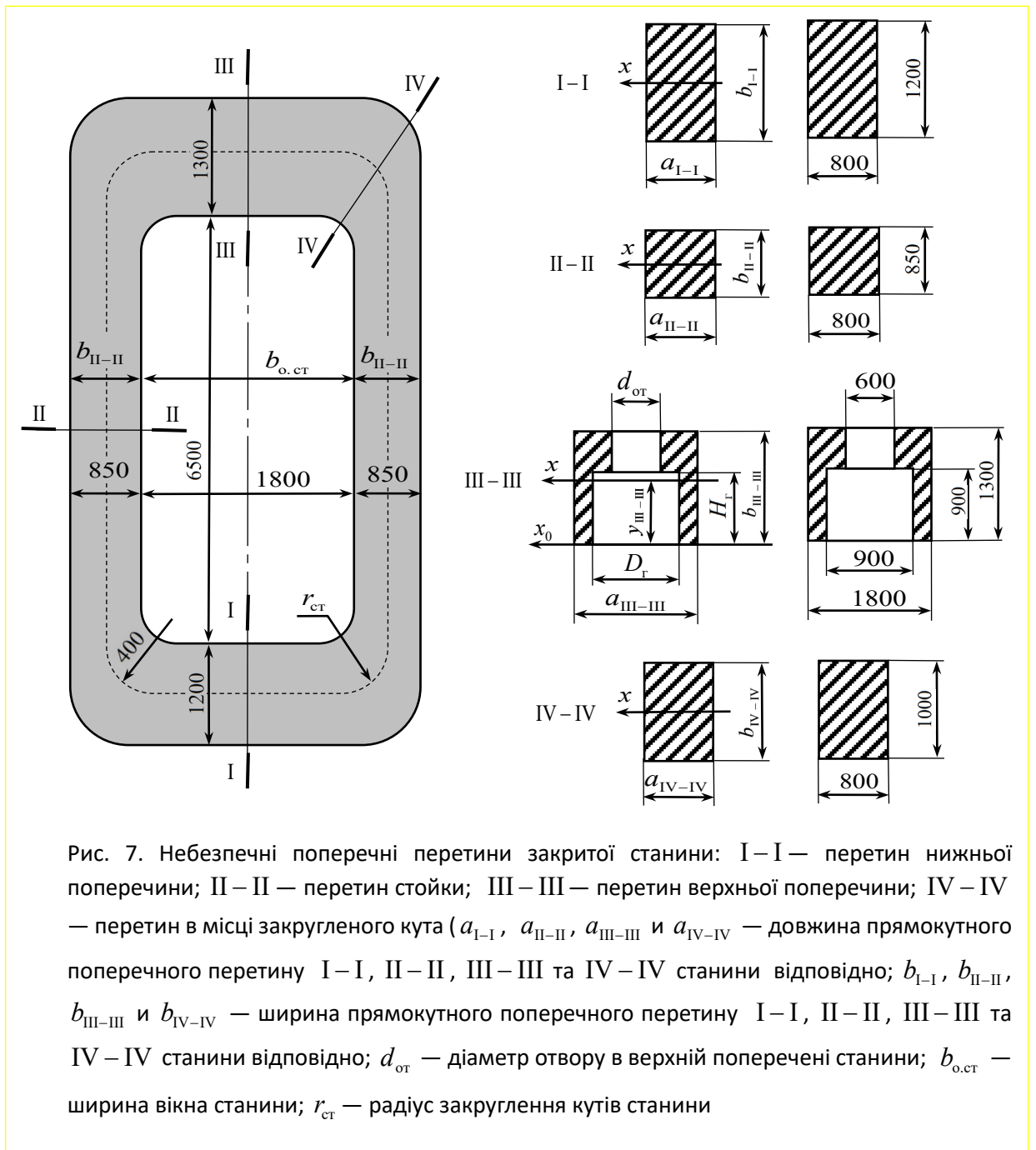
$$M_{\text{из А}} = \frac{Yl_{\text{верх п ст}}}{8} \frac{1}{1 + \frac{(3\xi_1 + \xi_2)\xi_2}{3\xi_1 + (2 - \xi_1)\xi_2}}; M_{\text{из В}} = \frac{Yl_{\text{ниж н ст}}}{8} \frac{1}{1 + \frac{(3 + \xi_2)\xi_2}{3\xi_1 + (2\xi_1 - 1)\xi_2}},$$

$$\text{де } \xi_1 = \frac{J_{\text{верх п ст}}}{J_{\text{ниж п ст}}} > 1; \xi_2 = \frac{J_{\text{верх н ст}} l_{c\text{ ст}}}{J_{c\text{ ст}} l_{\text{верх н ст}}} \gg 1.$$

Криві (рис. 6) показують, як зростає відношення моментів $M_{\text{из В}}/M_{\text{из А}}$ із збільшенням параметра ξ .



