

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI**

TOSHKENT ARHITEKTURA QURILISH INSTITUTI

**“QURILISH MEXANIKASI VA INSHOOTLAR
ZILZILABARDOSHLIGI” KAFEDRASI**

QURILISH MEXANIKASI FANIDAN

O‘QUV – USLUBIY MAJMUA

Bilim sohasi:	700000	–	Muhandislik, ishlov berish va qurilish sohalari
Ta‘lim sohasi:	710000	–	Muhandislik ishi
	730000	–	Arxitektura va qurilish
	60730700	–	Qurilish materiallari, buyumlari va konstruksiyalarini ishlab chiqarish
	60730600	–	Devorbop va pardozbop qurilish materiallari texnologiyasi
	60710400	–	Ekologiya va atrof muhit muhofazasi
	60720600	–	Materialshunoslik va yangi materiallar texnologiyasi

Mazkur o‘quv-uslubiy majmua O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligining 2021 yil 30 avgustdagi 125/Б-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan “Qurilish mexanikasi” fani dasturi asosida ishlab chiqilgan.

Tuzuvchilar:

Z.S.Shadmanova – Toshkent arxitektura qurilish instituti “Qurilish mexanikasi va inshootlar zilzilabardoshligi” kafedrasida dotsenti

Taqrizchilar:

A.S. Yuvmitov – O‘zR FA Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti “Konstruksiyalar mustahkamligi va inshootlar seysmik barqarorligining eksperimental tadqiqotlari” laboratoriyasi mudiri, PhD.

M.Q. Nazarova – Toshkent arxitektura qurilish instituti “Qurilish mexanikasi va inshootlar zilzilabardoshligi” kafedrasida dotsenti, texnika fanlari nomzodi.

Fan bo‘yicha o‘quv – uslubiy majmua Toshkent arxitektura – qurilish instituti Ilmiy – uslubiy Kengashining 2022 yil “27” avgustdagi 1 – sonli majlisida muhokama etilgan va maqullangan.

Ilmiy – uslubiy Kengash raisi



A.U. Mirisayev

MUNDARIJA

1. O‘quv materiallari	4
2. Mustaqil ta’lim mashg‘ulotlari	202
3. Glossariy	204

O'QUV MATERIALLAR

1 – Маъруза

Текис кесим юзаларининг инерция моментлари.

Режа

1. Текис кесимларнинг ўқларга нисбатан статик моментлар.
2. Мураккаб текис кесимларнинг оғирлик марказлари ҳолатлари.
3. Текис кесимларнинг ўқларга нисбатан инерция моментлари.
4. Оддий текис кесимларнинг инерция моментлар

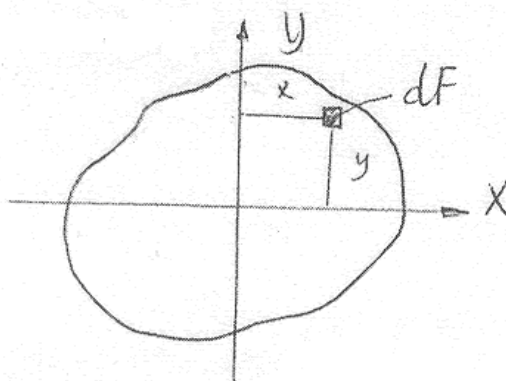
15.1. Текис кесимларнинг ўқларга нисбатан статик моментлари.

Эгилиш, буралиш ва мураккаб деформациянинг баъзи турларини ўрганишда брус кўндаланг кесимининг баъзи геометрик ҳарактеристикалари кесимнинг ўққа нисбатан статик инерция моментлари тушунчаларидан фойдаланилади.

F юзанинг OX ва OY ўқларга нисбатан статик momenti;

$$S_x = \int_{(F)} y dF; \quad S_y = \int_{(F)} x dF \quad (1.1)$$

Интеграллар билан ифодаланади.



1.1-расм.

Тенг таъсир этувчи момент теоремасига асосан (1.1) ифодалар

$$S_x = F \cdot Y_c; \quad S_y = F \cdot x_c \quad (1.2)$$

кўринишини қабул қилади.

Бу ерда Y_c, X_c кесим оғирлик марказининг координаталари.

Агар мураккаб шакли оғирлик марказларининг ҳолати маълум бўлган оддий шаклларга ажратиш мумкин бўлса, (1.1) формулани кўйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

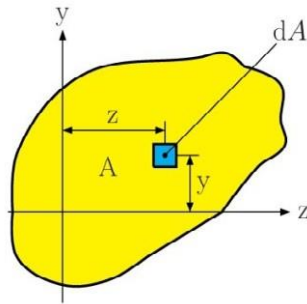
$$\left. \begin{aligned} S_x &= F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + \dots + F_n \cdot y_n = \sum_{i=1}^n F_i y_i \\ S_y &= F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + \dots + F_n \cdot x_n = \sum_{i=1}^n F_i x_i \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

(1.3), (1.2) формулалар асосида мураккаб кесимнинг оғирлик маркази координаталарини аниқлаш формуласи ҳосил қилинади.

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i x_i}{\sum_{i=1}^n F_i}, \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i y_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (1.4)$$

Илова

А. 1 Юзанинг оғирлик маркази ва биринчи тартибли момент



Расм А.1

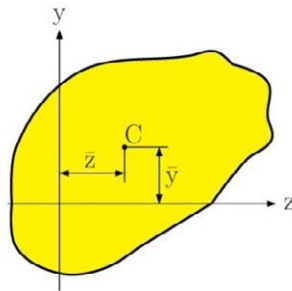
zu текисликда A кесим юзасини кўрамиз. z ўқига нисбатан биринчи тартибли момент қўйидаги интеграл орқали аниқланади.

$$Q_z = \int_A z dA \quad (A.1)$$

Худди шундай, y ўқига нисбатан биринчи тартибли момент

$$Q_y = \int_A y dA \quad (A.2)$$

СИ системасида биринчи тартибли моментларнинг ўлчов бирлиги m^3 ёки mm^3 бўлади



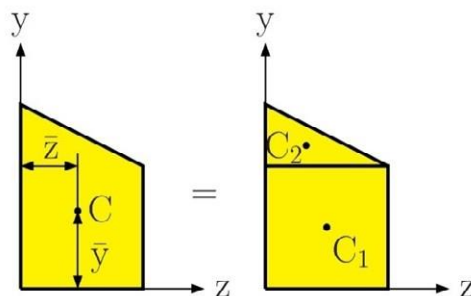
Расм А.2

Юзанинг оғирлик марказини \bar{y} ва \bar{z} деб белгиласак, улар қўйидаги формула орқали

$$\bar{y} = \frac{\int y dA}{A}$$

аниқланади

$$\bar{z} = \frac{\int z dA}{A} \quad (A.3)$$



А.3-расм

Кесим юзаси симметрия ўқига эга бўлса, бу ўққа нисбатан юзанинг биринчи тартибли momenti нолга тенг бўлади.

А 3 расда келтирилган трапецияли юзани кўриб, уни оддий геометрик шаклларга ажратамиз. Юзанинг z ўқига нисбатан биринчи тартибли momenti A_1, A_2 юзаларнинг momentларини йигиндисидан иборат бўлиб, қуйидагича аниқланади.

$$\bar{z} = \frac{\int y dA}{A} = \frac{\int y_1 dA_1 + \int y_2 dA_2}{A_1 + A_2} = \frac{\sum \bar{y}_i A_i}{\sum A_i} \quad (A.4)$$

Муваққаб кесим юзасининг оғирлик маркази қуйидагича аниқланади¹

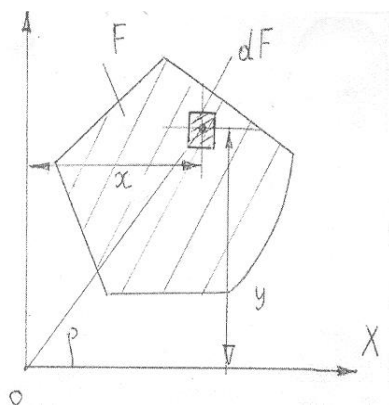
$$\bar{y} = \frac{\sum A_i \bar{y}_i}{\sum A_i} \quad \bar{z} = \frac{\sum A_i \bar{z}_i}{\sum A_i} \quad (A.5)$$

1.2 Текис кесимларнинг ўқларга нисбатан инерция моментлари.

ОХ ва ОУ ўқларга нисбатан берилган (F) текис кесимнинг инерция моментлари мос равишда

$$J_x = \int_{(F)} y^2 dF, \quad J_y = \int_{(F)} x^2 dF; \quad (1.5)$$

интеграллар билан ифодаланади.



