

5 РОЗРАХУНОК БАЛОК ПРИ ПЛОСКОМУ ПОПЕРЕЧНОМУ ЗГИНАННІ

Згинанням називається така деформація, при якій відбувається викривлення осей прямих брусів або зміна кривизни кривих стержнів. При згинанні прямого стержня волокна (перерізи стержня вздовж його осі), паралельні осі стержня зі ввігнутої сторони коротшають (стискаються), а у вигнутої – подовжуються (розтягуються). Прямолінійний стержень, який в основному працює на згинання, називається балкою.

Плоске поперечне згинання – це такий випадок, коли всі зовнішні сили перпендикулярні до осі стержня та розташовані в площині, що співпадає з віссю симетрії поперечного перерізу балки. В цьому випадку зігнута вісь балки також лежить в цій площині.

Для плоского поперечного випадку згинання характерним є те, що в поперечних перерізах балки діє два внутрішніх силових фактори – згинальний момент M_x і поперечна сила Q_y . Якщо ж згинальний момент на окремій ділянці балки або на всій її довжині постійний, а поперечна сила дорівнює нулю, то згинання називається чистим.

Внутрішні силові фактори знаходяться методом перерізів, при цьому встановлюються такі правила знаків (рис. 5.1):

а) згинальний момент в перерізі балки вважається додатним, якщо він розтягує нижні волокна балки;

б) поперечна сила вважається додатною, якщо вона обертає відсічену частину балки за годинниковою стрілкою.

З правил знаків, прийнятих для M_x та Q_y впливають такі практичні вказівки:

а) додатні значення згинального моменту M_x створюють сили, спрямовані вгору, незалежно від того, чи розташовані вони ліворуч, чи праворуч від перерізу балки, що розглядається;

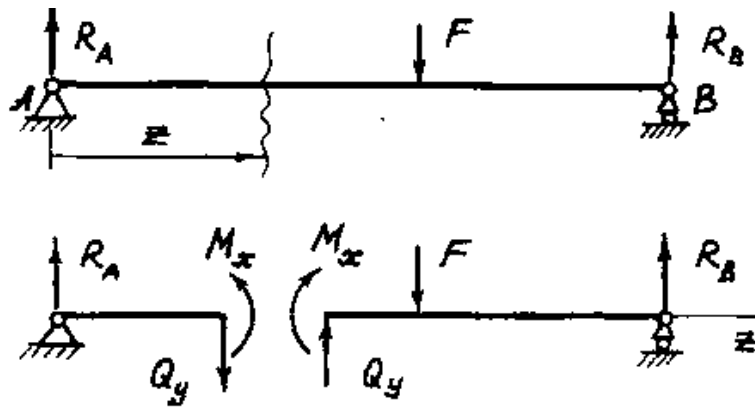


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема балки та внутрішні зусилля

б) додатні значення Q_y створюють сили, спрямовані вгору, якщо вони розташовані ліворуч від перерізу, що розглядається, та спрямовані вниз, якщо вони розташовані праворуч від нього.

Пошук внутрішніх силових факторів може бути виконаний лише після того, як визначені всі невідомі опорні реакції.

Для побудови епюр розрахункових параметрів вся конструкція повинна бути розбита на окремі силові ділянки, в межах кожної з яких навантаження має один безперервний закон зміни. Виходячи з цього, межами ділянок будуть характерні перерізи балки, в яких прикладені зосереджені сили або моменти, а також починається або закінчується розподілене навантаження.

Згинальний момент M_x , поперечна сила Q_y та інтенсивність зовнішнього розподіленого навантаження q , пов'язані диференціальними співвідношеннями:

$$\frac{dQ_y}{dz} = q; \quad \frac{dM_x}{dz} = Q_y; \quad \frac{d^2M_x}{dz^2} = q.$$

На основі цих залежностей сформульовані правила контролю при побудові епюр:

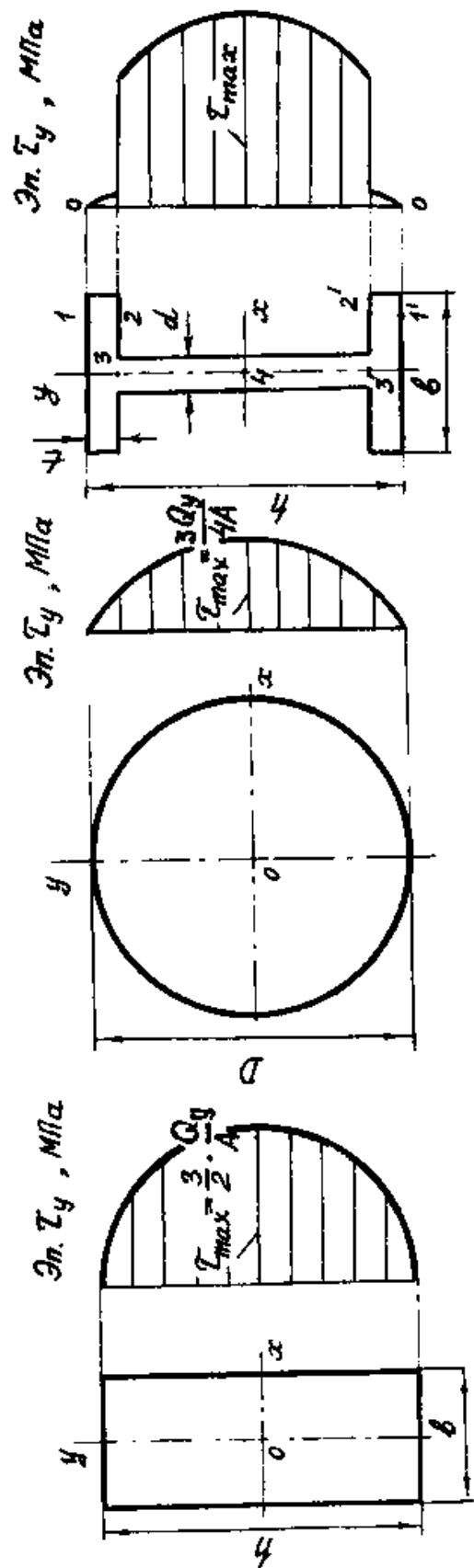


Рисунок 5.2 – Розподіл дотичних напружень за висотою перерізу балки

У більшості випадків практичного розрахунку конструкцій, що працюють на згинання, необхідно також провести їх розрахунок на жорсткість. Під розрахунком на жорсткість слід розуміти оцінку пружної піддатливості балки під дією прикладених навантажень і підбір таких розмірів поперечного перерізу, при яких поперечні переміщення не перевищуватимуть встановлених нормами меж. Умову жорсткості можна записати у вигляді:

$$|y_{max}| \prec [y]$$

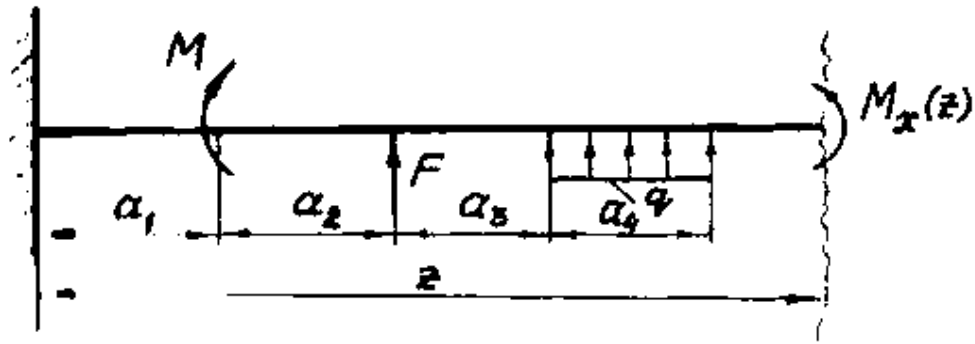
Тут $|y_{max}|$ – найбільший фактичний прогин, $[y]$ – гранично допустима величина прогину, встановлена на основі експериментальних та експлуатаційних даних.

Для перевірки жорсткості балки необхідно опанувати методику визначення поперечних переміщень точок балки під дією будь-якого зовнішнього навантаження. Найбільш поширеним методом визначення прогинів є метод початкових параметрів, який дозволяє для балки постійної жорсткості визначати прогини з лише одного рівняння – універсального рівняння пружної лінії.

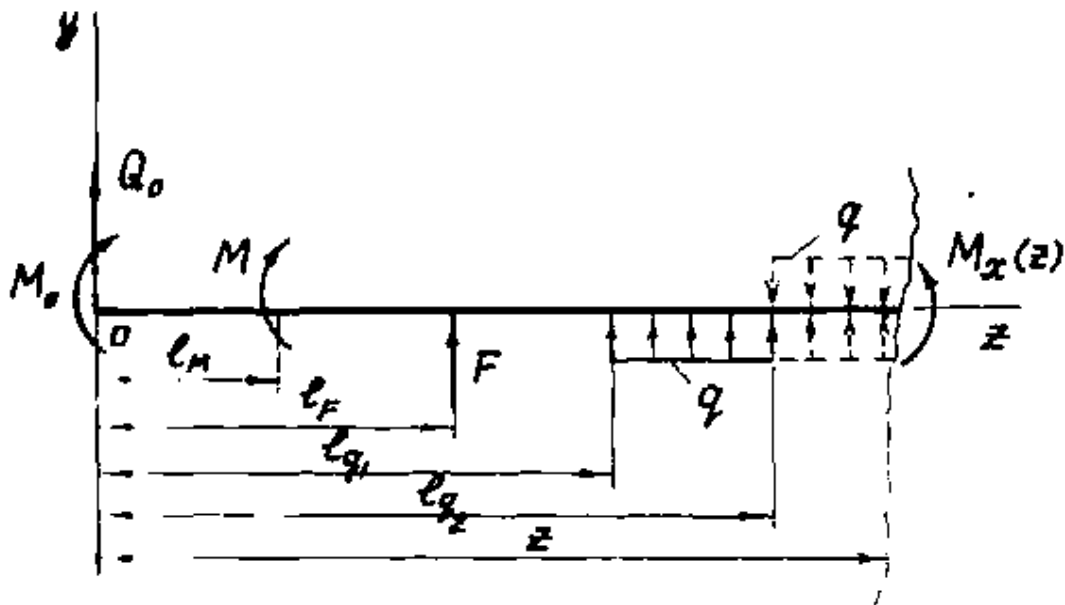
На рис. 5.3, а показано ділянку консольної балки, на якій прикладено навантаження, що зустрічаються найчастіше, серед яких:

- а) зосереджений згинальний момент M ;
- б) зосереджена сила F , прикладена перпендикулярно осі балки;
- в) розподілене на частині балки навантаження з постійною інтенсивністю q .

Початок координат поміщається в закладення (найбільш жорстку опору), та складається вираження для згинального моменту ділянки, що розглядається. На рис. 5.3, б напрямки прикладених навантажень показані таким чином, що вони викликають додатний згинальний момент:



а



б

- а) розрахункова схема балки;
 б) початкові параметри рівняння зігнутої осі.

Рисунок 5.3 – До визначення переміщень балки

$$M_x(z) = M_o \cdot z^o + M(z - l_M) + Q_o \cdot z + F(z - l_F) + q \frac{(z - l_{q1})^2}{2} - q \frac{(z - l_{q2})^2}{2}$$

Згинальний момент пов'язаний з прогином наближеним диференціальним рівнянням зігнутої осі балки:

$$\frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{M_x(z)}{EI_x} \quad (5.3)$$

Тоді після дворазового інтегрування (5.3) можна прийти до вираження для визначення прогину в перерізі балки:

$$EI_x y(z) = M_o \cdot \frac{z^2}{2} + M \frac{(z-l_M)^2}{2} + Q_o \frac{z^3}{6} + F \frac{(z-l_F)}{6} + q \frac{(z-l_{q_1})^2}{2} - q \frac{(z-l_{q_2})^2}{2} + EI_x \cdot y_o + EI_x \cdot \theta_o \cdot z,$$

Тут y_o , θ_o – постійні інтегрування, або прогин і кут повороту на початку координат (початкові значення).