Приклад 2. Розрахувати на міцність закриту станину робочої кліті стану 2000 холодної прокатки. Станина виготовлена з литої сталі марки 35Л (межа міцності $\sigma_B = 600$ МПа) і має значні закруглення у кутах для зменшення концентрації напруги. На кожен поперечку станини діє сила $Y = 17$ МН. Відомі форма та розміри небезпечних поперечних перерізів станини (рис. 7).



Площі поперечних перерізів (табл. 4)

$$A_{I-I} = a_{I-I}b_{I-I} = 0,8 \cdot 1,2 = 0,96 \text{ м}^2;$$

$$A_{II-II} = a_{II-II}b_{II-II} = 0,8 \cdot 0,85 = 0,68 \text{ м}^2;$$

$$\begin{aligned} A_{III-III} &= a_{III-III}b_{III-III} - D_2H_2 - d_{от}(b_{III-III} - H_2) = \\ &= 1,8 \cdot 1,3 - 0,9 \cdot 0,9 - 0,6 \cdot (1,3 - 0,9) = 1,29 \text{ м}^2; \end{aligned}$$

$$A_{IV-IV} = a_{IV-IV}b_{IV-IV} = 0,8 \cdot 1 = 0,8 \text{ м}^2.$$

Осьові моменти інерції поперечних перерізів

$$J_{I-I} = \frac{a_{I-I}b_{I-I}^3}{12} = \frac{0,8 \cdot 1,2^3}{12} = 0,115 \text{ м}^4;$$

$$J_{II-II} = \frac{a_{II-II} b_{II-II}^3}{12} = \frac{0,8 \cdot 0,85^3}{12} = 0,041 \text{ м}^4;$$

$$\begin{aligned} J_{III-III} &= \frac{a_{III-III} b_{III-III}^3}{12} + \left(\frac{b_{III-III}}{2} - y_{III-III} \right)^2 a_{III-III} b_{III-III} - \\ &- \frac{d_{от} (b_{III-III} - H_2)^3}{12} - \left(\frac{b_{III-III} + H_2}{2} - y_{III-III} \right)^2 (b_{III-III} - H_2) d_{от} - \\ &- \frac{D_2 H_2^3}{12} - \left(\frac{H_2}{2} - y_{III-III} \right)^2 D_2 H_2 = \\ &= \frac{1,8 \cdot 1,3^3}{12} + \left(\frac{1,3}{2} - 0,692 \right)^2 \cdot 1,3 \cdot 1,8 - \frac{0,6(1,3 - 0,9)^3}{12} - \\ &- \left(\frac{1,3 + 0,9}{2} - 0,692 \right)^2 (1,3 - 0,9) \cdot 0,6 - \frac{0,9 \cdot 0,9^3}{12} - \\ &- \left(\frac{0,9}{2} - 0,692 \right)^2 0,9 \cdot 0,9 = 0,19 \text{ м}^4; \end{aligned}$$

де $y_{III-III}$ - координата центру тяжкості площі перерізу III – III;

$$y_{III-III} = \frac{S_{III-III}}{A_{III-III}} = \frac{0,892}{1,29} = 0,692 \text{ м},$$

де $S_{III-III}$ - Статичний момент площі перерізу III – III щодо осі x_0 ;

$$\begin{aligned} S_{III-III} &= \frac{a_{III-III} b_{III-III}^2 - D_2 H_2^2 - d_{от} (b_{III-III} - H_2)^2}{2} = \\ &= \frac{1,8 \cdot 1,3^2 - 0,9 \cdot 0,9^2 - 0,6(1,3 - 0,9)^2}{2} = 0,892 \text{ м}^3; \end{aligned}$$

$$J_{IV-IV} = \frac{a_{IV-IV} b_{IV-IV}^3}{12} = \frac{0,8 \cdot 1^3}{12} = 0,067 \text{ м}^4.$$

