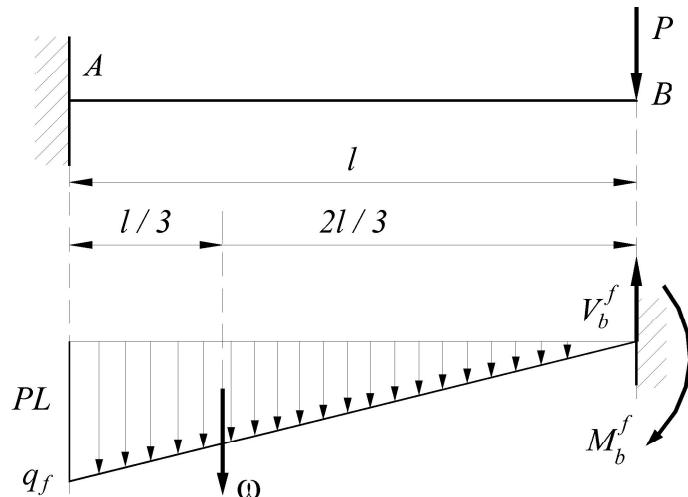


## Í ðèì áðú ðàñ÷åòà

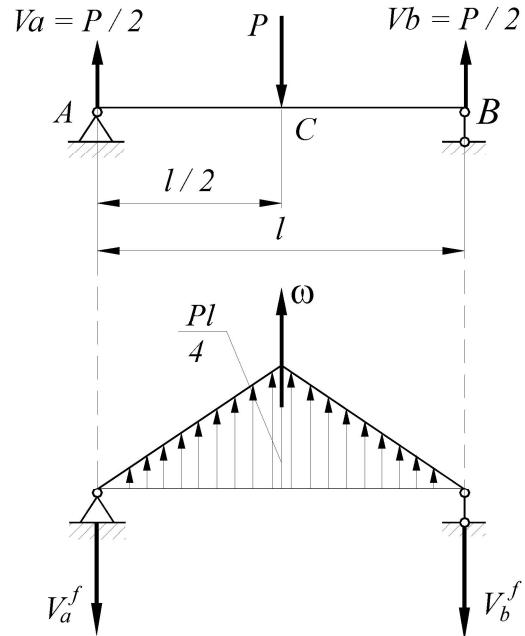
Í ðèì áð 1. Áëý êî íñî ëüí îé áàëëè, n í ðèëî æåí îé ê íåé nñ ñðåäî òî ÷åí îé ñèëîé Ð, í i ðåäåëèöü óâîë íñâî ðî òà è í ðî áëá nñå ÷åí èý, í ðî õî äÿùåâî ÷åðåç òî ÷éó Â (Ðèñ. 27).



Ðèñ. 27

- Ð å ø å í è å.
1. Áû÷åð÷èåàåì ðàñ÷åòí óþ nñåì ó áàëëè.
  2. Nòðîèì yí þðó èçääèåþùèo íññ åí òî â.
  3. Òàê êàê íññ åí ò áóäåò íòðèòåòåëüí ûì, nòðåëëè ôèêòèåí îé ðàñí ðåäåëåí îé íàäðóçèè íàï ðàâëýåì åí èç.
  4. Í ðèíèì àåì ôèêòèåí óþ áàëëô.
  5. Í i ðåäåëýåì åäëë÷èí ó íññ ðåäåëöéé ôèêòèåí îé áàëëè:
- $S_I_A = 0 = -M_B^f + w(2/3)I = -M_A^f + (1/2)P \times \frac{2}{3}I; I_A^f = PI^3/3;$
- $S_Y = 0 = V_A^f - w = V_A^f - PI^2/2; V_A^f = PI^2/2.$
6. Í i ðåäåëýåì åäëë÷èí û èçääèåþùåâî íññ åí òà è íññ ðåäåí îé ñèëû â nñå ÷åí èè, í ðî õî äÿùåâî ÷åðåç òî ÷éó Â:
- $I_A^f = -PI^3/3; Q_A^f = -PI^2/2.$
7. Í i ðåäåëýåì í ðåäåí åùåí èý íññ ðî ðî óëàì (7.8) è (7.9).
- $y_B = M_B^f/EI = -3PI^3/3EI; Q_B^f = Q_A^f/EI = -3PI^2/2EI.$
- Âèäí î, ÷òî ýòè íòååòû èääåí òè÷í û ðåøåí èþ í åòî äí íññ ñðåäñòåâí îáí èí òåäðèðî áàí èý äèòòåðåí öèæëüí îáí óðåâí åí èý èçí åí óòî é íññ áàëëè.

І ðèì åð 2. Äëý áàëëè, í àäðóæåííé â ñåðåæíå ï ðî ëåòà ñî ñðåäí òî ÷åííé ñèëíé Ð, í i ðåäåëèòü óäí è í i ì áí ðî òà ñå÷åíèý, í ðî õí äÿùååí ÷åðåç òî ÷éó Å, è í ðî ãèá ñå÷åíèý, í ðî õí äÿùååí ÷åðåç òî ÷éó Ñ (Ðèñ. 28).



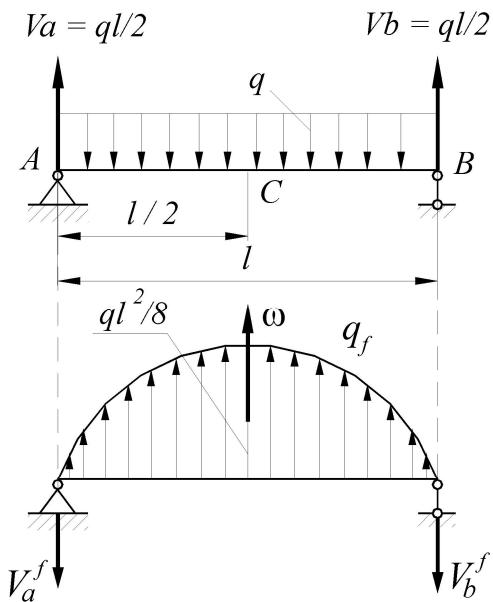
Ðèñ. 28

- Ð å ø å í è å.
1. Äû÷åð÷èåàåì ðàñ÷åòí óþ ñõåì ó áàëëè.
  2. Ñòðîèì yíþ ðó èçäèáàþùèò í i ì áí ðî å.
  3. Õàê êàê í i ì áí ò áóäåò í i ëí æèòåëüí ûì, í àí ðàâëÿåì ñòðåëëè ôèêòèåííé ðàñí ðåäåëåííé í àäðóçèè åååðò.
  4. Í ðèíèì åàì ôèêòèåíóþ áàëëô (Ðèñ. 28).
  5. Í i ðåäåëÿåì ååëë÷èíó ðåàéöèé ôèêòèåííé áàëëè:

Õàê êàê í àäðóçèà ñèì í åòðè÷íà  $V_A^f = V_B^f = \text{w}/2 = (1/2)(\text{Pl}/4)(1/2) = \text{Pl}^2/16$ .

  6. Í i ðåäåëÿåì ååëë÷èíó í i ì åðå÷ííé ñèëü â ñå÷åíèè, í ðî õí äÿùååí ÷åðåç òî ÷éó Å:  $Q_f^B = V_B^f = \text{Pl}^2/16$ ;
  7. Í i ðåäåëÿåì ååëë÷èíó èçäèáàþùååí í i ì áí òà â ñå÷åíèè, í ðî õí äÿùååí ÷åðåç òî ÷éó Ñ:  $I_f^C = -V_A^f(1/2) + (1/2)(\text{Pl}/4)(1/2)(1/3)(1/2) = -(\text{Pl}^3/32) + (\text{Pl}^3/96) = -\text{Pl}^3/48$ .
  8. Í i ðåäåëÿåì í åðåì åùåíèý  $Q_B$  è óÑ:  $Q_B = Q_f^B/EI = \text{Pl}^2/16EI$ ;  $Q_B = M_f^C/EI = -\text{Pl}^3/48EI$

**ТӘБІЛ АДАМ** 3. Аёй ғәрінің тұрақты салынған күштердің мөлдөмдіктерін анықтау үшін әзірлеуленген күштің мөлдөмдіктерін анықтауда қолданылады. Олардың мөлдөмдіктерін анықтауда қолданылады.



Дән. 29

1. Аұрадағы екінші орталық күштің мөлдөмдіктерін анықтау үшін күштің мөлдөмдіктерін анықтауда қолданылады.
2. Нөдіндең жиынтық мөлдөмдіктерін анықтауда қолданылады.
3. Олардың мөлдөмдіктерін анықтауда қолданылады.
4. Тәбілдердең мөлдөмдіктерін анықтауда қолданылады.
5. Түрлі мөлдөмдіктердің мөлдөмдіктерін анықтауда қолданылады.

$$V_A^f = V_B^f = \mathbf{W} / 2.$$

Түрлі мөлдөмдіктердің мөлдөмдіктерін анықтауда қолданылады:  $M = (ql / 2)x - qx^2 / 2;$

$$\mathbf{W} = \int_0^{l/2} (dl / 2)x - qx^2 / 2 dx = ql^3 / 4 - ql^3 / 6 = ql^3 / 12, \text{ өйткі } V_A^f = V_B^f = ql^3 / 24.$$

6. Түрлі мөлдөмдіктердің мөлдөмдіктерін анықтауда қолданылады, т.к.  $Q_f^A = -V_A^f = -ql^3 / 24.$
  7. Түрлі мөлдөмдіктердің мөлдөмдіктерін анықтауда қолданылады, т.к.  $M_f^C = -(1/2)V_A^f \times (W/2)(1/2 - x_C);$   $x_C = S_Y / F [n].$
- Анықтауда қолданылады:  $F = W / 2 = ql^3 / 24,$  а

$$S_Y = \int_0^{l/2} qx dx = \frac{q}{2}(q(l/2)x - qx^2/2) \Big|_0^{l/2} = ql^4/48 - ql^4/128 = 5ql^4/384,$$

0                    0

$$x_c = 5ql^4/384: ql^3/24 = 5l/16, \text{ nõõäääààòåëüíî}$$

$$M_f^c = -(ql^3/24)(1/2) + (ql^3/24)(1/2 - 5l/16) = ql^4/48 + 3ql^4/384 = 5ql^4/384.$$

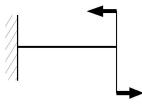
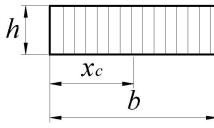
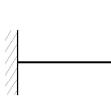
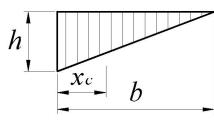
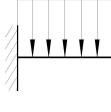
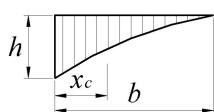
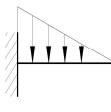
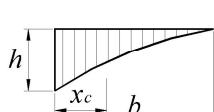
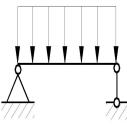
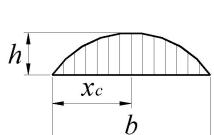
8. Í Í ðääääëýäì óäîë í Í ãò ðî òà  $Q_A$  è í Í ðî ãèá óñ:

$$Q_A = Q_f^A/EI = -ql^3/24EI; y_c = -5ql^4/384EI.$$

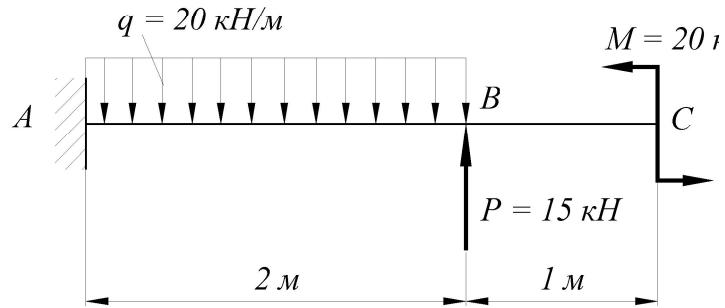
Éç í Í ðèäääääí í ûõ í Í ðèí áðî á àèäí í, ÷òî éí í á÷í ûå ðåçóëüòàòó ðàñ÷åòî á ñí áí áäääþò ñ í ðåååòàí è çäää÷, ðåøäí í ûõ ðäí áå òåòí áí Í áí í ñðåäñòååí í Í áí èí ðååðéðí áàí èý äèööåðåí öèæëüí áí óðååí áí èý èçí áí óòí é í ñè.

Éç í Í ðèí áðà (3) áèäí í, ÷òî áú÷èñéäí èå í Í ëí ùåäåé ýí þð èçäääàþùèõ í Í ì áí ðäí èéí àò èõ óäí ðòí á ðÿæäñòè èí ðååðéðí áäí èáí ñâýçàí í ñ í ðååäääéäí í ûí è ñéí æí í ñòýí è, í Í yòí ì ó á í ðåéòè÷åñéèõ ðàñ÷åòàõ í Í ðè ñéí æí í ì í áäðóæåí èè áäéí è ñòðí ýò "ðåññéí áí í ûå" ýí þðû. Í ðè yòí ì áí à÷åéä ñòðí ýò ýí þðû í ò éäæäí èç áí áðí èõ ñèë, í ðèéí æåí í ûõ è áäééä, á í ðååëüí í ñòè, à í Í òí ì ñâí äýò èõ áñå áí áñòå í à í ñü ýí þðû. Óí áäää í ðèóí äèòñý èí áòü áäéí ðí ëüéí ñ í Í ëí ùåääýí è è í Í ðäéí àòàí è ýí þð, éí ðòí ðûå í ðèååäääí û á òåäéèöå 2.

Óäåëëöå 2

Ñðåí á í áäðóæåí èý	Ýí þðà í	Í ëí ùåäü w	Éí Í ðäéí àòà õñ
		bh	b/2
		bh/2	b/3
		bh/3	b/4
		bh/4	b/5
		2bh/3	b/2

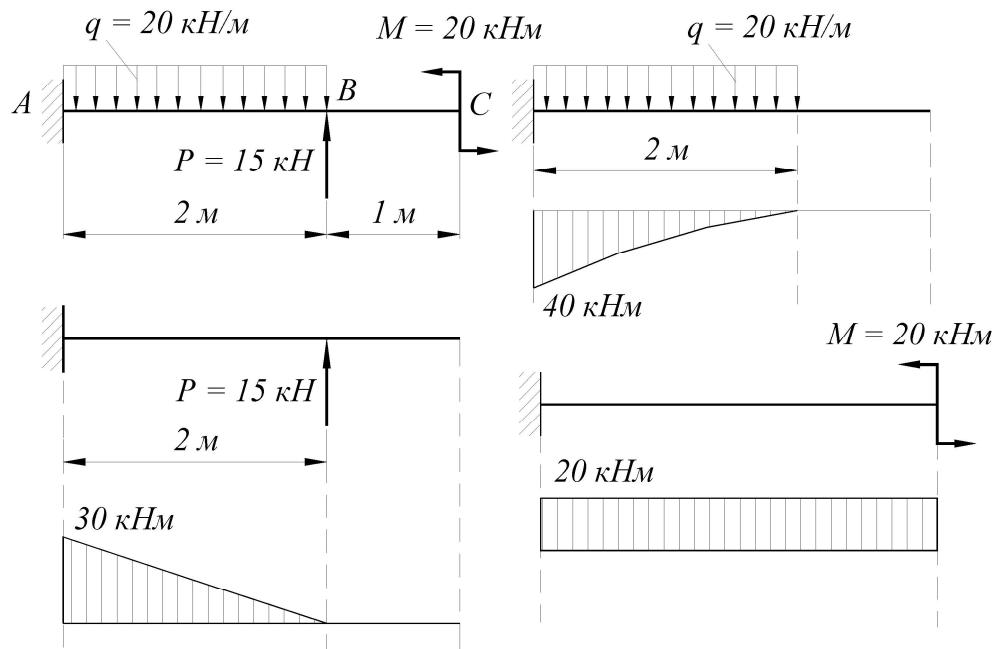
Í ðeñ. 4. Äey éí íñi eüí íé áàëëè tii ðåäåëëòü óäî è iñâî ðî òà nå÷åí èý, iñðî ðî äyùåñi ÷åðåç ðî ÷éó ñ, è iñðî äëá nå÷åí èý, iñðî ðî äyùåñi ÷åðåç ðî ÷éó Á (Ðeñ.31).