Розглянутий спрощений випадок містить лише по одному з типових зовнішніх силових факторів. На даному відрізку може бути кілька зосереджених моментів, зосереджених сил, декілька ділянок розподіленого навантаження. У цьому випадку рівняння для прогину будь-якого з перерізів балки виходить з розгляду універсального рівняння пружної лінії, яке має вигляд:

$$EI_x y(z) = EI_x \cdot y_o + EI_x \cdot \theta_o \cdot z + M_o \cdot \frac{z^2}{2!} + Q_o \frac{z^3}{3!} + \sum_i M_i \frac{(z-l_{M_i})^2}{2!} + \sum_i F_i \frac{(z-l_{F_i})}{3!} + \sum_i q_i \frac{(z-l_{q_i})^2}{4!} \quad (5.4)$$

Тут l_{M_i} , l_{F_i} , l_{q_i} – відстані від початку координат до точок прикладення відповідних зосереджених моментів M_i , сил F_i та до початку дії

розподілених навантажень q_i . Згинальний момент M_0 і поперечна сила Q_0 , що діє в перерізі, який збігається з початком координат, називаються статичними початковими параметрами і знаходяться з умов рівноваги балки, а постійні інтегрування y_0 , θ_0 – геометричні початкові параметри (прогин і кут повороту перерізу на початку координат), які знаходяться з умов закріплення балки.

У разі обривання розподіленого навантаження, якщо воно не доходить до кінця балки, його продовжують до кінця частини, що розглядається (додаткове навантаження) і вводять компенсуюче навантаження зворотного напрямку і тієї ж інтенсивності.

Обидва ці навантаження показані на рис. 5.3,6 пунктиром.

Коефіцієнти $z - l_i$ у рівнянні (5.4) повинні бути більше нуля, тобто до уваги беруться лише ті навантаження, які розташовані між початком координат і перерізом, що розглядається. Якщо ж виявиться $z - l_i < 0$, то це означає, що відповідне навантаження розташоване за даним перерізом z , у якому визначається прогин. Таке доданок викреслюється з рівняння.

У разі, якщо початок координат збігається із закладенням, тоді $y_0 = \theta_0 = 0$. Якщо ж початок координат поміщено на нерухомій опорі, тоді $y_0 = 0$, $\theta_0 \neq 0$.

З рівняння (5.4) шляхом диференціювання можна також отримати залежність для визначення кутів повороту перерізів балки:

$$\theta(z) = \frac{dy}{dz}.$$

5.1 Проектування консольної балки при плоскому поперечному згинанні

Для консольної балки необхідно:

- 1) побудувати епюри поперечних сил $Q_y(z)$ і згинальних моментів $M_x(z)$;
- 2) виходячи з умови міцності:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]$$

підібрати прямокутний, круглий і двотавровий перерізи та оцінити їх раціональність за витратами матеріалу (співвідношенням сторін прямокутного перерізу прийняти $h / b = 4$);

3) для небезпечних перерізів двотаврової балки побудувати епюри нормальних напружень $\sigma_z(y)$, дотичних напружень $\tau_y(y)$ та провести повну перевірку міцності;

4) користуючись методом початкових параметрів скласти рівняння зігнутої осі для всіх ділянок двотаврової балки, визначити прогини в характерних точках і побудувати зігнуту вісь балки, перевірити жорсткість балки за умовою:

$$|y_{max}| \leq [y],$$

де $|y_{max}|$ – найбільший фактичний прогин;

$$[y] = l / 200;$$

l – довжина консолі.

У розрахунках прийняти:

$$[\sigma] = 210 \text{ МПа},$$

$$[\tau] = 105 \text{ МПа}.$$

Варіанти розрахункових схем і вихідні дані для виконання індивідуального завдання самостійної роботи наведені в п. 5.3, табл. 5.1.

Розглядається балка, розрахункова схема якої представлена на рис. 5.4, а із заданими параметрами:

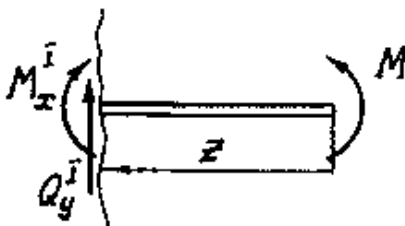
- довжина ділянки балки $a = 1,2$ м;
- довжина ділянки балки $b = 2$ м;
- довжина ділянки балки $c = 4$ м;
- зосереджена сила $F = 3$ кН;
- розподілене навантаження $q = 12$ кН/м;
- зовнішній зосереджений $M = 36$ кН·м.

Власна вага матеріалу балки не враховується.

Консольна балка розбивається на силові ділянки, для визначення внутрішніх зусиль початок координат зручно розміщувати у крайній точці вільного кінця консолі. Внутрішні поперечні сили $Q_y(z)$ та згинальні моменти $M_x(z)$ розраховуються за силовими ділянками, і будуються їх епюри (рис. 5.4, б, в).