1.2 – расм

Текис кесимнинг қутб инерция momenti

$$J_p = \int_{(F)} \rho^2 dF \quad (1.6)$$

интеграл ёрдамида ҳисобланади. Бу ерда $\rho^2 = x^2 + y^2$.

Ўқларга нисбатан инерция моментлари J_x, J_y ва қутб инерция momenti J_p орасида

$$J_p = J_x + J_y \quad (1.7)$$

Тенглик мавжуд. Ҳақиқатдан ҳам

$$J_p = \int_{(F)} (x^2 + y^2) dF = \int_{(F)} x^2 dF + \int_{(F)} y^2 dF = J_x + J_y$$

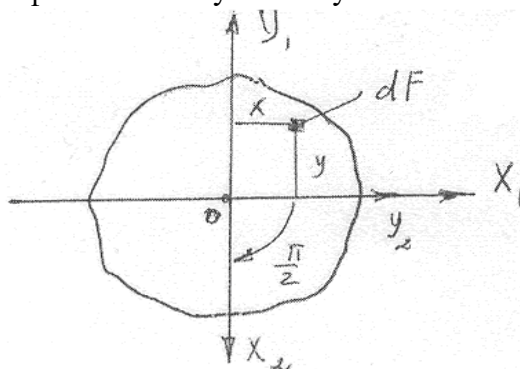
Текис кесимнинг ўқларга нисбатан марказдан қочувчи инерция momenti деб

¹ Roland Janco, Branislav Hucko. Introduction to Mechanics of Materials-Slovak. Part I. 2013. Pages 135-136.

$$J_{xy} = \int_{(F)} xy dF \quad (15.8)$$

интегралга айтилади.

Мазкур геометрик характеристика узунликнинг тўртинчи даражаси билан ўлчанади (мм⁴, см⁴, м⁴), ишораси эса мусбат, манфий ва ноль бўлиши мумкин.

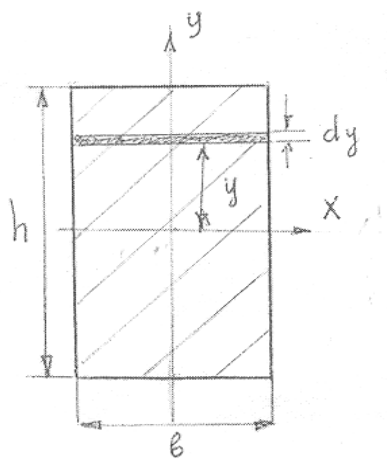


Расм 1.3

Ўқларга нисбатан марказдан қочувчи инерция моментлари муҳим хусусиятга эга. Агар Y_1, X_1 ўқларни 90°га бурилса, янги Y_2, X_2 ўқларга нисбатан марказдан қочувчи инерция моментлари фақат ишора билан фарқ қилади, чунки (1.8) формулада интеграл остидаги координаталар орасида $Y_2 = -X_1$ ва $X_2 = Y_1$ боғланишлар мавжуд.

1.3. Оддий текис кесимларнинг ўқларга нисбатан инерция моментларини ҳисоблаш.

1. Тўғри бурчакли тўртбурчак.

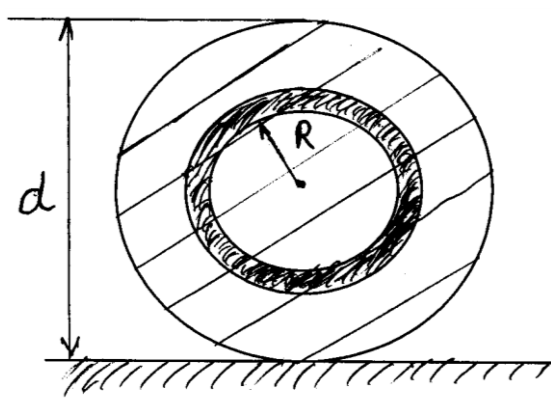


$$J_x = \int_F Y^2 dF, \quad dF = b dy.$$

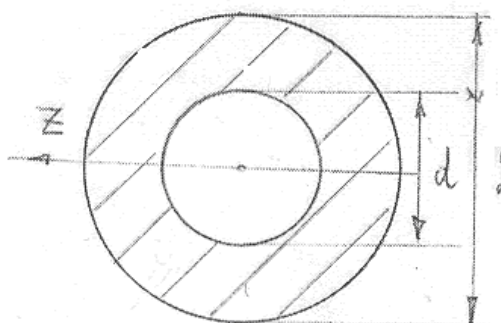
$$J_x = \int_{\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} Y^2 b dy = 2b \int_0^{\frac{h}{2}} Y^2 dy = 2b \frac{4^3}{3} \Big|_0^{\frac{h}{2}} = \frac{bh^3}{12}$$

шу усулда $J_y = \int_F x^2 df = \frac{hb^3}{12}$ ни ҳисоблаб, ҳосил қилиш мумкин.

2. Доира ва ҳалқа кўринишидаги кесимлар.



$$J_p = \int_{(F)} \rho^2 dF, \quad dF = 2\pi\rho d\rho$$

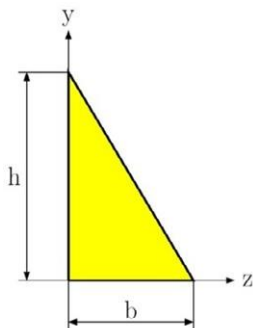


$$J_p = \int_0^R \rho^3 2\pi d\rho = 2\pi \int_0^R \rho^3 d\rho = 2\pi \frac{\rho^4}{4} \Big|_0^R = \frac{\pi R^4}{2}$$

$$R = \frac{d}{2} \quad J_p = \frac{\pi d^4}{32} \quad J_z = \frac{J_p}{2} = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$J_z = \frac{\pi D^4}{64} (1 - y), \quad y = \frac{d}{D}$$

A. 01 масала



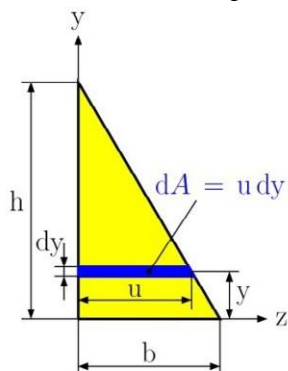
A.4 -расм

A.4 Расмда келтириган учбурчакли юза учун қуйидагилар аниқлансин: а) z ўқиға нисбатан юзанинг биринчи тартибли момент Q_z б) юзанинг оғирлик марказини y ордината ўқи бўйича координатаси.

Ечиш

а) Биринчи тартибли момент Q_z

A.5 -расм



А.5 расмда горизонтал узунлиги ва қалинлиги dy бўлган элементар юзага ажратамиз. Учбурчакларнинг ўхшашлигидан

$$\frac{u}{b} = \frac{h-y}{h} \quad u = b \frac{h-y}{h}$$

ва

$$dA = udy = b \frac{h-y}{h} dy$$

(А.1) тенгламадан фойдаланиб биринчи тартибли моментни ҳисоблаймиз

$$Q_z = \int_A ydA = \int_0^h yb \frac{h-y}{h} dy = \frac{b}{h} \int_0^h (hy - y^2) dy$$

$$Q_z = \frac{b}{h} \left[h \frac{y^2}{2} - \frac{y^3}{3} \right] = \frac{1}{6} bh^2$$

(б) оғирлик марказининг ординатаси

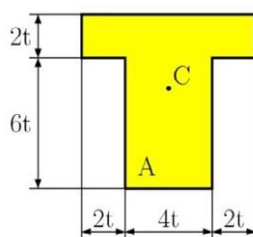
$$A = \frac{1}{2} bh$$

(А.4) формулага кўра ва эканлигини ҳисобга олсак

$$Q_z = A\bar{y} \Rightarrow \frac{1}{6} bh^2 = \frac{1}{2} by^2\bar{y} = \bar{y} = \frac{1}{3} h$$

А.02 масала

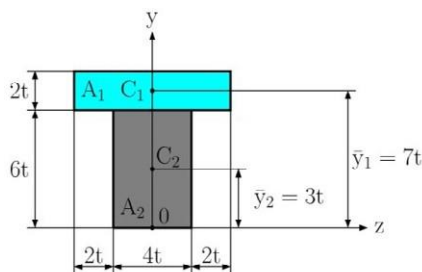
А.6 расмда кўрсатилган расм юзасининг оғирлик маркази аниқлансин



А.6 -расм

Ечили

Координата системасини А. 7 расмда кўрсатилгандек танлаб олсак, оғирлик маркази C y ўқида ётади, чунки z ўқи марказий ўқ бўлади, яъни $\bar{z} = 0$