Ðeñ.31

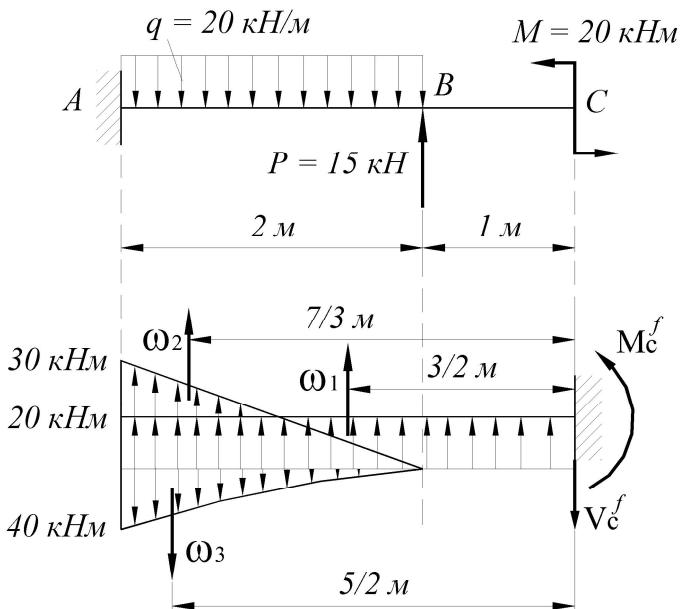
Ð å ø å í è å. 1. Åû÷åð÷èåàåì ðàñ÷åðí óþ nõåì ó áàëëè (Ðeñ. 31).

2. Nòðî èì yíþðû èçäèåàþùèö tii áí ðî áàæäî è ç nèë, iñðeëi æåñí ûõ ê áàëëå (Ðeñ. 32, à), à iñðæëüí ñòè (Ðeñ. 32, á, â, á).



Ðeñ. 32

3. Nâi äèì âñå òðè yíþðû íà tii ñü áàëëè (Ðeñ. 33). Íà yíþðàõ ñ tii ëi æèðåëüí ûì è çíà÷åí èýì è tii áí ðî á nòðåëëè òèéðåëáí íé ðàñi ðåäåëåí ííé íàäðóçêè íàï ðåäåëýâì áâåðõ, à íà yíþðâ ñ iñðèöàðåëüí ûì è çíà÷åí èýì è tii áí ðî á – áí èç.



Đèñ. 33

4. Tí ðøéí èì àåì òèéòèâí óþ áàëêó.

5. Tí ðåäääëýåì áàëë÷èí ó tì tì ðí ûö ðåäæöëé òèéòèâí tì é áàëëè:

$$\mathbf{S}_{\bar{N}} = 0 = M_{\bar{N}}^f + \mathbf{w}_3(5/2) - \mathbf{w}_2(7/3) - \mathbf{w}_1(3/2), \text{ èëë}$$

$$M_C^f = + (1/2) \cdot 30 \cdot 2 \cdot (7/3) - (1/3) \cdot 40 \cdot 2 \cdot (5/2) + 20 \cdot 3 \cdot (3/2) \gg 93,33 \text{ ñ}^3;$$

$$\mathbf{S}_Y = 0 = -V_C^f + \mathbf{w}_1 + \mathbf{w}_2 - \mathbf{w}_3, \text{ èëë } V_{\bar{N}}^f = 20 \cdot 3 + (1/2) \cdot 30 \cdot 2 - (1/3) \cdot 40 \cdot 2 \gg 63,3 \text{ ñ}^3.$$

6. Tí ðåäääëýåì áàëë÷èí ó tì tì åðå÷í tì é ñèëü ã ñå÷åí èë òèéòèâí tì é áàëëè, tì ðí ðí äyùåì ÷åðåç òî ÷éó Ñ, è èçäèáàþùèé tì tì åí ò M\_f^B.

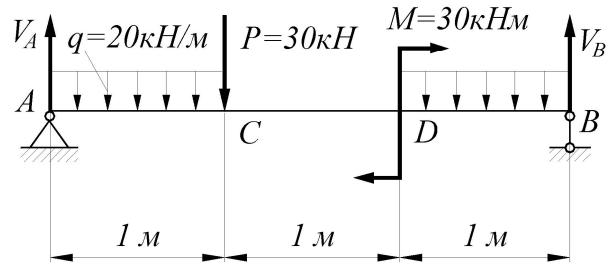
$$Q_f^C = V_C^f = 63,3 \text{ ñ}^2; M_f^B = M_C^f + 20 \cdot 10,5 - V_C^f \approx = 93,3 + 10 - 63,3 = 40,0 \text{ ñ}^3.$$

7. Tí ðåäääëýåì  $Q_N$  è ó Å, áñëë è áàëëà èçäí òî åëåíà èç äåóðåàåðà 1 30, ó tì ðí ðí åí tì ñåâí è tì tì åí ò èí åðöëë tì ðí ñèòðåëüí tì áéòðåëüí tì é tì ñè I = 7080 ñì<sup>4</sup>.

$$Q_N = Q_f^C / EI = 63,3 / (2 \times 10^8 \times 7080 \times 10^{-8}) = 0,0044 \text{ ðàä} = 0,25^\circ;$$

$$y_C = M_f^B / EI = 40 / (2 \times 10^8 \times 7080 \times 10^{-8}) = 0,0028 \text{ ì} = 2,8 \text{ ì.}$$

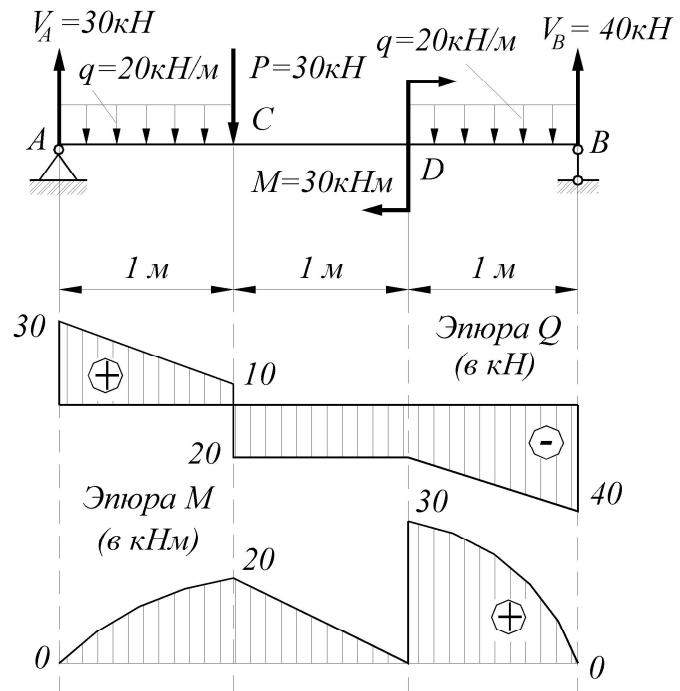
Тðèì åð 5. Äëý çàääàí íîé áàëëè (Дèñ. 34) íîñòðî èòü ýíþðû íîíåðå÷íûõ ñëë è èçäèáàþùèõ íîíåðå÷íûõ.



Дèñ. 34

Íîäîåðàòü êâàäðàòíîå íîíåðå÷íîå ñå÷åíèå èç äåðåâà, íîëüçóÿñü óñëë åèäàí íðî÷íñòè íî ñòðì àëüí ûì íàïðÿæåí èýì è (R = 9 l ì) è íîñòðî èòü èçíåíóðóþ íñü áàëëè ñ íîíîñüþ íàðîâà íà÷àëüí ûõ íàðàí áðòðîâ. Íîðåäåëèòü äëý ýòîâî óäëü íîäðîòà ñå÷åíèé, íðîöîäýùèõ ÷åðåç íîíðû, è íðîäèáû ñå÷åíèé, íðîöîäýùèõ ÷åðåç ðî÷ëë Ñ è D.

Д å ø å í è å. 1. Ñ÷èòàÿ íîíðíûå ðåàëëè íî ðåäåäåëåí ûì è, ñòðî èì "ýíþðû èçäèáàþùèõ íîíåðå÷íûõ" (Дèñ. 35).



Дèñ. 35

Í ðeì à÷àí èå:  $A$  í aňáô í íñéâäóþùèö çàäà÷àô nàì íñòî ýòåëüí í í ðåäääéèðâ í íñòðíúâ ðåäàéöè è í íñòðíèðâ yíþðû Q è l.

2. Tí ääéðâåì í í ðåäàí ñå÷åí èå áàëëè, í íëüçöýñü óñëî áëåì í ðî ÷ í ñòè í í ðòðí àëüí ûí í àï ðýæáí èýì :

$$\textcolor{red}{s} = \bar{l}_{\max} / W \quad \text{£} \quad R, \quad \bar{l}_{\max} / R = 30 \cdot 10^{-3} / 9 = 0,003333 \text{ ì}^3 = 3333 \text{ ñí}^3. \\ \text{Öàê éàê äëý êâàäðâðòí ãí ñå÷åí èý} \quad W = \bar{a}^3 / 6 \quad [\text{ñí} \cdot \text{Ô} \cdot \bar{l}] \text{ óeo (6.6)}, \quad \text{ò} \bar{l}$$

$$\bar{a} = \sqrt[3]{W} = \sqrt[3]{6 \times 3333} \approx 27 \text{ ñí}.$$

3. Tí ðåäääéýâí í ðåäâí ãùâí èý áàëëè.

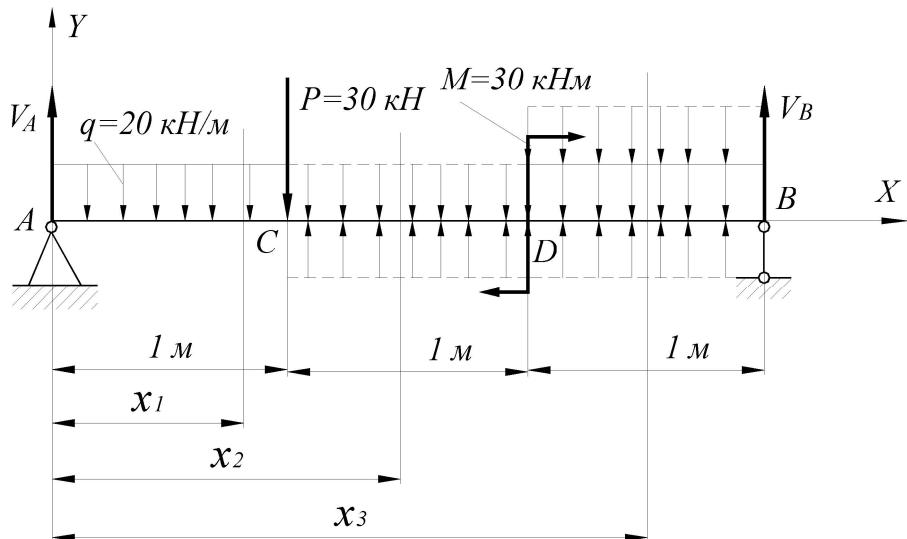
3.1. Tí ðåäääéýâí áâëëë=éí ò ïñâââí ãí í ñòðí ãí òà èí ðööè ñå÷åí èý áàëëè í ðòðí ñòðí ðåäääéýâí í áéëòðâëüí í é í ñò:

$$I_x = \bar{a}^4 / 12 = 27^4 / 12 = 44286,75 \text{ ñí}^4 = 44286,75 \cdot 10^{-8} \text{ ì}^4.$$

$$3.2. \quad \text{Tí ðåäääéýâí æåñòêî ñòü áàëëè (\text{Å}_{\text{ââð}} = 1 \cdot 10^4 \text{ ñí} \text{à}):}$$

$$EI = 44286,75 \times 10^{-8} \times 10^4 \times 10^3 \approx 4429 \text{ ëí} \text{ì}^2.$$

3.3. Tí ðeí èì àâì í à÷àëëí êí ðåäëëí òà äëý í í ðåäääéáí èý í ðåäâí áùâí èé è í ðî ââí ñòí í ðåäâí ñå÷åí èý í à éâæäâí ò õ÷àñòêå áàëëè (Đèñ. 36).



Đèñ. 36

3.4. Çàí ñòðââåâí í áâí áùâí í å á òðââáí áí èå èçí áí óòî é í ñò áàëëè äëý í ðåäâí âí ñå÷åí èý:

$$Ely_1 = Ely_0 + Elq_0x_1 + V_A(x_1^3/6) - q(x_1^4/24), \quad (a)$$

Öàê éàê à í í ðåäëá í ðî ââà ò Á = 0, í í ñòðââåâí çàí ñòðââåâí, ò ðî Ely\_1 (í ðe x\_1=0) = 0 = Ely\_0.

3.5. Çàí ñòðââåâí í áâí áùâí í å á òðââáí áí èå èçí áí óòî é í ñò äëý òðââåâäâí ñå÷åí èý:

$$Ely_3 = Elq_0x_3 + V_A(x_3^3/6) - q(x_3^4/24) - P(x_3 - 1)^3/6 + M(x_3 - 2)^2/2 + q (x_3 - 1)^4/24 - q (x_3 - 2)^4/24. \quad (b)$$

Öàê éàê í ðî ââà y\_B = 0, í í ñòðââåâí à í í ñòðââåâí í å á òðââáí áí èå x\_3 = 3 ì.

$Ely_B = 0 = EIq_0 \propto + 55$ ,  $\hat{I} \text{òñþäà } EIq_0 \propto = -55$ , a  $EIq_0 = -18,33 \text{ } \hat{E} \text{Í } \hat{\text{I}}^2$ ,  $\hat{O} \hat{I} \text{äääà}$   
 $q_0 = q_A = -18,33 / EI = -18,33 / 4429 = 0,0041 \text{ } \hat{D} \hat{a} \hat{a} = 0,2373^\circ$ .