Ділянка I ($0 \leq z \leq 4$ м):

- за відсутності на ділянці зосереджених сил і розподіленого навантаження

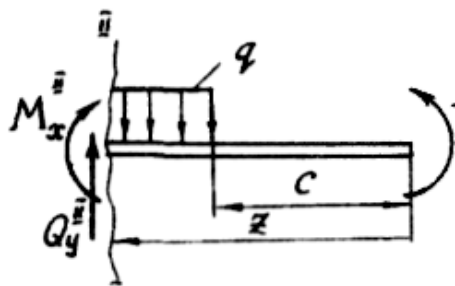


$$Q_y' = 0;$$

- згинальний момент в межах ділянки постійний

$$M_x^I = M = 36 \text{ кН}\cdot\text{м} = \text{const.}$$

Ділянка II ($4 \text{ м} \leq z \leq 6 \text{ м}$):



- функція внутрішньої поперечної сили

на ділянці – лінійна

$$Q_y^II(z) = q \cdot (z - c);$$

$$Q_y^II(4) = 12 \cdot (4 - 4) = 0;$$

$$Q_y^II(6) = 12 \cdot (6 - 4) = 24 \text{ кН};$$

- функція внутрішнього згинального моменту на ділянці –

квадратична

$$M_x^II(z) = M - q \cdot \frac{(z - c)^2}{2};$$

$$M_x^II(4) = 36 - 12 \cdot \frac{(4 - 4)^2}{2} = 36 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_x^II(6) = 36 - 12 \cdot \frac{(6 - 4)^2}{2} = 12 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Ділянка III ($6 \text{ м} \leq z \leq 7,2 \text{ м}$):

- функція внутрішньої поперечної сили на ділянці – лінійна

$$Q_y^II(z) = q \cdot (z - c) - F;$$

$$Q_y^II(6) = 12 \cdot (6 - 4) - 3 = 21 \text{ кН};$$

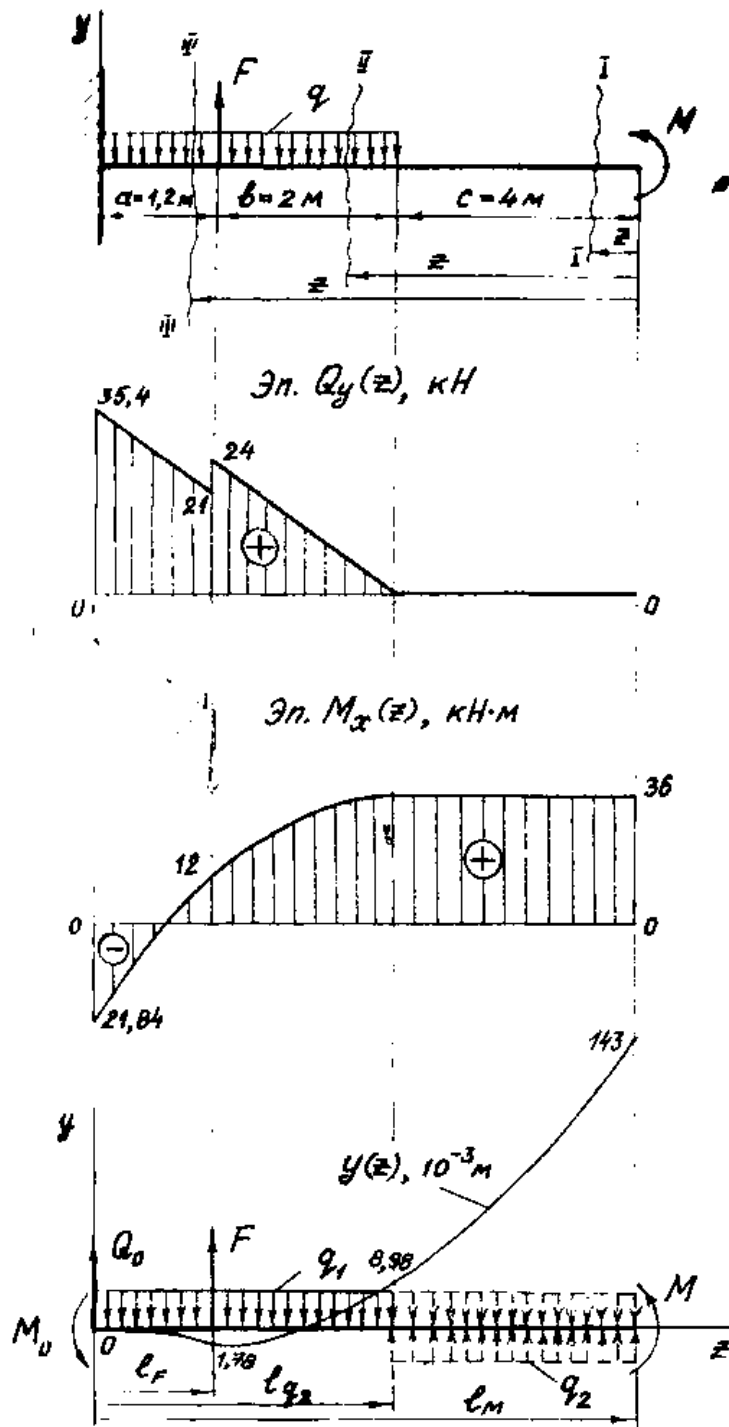
$$Q_y^II(7,2) = 12 \cdot (7,2 - 4) - 3 = 35 \text{ кН};$$