А.7 –расм

А юзани $A_1 A_2$ қисмларга ажратсак, оғирлик марказини ординатаси \bar{y}

(А.5) формулага кўра қуйидагича бўлади

$$\bar{y} = \frac{\sum_i A_i \bar{y}_i}{\sum_i A_i} = \frac{\sum_{i=1}^2 A_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^2 A_i} = \frac{A_1 \bar{y}_1 + A_2 \bar{y}_2}{A_1 + A_2}$$

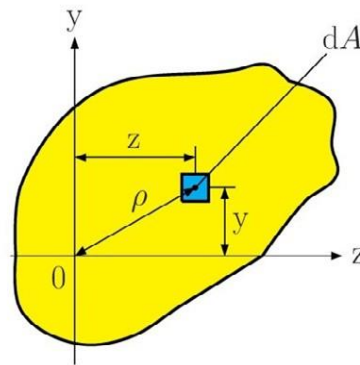
$$\bar{y} = \frac{A_1 \bar{y}_1 + A_2 \bar{y}_2}{A_1 + A_2} = \frac{(2tx8t)x7t + (4tx6t)x3t}{2tx8t + 4t + 6t} = \frac{184t^3}{40t^2} = 4.6t$$

Худди шундай A юзанинг u ўқига нисбатан иккинчи тартибли моменти ёки инерция моменти қуйидагича бўлади

$$I_y = \int_A z^2 dA \quad (A.7)$$

A юзани O нуқтага нисбатан поляр инерция моменти қуйидаги интеграл орқали аниқланади

$$J_o = \int_A \rho^2 dA \quad (A.8)$$



А.8 –расм

Бу ерда ρ - O нуқта билан dA юзача ўртасидаги масофа СИ системасида инерция моментларининг ўлчов бирлиги m^4 ёки mm^4 бўлади.

Қўрилайтган юза учун поляр инерция моменти билан J_y ва J_z инерция моментлари ўртасида муҳим боғланиш ўрнатамиз. $\rho^2 = y^2 + z^2$ эканлигида, қуйидагини аниқлаймиз

$$J_o = \int_A \rho^2 dA = \int_A (y^2 + z^2) dA = \int_A y^2 dA + \int_A z^2 dA \quad (A.9)$$

ёки

$$J_o = I_z + I_y$$

A юзанинг z ўқига нисбатан радиус инерциясини r_z деб белгиласак, u ҳолда бу катталиқ учун қуйидаги муносабатни оламиз

$$I_z = r_z^2 A \Rightarrow r_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} \quad (A.10)$$

Худди шундай у ўқига нисбатан ва марказий нуқта O га нисбатан инерция радиуслари аниқланади.

$$I_y = r_y^2 A \Rightarrow r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (A.12)$$
$$J_o = r_o^2 A \Rightarrow r_o = \sqrt{\frac{J_o}{A}}$$

(A.9) тенгламадаги J_o, J_y ва J_z ифодаларни инерция радиуслари билан алаштириб, қуйидаги натижани оламиз²

$$r_o^2 = r_z^2 + r_y^2 \quad (A.13)$$

Назорат учун саволлар

1. Текис кесимларнинг геометрик характеристикалари нима учун керак?
2. Кесимнинг статик моменти тушунчаси нимадан иборат?
3. Марказий ўқлар қандай ҳусусиятга эга?
4. Оддий кесимлар деганда нима тушунилади?
5. Статик момент, инерция моментларнинг ўлчам бирликлари?

² Roland Janco, Branislav Hucko. Introduction to Mechanics of Materials-Slovak. Part I. 2013. Pages 136-140.

2–Маъруза

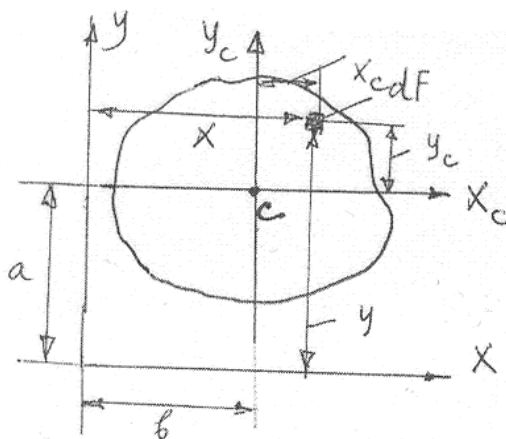
Текис кесим юзаларининг инерция моментлари.

Режа

1. Марказий ўқларга параллел бўлган ўқларга нисбатан текис кесимнинг инерция моментлари.
2. Қўзғалмас нукта атрофида бурилган ўқларга нисбатан кесимнинг инерция моментлар.
3. Бош ўқлар ҳолатини ва бош инерция моментлар қийматларини аниқлаш.

2.1 Марказий ўқларга параллел бўлган ўқларга нисбатан текис кесимнинг инерция моментлари.

Кўндаланг кесим юзаси F , ҳамда унинг марказий X_c , Y_c ўқларга нисбатан инерция моментлари J_{x_c} , J_{y_c} , $J_{x_c y_c}$ берилган бўлсин (2.1-расм).



2.1-расм.

Марказий ўқларга параллел бўлган X ва Y ўқларга нисбатан кесимнинг инерция моментини ҳисоблаймиз.

$$J_x = \int_{(F)} y^2 dF = \int_{(F)} (y_c + a)^2 dF = \int_{(F)} y_c^2 dF + 2a \int_{(F)} y_c dF + a^2 \int_{(F)} dF \quad (A)$$

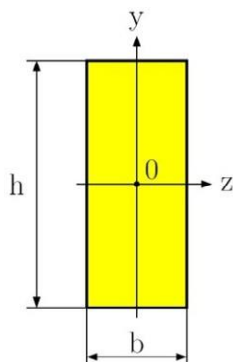
Аммо, $\int_{(F)} y_c^2 dF = J_{x_c}$; $\int_{(F)} y_c dF = S_{2c} = 0$; $\int_{(F)} dF = F$ га тенг бўлгани учун (A)

ифодани $J_x = J_{x_c} + a^2 F$ кўринишда ёзамиз J_y , J_{xy} инерция моментларини ҳам шу усулда аниқлаймиз. Шундай қилиб, янги X , Y ўқларга нисбатан инерция моментларини аниқлаш формуласи кўйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\begin{aligned} J_x &= J_{x_c} + a^2 F \\ J_y &= J_{y_c} + b^2 F \\ J_{xy} &= J_{x_c y_c} + abF \end{aligned} \quad (2.1)$$

А.03 Масала

А.9 расмда келтирилган тўғри тўртбурчак шаклидаги кесим юзаси учун қуйидагилар аниқлансин: марказий ўққа нисбатан I_z инерция моменти б) шу ўққа нисбатан инерция радиуси r_z



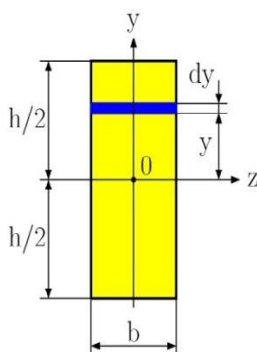
А.9 -расм

Ечиш

а) **Инерция моменти I_z** Горизонтал узунлиги b ва dy бўлган элементар юзага ажратамиз (А.10 расм). $dA = bdy$ эканлигини ҳисобга олиб, (А, в) тенгламага кўра қуйидаги натижани оламиз.

$$I_z = \int_A y^2 dA = \int_{-h/2}^{+h/2} y^2 (bdy) = b \int_{-h/2}^{+h/2} y^2 dy = \frac{b}{3} [y^3]_{-h/2}^{+h/2}$$

$$I_z = \frac{b}{3} \left(\frac{h^3}{8} + \frac{h^3}{8} \right) \Rightarrow I_z = \frac{1}{12} bh^3$$

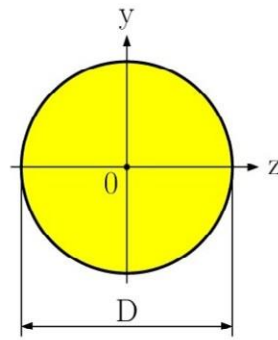


А.10 -расм

б) **Инерция радиуси r_z** (А.10) тенгламага кўра аниқлаймиз

$$r_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} bh^3}{bh}} = \sqrt{\frac{h^2}{12}} \Rightarrow r_z = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

Доира шаклидаги кесим учун (А.11 расм): поляр инерция моменти б) I_z ва I_y инерция моментлари аниқлансин



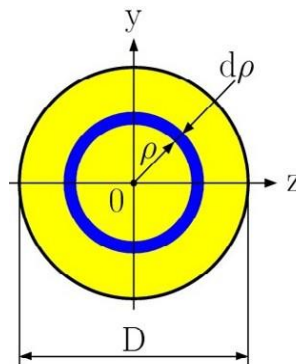
А.11-расм

Ечиш

а) Поляр инерция моменти. Доира марказидан ρ оралиқда қалинлиги $d\rho$ бўлган ҳалқасимон dF элементар юзага ажратамиз (А.12 расм). (А.8) тенгламадан фойдаланиб ва $dA = 2\pi\rho d\rho$ эканлигини ҳисобга олиб, қуйидаги натижани оламиз.

$$J_o = \int_A \rho^2 dA = \int_0^{D/2} \rho^2 2\pi\rho d\rho = 2\pi \int_0^{D/2} \rho^3 d\rho,$$

$$J_o = \frac{\pi D^4}{32}$$



А.12 -расм.