3.6.  $\hat{T} \hat{I} \hat{D} \hat{a} \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{y} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{T} \hat{D} \hat{I} \hat{a} \hat{e} \hat{a} \hat{a}$   $\hat{O} \hat{n}$ .  $\hat{T} \hat{I} \hat{a} \hat{n} \hat{D} \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{y} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{a} \hat{e} \hat{y} \hat{y} \hat{o} \hat{I} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{a} \hat{o} \hat{D} \hat{a} \hat{a} \hat{I} \hat{a} \hat{I} \hat{e} \hat{a}$  (a)  $x_1 = 1 \hat{\text{I}}$ :

$$Ely_c = -18,33 \cdot 1 + 30(1/6) - 20(1/24) = -14,17 \text{ } \hat{E} \text{Í } \hat{\text{I}}^3;$$

$$\hat{O} \hat{n} = -14,47 / 4429 = -0,003198 \hat{\text{I}} = -0,32 \hat{\text{I}}.$$

3.7.  $\hat{T} \hat{I} \hat{D} \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{y} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{T} \hat{D} \hat{I} \hat{a} \hat{e} \hat{a} \hat{a}$   $\hat{O} \hat{D}$ .  $\hat{C} \hat{a} \hat{I} \hat{e} \hat{n} \hat{u} \hat{a} \hat{a} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{I} \hat{a} \hat{I} \hat{a} \hat{u} \hat{a} \hat{I} \hat{I} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{o} \hat{D} \hat{a} \hat{a} \hat{I} \hat{a} \hat{I} \hat{e} \hat{a}$   $\hat{e} \hat{c} \hat{I} \hat{a} \hat{I} \hat{o} \hat{O} \hat{I} \hat{e}$   
 $\hat{I} \hat{n} \hat{e} \hat{a} \hat{e} \hat{y} \hat{a} \hat{o} \hat{D} \hat{I} \hat{a} \hat{I} \hat{n} \hat{a} \hat{d} \hat{a} \hat{I} \hat{e} \hat{y} \hat{e}$   $\hat{I} \hat{I} \hat{a} \hat{n} \hat{D} \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{y} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{a} \hat{i} \hat{a} \hat{a} \hat{I} \hat{o} \hat{2} = 2 \hat{\text{I}}$ :

$$Ely_2 = EIq_0 x_2 + V_A(x_2^3/6) - q(x_2^4/24) + q(x_2 - 1)^4/24 - P(x_2 - 1)^3/6;$$

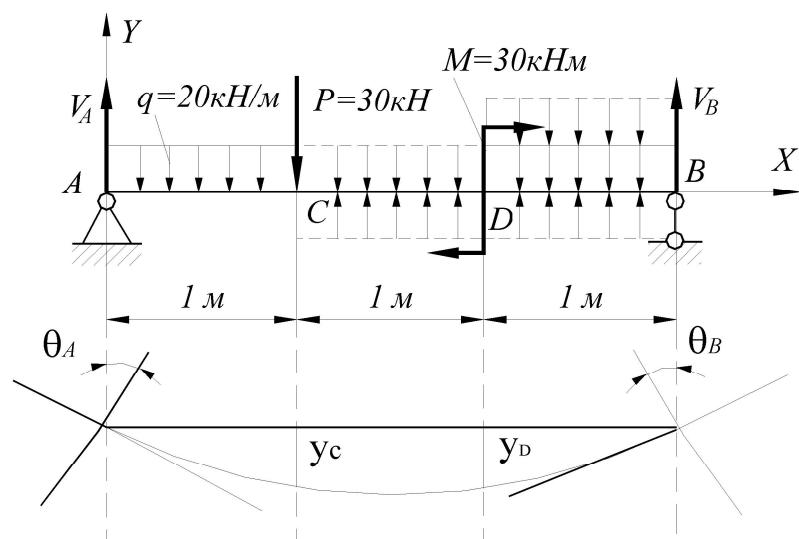
$$Ely_D (\hat{T} \hat{D} \hat{e} \hat{x}_2=2 \hat{\text{I}}) = -14,17 \text{ } \hat{E} \text{Í } \hat{\text{I}}^3; \hat{O} \hat{D} = -14,17 / 4429 = -0,003198 \hat{\text{I}} = 0,32 \hat{\text{I}}.$$

3.8.  $\hat{T} \hat{I} \hat{D} \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{y} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{o} \hat{a} \hat{I} \hat{e}$   $\hat{I} \hat{I} \hat{a} \hat{I} \hat{D} \hat{I} \hat{o} \hat{a} \hat{q}_A$ .  $\hat{C} \hat{a} \hat{I} \hat{e} \hat{n} \hat{u} \hat{a} \hat{a} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{a} \hat{e} \hat{y} \hat{y} \hat{o} \hat{I} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{I} \hat{a} \hat{I} \hat{a} \hat{u} \hat{a} \hat{I} \hat{I} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{o} \hat{D} \hat{a} \hat{a} \hat{I} \hat{a} \hat{I} \hat{e} \hat{a}$   $\hat{e} \hat{c} \hat{I} \hat{a} \hat{I} \hat{o} \hat{O} \hat{I} \hat{e}$   $\hat{I} \hat{n} \hat{e} \hat{a} \hat{e} \hat{y} \hat{a} \hat{o} \hat{D} \hat{a} \hat{a} \hat{a} \hat{I}$   $\hat{a} \hat{i} \hat{a} \hat{a} \hat{I} \hat{o} \hat{3} = 3 \hat{\text{I}}$ :

$$EIq_3 = EIq_0 + V_A(x_3^2/6) - q(x_3^3/6) + q(x_3 - 1)^3/6 - P(x_3 - 1)^2/2 + M(x_3 - 2) - q(x_3 - 2)^3/6;$$

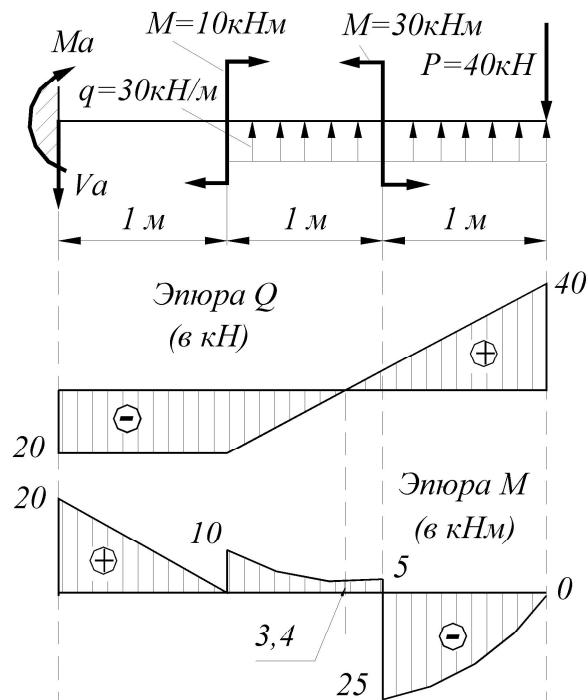
$$\hat{A} \hat{q}_A (\hat{T} \hat{D} \hat{e} \hat{o}_3 = 3 \hat{\text{I}}) = 20 \text{ } \hat{E} \text{Í } \hat{\text{I}}^2; \hat{q}_A = 20 / 4429 = 0,0045 \text{ } \hat{D} \hat{a} \hat{a} = 0,258^\circ.$$

3.9.  $\hat{T} \hat{I} \hat{I} \hat{e} \hat{o} \hat{d} \hat{a} \hat{I} \hat{u} \hat{I}$   $\hat{a} \hat{a} \hat{I} \hat{u} \hat{I}$   $\hat{n} \hat{o} \hat{D} \hat{I} \hat{e} \hat{I}$   $\hat{e} \hat{c} \hat{I} \hat{a} \hat{I} \hat{o} \hat{o} \hat{p}$   $\hat{T} \hat{n} \hat{u} \hat{a} \hat{a} \hat{e} \hat{e}$  (Đèñ. 37).



Đèñ. 37

Тðèì åð 6. Äëý çàäàí íîé áàëëè (Дèñ. 38) íîñòðî èòü ýíþðû íîííåðå÷íûõ ñèë è èçäèáàþùèõ íîíåí ðòâà, íîäâåðàòü èðóäëåâ íîíåðå÷íå ñå÷åí èå èç ååðåâà, íîëüçóÿñü óñëîâèåì íðî÷íîñòè íîíåðå÷íûõ íàïðÿæåíèÿ (R = 9 íîà) è íîñòðî èòü èçîâíóðóþ íñü áàëëè ñ íîíåðå÷íûõ íàðåâà äàíàðåâà. Íîíåðåâà äòðîâà q<sub>A</sub> è q<sub>D</sub>, à òàêæå íðîâèåú ó<sub>B</sub>, ó<sub>C</sub> è ó<sub>I</sub>.



Дèñ. 38

Д å ø å í è å. 1. Ñòðîèì ýíþðû íîííåðå÷íûõ ñèë è èçäèáàþùèõ íîíåí ðòâà (Дèñ. 38).

2. Íîääèðåâàì íîííåðå÷íå ñå÷åí èå áàëëè, íîëüçóÿñü óñëîâèåì íðî÷íîñòè íîíåðå÷íûõ íàïðÿæåíèÿ [ñì. ôîðì óëó (6.5)]:

$$s = M_{\max}/W \leq R, \quad \text{íòñþäà } W = M_{\max}/R = 25 \times 10^{-3} / 9 = 0,0028 \text{ m}^{-3} = 2800 \text{ mm}^3.$$

Öàê êàê äëý èðóäëåâà ñå÷åí èý W = 0,1d<sup>3</sup>, ðî

$$d = \sqrt[3]{W/0,1} = \sqrt[3]{28000} = 30,4 \text{ mm} \rightarrow 30 \text{ mm}.$$

3. Íîíåðåâàëÿåì íåðåâà íàùåí èý áàëëè.

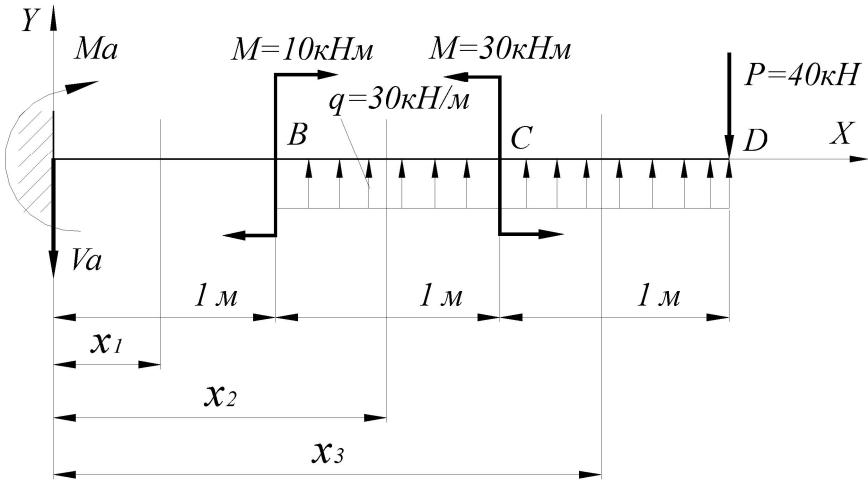
3.1. Íîíåðåâàëÿåì áâëëè÷èíó íñåâåâàì íîíåí ðà èíåðöèè áàëëè íòííñèðåâëüí íåéòðåâëüí íé íñè:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 3,14 \times 30^4 / 64 = 39740,63 \text{ mm}^4 \rightarrow 39741 \times 10^{-8} \text{ m}^4.$$

3.2. Íîíåðåâàëÿåì æåñòéâ ñòü áàëëè [Å<sub>ååð</sub> = 10<sup>4</sup> íîà]:

$$EI = 10^4 \times 10^3 \times 39741 \times 10^{-8} \rightarrow 3974 \text{ EÍ m}^2.$$

3.3. Îðèíèì àåì íà÷àëî êî îðæèí àò â çàääåéêå áàëëè, òàê êàê íà÷àëüí úå íàðàì åòðû  $q_A = q_0 = 0$  è  $\dot{q}_A = \dot{q}_0 = 0$ , ñëåäî áàòåëüíî, î ðåäåéýòü èõ íå íàäî.  
 Îðî áâëè íà èàæäîì ó÷àñòêå áàëëè î ðåäåíîå ñå÷åí èå (Ðèñ. 39).



Ðèñ. 39

3.4. Çàï ëñûååâåì îáî áùåíí úå óðàäåíåí èý êçî áí óòîé îñè áàëëè äëý îðåäåí åí ñå÷åí èý è î ãñòååëýåì á ïèõ  $x_1 = 1$  :

$$Ely_1 = M_A(x_1^2/2) - V_A(x_1^3/6); \quad Elq_1 = I_Ax_1 - V_A(x_1^2/2);$$

$$Ei\dot{q}_A (\text{i ðè } \ddot{q} = 1) = 6,67 \text{ èÍ} \ddot{q}^3, \quad \dot{q} = 6,67/3974 = 0,0017 \text{ èÍ} = 0,17 \text{ ñì};$$

$$\dot{A}lq_A (\text{i ðè } x_1 = 1) = 10 \text{ èÍ} \ddot{q}^2, \quad \dot{q} = 10/3974 = 0,0025 \text{ ðàä} = 0,14^0.$$

3.5. Çàï ëñûååâåì îáî áùåííå áàëåíåí èý êçî áí óòîé îñè áàëëè äëý åòî ðî åí ñå÷åí èý è î ãñòååëýåì á ïåäî  $x_2 = 2$  :

$$Ely_2 = M_Ax_2^2/2 - V_Ax_2^3/6 + I_1(x_2 - 1)^2/2 + q(x_2 - 1)^4/24;$$

$$Ely_{\dot{q}} (\text{i ðè } x_2 = 2) = 19,58 \text{ èÍ} \ddot{q}^3, \quad \dot{q} = 19,58/3974 = 0,0049 \text{ èÍ} = 0,49 \text{ ñì}.$$

3.6. Çàï ëñûååâåì îáî áùåíí úå óðàäåíåí èý êçî áí óòîé îñè áàëëè äëý óðåòüååí ñå÷åí èý è î ãñòååëýåì á ïèõ  $\ddot{q}_3 = 3$  :

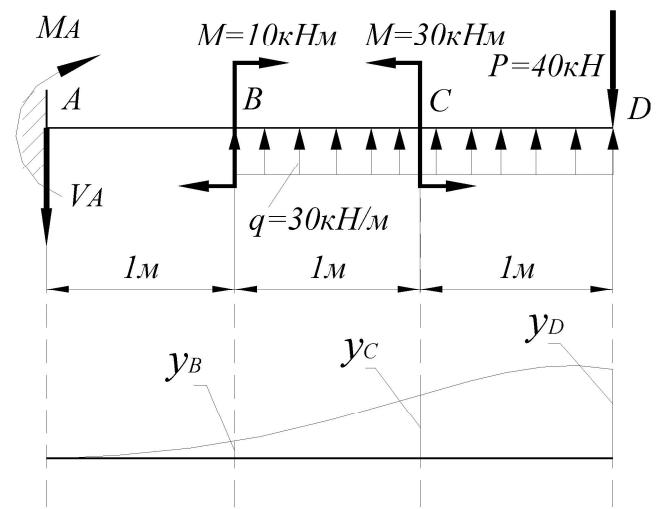
$$Ely_3 = M_Ax_3^2/2 - V_Ax_3^3/6 + I_1(x_3 - 1)^2/2 + q(x_3 - 1)^4/24 - M_2(x_3 - 2)^2/2;$$

$$Elq_3 = I_Ax_3 - V_Ax_3^2/2 + I_1(x_3 - 1) + q(x_3 - 1)^3/6 - M_2(x_3 - 2);$$

$$Ely_D (\text{npu } \ddot{q}_3 = 3) = 25 \text{ èÍ} \ddot{q}^3, \quad \dot{q} = 25/3974 = 0,0063 \text{ èÍ} = 0,63 \text{ ñì};$$

$$Elq_D (\text{i ðè } x_3 = 3) = 0 \text{ èÍ} \ddot{q}^2, \quad \dot{q} = 0 \text{ ðàä} = 0^\circ.$$

3.7. Î î ïèõ÷åíí ûì áàíí ûì ñòðîì èí êçî áí óòóþ îñü áàëëè (Ðèñ. 40).