- функція внутрішнього згинального моменту на ділянці –

квадратична

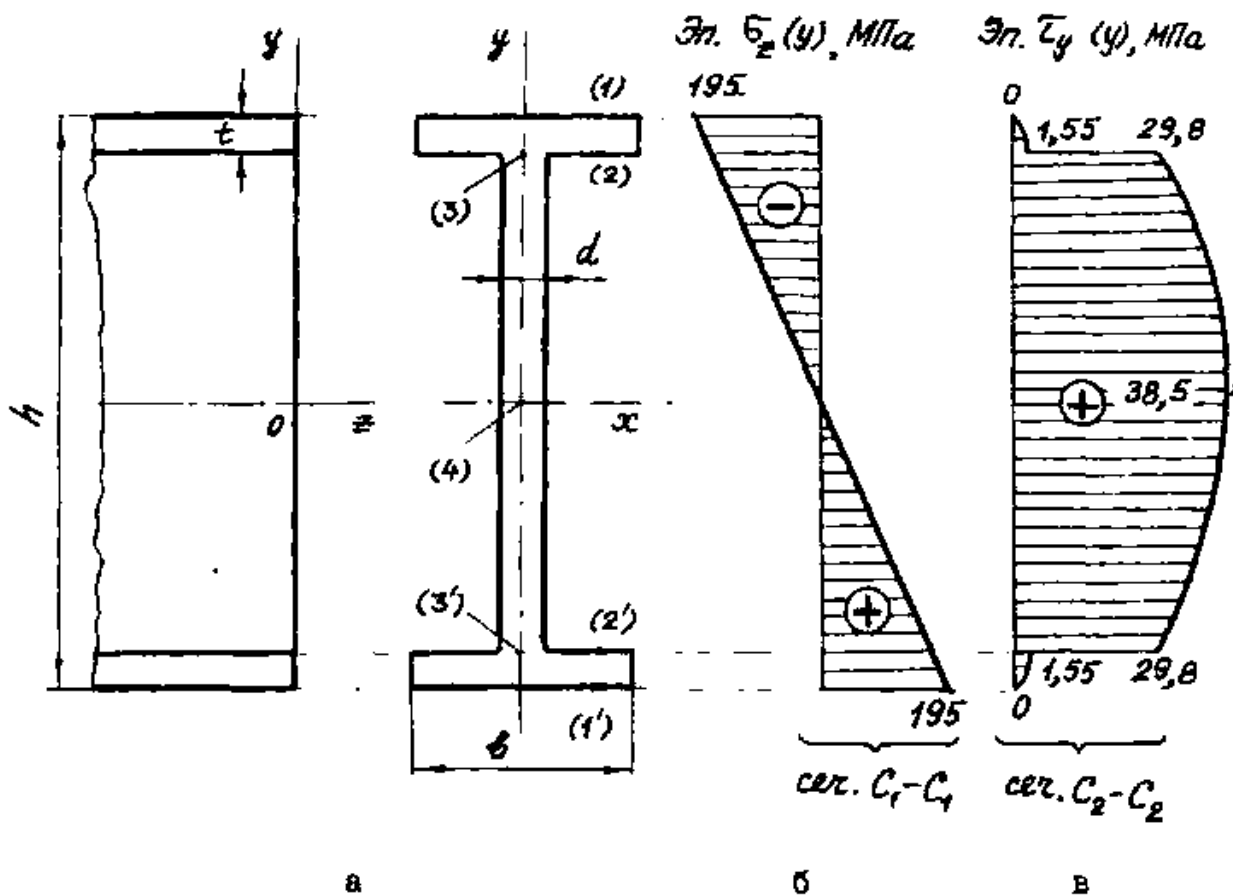
$$M_x^III(z) = M - q \cdot \frac{(z - c)^2}{2} + F(z - b - c);$$

$$M_x^III(6) = 36 - 24 = 12 \text{ кН}\cdot\text{м};$$



- а) розрахункова схема з поділом на силові ділянки;
- б) епюра поперечних сил $Q_y(z)$;
- в) епюра згинальних моментів $M_x(z)$;
- г) розрахункова схема для визначення прогинів і зігнута вісь.

Рисунок 5.4 – Розрахунок консольної балки



- а) характерні точки;
 б) епюра нормальних напружень $\sigma_z(y)$;
 в) епюра дотичних напружень $\tau_y(y)$.

Рисунок 5.5 – Напружений стан балки двотаврового перерізу

$$b(y_2) = b_n = 0,1 \text{ м};$$

$$\tau_{y(2)} = \tau_{y(2')} = \frac{35,4 \cdot 10^{-3} \cdot 80,5 \cdot 10^{-6}}{1840 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1} = 1,55 \text{ МПа};$$

$$b(y_3) = d = 0,52 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$\tau_{y(3)} = \tau_{y(32)} = \frac{35,4 \cdot 10^{-3} \cdot 80,5 \cdot 10^{-6}}{1840 \cdot 10^{-8} \cdot 0,52 \cdot 10^{-2}} = 29,8 \text{ МПа};$$

$$S_{x(4)}^e = S_x = 104 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$\tau_{y(4)} = \tau_{max} = \frac{35,4 \cdot 10^{-3} \cdot 104 \cdot 10^{-6}}{1840 \cdot 10^{-8} \cdot 0,52 \cdot 10^{-2}} = 38,5 \text{ МПа},$$

Таким чином, міцність за дотичними напруженнями при $\tau_{max} = 38,5 \text{ МПа} < [\tau] = 105 \text{ МПа}$ в перерізі 2 забезпечується.

Скориставшись третьою теорією міцності, перевіряється міцність в перерізі 3 за головними напруженнями.

У двотаврової балки найбільш навантаженою в цьому випадку буде т. 3, для якої

$$\sigma_{z(3)} = \frac{21,84 \cdot 10^{-3}}{1840 \cdot 10^{-8}} \cdot \left(\frac{0,2}{2} - 0,84 \cdot 10^{-2} \right) = 108,7 \text{ МПа},$$

а напруження $\tau_{y(3)} = 29,8 \text{ МПа}$ обчислювалося раніше.

Тоді головні напруження:

$$\sigma_{1(3)} = \frac{\sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_z}{2} \right)^2 + \tau_y^2}, \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1(3)} = \frac{108,7}{2} + \sqrt{\left(\frac{108,7}{2} \right)^2 + 29,8^2} = -7,63 \text{ МПа}.$$

За третьою теорією міцності виходить:

$$\sigma_{1(3)} - \sigma_{3(3)} = 116,3 - (-7,63) = 129,9 \text{ МПа} < [\sigma] = 210 \text{ МПа},$$

тобто міцність забезпечується.

Використовуючи метод початкових параметрів, визначаються прогини в характерних перерізах балки та будується її зігнута вісь.