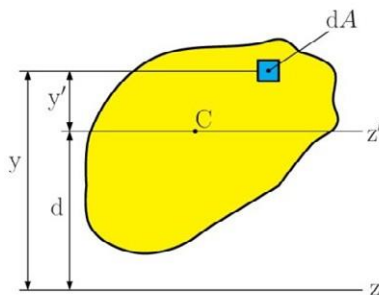
б) Инерция моментлари. Симметрик доира юзаси учун $I_z = I_y$.

У ҳолда (0.9) тенгламага кўра, қуйидаги натижани оламиз

$$J_o = I_z + I_y = 2I_z \Rightarrow I_z = \frac{J_o}{2} = \frac{\pi D^4}{32 \cdot 2}$$

$$I_z = I_y = \frac{\pi D^4}{64}$$

А.3 Параллел ўқлар теоремаси



А кесим юзаси учун ихтиёрий z ўқига нисбатан инерция моменти I_z маълум бўлсин. Энди кесим юзасининг оғирлик марказидан z ўқига ўтказамиз. (А.13 расм)элементар dA юзача билан марказий z ўққига бўлган масофони y' деб белгилансин: $y = y' + d$ бўлади. Бу боғланишни (А.6) тенгламага қўйсак, қўйидаги натижани оламиз

$$I_z = \int_A y^2 dA = \int_A (y' + d)^2 dA,$$

$$I_z = \int_A y'^2 dA + 2d \int_A y' dA + d^2 \int_A dA, \quad (\text{A.14})$$

$$I_z = \bar{I}_z + Q_z' + Ad^2$$

Бу ерда \bar{I}_z марказий z' ўққа нисбатан инерция моменти. Q_z' - юзанинг марказий z' ўққа нисбатан биринчи марказий ўққа жойлашгани учун $Q_z' = 0$ бўлади. У ҳолда қўйидаги натижани оламиз

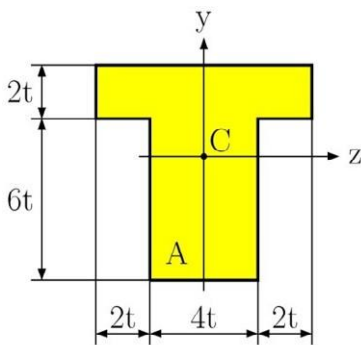
$$I_z = \bar{I}_z + Ad^2 \quad (\text{A.15})$$

Худди шундай, кесим юзасини ихтиёрий O нуқтасига нисбатан поляр моменти билан шу кесим юзасининг оғирлик маркази C га нисбатан поляр моменти боғловчи формулани келтириб чиқариши мумкин. Агар O ва C нуқталар орасидаги масофани d деб белгиласак, бу формула қўйидагича ёзилади

$$J_0 = J_C + Ad^2 \quad (\text{A.16})$$

А.05 масала

А.14 расмда келтирилган юзанинг марказий z ўқига нисбатан инерция моменти I_z ни аниқланг (А.14 расм).



А.14 -расм

Ечиш

Аввал шакл юзасининг оғирлик маркази аниқланади. Берилган шакл юзаси учун оғирлик маркази А.02 масалада аниқланг. Шакл юзаси А ни иккита тўғри тўртбурчакли A_1 ва A_2 юзага

ажратиб, ҳар бир юза учун z ўқига нисбатан инерция моментларини ҳисоблаймиз. A шакл юзаисининг инерция моменти қуйидагича бўлади

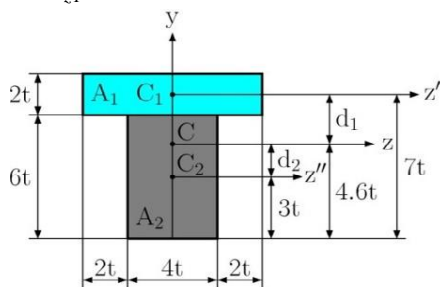
$$I_z = I_{z_1} + I_{z_2}.$$

Бу ерда I_{z_1} A_1 юзанинг z ўқига нисбатан инерция моменти I_{z_1} инерция моменти параллел ўқлар теоремасига қўра қуйидагича аниқланади

$$I_{z_1} = \bar{I}_{z_1} + A_1 d_1^2 = \frac{1}{12} b_1 h_1^3 + b_1 h_1 d_1^2.$$

$$I_{z_1} = \frac{1}{12} \times 8tx(2t)^3 + 8tx2tx(7t - 4.6t)^2$$

$$I_{z_1} = 97.5t^4$$



А.15 -расм

Ҳудди шундай A_2 юзанинг z ўқига нисбатан инерция моментини аниқлаймиз

$$I_{z_2} = \bar{I}_{z_2} + A_2 d_2^2 = \frac{1}{12} b_2 h_2^3 + b_2 h_2 d_2^2.$$

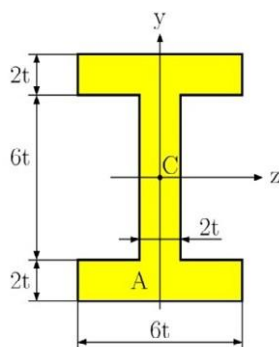
$$I_{z_2} = \frac{1}{12} \times 4tx(6t)^3 + 4tx6tx(4.6t - 3t)^2$$

$$I_{z_2} = 133.4t^4$$

У ҳолда $A.14$ расмда кўрсатилган юзанинг z ўқига нисбатан инерция момент қуйидагича бўлади

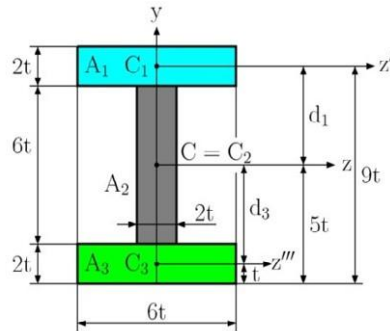
$$I_z = I_{z_1} + I_{z_2} = 97.5t^4 + 133.4t^4 = 230.9t^4$$

А.06 масала



А.16 -расм

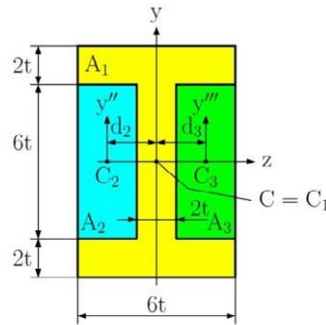
А.14 расмда кўрсатилган юзанинг марказий z ўқига нисбатан инерция моменти I_z , ҳамда шу юзанинг марказий y ўқига нисбатан инерция моменти I_y ни аниқланг



А.17-расм

Ечиш

Авал юзанинг оғирлик марказини аниқлаймиз. Шаклнинг юзаси иккита марказий ўққа эга, шунинг учун оғирлик маркази марказий ўқларнинг кесилишган нуқтасида бўлади



А.18-расм

А юзани учта тўғри тўртбурчакли A_1 , A_2 ва A_3 юзаларга ажратамиз. Биринчи усулда ажратилган юзани кўриниши А.17 расмда, иккинчи усулда А.18 расмда кўрсатилган. Ажратилган А юзанинг (А.17 расм) инерция моменти I_z қуйидагича аниқланади.

$$I_z = I_{z1} + I_{z2} + I_{z3},$$

Бу ерда

$$I_{z1} = \bar{I}_{z'} + A_1 d_1^2 = \frac{1}{12} b_1 h_1^3 + b_1 h_1 d_1^2 = \dots = 196t^4,$$

$$I_{z2} = \bar{I}_z + A_2 d_2^2 = \frac{1}{12} b_2 h_2^3 + b_2 h_2 d_2^2 = \dots = 36t^4,$$

$$I_{z3} = \bar{I}_{z'''} + A_3 d_3^2 = \frac{1}{12} b_3 h_3^3 + b_3 h_3 d_3^2 = \dots = 196t^4,$$