Đèñ. 40

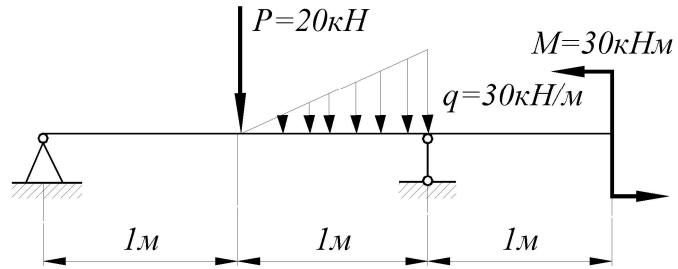
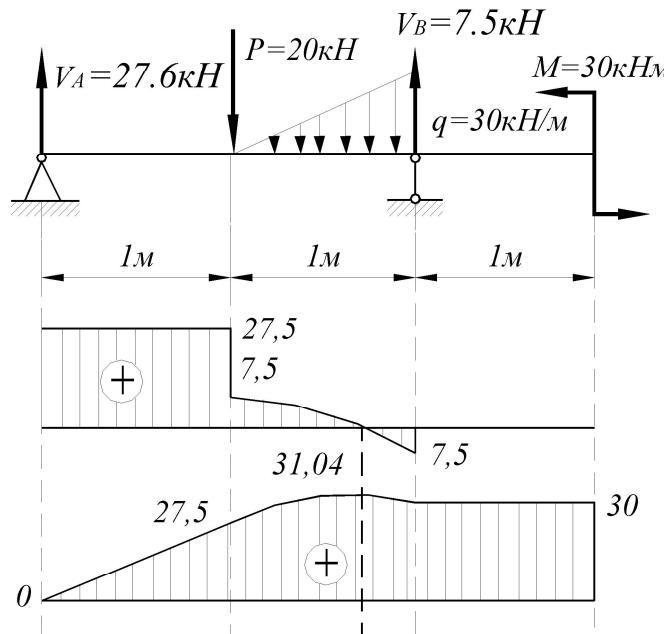


Рис. 41

**ТӘДЕІ АДАМ 7.** Аёй қаңағының ағаеелі (Дән. 41) тұннодің есінүү үшін білдірілген тұнноданың нөмеге есептей абындау 111 ақында, тұнноданың ағаоға ағадың ағындың тұнноданың нөмеге дәннен ағадың нөмегіндең ортасынан R = 160 м бола. Тұннодің есінүү есін ағындың тұнноданың нөмеге, тұнноданың нөмеге және тұнноданың нөмеге таңдаған ағадың ағындың тұнноданың нөмеге. Аёй үшін ағындың тұнноданың нөмеге оғандау: оғандау тұнноданың оғандау  $q_A$  және  $q_B$ ; тұнноданың оғандау оғандау  $q_C$  болады.

Да оғандау 1. Нөмегіндең үшін білдірілген тұнноданың тұнноданың нөмеге есептей абындау 111 ақында (Дән. 42).



Дән. 42

2. Тұнноданың ағаоға ағадың ағындың тұнноданың нөмеге ағаеелі, тұнноданың нөмеге оғандау 111 нөмегіндең тұнноданың нөмеге таңдаған ағадың ағындың тұнноданың нөмеге:

$$s = M_{\max} / W < R, \text{ where } W = M_{\max} / R = 31.04 \times 10^{-3} / 160 = 1940 \times 10^7 \text{ m}^3 = 194 \text{ m}^3.$$

Ес АІ НО 8239-89 ағаоға ағадың ағаоға ағадың 1 20аңы W\_0 = 203 m^3.

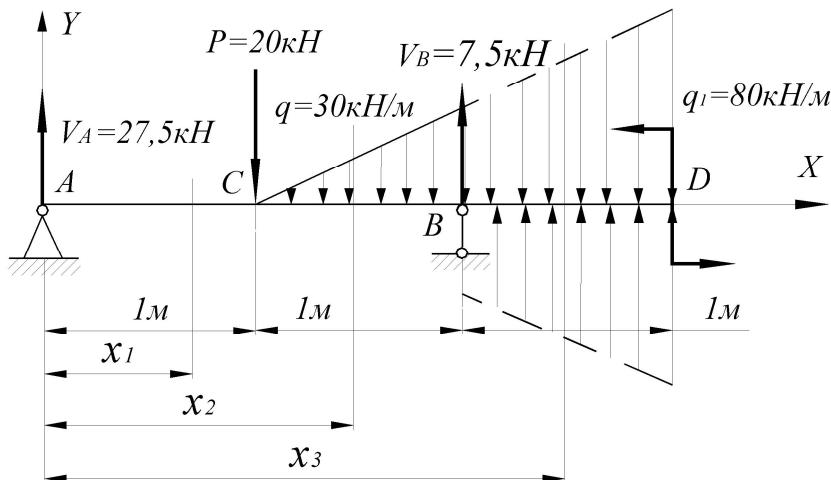
3. Тұнноданың тұнноданың нөмеге ағаеелі.

3.1. Eç Aİ NÖ 8239–89 û uñi ñòñâàâåì äëÿ äâóòàâðà 1 20à l<sub>0</sub> = 2030 ñì<sup>4</sup>.

3.2. Ý ðâäääëÿì äâñòêî ñòü áàëëè (E<sub>ñòäëë</sub> = 2x10<sup>8</sup> êÍ à):

$$EI = 2x10^8 \cdot 2030 \cdot 10^{-8} = 4060 \text{ êÍ}^2.$$

3.3. Ý ðæí èí àâì íà÷àëí êí ðæí àò íà èââîì êí ïöå áàëëè (Dèñ. 43).



Ý ðâäääëÿì êí ðæí ûå Þñè ÷âðâç òî ÷êó A è ííí ãðâðâí ûå ñâ÷âí èý íà êâæâî ðâñòêå áàëëè. Õðâóâî ëüí óþ ðâñi ðâäääëáí Íóþ íàâðóçêó ý ðâäääëÿì êí ðæí àò, è óðââî Íââðøââåì åå òâëîé æå íàâðóçêí é, ý ðâñi ñí èçó âââðð íà ðâðâðüâì ó÷àñòêå.

3.4. Ý ðâäääëÿì áâëë÷ëíó íà÷àëüí ûô ý ðâðâí ãððîâ. Äëÿ ýòî âî çâí ñòñâàâåì íââðâî ðâðâðüâì óðââî ãððîâ ãððâðüâì. Ý ðâäääëÿì ãððâðüâì è âðî ðîâ ñâ÷âí èé.

$$Ely_1 = Ely_0 + EIq_0x_1 + V_Ax_1^3/6;$$

$$Ely_2 = Ely_0 + EIq_0x_2 + V_Ax_2^3/6 - P(x_2 - 1)^3/6 - q(x_2 - 1)^5/120.$$

Ý ðâäääëÿì, ÷òî ý ðâäääëÿì ãððâðüâì è ðâðâðüâì ñâ÷âí ðâðâðüâì. Ý ðâäääëÿì ãððâðüâì è ðâðâðüâì ñâ÷âí ðâðâðüâì. Ý ðâäääëÿì ãððâðüâì è ðâðâðüâì ñâ÷âí ðâðâðüâì.

$$Ely_A (\text{i ðè } x_1 = 0) = 0 = Ely_0; Ely_A (\text{i ðè } x_2 = 2 \text{ m}) = EIq_0x_2 + 33,08 \text{ èëè}$$

$$EIq_0 = -16,54 \text{ êÍ}^2, \text{ òî ãððâðüâì } q_0 = q_A = -1654/4060 = -0,0041 \text{ ðàä} = 0,235^\circ.$$

3.5. Ý ðâäääëÿì óâî ë íââî ðî òà q\_A. Ñî ñòñâàâëÿì äëÿ ýòî âî óðââî ãððâðüâì è åâëëàâî ðâðâðüâì ñâ÷âí èý è ííí ñòñâàâëÿì ãððâðüâì. Ý ðâäääëÿì ãððâðüâì è ðâðâðüâì ñâ÷âí ðâðâðüâì.

$$EIq_2 = EIq_0 + V_Ax_2^2/2 - D(x_2 - 1)^2/2 - q(x_2 - 1)^4/120;$$

$$EIq_B (\text{i ðè } x_2 = 2 \text{ m}) = 27,21 \text{ êÍ}^2, \text{ òî ãððâðüâì } q_A = 27,21/4060 = 0,0067 \text{ ðàä} = 0,384^\circ.$$

3.6. Ý ðâäääëÿì íâ ðî ãððâðüâì. Ý ðâäääëÿì ñ ýòîé õâëüþ x\_1 = 1 m ãððâðüâì è åâëëàâî ðâðâðüâì è íââî ðâðâðüâì.

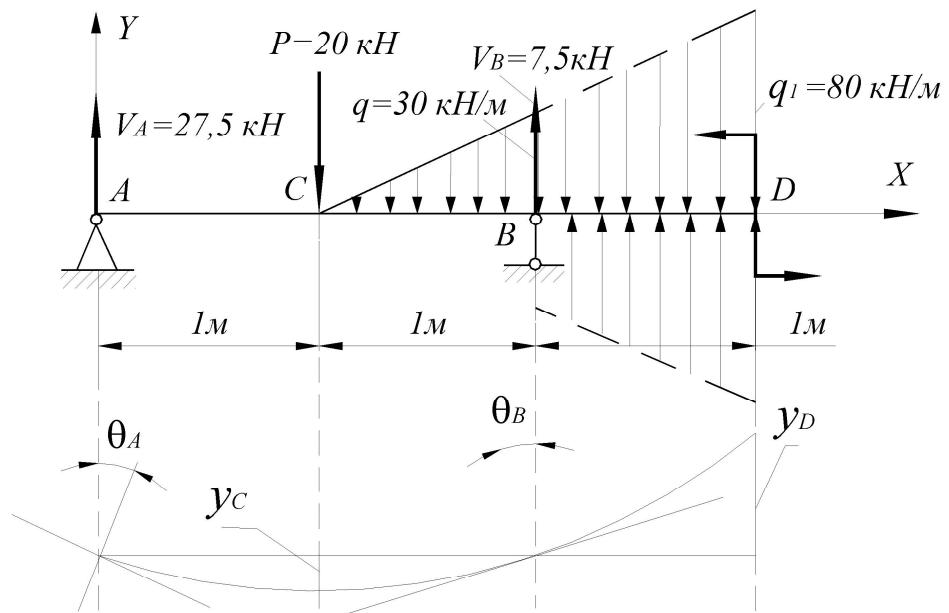
$$Ely_C (\text{i ðè } x_1 = 1 \text{ m}) = -11,96 \text{ êÍ}^3, \text{ òî ãððâðüâì } q_C = -11,96/4060 = -0,0029 \text{ m} = -0,29 \text{ ñì}$$

3.7. Ý ðâäääëÿì íâ ðî ãððâðüâì. Ñî ñòñâàâëÿì óðââî ãððâðüâì è åâëëàâî ðâðâðüâì ñâ÷âí èý è ííí ñòñâàâëÿì ãððâðüâì. Ý ðâäääëÿì ãððâðüâì è ðâðâðüâì ñâ÷âí ðâðâðüâì.

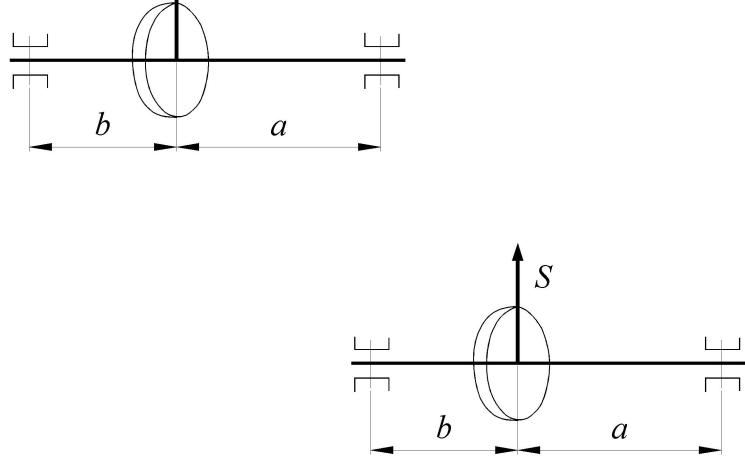
$$Ely_3 = EIq_0x_3 + V_Ax_3^3/6 - P(x_3 - 1)^3/6 - q(x_3 - 1)^5/120 + V_B(x_3 - 2)^4/24 + q(x_3 - 2)^4/24 + q(x_3 - 2)^5/120; \text{ Ål} q_0 (\text{i ðè } x_3 = 3 \text{ m}) = 42,21 \text{ êÍ}^3, \text{ òî ãððâðüâì } y_D = 42,21/4060 = 0,0104 \text{ m} = 1,04 \text{ cm.}$$

3.8. Ін іншо-аімі уі ааімі уі нөйті еі еçті аімі оооп 1нү ааеєе (Ден..44).

Ідеі а-аіе: аі аңао çәаа-а-ао, ڈәоаімі уі оооп 1нү ааеєе (Ден..44).  
Іа-аімі а-аіе: аі аңао çәаа-а-ао, ڈәоаімі уі оооп 1нү ааеєе (Ден..44).



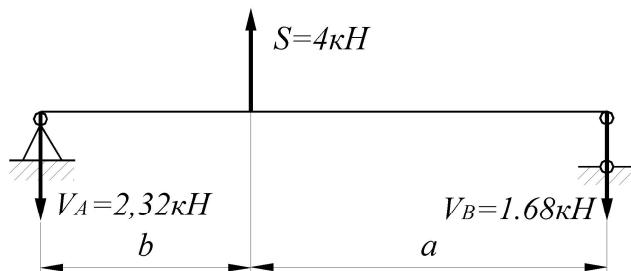
Ден..44



Đèñ. 45

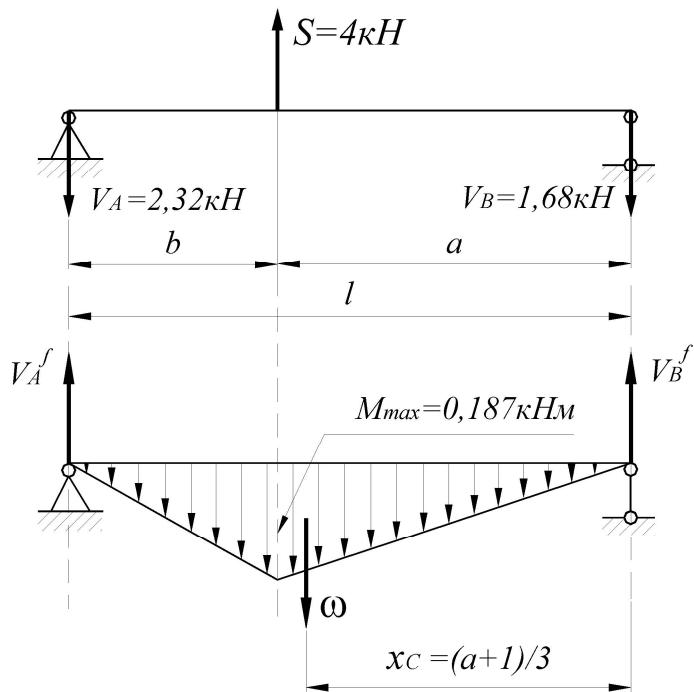
**T ðèi áð 8.** T ðî áåðèòü æáñòéî ñòü áàëà ðåäóêòî ðà), áñëè t ðî áèá â t ëî ñêî ñòè, t ðî ñî äyùåé ÷åðåç t ñè áàëî á à i áñòå óñòàí áêè øåñòåðí è íå áî ëæåí t ðåâûøàòü [y] = 0,1 tì. Äèàì áðò áàëà d = 32 tì, ðàññòî ýí èå t ò t ðåâî áî t t äøèi íèéà áî øåñòåðí è à = 110 tì, à t ò éåâî áî t t äøèi íèéà áî øåñòåðí è—b = 80 tì. Đääèæüí á ààâéåí èå S = 4 êí (Đèñ. 45).

Đ å ø å í è å. 1. T ðèí èì àåì ðàñ÷åðí óþ nôåì ó áàëà (Đèñ.46), êî ðî ðàÿ áóäåò t ðåäñòàâëýòü nî áî é áâóöî t ðí óþ áàëéó n t ðèéíæåí íîé ê íåé nî ñðåäî òî ÷åí íîé ñèéîé S.