При пошуку значень прогинів початок координат розміщується в затисненні та визначаються опорні реакції:

$$\sum F_{iy} = 0;$$

$$Q_0 + F - q \cdot (a + b) = 0;$$

$$Q_0 = q \cdot (a + b) - F = 12 \cdot (1,2 + 2) - 3 = 35,4 \text{ кН};$$

$$\Sigma M_{i(0)} = 0;$$

$$M + F \cdot a + M_0 - q \frac{(a + b)^2}{2} = 0,$$

$$M_0 = q \frac{(a + b)^2}{2} - M - F \cdot a = 12 \cdot \frac{(1,2 + 2)^2}{2} - 36 - 3 \cdot 1,2 = 21,84 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Тут F_0 , M_0 – зосереджена реакція і момент в затисненні.

Початкові параметри задачі, що розглядається:

$$y_0 = 0; \quad \theta_0 = 0.$$

Необхідно перетворити розрахункову схему балки таким чином, як показано на рис. 5.4, г. Тоді універсальне рівняння пружної лінії буде мати вигляд:

$$EI_x \cdot y(z) = -M_0 \frac{z^2}{2} + Q_0 \frac{z^3}{6} + F \frac{(z - l_F)^3}{6} - q \frac{z^4}{24} + q \frac{(z - l_{q2})^4}{24}.$$

Записуються вираження для $y(z)$ на кожній силовій ділянці та обчислюються значення в характерних перерізах. На відміну від визначення внутрішніх зусиль, слід розглядати балку від закладення, починаючи з силової ділянки III.

Ділянка III ($0 \leq z \leq 1,2 \text{ м}$):

$$y(z) = \frac{1}{EI_x} \left[-M_0 \cdot \frac{z^2}{2} + Q_0 \cdot \frac{z^3}{6} - q \cdot \frac{z^4}{24} \right]$$

при $z = 0$

$$y(0) = 0;$$

при $z = 1,2$ м

$$y(1,2) = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^5 \cdot 1840 \cdot 10^{-8}} \left[-21,84 \cdot \frac{1,2^2}{2} + 35,4 \cdot \frac{1,2^3}{6} - 12 \cdot \frac{1,2^4}{24} \right] = -1,78 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Ділянка II ($1,2 \text{ м} \leq z \leq 3,2 \text{ м}$):

$$y(z) = \frac{1}{EI_x} \left[-M_o \cdot \frac{z^2}{2} + Q_o \cdot \frac{z^3}{6} - q \cdot \frac{z^4}{24} + F \frac{(z-l_F)^3}{6} \right]$$

при $z = 1,2$ м

$$y(1,2) = -1,78 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

при $z = 3,2$ м

$$y(3,2) = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^5 \cdot 1840 \cdot 10^{-8}} \left[-21,84 \cdot \frac{3,2^2}{2} + 35,4 \cdot \frac{3,2^3}{6} - 12 \cdot \frac{3,2^4}{24} + 3 \cdot \frac{(3,2-1,2)^3}{6} \right] = 8,98 \cdot 10^{-3}$$

Ділянка I ($3,2 \text{ м} \leq z \leq 7,2 \text{ м}$):

$$y(z) = \frac{1}{EI_x} \left[-M_o \cdot \frac{z^2}{2} + Q_o \cdot \frac{z^3}{6} + F \frac{(z-l_F)^3}{6} - q \cdot \frac{z^4}{24} + q \cdot \frac{(z-l_{q2})^4}{24} \right]$$

при $z = 3,2$ м

$$y(3,2) = 8,98 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

при $z = 7,2 \text{ м}$

$$y(7,2) = 1,43 \cdot 10^{-1} \text{ м.}$$

За знайденими значеннями прогинів будується зігнута вісь балки $y(z)$ (рис. 5.4, г).

Умова жорсткості має вигляд:

$$|y_{max}| \leq [y],$$

де $[y]$ – гранично допустиме значення прогину, чисельно рівне:

$$[y] = \frac{a + b + c}{200} = \frac{7,2}{200} = 0,36 \cdot 10^{-1} \text{ м.}$$

Таким чином умова жорсткості не задовольняється. Перевищення гранично допустимого прогину – в 4 рази:

$$y_{max} = 1,43 \cdot 10^{-1} > [y] = 0,36 \cdot 10^{-1} \text{ м.}$$

Тому при проектуванні реальної конструкції варто було б збільшити розмір двотаврового профілю, щоб осьовий момент інерції перерізу складав $I_x = 4 \cdot 1840 \cdot 10^{-8} = 7360 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$ або замінити консольну схему балки на двохопорну.

5.2 Розрахунок шарнірно опертої балки при плоскому поперечному згинанні

Для балки на двох шарнірних опорах необхідно:

1) побудувати епюри внутрішніх зусиль – поперечної сили $Q_y(z)$ і згинального моменту $M_x(z)$;

2) виходячи з умови міцності за нормальними напруженням:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]$$

підібрати прямокутний, круглий і двотавровий перерізи та оцінити їх раціональність за витратами матеріалу (співвідношенням сторін прямокутного перерізу прийняти $h / b = 4$);

У розрахунках прийняти:

$$[\sigma] = 210 \text{ МПа.}$$

Варіанти розрахункових схем і вихідні дані для виконання індивідуального завдання самостійної роботи наведені в п. 5.3, табл. 5.1.

Розглядається балка, розрахункова схема якої представлена на рис. 5.6, а із заданими параметрами:

- довжина ділянки балки $a = 4$ м;
- довжина ділянки балки $b = 3$ м;
- довжина ділянки балки $c = 1,2$ м;
- зосереджена сила $F = 25$ кН;
- розподілене навантаження $q = 22$ кН/м;
- зовнішній зосереджений $M = 10$ кН·м.

Власна вага матеріалу балки не враховується.