У ҳолда қуйидаги натижани оламиз

$$I_z = I_{z1} + I_{z2} + I_{z3} = 196t^4 + 36t^4 + 196t^4 = 428t^4$$

Инерция моменти I_z ни аниқлаймиз

$$I_y = I_{y1} + I_{y2} + I_{y3}$$

Бу ерда

$$I_{y1} = \bar{I}_y = \frac{1}{12} h_1 b_1^3 = \frac{1}{12} \times 2t \times (6t)^3 = 36t^4,$$

$$I_{y_2} = \bar{I}_y = \frac{1}{12} h_2 b_2^3 = \frac{1}{12} x 6tx(2t)^3 = 4t^4,$$

$$I_{y_3} = \bar{I}_y = \frac{1}{12} h_3 b_3^3 = \frac{1}{12} x 2tx(6t)^3 = 36t^4.$$

натихжада

$$I_y = I_{y_1} + I_{y_2} + I_{y_3} = 36t^4 + 4t + 36t^4 = 76t^4.$$

А. 18 расмда кўрсатилган юза учун I_z инерция моменти қуйидагича аниқланади

$$I_z = I_{z_1} - I_{z_2} - I_{z_3},$$

Бу ерда

$$I_{z_1} = \bar{I}_z = \frac{1}{12} b_1 b_1^3 = \frac{1}{12} x 6tx(10t)^3 = 500t^4,$$

$$I_{z_2} = \bar{I}_z = \frac{1}{12} b_2 b_2^3 = \frac{1}{12} x 2tx(6t)^3 = 36t^4,$$

$$I_{z_3} = \bar{I}_z = \frac{1}{12} b_3 b_3^3 = \frac{1}{12} x 2tx(6t)^3 = 36t^4.$$

натихжада

$$I_z = I_{z_1} - I_{z_2} - I_{z_3} = 36t^4 - 36t^4 = 428t^4.$$

Энди I_y инерция моментини аниқлаймиз

$$I_y = I_{y_1} - I_{y_2} - I_{y_3},$$

Бу ерда

$$I_{y_1} = \bar{I}_y = \frac{1}{12} h_1 b_1^3 = \frac{1}{12} x 10tx(6t)^3 = 180t^4.$$

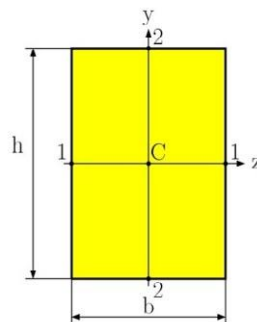
$$I_{y_2} = \bar{I}_y = \frac{1}{12} h_2 b_2^3 + h_2 b_2^2 = \frac{1}{12} x 6tx(2t)^3 = 6tx2t(2t)^2 = 52t^4,$$

$$I_{y_3} = \bar{I}_y = \frac{1}{12} h_3 b_3^3 + h_3 b_3 d_3^2 = \frac{1}{12} x 6tx(2t)^3 + 6tx2tx(2t)^2 = 52t^4.$$

Натихжада

$$I_y = \bar{I}_{y_1} - \bar{I}_{y_2} - \bar{I}_{y_3} = 180t^4 - 52t^4 - 52t^4 = 76t^4$$

А.07 масала.



А.19-расм

Кўндаланг кесим тўғри тўртбурчакли вални бураллини $b > h$ хол учун кўраимиз (С.П.Тимошенко, Н.Гудъер)

$$J = \gamma b^3 h, \quad (A.17)$$

$$S_1 = \alpha b^2 h, \quad (A.18)$$

$$S_2 = \beta b h^2, \quad (A.19)$$

Бу ерда d , β ва γ параметрлар А.1 жадвалда берилган.
1 ва 2 нуқталардаги уринма кучланишлар қуйидагича аниқланади.

$$\tau_1 = \tau_{\max} = \frac{T}{S_1}, \quad \tau_2 = \frac{T}{S_2}, \quad (A.20)$$

Бу ерда T қўйилган буровчи момент

А.1 жадвал

h/b	1	1.2	1.5	2	3	5	10	>10
α	0.208	0.219	0.231	0.246	0.267	0.291	0.313	1/3
J	0.208	0.196	0.180	0.155	0.118	0.078	0.042	0
y	0.1404	0.166	0.196	0.229	0.263	0.291	0.313	1/3

$$I_{y'z'} = \int_A y' z' dA = \int_A (z + m) dA = \int_A yz dA + \int_A mndA + \int_A ymdA = \int_A nzdA.$$

С нуқта оғирлик марказида бўлгани учун сўнгги икки интеграл нолга тенг, шунинг учун (А.20b) формула келиб чиқади³.

Назорат учун саволлар

1. Кесимнинг энг кичик инерция моменти қайси ўқларга нисбан бўлади?
2. Параллел ўқлар орасидаги масофа ортиб борганда инерция моментлари қандай қонуниятлар билан ўзгаради.?
3. Бош инерция ўқлари деб қандай ўқларга айтилади?
4. Бош ўқлар сони нечта ва улар қандай хусусиятга эга?
5. Симметрик кесимларнинг бош ўқлар қандай йўналган бўлади?

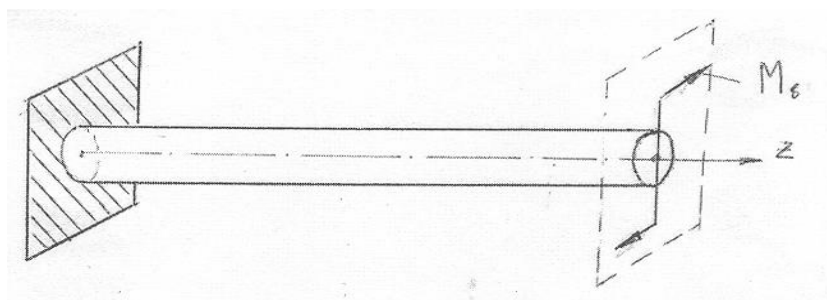
³ Roland Janco, Branislav Hucko. Introduction to Mechanics of Materials-Slovak. Part I. 2013. Pages 141-151.

3–Маъруза машғулот
Буралишда кучланиш ва деформация.
Режа

1. Буралиш деформацияси.
2. Ички кучларни аниқлаш.

3.1 Буралиш деформацияси. Ички кучларни аниқлаш

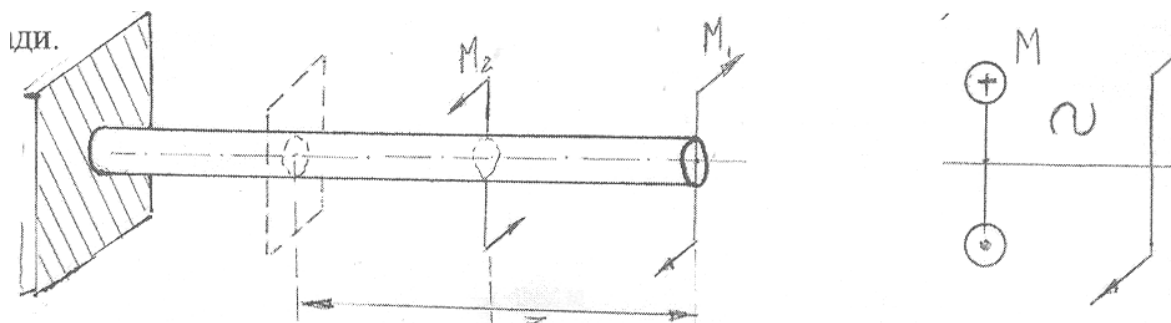
Цилиндрилик стержен бир учи маҳкамланиб, иккинчи учининг кўндаланг кесимига жуфт куч таъсир эттирилса, стержен буралади; унинг кўндаланг кесимлари маҳкамланган кесимга нисбатан айланади. (40-расм). Таъсир эттирилган жуфт куч моменти буровчи момент бўлади ва M_6 билан белгиланади.



3.1-расм

Брус кесимидаги буровчи момент деб шу кесимдан бир томонда таъсир этувчи моментларнинг алгебрик йиғиндисига айланди. Техникада, машинасозликда буралишга ишлайдиган элементларни вал деб аталади. Вални мустаҳкамликка, бикирликка ҳисоблаш учун унинг узунлиги давомида буровчи моментларнинг ўзгариб бориши қонуниятини билиш зарур. Бу қонуниятнинг график тасвирини буровчи моментлар эпюраси деб аталади.

Буровчи моментларнинг эпюраларини қуришда ишора қоида­сига амал қилинади.