Đèñ.46

2. T t ðåäåëýåí áåëè÷èí ó t i t ðí ûö ðåàéöèé, ñòðî èì ýí þðó èçäèáàþùèö t i t áí ðî á è íàäðóæàåí áé ôèéòèåí óþ áàëéó (Đèñ. 47).

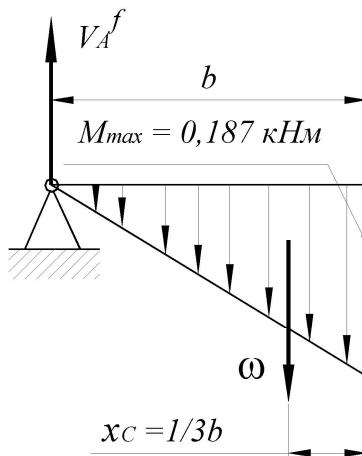


Đèñ. 47

3. Î i ðåäääëÿåì âåëè÷èí ó ðåäàéöèè:

$$SM_B = -V_A^f(b + a) + w x_C = 0, \text{ n}éääî\text{ à}òåäëüí \text{, } V_A^f = w(a + 1)/3(b + a) = 0,5M_{max}(b + a)(a + 1) / 3(b + a) = 0,5 \cdot 0,187(0,11 + 0,19) / 3 = 0,009 \text{ ì} = 9 \text{ ì}.$$

4. Î i ðåäääëÿåì âåëè÷èí ó ôèêôèáí ãî èçäèáàþùååí î î í áí òà â ì åñòå ðàñí î ëî æåí èý øåñòåðí è (Đèñ. 48).



Đèñ. 48

$$I_f = V_A^f b - w x_C = 9 \cdot 0,08 - (M_{max} / 2)(b^2 / 3) = 0,72 - (1/2) \cdot 0,187 \cdot 0,08 \cdot (1/3) \cdot 0,08 = 0,52 \text{ ì}^3.$$

5. Î i ðåäääëÿåì âåëè÷èí ó i ðî áèáà â ì åñòå óñòàí ãéè øåñòåðí è i ñ ôî ðî óëå (7.9):  $y = I_f / EI$ ,

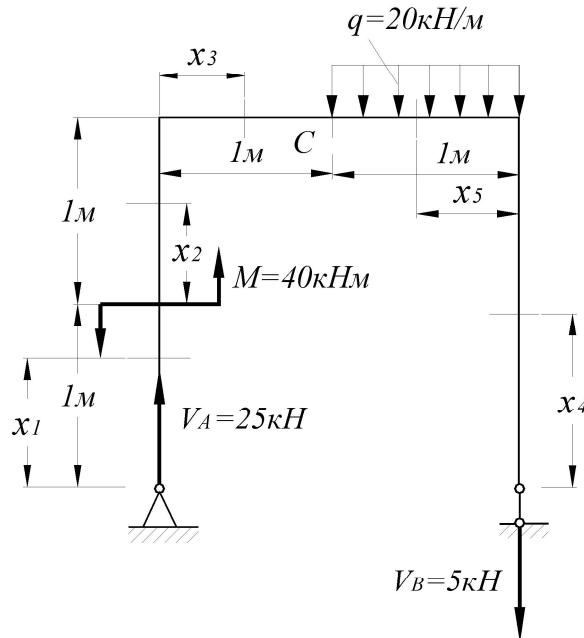
ãääå E- 11 äööü Pí ãà ñòäëè,  $2 \times 10^{11}$  l à;

I- 1ñââîé 111 áí ò èí åðöèè 111 åðå÷11âi ñâ÷âí èý âäëà,  $104857 \times 10^{-12}$  l<sup>4</sup>.

Øâäà y<sub>max</sub> =  $0,52 / (2 \times 10^{11} \times 104857 \times 10^{-12}) = 0,000024$  l = 0,024 l l.

Øæe êæe y<sub>max</sub> = 0,024 l l < [ó] = 0,1 l l, æåñòêîñòü ääëà 1áâñi'å÷âí à.

**Tõdèì åð 9.** Äey çäääí 11é ðàì û (Dèñ. 50)ñ 111 1ùüþ i åòî äà l àêñâåëëà-11ðà 111 ðåäåëëòü óäi è 11âi ðîòà q<sub>A</sub> è 111 ãëá óñ. Aëñòêîñòü êi eëí í è ðèääåëåé ðàì û 111 ýòü ðââí ûì è El.



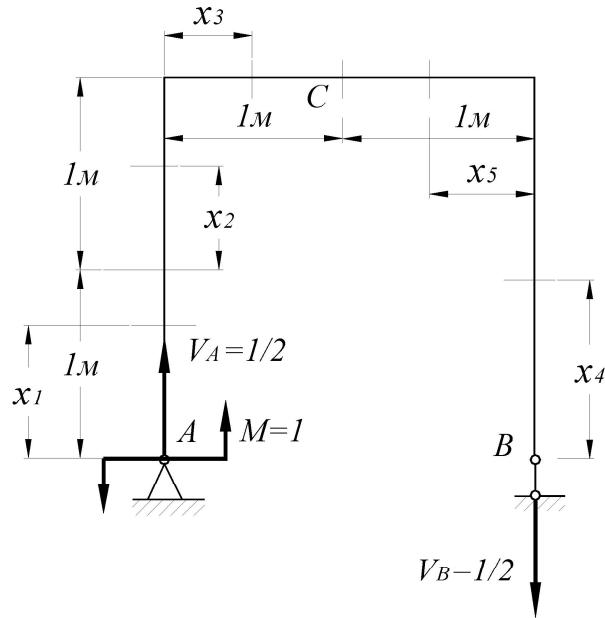
Dñ. 50

Ð å ø å í è å. 1. 111 ðåäåëëýäi âäëë÷eíó 111 ðí ûô ðåàêöèé, ðäçáèâââi ðàì ó íà ñèëîâûå ó÷àñòêè, 111 âi äèì íà êäæäîl ó÷àñòêå 111 åðå÷11ûå ñâ÷âí èý (Dñ. 7.51) è äey êäæäîäi èç 1eõ çäi 1ñûâââi óðåâí âí èý èçäèáàþùèo 111 áí òî â.

$$M_1 = 0; 0 \text{ £ } x_1 \text{ £ } 1 \text{ l}; M_2 = -l = -40; 0 \text{ £ } \tilde{o}_2 \text{ £ } 1 \text{ l};$$

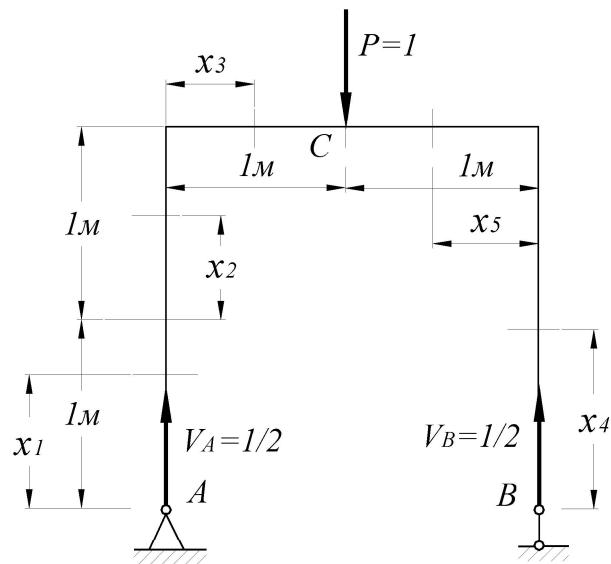
$$l_3 = -l + V_A x_3 = -40 + 25 \tilde{o}_3; 0 \text{ £ } \tilde{o}_3 \text{ £ } 1 \text{ l}; l_4 = 0; 0 \text{ £ } x_4 \text{ £ } 1 \text{ l};$$

$$l_5 = -V_B x_5 - q x_5^2 / 2 = -50 - 10 \tilde{o}_5^2; 0 \text{ £ } \tilde{o}_5 \text{ £ } 1 \text{ l}.$$



Đèñ. 51

2. Î ï ðåäääëÿì óäî è ï ï áî ðî òà  $q_A$ . Î ðèéëääûâååì à òî ÷éå Á ì ï ì áí ò  $\bar{l} = 1$  (Đèñ. 52) è î ï ðåäääëÿì áåëëè÷èí ó ï ï á ðí ûô ðåäæöèé. Á òî é æå ï ï ñéäååí áåðåéüí ï ñòè, ÷òî í à áåéñðåèòåéüí ï é ðàì à, î ðî áî äèì ï ï á ðå÷í ûå ñå÷åí èÿ è çàï ëñûâååì óðåâí áí èÿ èçääèáàþùèò ï ï áí òî à.



Đèñ. 52

$$M^o_1 = -1; \bar{l}^o_2 = -1; \bar{l}^o_3 = -1 + x_3 / 2; \bar{l}^o_4 = 0; \bar{l}^o_6 = -x_5 / 2.$$

Èì áåì ñéääóþùèå óðåâí áí èÿ:

$$M_1 = 0; 0 \text{ £ } 0 \text{ £ } 1 \text{ }; M^o_1 = -1; M_2 = -40; 0 \text{ £ } 0 \text{ £ } 1 \text{ }; \bar{l}^o_2 = -1;$$

$$\bar{l}_3 = -40 + 25x; \quad 0 \leq x \leq 1; \quad \bar{l}^{\circ}_3 = -1 + x/2; \quad \bar{l}_4 = 0; \quad 0 \leq x \leq 1; \quad \bar{l}^{\circ}_4 = 0;$$

$$\bar{l}_5 = -5x - 10x^2; \quad 0 \leq x \leq 1; \quad \bar{l}^{\circ}_5 = -x/2.$$

Âèäíî, ÷òî íðè íñðåäåéåí èè óäëà íñâî ðî òà  $\mathbf{q}_A$  íñâî ñóì î èðóþòñý ðòðè èí ðåäðàéà  $\bar{l}_1$  ðà, òàé êàé íà íñâî ðòðè íñðåäåéåí è ÷åðâåðòðòí î ó÷àñòéàô ðî íñâî èçâåäåí èý  $\bar{l}_1^{\circ} = 0$ .

$$\mathbf{q}_A = (1/EI) [\int_0^1 M_2 M_2^0 dx + \int_0^1 M_3 M_3^0 dx + \int_0^1 M_5 M_5^0 dx] =$$

$$= (1/EI) [\int_0^1 (-40)(-1)dx + \int_0^1 (-40+25x)(-1+x/2)dx + \int_0^1 (-5x-10x^2)(-x/2)dx] =$$

$$= (1/EI)(40x + 40x - 25x^2/2 - 20x^2/2 + 12,5x^3/3 + 2,5x^3/3 + 5x^4/4) =$$

$$= 63,75/EI.$$

$$\mathbf{q}_A = 63,75/EI.$$

3. Î íñðåäåéÿà íñâî ãèá ó. Î ðèéëàäûâàâí â òî ÷êå Ñ ñèëó Ð = 1 (Ðèñ. 7.52) è íñðåäåéÿà íñðåäåéÿà ñòðàéòåéüí î è ðàì â, íñâî ãèá ñòðàéòåéüí î ñòðàéòåéüí î èý è çàï èñûâàâí ðòðàéí áí èý èçâèáàþùèô î íñâî áí èý.

$$M_1^{\circ} = 0; \quad \bar{l}_2^{\circ} = 0; \quad \bar{l}_3^{\circ} = x_3/2; \quad \bar{l}_4^{\circ} = 0; \quad M_5^{\circ} = x_5/2.$$

Èí áâà ñëåäóþùèô áðàáí áí èý:

$$M_1 = 0; \quad 0 \leq x \leq 1; \quad M_1^{\circ} = 0; \quad \bar{l}_2 = -40; \quad 0 \leq x \leq 1; \quad \bar{l}_2^{\circ} = 0;$$

$$\bar{l}_3 = -40 + 25x; \quad 0 \leq x \leq 1; \quad \bar{l}_3^{\circ} = x/2; \quad \bar{l}_4 = 0; \quad 0 \leq x \leq 1; \quad \bar{l}_4^{\circ} = 0;$$

$$M_5 = -5x - 10x^2; \quad 0 \leq x \leq 1; \quad \bar{l}_5^{\circ} = -x/2.$$

Âèäíî, ÷òî íðè íñðåäåéåí èè íñâî ãèá ó, íñâî ñóì î èðóþòñý äâà èí ðåäðàéà  $\bar{l}_1$  ðà, òàé êàé íà íñâî ðòðè íñðåäåéåí è ÷åðâåðòðòí î ó÷àñòéàô ðî íñâî èçâåäåí èý  $\bar{l}_1^{\circ} = 0$ .

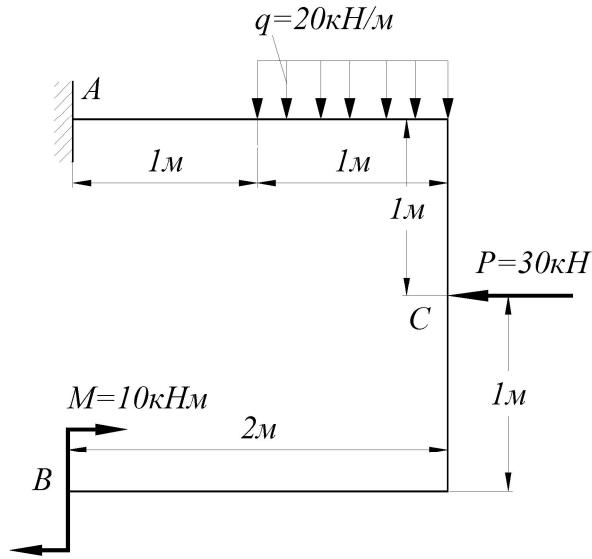
$$y_C = (1/EI) [\int_0^1 M_3 M_3^0 dx + \int_0^1 M_5 M_5^0 dx] =$$

$$= (1/EI) [\int_0^1 (-40 + 25x)(x/2)dx + \int_0^1 (-5x - 10x^2)(x/2)] =$$

$$= (1/EI)(-20x^2/2 + 12,5x^3/3 - 2,5x^3/3 - 5x^4/4) = -7,92/EI.$$

$$y_C = -7,92/EI.$$

Í ðèì àð 10. Äëý çàääíííé ðàì ú (Ðèñ. 53) ñ ííííùüþ ì áðî äà Í àêñååëëà-  
í ðàáäåëëòü óäíé íââðîòà  $q_B$  è áðèçí òæüííå íâðåì áùåí èå ðc.  
Æåñòéñòü êí ëííí è ðèääåëåé ðàì ú íðèí ýòü ðàâííé El.