Моменти опору поперечних перерізів вигину

$$W_{I-I} = \frac{0,8 \cdot 1,2^2}{6} = 0,192 \text{ м}^3;$$

$$W_{II-II} = \frac{0,8 \cdot 0,85^2}{6} = 0,096 \text{ м}^3;$$

$$W_{III-III} = \frac{J_{III-III}}{y_{III-III}} = \frac{0,19}{0,692} = 0,275 \text{ м}^3,$$

$$W_{IV-IV} = \frac{0,8 \cdot 1,0^2}{6} = 0,133 \text{ м}^3.$$

Довжина нейтрального волокна верхньої та нижньої поперечок станини.

$$l_{\text{верх } n \text{ ст}} = l_{\text{ниж } n \text{ ст}} = b_{о.ст} + b_{II-II} - 2r_{ст};$$

$$l_{\text{верх } n \text{ ст}} = l_{\text{ниж } n \text{ ст}} = 1,8 + 0,85 - 2 \cdot 0,4 = 1,85 \text{ м}.$$

Довжина стійки станини з нейтрального волокна

$$l_{c \text{ ст}} = b_{o.ст} + y_{III-III} + \frac{b_{I-I}}{2} - 2r_{ст};$$

$$l_{c \text{ ст}} = 1,8 + 0,692 + 0,6 - 2 \cdot 0,4 = 2,3992 \text{ м.}$$

Статично невизначений момент

$$M_{0 \text{ из}} = \frac{Y \left[\frac{l_{\text{верх н ст}}^2}{8 J_{III-III}} + \frac{r_{ст}^2}{J_{IV-IV}} \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) + \frac{l_{\text{верх н ст}} r_{ст}}{2 J_{III-III}} \right]}{\frac{l_{\text{верх н ст}}}{J_{III-III}} + \frac{l_{c \text{ ст}}}{J_{II-II}} + \frac{\pi r_{ст}}{J_{IV-IV}}} =$$

$$= \frac{17 \cdot \left[\frac{1,85^2}{8 \cdot 0,19} + \frac{0,4^2}{0,067} \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) + \frac{1,85 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,19} \right]}{\frac{1,85}{0,19} + \frac{2,392}{0,041} + \frac{\pi \cdot 0,4}{0,067}} = 0,464 \text{ МНм}$$

Напруги в небезпечних перерізах станини

$$\sigma_{I-I} = \frac{Y l_{\text{верх н ст}}}{4} \frac{M_{0 \text{ из}}}{W_{I-I}} = \frac{17 \cdot 1,85}{4} \frac{0,464}{0,192} = 38,5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{II-II} = \frac{Y}{2A_{II-II}} + \frac{M_{0 \text{ из}}}{W_{II-II}} = \frac{17}{2 \cdot 0,68} + \frac{0,464}{0,096} = 17,3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{III-III} = \frac{Y l_{\text{верх н ст}}}{4} \frac{M_{0 \text{ из}}}{W_{III-III}} = \frac{17 \cdot 1,85}{4} \frac{0,464}{0,275} = 30,1 \text{ МПа.}$$

Таблиця 4

Напруження в елементах закритої станини із закругленнями у кутах

Перети н	Геометричні характеристики			Напруження, σ , МПа	Запас міцності, n
	A , м ²	J , м ⁴	W , м ³		
I – I	0,96	0,115	0,192	38,5	15,6
II – II	0,68	0,041	0,096	17,3	34,7
III – III	1,29	0,19	0,275	30,1	19,9
IV – IV	0,8	0,067	0,133	-	-

Примітка: n - запас міцності, A , м² - Площа поперечного перерізу; J , м⁴ - осьовий момент інерції площі поперечного перерізу; W , м³ - момент опору вигину для площі поперечного перерізу

Умова міцності виконується всім елементам станини, оскільки розрахункові коефіцієнти запасу міцності більше допускаемого $[n] = 10$.

$$n_{I-I} = \frac{\sigma_g}{\sigma_{I-I}} = \frac{600}{38,5} = 15,6;$$

$$n_{II-II} = \frac{\sigma_g}{\sigma_{II-II}} = \frac{600}{17,3} = 34,7;$$

$$n_{III-III} = \frac{\sigma_g}{\sigma_{III-III}} = \frac{600}{30,1} = 19,9.$$

Найбільш слабким місцем станини є нижня поперечка.