3.2–расм

Техникада ташқи ва буровчи моментларни белгилашда (3.2-расм,а) махсус белгилардан фойдаланилади: бу ерда (•) белги-стрелка учини, ⊕ -стрелка охи­рини кўрсатади. “к” кесим томондан қараганда момент соат стрелка­сига тескари йўлланган бўлса, мусбат, қарши йўналган бўлса манфий деб қабул қилинган. Кесимдаги номаълум буровчи момент дастлаб мусбат йўналишда белгилаб олинади. Буровчи моментни аниқлаш учун валнинг қўри­лаётган қисми учун мувозанат тенглама тузилади (3.2-расм,а).

$$\sum_{momz} = M_{\sigma} - M_2 + M_1 = 0, \quad M_{\sigma} = M_2 - M_1$$

Валнинг маълум кесимларидаги буровчи момент қийматларини шу усулда аниқланади ва буровчи моментлар эпюраси қурилади. Масалан, а-расмдаги вал учун буровчи моментлар эпюраси (б қаерда расм)да тасвирланган график кўринишида бўлади.

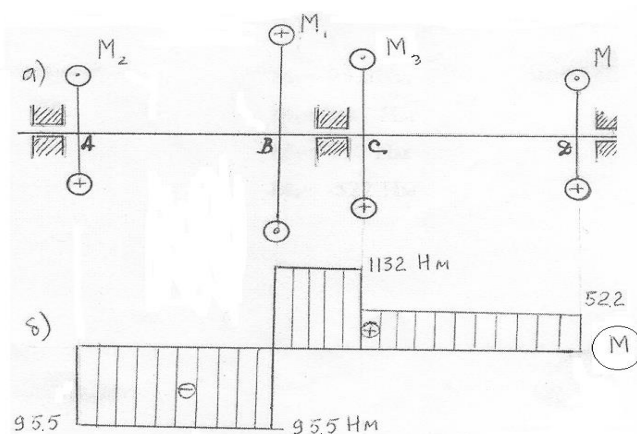
(Нм)

$$M_1=208,7$$

$$M_2=95,5$$

$$M_3=61,0$$

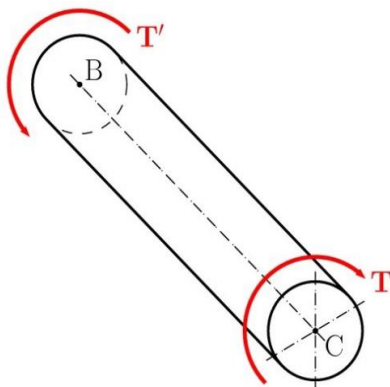
$$M_4=-52,2$$



3.3-расм

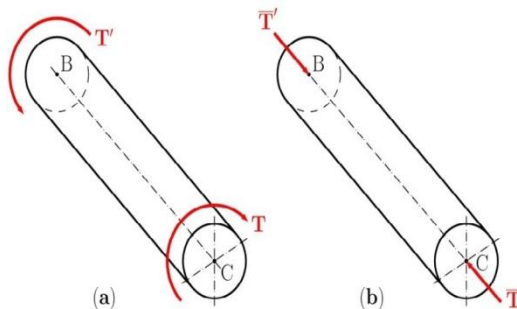
Буровчи момент энг катта қийматга эришган кесимни валнинг хавфли кесими деб аталади. Юқорида тасвирланган вал учун **BC** оралиқдаги барча кесимлар хавфли кесим, чунки бу оралиқдаги буровчи момент максимал қийматга эга.

3. Буралаш



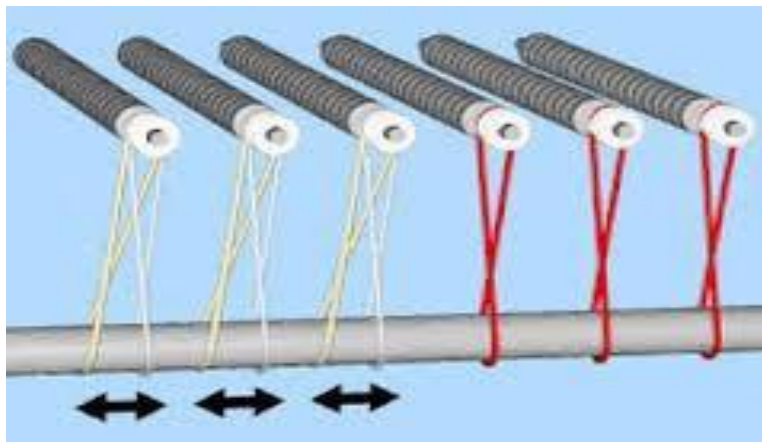
3.1. расм. Буралаш ҳолатидаги брус

Авалги бобда бруснинг ўқ бўйлаб йўналган куч билан юкланган ҳолатини кўриб чиқилди ва шу ҳолда кучланиш ва деформациялар таҳлил қилинди. Эндиликда T ва T_1 жуфт кучлар ёки моментлар қўйилган брус кучланиш ва деформация ҳолатини кўриб чиқамиз. 3.1 расм. Моментлар бир-бирига тенг ва қарама-қарши йўналган бўлиб стрелкали ёйлар ёки қарама-қарши йўналган векторлар кўринишида қўйилади. 3.2 расм.



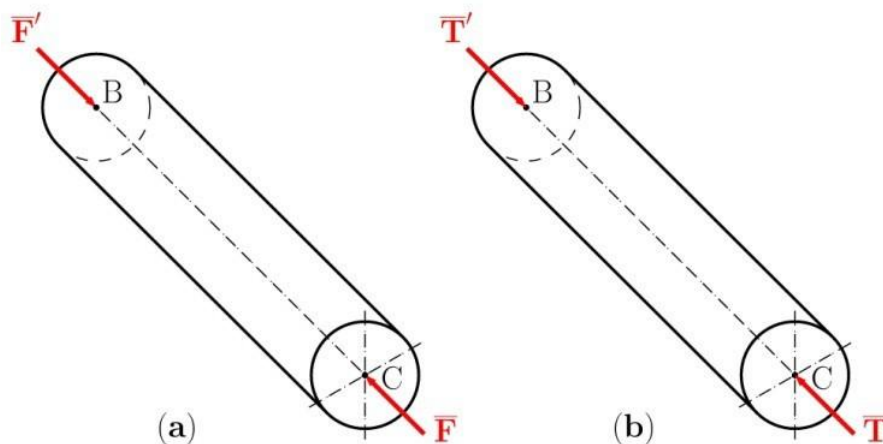
1.2 расм. Буровчи моментларнинг берилиш турлари

Буралиши жуда кўп муҳандислик масалаларида учрайди. Буралишга ишлайдиган валлар энергияни бир нуқтадан бошқасига узайишига ишлайди. Валлар автомобил ва энергетика соҳаларида муҳим ўрин тутади 3.3 расмда валларга мисоллар келтирилган.



3.3 расм. Узатувчи валлар

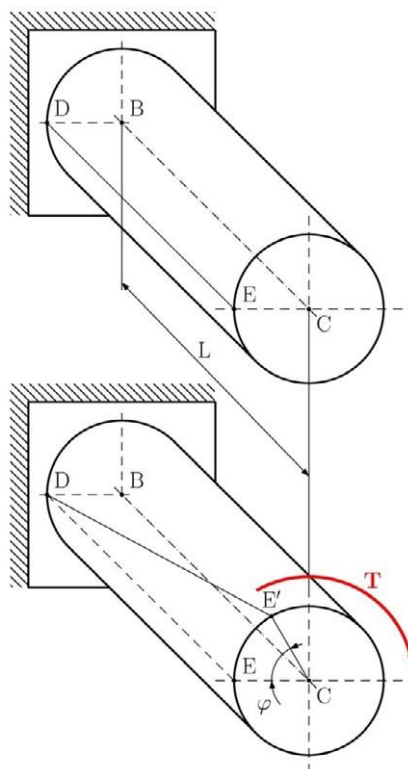
Марказий қўйилган юк билан буровчи куч орасида ўхшашлик мавжуд. Ҳар 2 та–марказий қўйилган куч F ва буровчи момент стержен ўқи бўйлаб қўйилади. 3.4расмга қаранг. Деформацияга ҳисоблашда шу параллеликка аҳамият берилади.



3.4 расм Параллелизм

Бу бобда буралиши масалаларига 2 хил ёндашув кўриб чиқилган. Дастлаб кўндаланг кеиси доира шаклдаги кўндаланг кесимга эга стерженларнинг буралиши, сўнг доира шаклига эга бўлмаган валларнинг буралиши кўриб ўтирган.