Ðèñ. 53

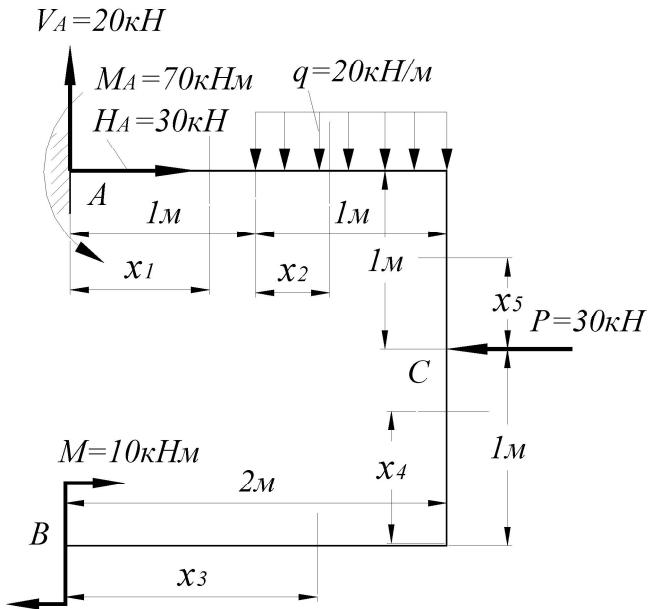
Ð å ø å í è å. 1. Í íðåäåëýåì áåëè÷eíó ííííûó ðåäåëöèé, ðàçáèåàåì  
ðàì ó íà ñèéíå ðåäåëöèé, íðî áî äèì íà éåæäíí ó÷àñòéå íííáðå÷íûå ñå÷åí èý  
(Ðèñ. 54) è äëý éåæäíåì èç íèõ çàíèñûååì óðåâíåí èå èçåèåàþùèô íííåí ðåâ.

$$M_1 = -l_A + V_A x_1 = -70 + 20x_1; \quad 0 \leq x_1 \leq 1; \\$$

$$M_2 = -l_A + V_A(x_2 + 1) - qx_2^2 / 2 = -50 + 20x_2 - 10x_2^2; \quad 0 \leq x_2 \leq 1; \\$$

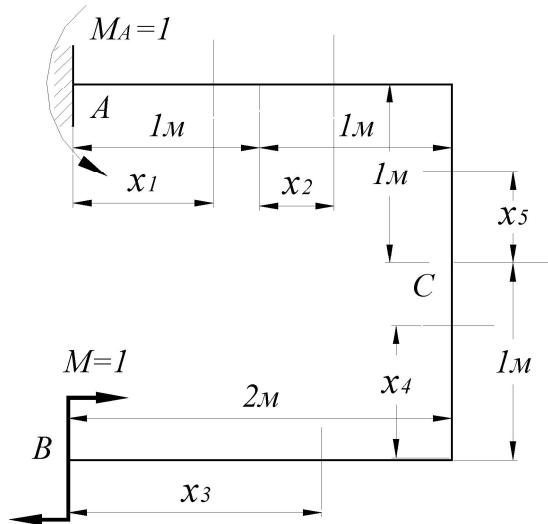
$$l_3 = -l = -10; \quad 0 \leq x_3 \leq 1; \\ l_4 = -l = -10; \quad 0 \leq x_4 \leq 1; \\$$

$$M_5 = -l - D_5 = -10 - 30x_5; \quad 0 \leq x_5 \leq 1. \\$$



Đèñ.54

3. Î Ì ðåäääëÿì óäî è î ìâî ðî òà  $q_A$ . Î ðèéëääûâàâì à òî ÷éå Å ì ìì áí ò  $\bar{l} = 1$  (Đèñ. 55) è î Ì ðåäääëÿì àâëë÷éí û î ì ðí ûô ðåàëöèé. Å òîé æå î ñëäâàâàðåäëüí â è, ÷òî í à àâéñòâèðåäëüí íé ðàì å, î ðî áî äèì î ì ì áðå÷í ûâ ñå÷áí èý è çàï èñûâàâì óðàâí áí èý èçäëáàþùèò î ìì áí òî à.



Đèñ. 55

$$\bar{l}^0_1 = -1; \bar{l}^0_2 = -1; \bar{l}^0_3 = -1; M^0_4 = -1; M^0_5 = -1.$$

Èì ååì ñëääóþùèå óðàâí áí èý:

$$M_1 = -70 + 20\bar{o}; 0 \leq x \leq 1 \text{ i}; M^0_1 = -1; \bar{l}_2 = -50 + 20\bar{o} - 10\bar{o}^2; 0 \leq \bar{x} \leq 1 \text{ i}; \bar{l}^0_2 = -1;$$

$$\bar{l}_3 = -10; \quad 0 \leq \xi \leq 1; \quad \bar{l}^0_3 = -1; \quad \bar{l}_4 = -10; \quad 0 \leq x \leq 1; \quad \bar{l}^0_4 = -1;$$

$$M_5 = -10 - \zeta_0; \quad 0 \leq \xi \leq 1; \quad \bar{l}^0_5 = -1.$$

$$q_B = (1/EI) \left[ \int_0^1 M_1 M_1^0 dx + \int_0^1 M_2 M_2^0 dx + \int_0^1 M_3 M_3^0 dx + \int_0^1 M_4 M_4^0 dx + \int_0^1 M_5 M_5^0 dx \right] =$$

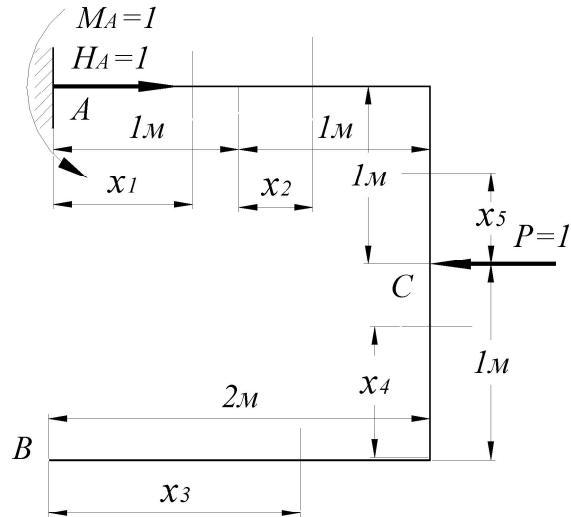
$$= (1/EI) \left[ \int_0^1 (-70 + 20x)(-1) dx + \int_0^1 (-50 + 20x - 10x^2)(-1) dx + \int_0^1 (-10)(-1) dx + \int_0^1 (-10)(-1) dx + \right.$$

$$\left. + \int_0^1 (-10 - 30x)(-1) dx \right] =$$

$$= (1/EI) (70x - 25x^2 / 2 + 50x - 20x^2 / 2 + 10x^3 / 3 + 10x + 10x + 10x + 30x^2 / 2) \hat{0}$$

$$= 163,33/EI, \quad q_A = 163,33/EI.$$

4. Îñðåäåëÿâì ãî ðèçü íòàëüíî àïåðâì ãùåíèå ñõ. Îñðåäåëÿâì ãëÿ ýòî ãî òî ÷êå Ñ ñèëó Ð = 1 (Ðèñ. 56) è îñðåäåëÿâì ãåëë÷èíû îñðíûõ ðåàëöèé. Å òîé æå iññëåäî ààðåëüíîñòè, ÷òî íà ãåéñðåèòåëüíîé ðàì å, iñðî áî äèì îñðåäåëÿâì ñå÷åíèÿ è çàïèñûâàì óðàâíåíèÿ èçæäàþùèõ îñìåíòîå.



Ðèñ. 56

$$l^0_1 = 1; l^0_2 = 1; l^0_3 = 0; l^0_4 = 0; l^0_5 = -x_5;$$

Èì áåì ñëääöþùèå óðàáí áí èý:

$$M_1 = -70 + 20x; \quad M_2 = -1; \quad l_2 = -50 + 20x - 10x^2; \quad M_5 = -1;$$

$$l_3 = -10; \quad M_3 = 0; \quad l_4 = -10; \quad M_4 = 0;$$

$$M_5 = -10 - 30x; \quad M_5 = -x.$$

Âèäí, ÷òî íðè íðåäääéåí èè íåðåí áùåí èý õc íðí ñóí i èðóþòñý òî éüéí ðòè èí ðåäðàæå ì íðà, òàé èåé íà ðåðòüåí è ÷åðåðòí òðàí òðåñòéåò íðí èçåäääí èý  $\lambda^0 = 0$ .

$$x_C = (1/EI) \left( \int_0^1 M_1 M_1^0 dx + \int_0^1 M_2 M_2^0 dx + \int_0^1 M_5 M_5^0 dx \right) =$$

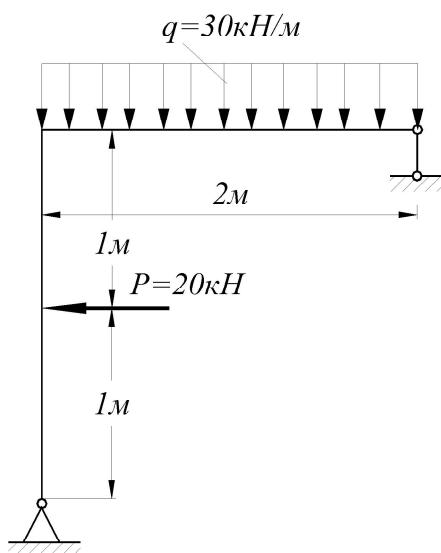
$$= (1/EI) \left[ \int_0^1 (-70 + 20x)(-1) dx + \int_0^1 (-50 + 20x - 10x^2)(-1) dx + \int_0^1 (-10 - 30x)(-x) dx \right] =$$

$$= (1/EI) (70x - 20x^2/2 + 50x - 20x^2/2 + 10x^3/3 + 30x^3/3) = 118,33/EI.$$

0

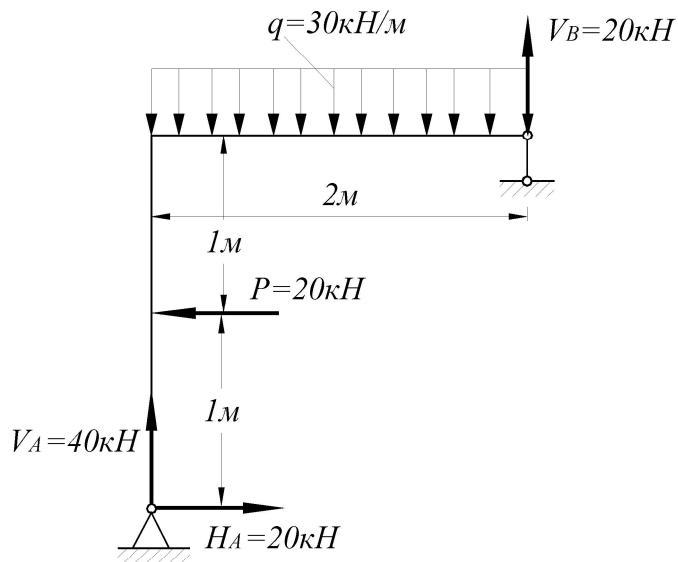
$$x_C = 118,33/EI.$$

Íðè áð 11. Äey çàääí ííé ðàí û (Ðèñ. 57) íðåäääéèòü óäí è ííáí ðí òà áå íèæí áäí ëí òà è áí ðèçí ðæëüí á íåðåí áùåí èå áåððí áé íí ðû íåðåí áåðåùåæí à. Æåñòéí ñòü ëí ííû è ðèäääéý ðàí û íðèí ýòü ðàáí íé EI.



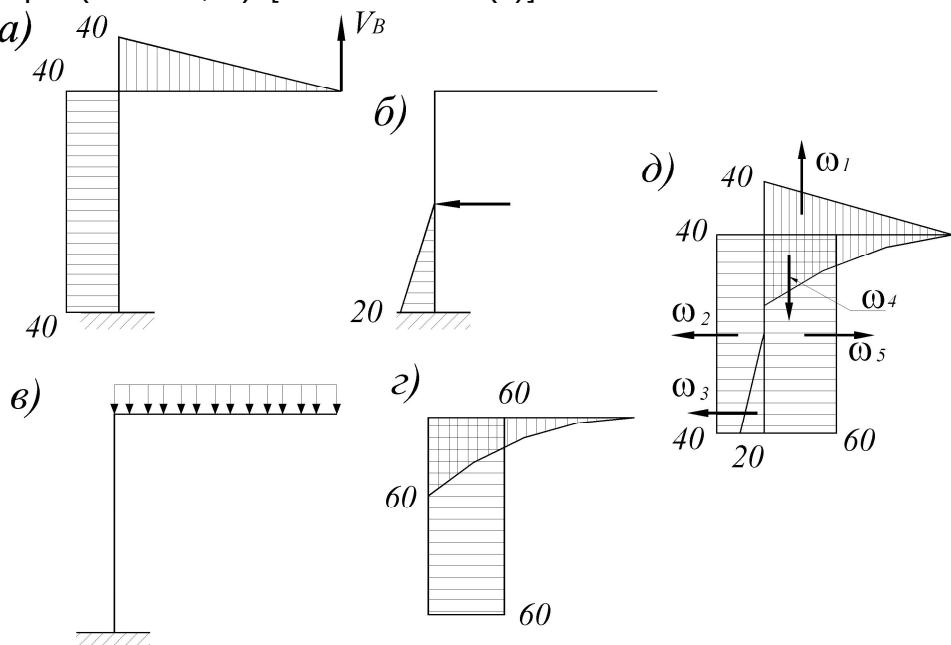
Ðèñ. 57

Ð å ø å í è å. 1. Íðåäääéýåí áåëë÷éíû íí ñóó ðåàéöéé (Ðèñ. 58).



Đèñ. 58

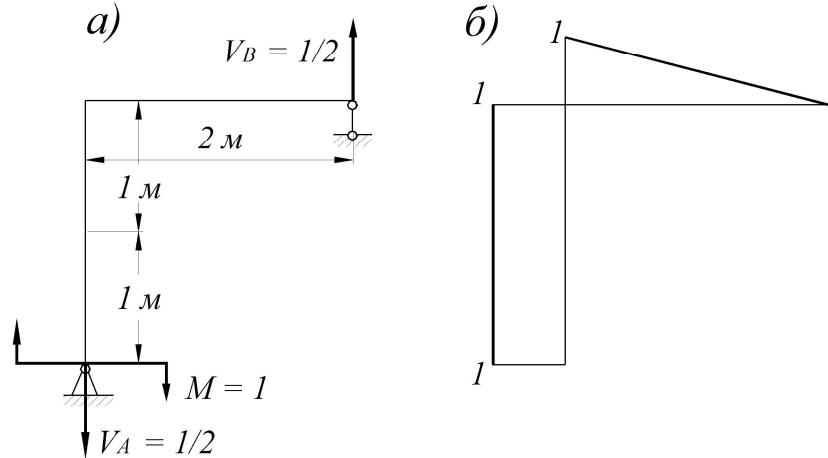
2. Ñòðî èì ðàññëî åí íóþ ýí þðó èçäèáàþùèõ î îì åí òî â á òäåéüí îñòè îò êàæäî é èç ñèë, i ðèëî æåí íûõ ê ðàì å (Đèñ. 59, à, á, â, á) è i ðåäåéýåì i ëî ùàæè î íéó÷åí íûõ ýí þð (Đèñ. 59, ä) [ñì . Òàáéèöó (2)].



Đèñ. 59

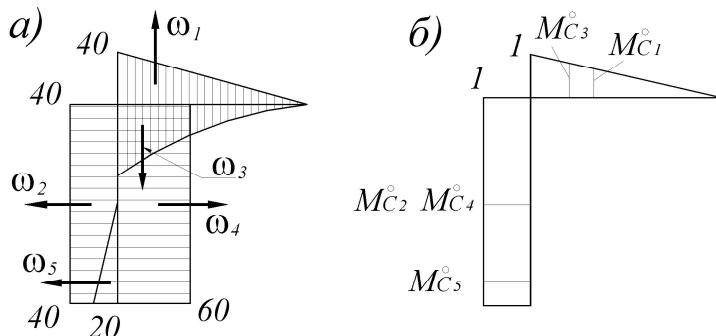
$$\begin{aligned} \textcolor{red}{W}_1 &= (1/2)40\cancel{x} = 40 \text{ êÍ} \cancel{x}^2; \quad \textcolor{red}{W}_2 = 40\cancel{x} = 80 \text{ êÍ} \cancel{x}^2; \quad \textcolor{red}{W}_3 = - (1/3)60\cancel{x} = -40 \text{ êÍ} \cancel{x}^2; \\ \textcolor{red}{W}_4 &= -60\cancel{x} = -120 \text{ êÍ} \cancel{x}^2; \quad \textcolor{red}{W}_5 = (1/2)20\cancel{x} = 10 \text{ êÍ} \cancel{x}^2. \end{aligned}$$

3. Îñðåäåëÿåì óñïë ññâòà ññâòà íèæíååñî êññöà ðñì ù  $q_A$ . Îñðèëëåäûååñî äëÿ ýòññâòà ññâòà íèæíååñî ññâòà íèæíååñî = 1 (Ðèñ. 60, à), îñðåäåëÿåì ååññòðñò ññâòà íèæíååñî ññâòà íèæíååñî è ññâòà íèæíååñî ïññòðñò ññâòà íèæíååñî (Ðèñ. 60, á).