Графоаналітичний метод застосовується до розрахунку закритої станини складної форми. Це спосіб наближеного інтегрування. Нейтральне волокно станини від точки A до точки B розбивається на 11...16 ділянок (рис. 8).

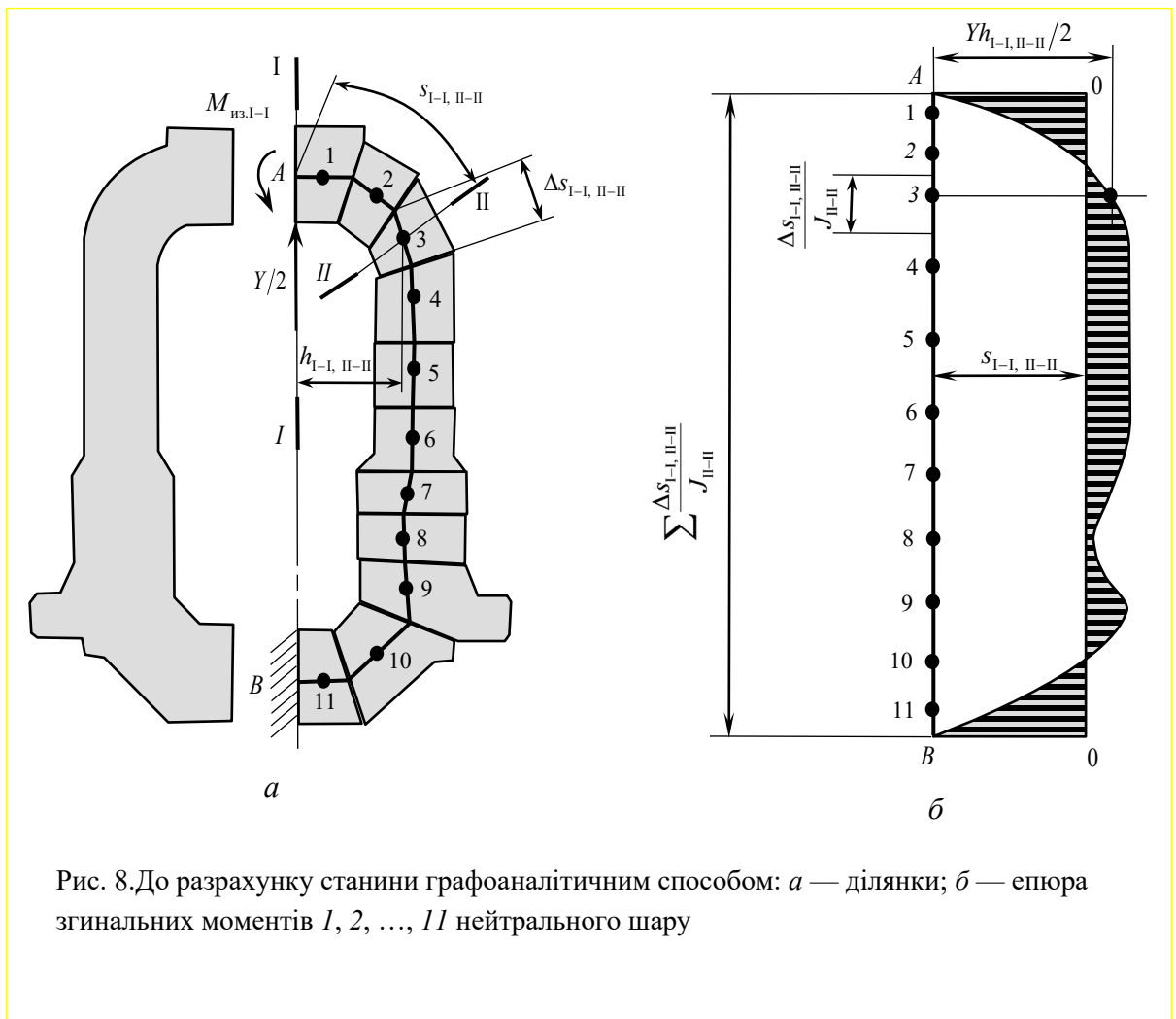


Рис. 8. До розрахунку станини графоаналітичним способом: a — ділянки; b — епюра згинальних моментів $1, 2, \dots, 11$ нейтрального шару