3.2 Доиравий валларнинг деформацияси

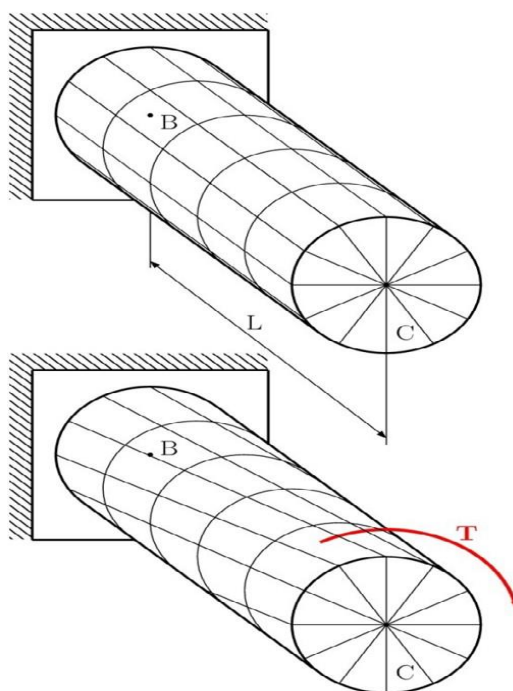


3.5 расм

В нуқтада маҳкамланган, иккинчи учи озод бўлган доиравий вални кўриб чиқамиз. 3.5 расм. Валнинг узунлиги L , доиравий кўндаланг кесим юзаси A га тенг. Агар T момент C нуқтага қўйилган бўлса (валнинг озод учи), вал буралади, яъни валнинг озод учи вал ўқи атрофида φ буралиш бурчагига буралади ва вал ўқи куч таъсирида тўғри чизиқли шаклини сақлайди.

Валга юк қўйишдан аввал унинг цилиндрик юзасига квадрат тўр, диаметрал юзасига ўзаро тенг чизиқлар чизилган. (3.6 расм) Юк қўйилгандан кейин 5° дан кам бўлган буралиш бурчагига шакл ўзгаришини кузатиш мумкин. 3.6 б расм.

1. Цилиндр юзасидаги чизиқлар бир хил φ бурчакка буралган.
2. Фроктал кесим бошлангич текисликда қолади, шунингдек ҳар бир доира шакли ҳам ўзгармайди.
3. Олдинги юзадаги диаметрлар тўғри шаклини сақлайди.
4. Концентрик айланалар орасидаги масофа ўзгарайди.



3.6 расм

Экспериментал кузатишлар натижасида қуйидаги гипотезалар тасдиқланади:

1. Барча кўндаланг кесимлар деформациядан кейин ўқ текисликда қолади.
2. Барча кесимлар диаметрлари тўғри чизиқли шаклини сақлайди.
3. Иқтиёрий кесимлар орасидаги масофа ўзгаришсиз қолади.

Юқоридаги гипотезалар ўқ бўйлаб деформациясиз ҳолда олинган. Изотрон материал учун ўринли⁴

$$\varepsilon_x = 0 \Rightarrow \varepsilon_y = \varepsilon_z = 0 \quad (3.1)$$

3.2 Вал кесимларидаги кучланиш ва деформациясини аниқлаш.

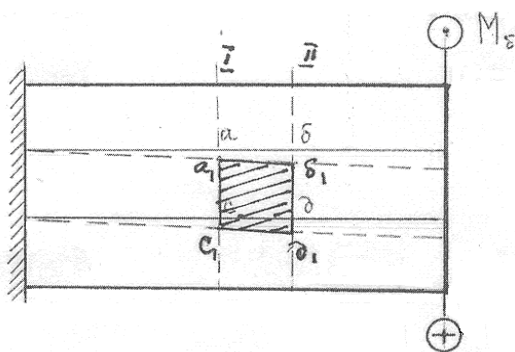
Буралиш деформациясини ўрганиш, унинг назарий асосларини яратиш учун жуда кўп тажрибалар ўтказилган 3.4 – расмда мазкур тажрибалардан кичик бир лавҳа келтирилган. Расмда валнинг буралиши натижасида унинг сиртига чизилган квадрат ромб шаклини қабул қиляпти. Квадратнинг **ac** ва **bd** томони **ac** томонга нисбаттан силжияпти ва ҳ.к.

Хуллас, жами тажрибалардан олинган натижаларни умумлаштирганда қуйидаги хулосалар – буралиши назариясининг иш гипотезаларини ҳосил қилинади.

Валнинг буралиши давомида:

1. Иккита кўндаланг кесим орасидаги масофа ўзгармайди;
2. Вал кўндаланг кесимининг радиуслари тўғри чизиқли шаклини сақлайди;
3. Деформация давомида текис кўндаланг кесимлар текислигича қолади, фақат ўзаро маълум бурчакка бурилади.

⁴ Roland Janco, Branislav Hucko. Introduction to Mechanics of Materials-Slovak. Part I. 2013. Pages 86-90.



3.4- расм

Валнинг I ва II кўндаланг кесимлари орасида соф силжиш деформацияси содир бўлаётганлиги кўриниб турибди, демак валнинг кўндаланг кесимларида фақат уринма кучланишлар ҳосил бўлади.

Вал кўндаланг кесимининг исталган нуқтасидаги уринма кучланиш:

$$\tau = \frac{M_{\sigma} \cdot \rho}{J_p} \quad (3.1)$$

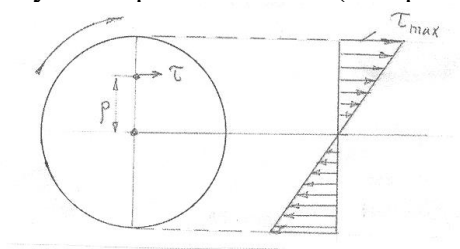
формула билан аниқланади.

Бу формулада:

M_{σ} - буровчи моментнинг кучланиши аниқланаётган кесимдаги қиймати:

ρ - кучланиш аниқланаётган нуқтадан вал кўндаланг кесими марказигача бўлган масофа

J_p - кўндаланг кесим юзининг кутб инерция моменти (3.5- расм).



3.5 –расм

Алоҳида кесим учун $\frac{M_{\sigma}}{J_p} = const$ бўлганлиги учун кучланиш фақат ρ га боғлиқ бўлади.

$$\left. \begin{aligned} \rho = 0 \text{ да } \tau &= 0 \\ \rho = \rho_{\max} = \frac{d}{2} \text{ да } \tau_{\max} &= \frac{M_{\sigma} \cdot \rho_{\max}}{J_p} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Демак валнинг радиуси бўйича уринма кучланиш чизикли қонуният билан ўзгариб боради, энг катта қийматга вал кесимнинг четки нуқталарида эришади. (45 – расм)

(3.2) формулада $W_p = \frac{J_p}{\rho_{\max}}$, белги киритиб қўйидаги:

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\sigma}}{W_p} \quad (3.3)$$

кўринишда ёзиш мумкин. Бу ерда W_p ни вал кўндаланг кесимининг кутб қаршилиқ моменти деб аталади.

Доиравий кўндаланг кесим учун $W_p = \frac{J_p}{\rho_{\max}} = \frac{\pi d^3}{32} : \frac{\pi d^3}{16}$ ҳалқасимон кесим учун

$$W_p = \frac{\pi D^3}{16} (1 - C^3), \quad C = \frac{d}{D};$$

d – ҳалқанинг ички; D – ташқи диаметрлари.

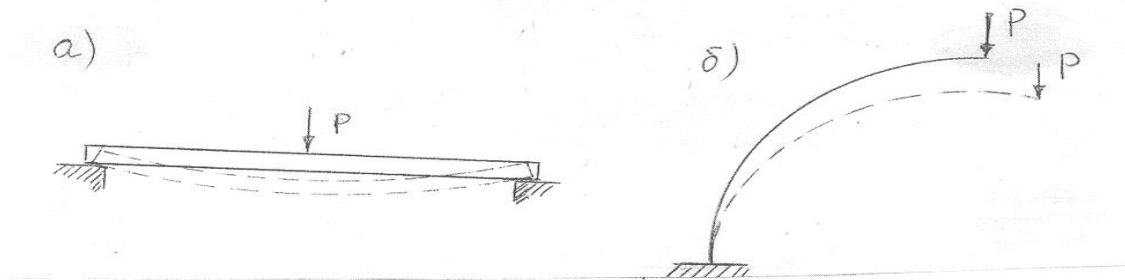
4–Маъруза машғулоти Тўғри стерженнинг текис эгилиши.

Режа

1. Эгилиш тўғрисида умумий тушунчалар.
2. Балка кесимларидаги зўриқиш кучларини аниқлаш.
3. Эгувчи момент $M_{(x)}$ кўндаланг куч $Q_{(x)}$ ва тарқалган куч интенсивлиги $q(x)$ орасидаги дифференциал муносабатлар.