Ðèñ. 60

Îñðåäåëÿåì îñðæèíàòû ññâòà íèæíååñî ïññòðñò ññâòà íèæíååñî (Ðèñ. 61, á), îñðæèíàòû ññâòà îñðæèíàòû ññâòà íèæíååñî ïññòðñò ññâòà íèæíååñî (Ðèñ. 61, á).



Ðèñ. 61

Îñðèì åññòðñò: íà ññâòà íèæíååñî îñðæèíàòû  $\bar{l}^0$  îñðåäåëÿåì èç óñëîâèÿ îñðæèíàòû ïññòðñò ññâòà íèæíååñî, îñðæèíàòû îñðæèíàòû ññâòà íèæíååñî è ïññòðñò  $w$  è îñðæèíàòû  $\bar{l}^0$  óññòðñò ññâòà íèæíååñî è ññâòà íèæíååñî.

$$\bar{l}^0_{\bar{N}1} = 2/3 \bar{l}; \bar{l}^0_{\bar{N}2} = 1 \bar{l}; \bar{l}^0_{\bar{N}3} = 3/4 \bar{l}; \bar{l}^0_{\bar{N}4} = 1 \bar{l}; \bar{l}^0_{\bar{N}5} = 1 \bar{l}.$$

Èì åññòðñò ññâòà íèæíååñî è îñðæèíàòû:

$$w_1 = (1/2)40\bar{x} = 40 \bar{e} \bar{l}^2; \bar{l}^0_{\bar{N}1} = 2/3 \bar{l}; w_2 = 40\bar{x} = 80 \bar{e} \bar{l}^2; \bar{l}^0_{\bar{N}2} = 1 \bar{l};$$

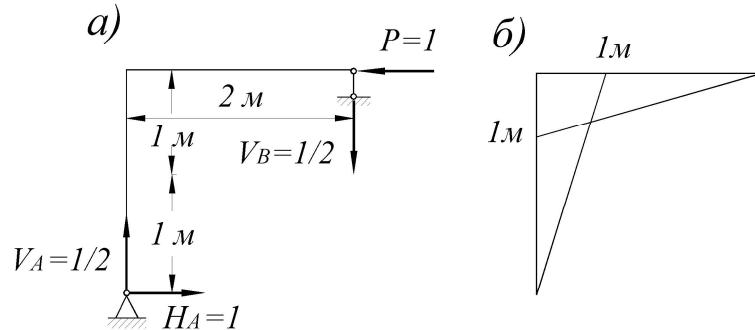
$$w_3 = -(1/3)60\bar{x} = -40 \bar{e} \bar{l}^2; \bar{l}^0_{\bar{N}3} = 3/4 \bar{l}; w_4 = -60\bar{x} = -120 \bar{e} \bar{l}^2; \bar{l}^0_{\bar{N}4} = 1 \bar{l};$$

$$w_5 = (1/2)20\bar{x} = 10 \bar{e} \bar{l}^2; \bar{l}^0_{\bar{N}5} = 1 \bar{l}. \text{ Îñðæèíàòû ññâòà íèæíååñî è ññâòà íèæíååñî (7.21):}$$

$$q_A = (1/EI)(w_1\bar{l}^0_{\bar{N}1} + w_2\bar{l}^0_{\bar{N}2} + w_3\bar{l}^0_{\bar{N}3} + w_4\bar{l}^0_{\bar{N}4} + w_5\bar{l}^0_{\bar{N}5}) =$$

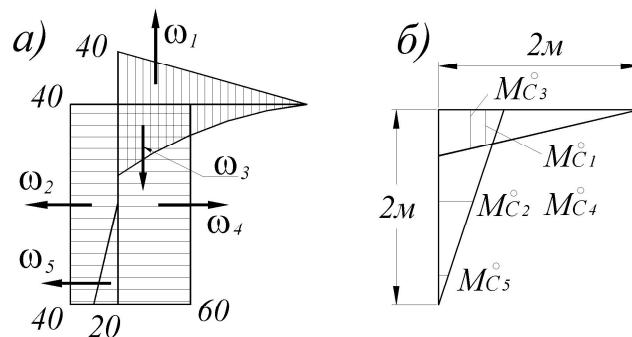
$$= (1/EI)[40(2/3) + 80x - 40(3/4) - 120x + 10x] = -33,33/EI \text{ ðàä.}$$

5. Î i ðåäääëÿåì áî ðèçî í òàëüí î å i åðåì áùåí èå ó<sub>B</sub> áåðõí åé i i ðû ðåì ú. Î ðèéëåäûåàåì äëÿ ýòî áî á òî ÷éå Á ñèëó Ð = 1 (Ðèñ. 62, à), i i ðåäääëÿåì áåëè÷éí ó i i ðíûô ðåàëöèè è ñòðî èì yíþðó èçäèåàþùèò i i åí òî á (Ðèñ. 62, á).



Ðèñ. 62

Î i ðåäääëÿåì i ðäëèí àòû  $M_C^0$  í à yíþðå i ò áäëí è÷íîé ñèëû (Ðèñ. 63, á), i i ëó÷áí í ûå i ðè i ðîåòëðî áàí èè í à í åå öäí òðîå ðýæåñòè yíþðó èçäèåàþùèò i i åí òî á i òå ãíåðí èõ ñèë (Ðèñ. 63, á).



Ðèñ. 63

$$\bar{l}_{\bar{N}1}^0 = -4/3 \text{ i}; \bar{l}_{\bar{N}2}^0 = -1 \text{ i}; \bar{l}_{\bar{N}3}^0 = -3/2 \text{ i}; \bar{l}_{\bar{N}4}^0 = -1 \text{ i}; \bar{l}_{\bar{N}5}^0 = -1/3 \text{ i}.$$

Èì áåì ñëåäóþùèå i ëî ùàäè è i ðäëèí àòû:

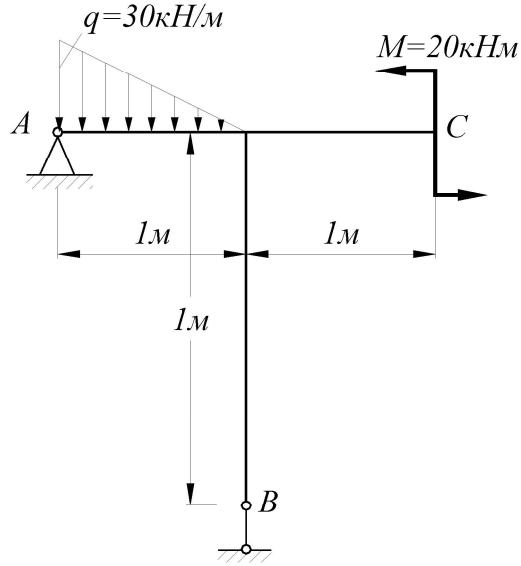
$$W_1 = 40 \text{ êÍi}^2; \bar{l}_{\bar{N}1}^0 = -4/3 \text{ i}; W_2 = 80 \text{ êÍi}^2; \bar{l}_{\bar{N}2}^0 = -1 \text{ i};$$

$$W_3 = -40 \text{ êÍi}^2; \bar{l}_{\bar{N}3}^0 = -3/2 \text{ i}; W_4 = -120 \text{ êÍi}^2; \bar{l}_{\bar{N}4}^0 = -1 \text{ i};$$

$$W_5 = 10 \text{ êÍi}^2; \bar{l}_{\bar{N}5}^0 = -1/3 \text{ i}.$$

$$X_B = (1/EI)(W_1 \bar{l}_{\bar{N}1}^0 + W_2 \bar{l}_{\bar{N}2}^0 + W_3 \bar{l}_{\bar{N}3}^0 + W_4 \bar{l}_{\bar{N}4}^0 + W_5 \bar{l}_{\bar{N}5}^0) = \\ = (1/EI)[-40(4/3) - 80x + 40(3/2) + 120x - 10(1/3)] = 43,33/EI \text{ ðàä.}$$

ТӘДЕІ 12. Аёй қаңағынан көрініштегі баланстырылған тұрақты мүнде күштердің жағдайларын анықтаңыз.

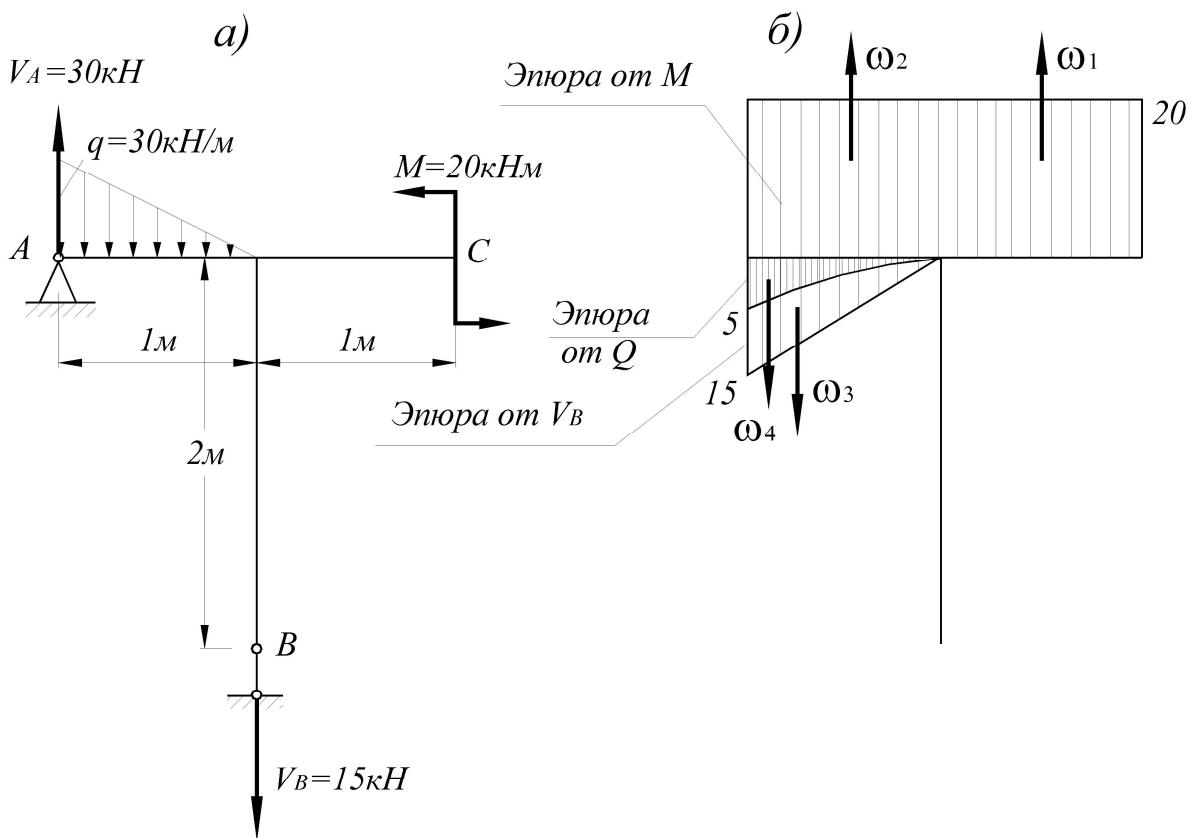


Дән. 64

Дән. 64-де берілген тұрақты мүндегі күштердің жағдайларын анықтаңыз.

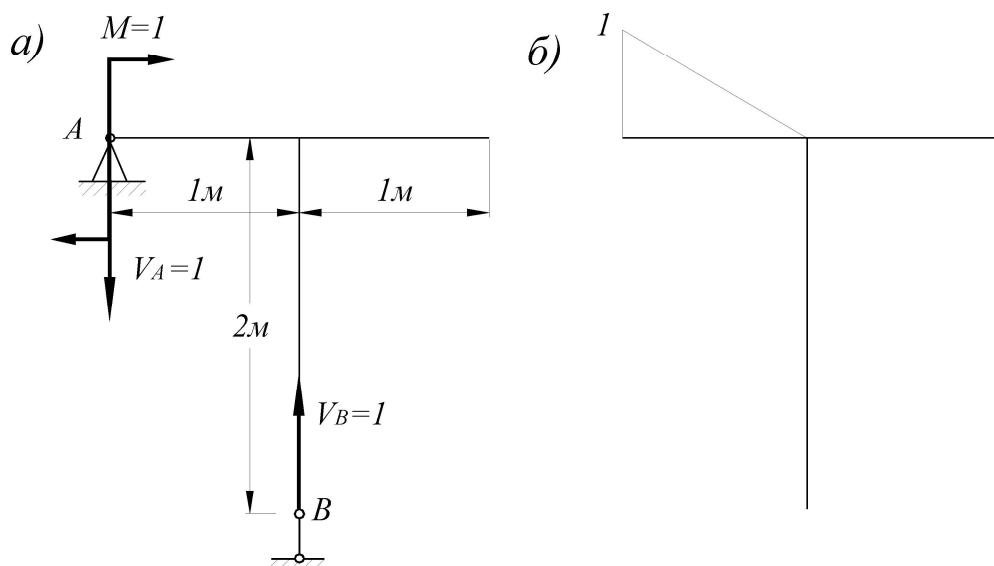
$$W_1 = 20kN \cdot m = 20 \text{ kNm}^2; W_2 = 20kN \cdot m = 20 \text{ kNm}^2; W_3 = -(1/2)15kN \cdot m = -7,5 \text{ kNm}^2;$$

$$W_4 = -(1/4)5kN \cdot m = -12,5 \text{ kNm}^2;$$



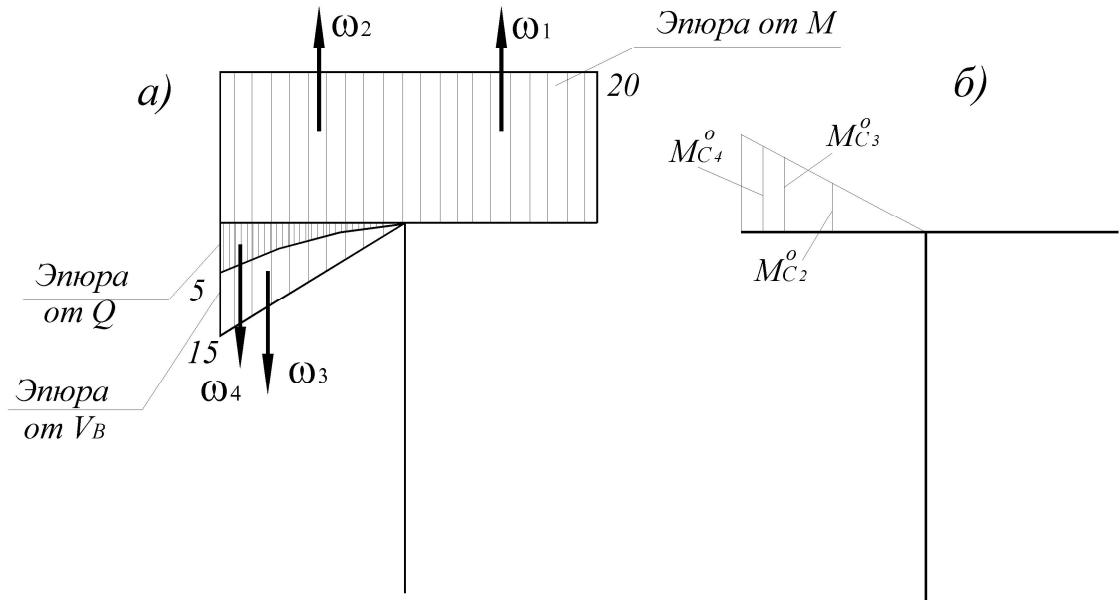
Đèñ. 65

2. Î ðåäåéëýâì  $q_A$ . Î ðèéëåäûââì äéý ýòî âî à î ðåâîé îííðå ðàì û íííåíò  $\bar{l} = 1$  (Đèñ. 66, a), î ðåäåéëýâì áåéè÷èíû îííðíûô ðåàéöèé è ñòðîèì ýíþðó èçåèáàþùèô íííåíòâ (Đèñ. 66, á).