Знаки інтегралів (3) замінюються кінцевими сумами

$$M_{\text{из. I-I}} = \frac{Y \sum h_{I-I, II-II} \frac{\Delta s_{I-I, II-II}}{J_{II-II}}}{\sum \frac{\Delta s_{I-I, II-II}}{J_{II-II}}}$$

Чисельник цього виразу можна уявити графічно площею під кривою АВ, побудованою в координатних осях, ординатою яких є поточне значення $Yh_{I-I, II-II}/2$, а абсцисою - поточне значення суми членів $\Delta S_{I-I, II-II}/J_{II-II}$. У цілому нині дана площа утворюється сумою майданчиків, кожен із яких дорівнює поточному значенню произведения $Yh_{I-I, II-II} \Delta S_{I-I, II-II}/2J_{II-II}$. Значення $M_{из. I-I}$ дорівнює середній ординаті площі під кривою АВ. Момент у будь-якому перерізі представляється епюрою моментів, що має початок координат у точці О, що віддаляється від початкової осі абсцис на відстані $M_{из. I-I}$.

Розрахунок можна скоротити шляхом попередньої побудови епюри моментів від одиничної сили $Y/2 = 1$, яка для отримання остаточної епюри моментів множиться на величину $Y/2$. Середня ордината площі під кривою σ_y , що відповідає цій епюрі моментів від одиничної сили, чисельно дорівнює плечу $h_{I-I, II-II}$ щодо перерізу станини, де момент дорівнює нулю.

Розрахунок станини відкритого типу на міцність виконується з урахуванням того, що верхня поперечка (кришка) з'єднана зі стійками зовнішнім замком, який не перешкоджає стоякам деформуватися всередину станини від дії сили Y на нижню поперечку (рис. 8).

Деформуючись усередину станини, стійки затискають подушку верхнього валка. Силу $Y_{c ст}$, що діє на стійку станини з боку подушки, визначають з умови: прогин стійки станини дорівнює зазору між подушкою і стійкою $\Delta_{c ст}$:

$$Y_{c ст} = \frac{Yl_{ниж н ст}^2 \frac{2El_{ниж н ст} \Delta_{c ст}}{8} \frac{l}{l}}{l \left(l_{ниж н ст} + \frac{2}{3} l \frac{J_{ниж н ст}}{l_{c ст}} \right)}$$

якщо прогин стійки менше величини зазору $\Delta_{c ст}$, сила $Y_{c ст}$ не виникає. Через знос деталей величина не є постійною. Тому стійки станини розраховують із умови максимальної сили $Y_{c ст}$, що виникає, коли $\Delta_{c ст} = 0$, а поперечки станини, навпаки, - за умови, що $Y_{c ст} = 0$.