Визначаються реакції в опорах:

$$Q_y^{\text{II}}(7) = 22 \cdot 7 - 72,32 - 25 = 56,68 \text{ кН};$$

- функція внутрішнього згинального моменту на ділянці – квадратична

$$M_x^{\text{II}}(z) = q \frac{z^2}{2} - R_A \cdot z - F(z - 4)$$

$$M_x^{\text{II}}(4) = -113,28 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_x^{\text{II}}(7) = 22 \cdot \frac{7^2}{2} - 72,32 \cdot 7 - 25(7 - 4) = -42,17 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

На другій ділянці еюра $Q_y(z)$ також проходить через нульову лінію, тому необхідно знайти екстремальне значення згинального моменту:

$$\frac{dM_x^{\text{II}}}{dz} = 2 \cdot q \frac{z}{2} - R_A - F = 0.$$

$$z_2^* = \frac{R_A + F}{q} = \frac{72,32 + 25}{22} = 4,42 \text{ м};$$

$$M_x^{\text{II}}(4,42) = 22 \cdot \frac{4,42^2}{2} - 72,32 \cdot 4,42 - 25(4,42 - 4) = -115,25 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Ділянка III ($0 \leq z \leq 1,2$ м):

- функція внутрішньої поперечної сили на ділянці – лінійна

$$Q_y^{\text{III}}(z) = -R_B + q \cdot z$$

$$Q_y^{\text{III}}(0) = -R_B = -(-30,28) = 30,28 \text{ кН};$$

$$Q_y^{\text{III}}(1,2) = -(-30,28) + 22 \cdot 1,2 = 56,68 \text{ кН};$$

- функція внутрішнього згинального моменту на ділянці –
квадратична

$$M_x'''(z) = R_B \cdot z - q \cdot \frac{z^2}{2}$$

$$M_x'''(0) = 0,$$

$$M_x'''(1,2) = -30,28 \cdot 1,2 - 22 \cdot \frac{1,2^2}{2} = -52,17 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

З умови міцності за нормальними напруженнями визначається необхідний момент опору, після чого визначаються необхідні розміри перерізів:

$$W_x \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{118,87 \cdot 10^{-3}}{210} = 5,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Прямокутний переріз:

$$W_x = \frac{bh^2}{6} = \frac{16 \cdot b^3}{6} \geq 5,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3;$$

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{6}{16} \cdot 5,66 \cdot 10^{-4}} = 5,97 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 5,97 \text{ см};$$

Приймається $b = 6 \text{ см}$, тоді:

$$h = 4 \cdot b = 4 \cdot 6 = 24 \text{ см};$$

$$A_{\square} = h \cdot b = 24 \cdot 6 = 144 \text{ см}^2.$$

Круглий переріз:

$$W_x = \frac{\pi D^3}{32} \geq 5,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3;$$

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 5,66 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 0,179 \text{ м} = 18 \text{ см};$$

$$A_{\square} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 18^2}{4} = 254,5 \text{ см}^2.$$

Двотавровий переріз вибирається із сортаменту, приймається І № 33, у якого момент опору більше необхідного значення:

$$W_x = 597 \text{ см}^3 > 566 \text{ см}^3,$$

а площа дорівнює $A_I = 53,8 \text{ см}^2$.

Оцінюється раціональність перерізів:

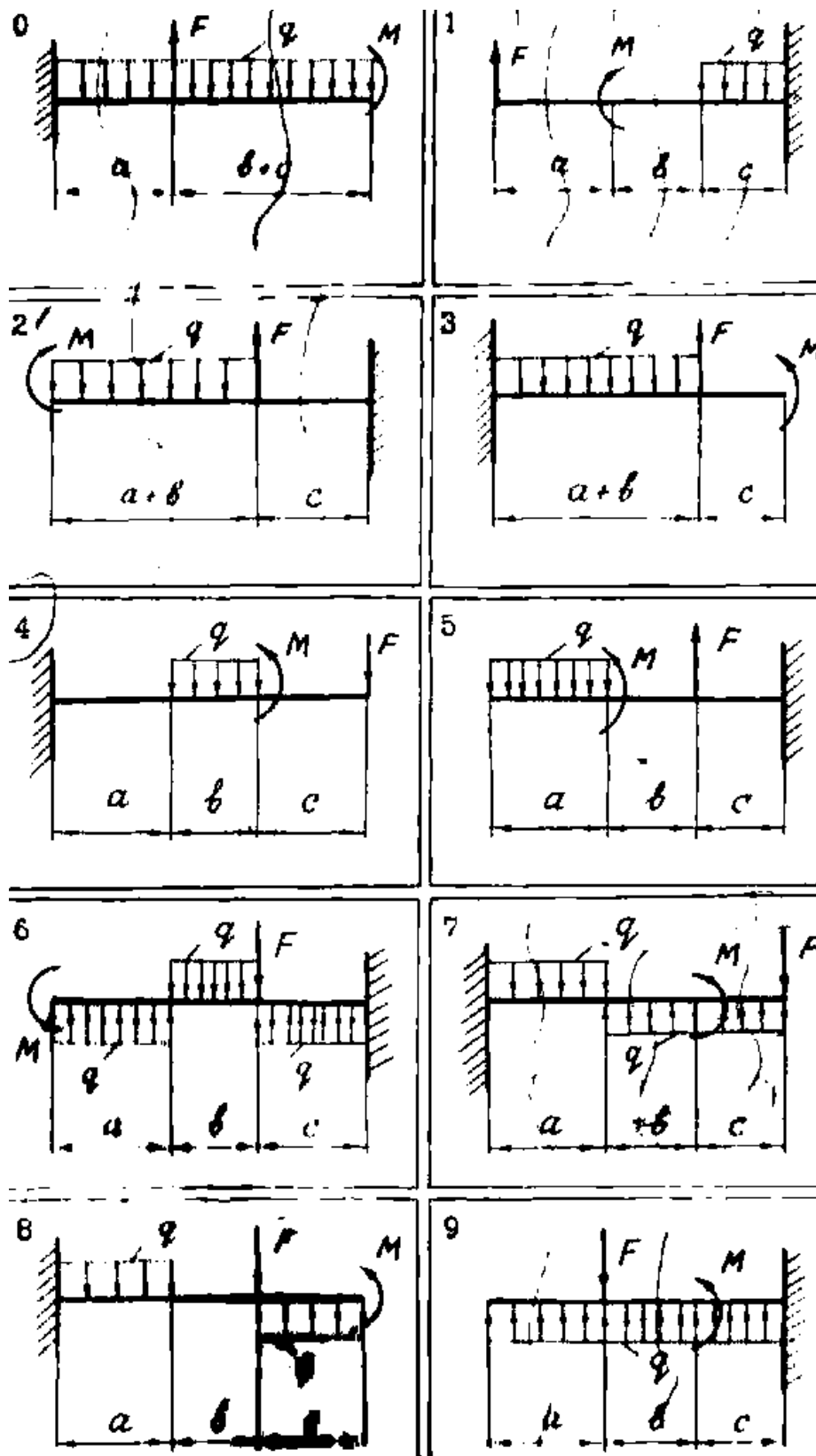
$$\frac{A_{\square}}{A_{\perp}} = \frac{254,5}{53,8} = 4,73; \quad \frac{A_{\square}}{A_{\perp}} = \frac{144}{53,8} = 2,68; \quad \frac{A_{\perp}}{A_{\perp}} = 1.$$