Đèñ. 66

Ти ðåäääëÿåì ñ ðäæí àòû  $\bar{l}_{\bar{N}1}^0$  íà yíþðå ñò åäèí è÷ííäî ìííåíòà (Дèñ. 67, а), ти ñ ñòó÷åí ïúå ñ ðè ñ ðîåöèðî åàíèè íà íåå öäíòðîâ òýæåñòè yíþðø èçäæåàþùèò ìííåíòîâ ñò åíåøíèò ñèë (Дèñ. 67, а).



Дèñ. 67

$$\bar{l}_{\bar{N}1}^0 = 0; \bar{l}_{\bar{N}2}^0 = 0,5 \text{ i}; \bar{l}_{\bar{N}3}^0 = 2/3 \text{ i}; \bar{l}_{\bar{N}4}^0 = 4/5 \text{ i}.$$

Èí ååí ñëåäåóþùèå ñ ñòó÷åí ïúåäè è ñòó÷åí àòû:

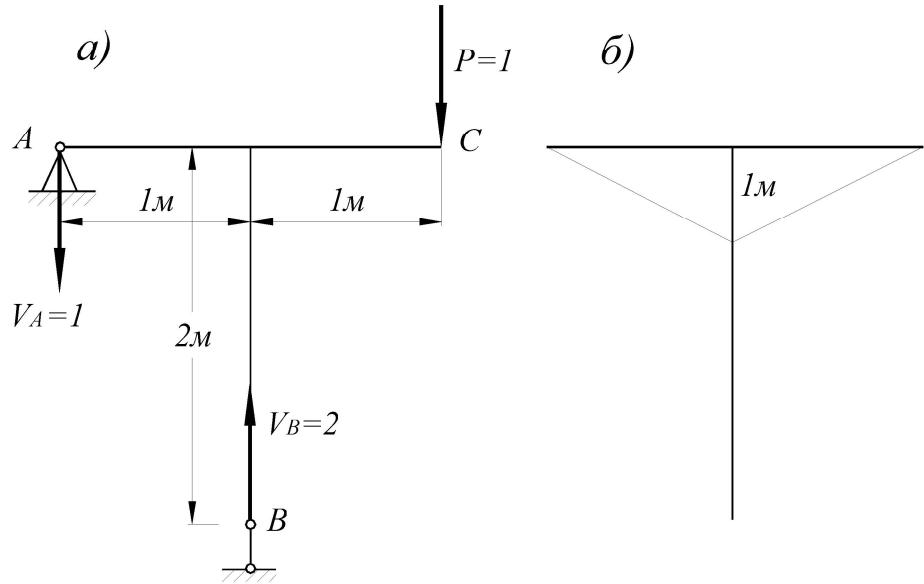
$$w_1 = 20 \text{ êÍi}^2; \bar{l}_{\bar{N}1}^0 = 0; w_2 = 20 \text{ êÍi}^2; \bar{l}_{\bar{N}2}^0 = 0,5 \text{ i};$$

$$w_3 = -7,5 \text{ êÍi}^2; \bar{l}_{\bar{N}3}^0 = 2/3 \text{ i}; w_4 = 5/4 \text{ êÍi}^2; \bar{l}_{\bar{N}4}^0 = 4/5 \text{ i};$$

$$q_{\bar{A}} = (1/EI)(w_1 \bar{l}_{\bar{N}1}^0 + w_2 \bar{l}_{\bar{N}2}^0 + w_3 \bar{l}_{\bar{N}3}^0 + w_4 \bar{l}_{\bar{N}4}^0 + w_5 \bar{l}_{\bar{N}5}^0) =$$

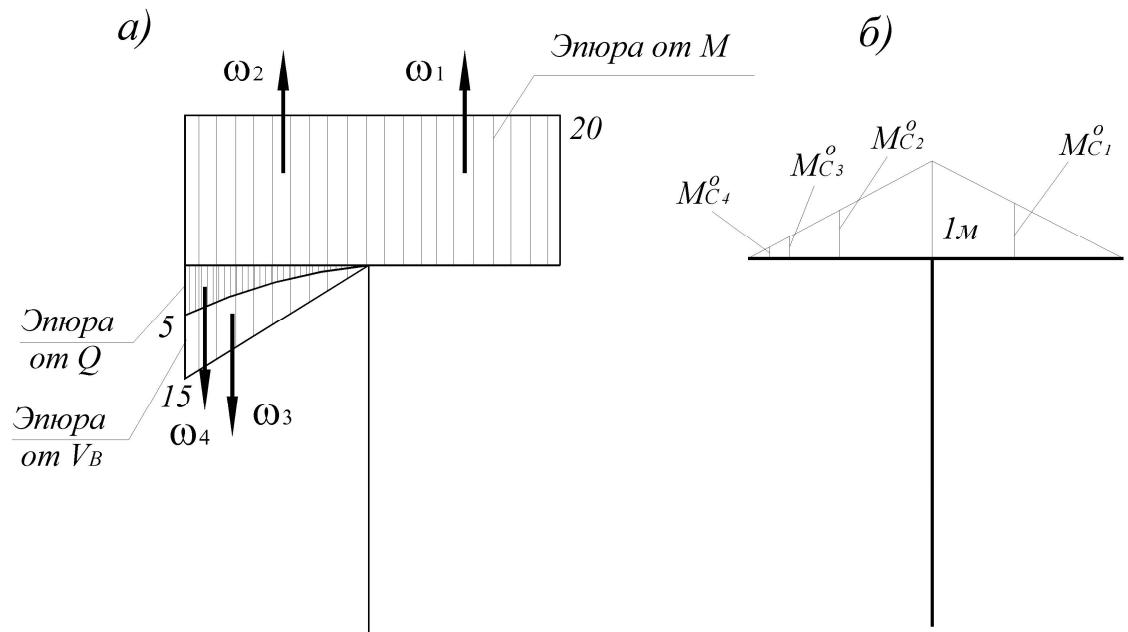
$$= (1/EI)(20 \cdot 0,5 - 7,5(2/3) - (5/4)(4/5)) = - 4/EI \text{ ðåä.}$$

3. Ти ðåäääëÿåì ñ ðîåöèðî åíòà. Ти ñ ñòó÷åí ïúåäè è ñòó÷åí àòû  $\bar{l}_{\bar{N}1}^0 = 1$  (Дèñ. 68, а), ти ðåäääëÿåì ååéè÷èíó ти ñ ñòó÷åí ïúåäè è ñòó÷åí àòû  $\bar{l}_{\bar{N}1}^0 = 1$  (Дèñ. 68, а).



Đèñ. 68

Î i ðåäåéýåì î ðäèí àòû  $\bar{l}^0_{\bar{N}}$  íà yíþðå oò åäèí è÷íîåî ìîì áíòà (Đèñ. 69, á), i i eó÷åí íúå i ðè î ðîåöeðî âàíèè íà íåå öåí òðîâ òýæåñòè yíþð èçãèáàþùèò ìîì áíòîâ ìò áíåðí èò ñèë (Đèñ. 69, á).



Đèñ. 69

$$\bar{l}^0_{\bar{N}_1} = -0,5 \text{ }; \bar{l}^0_{\bar{N}_2} = -0,5 \text{ }; \bar{l}^0_{\bar{N}_3} = -1/3 \text{ }; \bar{l}^0_{\bar{N}_4} = -1/5 \text{ };$$

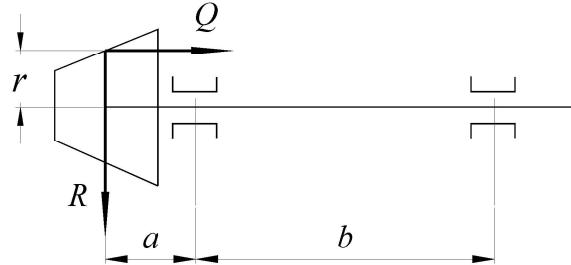
Èí ååì ñéåäóþùèå i eî ùaäè è î ðäèí àòû:

$$W_1 = 20 \text{ } \hat{e}l \text{ } l^2; \bar{l}^0_{\bar{N}_1} = -0,5 \text{ }; W_2 = 20 \text{ } \hat{e}l \text{ } l^2; \bar{l}^0_{\bar{N}_2} = -0,5 \text{ };$$

$$W_3 = -7,5 \text{ } \hat{e}l \text{ } l^2; \bar{l}^0_{\bar{N}_3} = -1/3 \text{ }; W_4 = 5/4 \text{ } \hat{e}l \text{ } l^2; \bar{l}^0_{\bar{N}_4} = -1/5 \text{ };$$

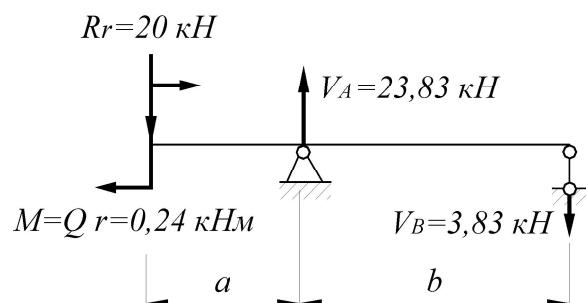
$$q_{\bar{A}} = (1/EI)(W_1 \bar{l}^0_{\bar{N}_1} + W_2 \bar{l}^0_{\bar{N}_2} + W_3 \bar{l}^0_{\bar{N}_3} + W_4 \bar{l}^0_{\bar{N}_4} + W_5 \bar{l}^0_{\bar{N}_5}) = \\ = (1/EI)[-20 \cdot 0,5 + 7,5 \cdot 0,5 + 7,5(1/3) + (5/4)(1/5)] = -17,25/EI \text{ ðää.}$$

І ðèì àð 13. Іàéòè і ðí ãèá è óãîë і î áî ðî òà êî í öà áàëà áëàâí îé і áðåäà÷è äèàì áòðî ì  $d = 50$  ì ì (Дèñ. 70). Ðàçì áðû:  $a = 35$  ì ì,  $b = 120$  ì ì,  $\eta_{ðåäí}$  èé ðàæéóñ êî í ë÷åñéîé øåñòåðí è  $\bar{a} = 120$  ì ì. І ðè ðàáî òå í áðåäà÷è íà áàë í áðåäàþòñý ñéåäóþùèå í àãðóçêè: ðàæèàëüí àÿ  $R = 20$  êÍ,  $\eta_{ñåâàÿ} Q = 8$  êÍ. І áðåì áúåí èý í i ðåäåéèòü ì áðî ãí ì íà÷æüí ûô ðàðåì áòðî ã.



Дèñ. 70

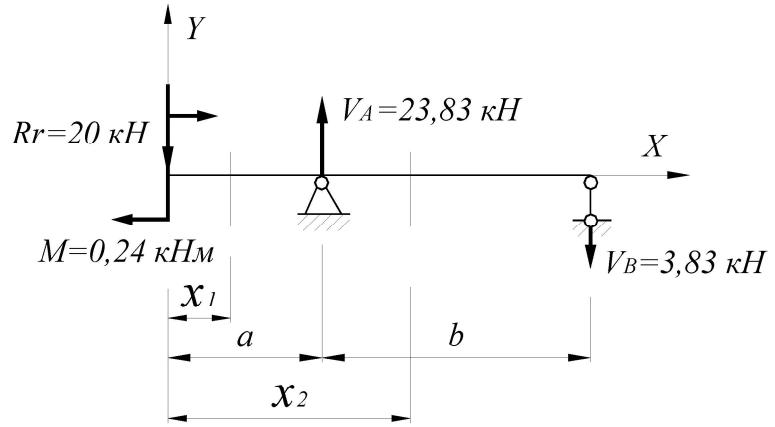
Ð å ø å í è å. 1. І ðèí èì àåì ðàñ÷åòí óþ ñõåì ó áàëà (Дèñ. 71). І íà áóäåò í ðåäñòåâéýòü ñî áî é áàëéó íà áåóô í i ðàò ñ í ðèéî æåí í ûì è íà êî í öå êî í ñî èé ñî ñõåäî ðî ÷åí í ïé ñèëîé R è í i ãí òî ì l = Q - r = 8 - 0,03 = 0,24 êÍ ì.



Дèñ. 71

2. І í ðåäåéýåì áåéè÷èí ó í i ðí ûô ðåäéöèé:

3. І ðèí èì àåì í à÷æí êî í ðæéí àò íà éåâí ì êî í öå áàëéè, і ðí áî äèí í i ðåäåí ûå ñå÷åí èý (Дèñ. 72) è çai ëñûâååí óðåâí áí èý і ðí ãèáî áëÿ êàæäí áî èç í èõ [ñî . ôî ðí óëó (6)].



Đeñ. 72

$$Ely_1 = Ely_0 + Elq_0 x_1 + Mx_1^2 / 2 - Rx_1^3 / 6; \quad Ely_A (\text{if } x_1=0) = Ely_0 + Elq_0 \cdot 0,035 + 0,0000041 = 0;$$

$$Ely_B = Ely_0 + Elq_0 x_1 + Mx_1^2 / 2 - Rx_1^3 / 6 - V_A(x_2 - 1)^3 / 6.$$

$$\text{At } x_1=0, \text{ if } x_2=a+b, y_B=0, \text{ then } Ely_B (\text{if } x_2=a+b) = Ely_0 + 0,155 Elq_0 - 0,0026 = 0.$$

From the equations above, we get:

$$Ely_0 + Elq_0 \cdot 0,035 + 0,0000041 = 0; \quad (a)$$

$$Ely_0 + Elq_0 \cdot 0,155 - 0,0026 = 0. \quad (b)$$

From equation (a), we get:

$$-Elq_0 \cdot 0,12 + 0,00267 = 0, \text{ or } Elq_0 = 0,022 \text{ Nm}^2.$$

From equation (b), we get:

$$Ely_0 + Elq_0 \cdot 0,155 - 0,0026 = 0; \quad Ely_0 = -0,00078 \text{ Nm}^3.$$

$$4. \text{ The deflection curve } y_0 = -\frac{pd^4}{32} \cdot \frac{x^4}{l^4} = -\frac{0,022 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 61,33 \cdot 10^{-8}}{32} \cdot \frac{x^4}{24,07} = -\frac{0,00018}{32} \cdot \frac{x^4}{24,07} = -5,625 \cdot 10^{-9} \cdot x^4.$$

$$q_0 = 0,022 / (2 \cdot 10^8 \cdot 61,33 \cdot 10^{-8}) = 0,00018 \text{ N/mm}^2 = 0,01040 \text{ kN/m}.$$

$$y_0 = -0,00078 / (2 \cdot 10^8 \cdot 61,33 \cdot 10^{-8}) = -0,0000064 \text{ m} = 0,0064 \text{ mm}.$$