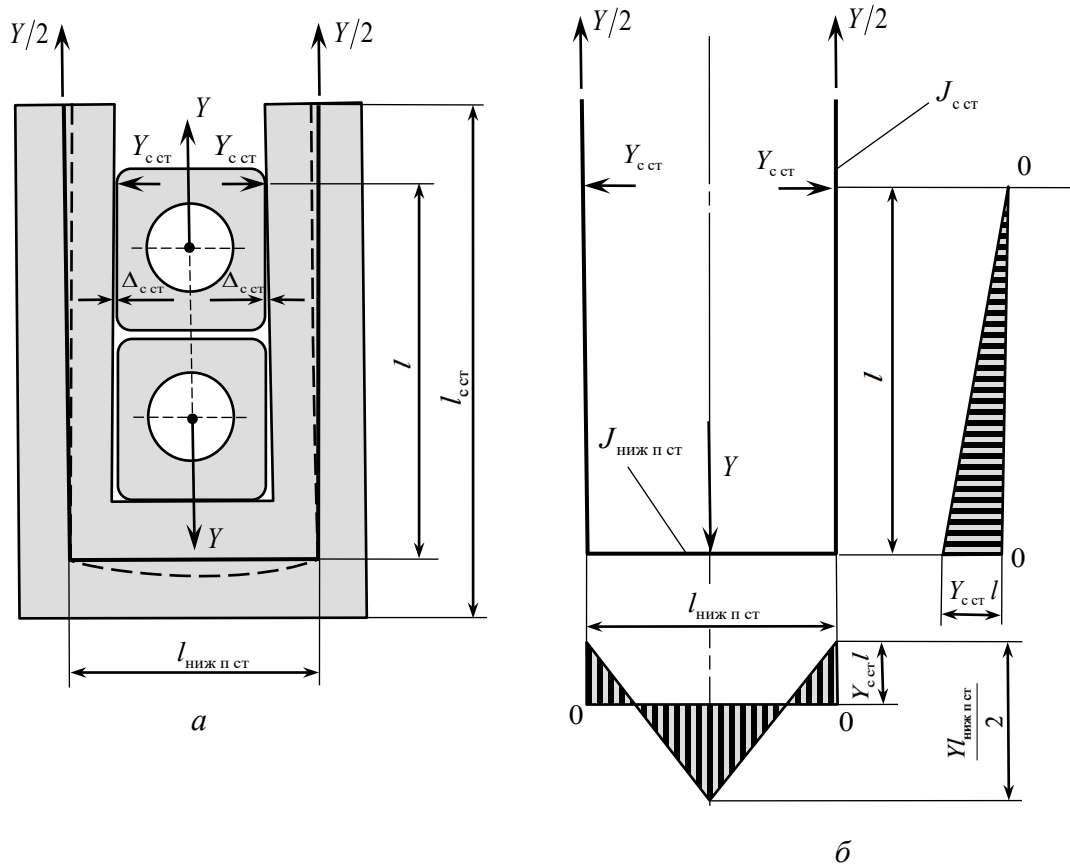


Рис. 8. Розрахунок станини відкритого типу: *а* — сили, що діють на станину; *б* — епюри згинальних моментів ($Y_{\text{ст}}$ — горизонтальна сила, що діє на стійку станини; $\Delta_{\text{ст}}$ — зазори)

У складеній станині згинальні моменти, що виникають у ригелях, не передаються стоякам, що значно підвищує їх стійкість у стислому стані. **Розрахунок складених станин** на міцність зводиться до розрахунку розтяг стрічки і стиснення стійок.

Жорсткість станини $c_{\text{ст}}$ визначається через розрахунок її пружної деформації $f_{\text{ст}}$:

$$c_{\text{ст}} = Y/f_{\text{ст}} \quad (3)$$

При зміні під час прокатки силі Y , пружна деформація станини $f_{\text{ст}}$ може виявитися настільки значною, що прокатана смуга матиме різнотовщинність більше допусків розмірів по товщині. Крім того, недостатня жорсткість станини може призвести до помітних коливань $f_{\text{ст}}$ при перехідних процесах, зумовлених захопленням смуги валками.

Розглянувши розрахунки на міцність станин різних типів, перейдемо до порядку визначення прогинів. Пружна деформація станини у вертикальному напрямку є сумою деформацій прогину верхньої та нижньої поперечок, а також деформації розтягування стійки станини (див. рис. 19):

$$f_{\text{ст}} = f_{\text{верх } n \text{ ст}} + f_{\text{ниж } n \text{ ст}} + f_{c \text{ ст}},$$

де

$$f_{\text{верх } n \text{ ст}} = \frac{Yl_{\text{верх } n \text{ ст}}^3}{48EJ_{\text{верх } n \text{ ст}}} \left(1 - 6 \frac{M_{\text{из А}}}{Yl_{\text{верх } n \text{ ст}}} \right) + 0,8 \frac{Yl_{\text{верх } n \text{ ст}}}{EA_{\text{верх } n \text{ ст}}};$$

$$f_{\text{ниж } n \text{ ст}} = \frac{Yl_{\text{ниж } n \text{ ст}}^3}{48EJ_{\text{ниж } n \text{ ст}}} \left(1 - 6 \frac{M_{\text{из В}}}{Yl_{\text{ниж } n \text{ ст}}} \right) + 0,8 \frac{Yl_{\text{ниж } n \text{ ст}}}{EA_{\text{ниж } n \text{ ст}}};$$

$$f_{c \text{ ст}} = \frac{Yl_{c \text{ ст}}}{2EA_{c \text{ ст}}}$$

визначають (3).