Вона буде зростати в такій послідовності:

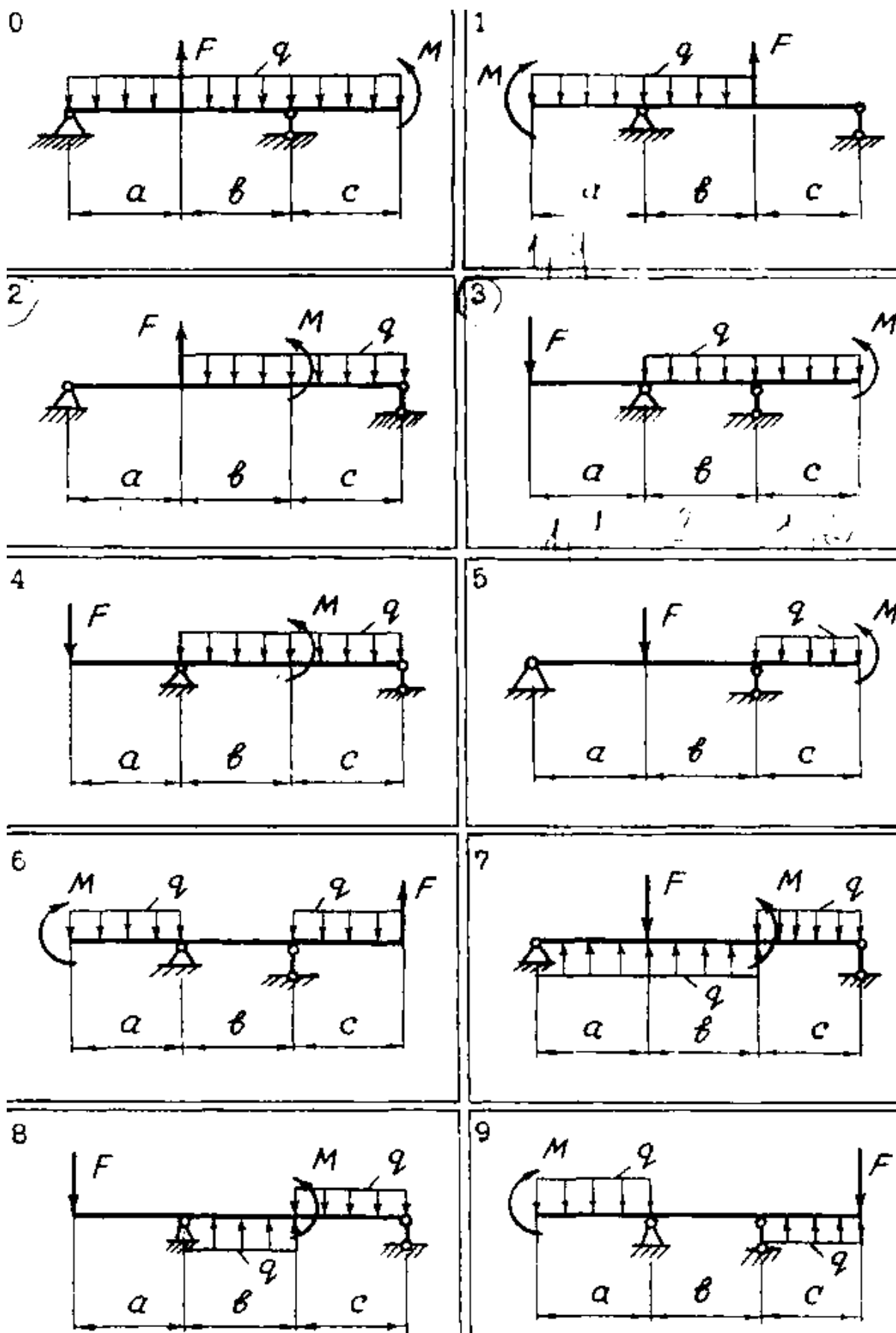
$$A_{\square} : A_{\square} : A_{\perp} = 4,73 : 2,68 : 1.$$

5.3 Завдання до самостійної роботи за темою 5

Варіанти розрахункових схем консольних балок (п. 5.1):



Варианти розрахункових схем двохопорних балок (п. 5.2):



Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку консольних і двохопорних балок

Цифри шифру						
Перша	Друга			Третя		
Номер схеми	a , м	b , м	c , м	F , кН	M , кН·м	q , кН/м
0	1,0	3,0	2,0	10	30	20
1	1,2	2,0	4,0	20	40	10
2	1,4	3,0	1,2	30	36	12
3	2,2	2,8	1,0	40	18	18
4	2,0	2,2	4,0	35	22	16
5	4,0	2,4	1,6	25	28	22
6	2,4	2,6	2,2	15	12	14
7	2,0	1,8	2,4	16	10	24
8	2,6	4,0	2,8	18	32	8
9	3,0	2,0	2,6	24	20	6