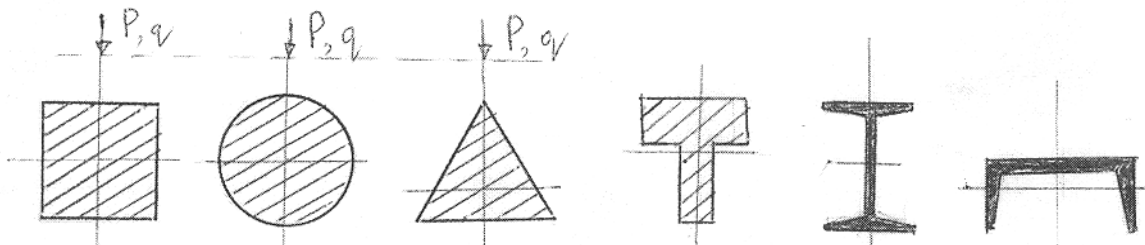
4.1 Эгилиш тўғрисида умумий тушунчалар.

Бруснинг ўқидан утувчи текисликда ётувчи тўпланган ёки жуфт кучлар таъсирида брус ўқи эгилади. Бруснинг тўғри чизикли ўқи эгри чизик кўринишини қабул қилади, эгри брусларнинг эса эгрилиги ўзгаради (4.1-расм).



4.1-расм

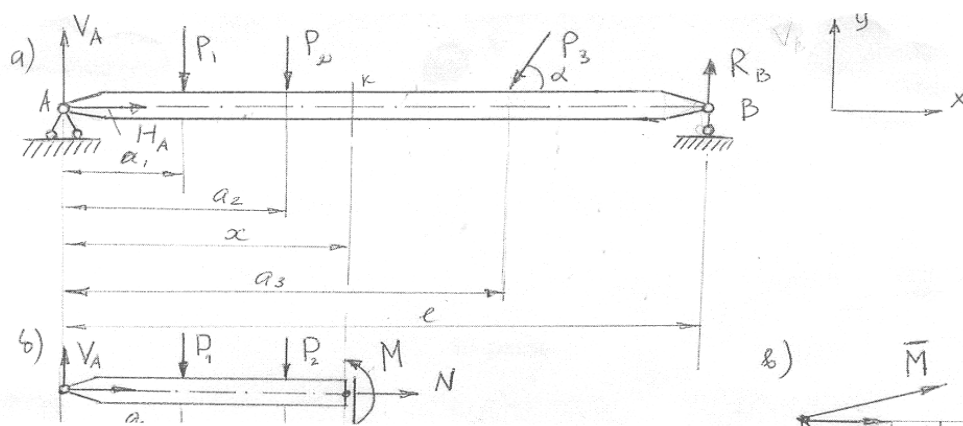
Эгилишга қаршилиқ кўрсатадиган брусларни балка деб аталади. Балкага қўйилган юклар унинг симметрия текислигида ётса, бундай эгилишга текис эгилиш деб аталади. Кўп ишлатиладиган балкалар симметрия ўқли бўлгани учун текис эгилиш энг кўп учрайдиган ҳолдир (4.1- расм).



4.2-расм

4.2 Балка кесимларидаги зўриқиш кучларини аниқлаш.

Балканинг мустаҳкамликка ва бикрлик бўлган масалаларни ечиш учун аввал балканинг кўндаланг кесимларида қандай куч омиллари ҳосил бўлиши ва уларни аниқлаш усулларини кўриб чиқиш керак бўлади. Курснинг бошида «Ички кучларни аниқлаш» мавзусида брус кесимларида ҳосил бўладиган ички кучлар тўғрисида, ҳамда эгилиш деформациясида балка кесимидаги зўриқишлар, ички куч омиллари – эгувчи момент «М» ва кўндаланг куч «Q» дан иборат эканлиги тўғрисида тушунчалар берилган. Энди мазкур ичкикучларни аниқлаш усулини батафсил кўриб чиқамиз.



4.3 – расм

4.3-расмда тасвирланган, кучлар, масофалар қийматлари берилган балка учун таянч реакциялар V_A , H_A , V_B ни маълум деб фаразкиламиз, чунки уларни статиканинг мувозанат тенгламаларидан аниқлаш қийин эмас. Балканинг исталган кесимидаги ички кучларни аниқлаш учун мазмуни қўйидагидан иборат кесим усулидан фойдаланамиз. Балканинг мазкур кесимидан бир томонини, масалан чап томондаги қисмини олиб қолиб, ўнг томондаги қисмини ташлаб юборамиз (4.3-расм,б)

Олиб қолинган қисмининг кесимига ташлаб юборилган қисмининг таъсирини алмаштирувчи кучларни қўямиз, бу кучлар шу кесимдаги зўриқиш кучларига эквивалент бўлади.

Текис система учун зўриқиш кучлари энг умумий ҳолда бош вектор R билан ва бош момент M дан иборат бўлади.

M ни эгувчи момент деб аталади. Бош вектор R нинг вертикал ва горизонтал ўқларга бўлган проекцияларини мос равишда Q - кўндаланг куч, N - бўйлама кучлар деб атаймиз.

Бу кучларни аниқлаш учун балканинг қолдирилган қисми учун мувозанат тенгламаларини тузамиз:

$$\left. \begin{aligned} \sum X &= H_A + N = 0 \quad N = -H_A \\ \sum Y &= -Q + V_A - P_1 - P_2 = 0 \\ Q &= V_A - P_1 - P_2 \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

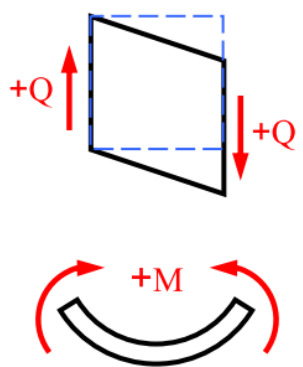
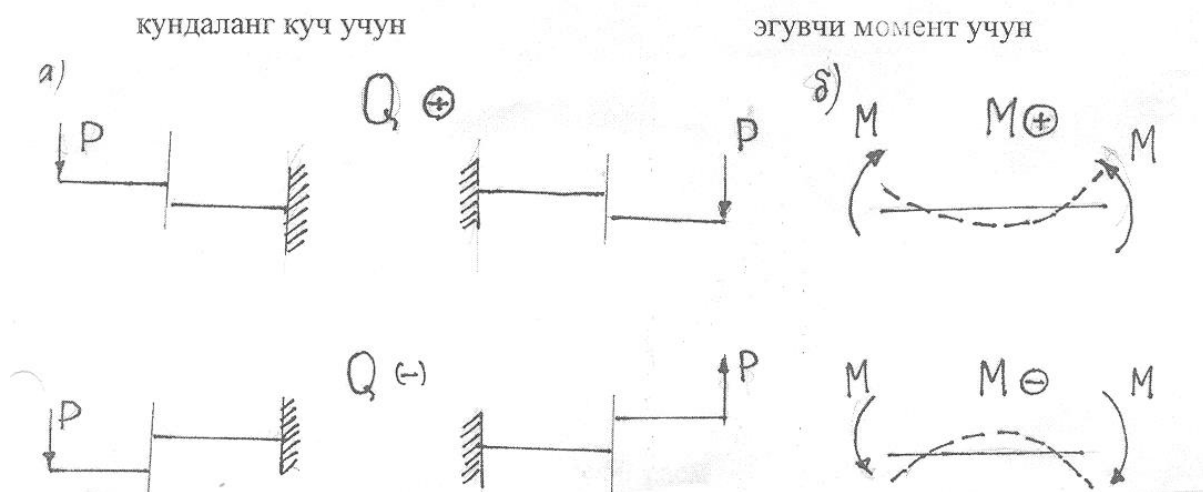
$$\left. \begin{aligned} \sum_{mom} &= -V_A \cdot x + P_1(x - a_1) + P_2(x - a_2) + M = 0 \\ M &= V_A \cdot x - P_1(x - a_1) + P_2(x - a_2) \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Ҳосил қилинган (4.1), (4.2) муносабатлардан қўйидаги хулосалар келиб чиқади. Балканинг кесимидаги бўйлама “ N ” ва кўндаланг “ Q ” кучлари деб балканинг қолдирилган кесимидаги барча ташқи кучларни мос равишда балканинг ўқи ва ўқининг перпендикулярига бўлган проекцияларининг йиғиндисига айтилади.

Эгувчи момент “ M ” деб, балканинг қолдирилган қисмига таъсир этаётган барча ташқи кучлардан кесим оғирлик марказга нисбатан олинган моментлар йиғиндисига айтилади.

Умумий ҳолда “ N ”, “ Q ”, “ M ” кесим ҳолати “ χ ” нинг функцияси дан иборат бўлади. Ички кучлардан, балка учун асосан эгувчи момент “ M ” ни энг катта қийматга эришган кесимини хавфли кесим деб аталади.

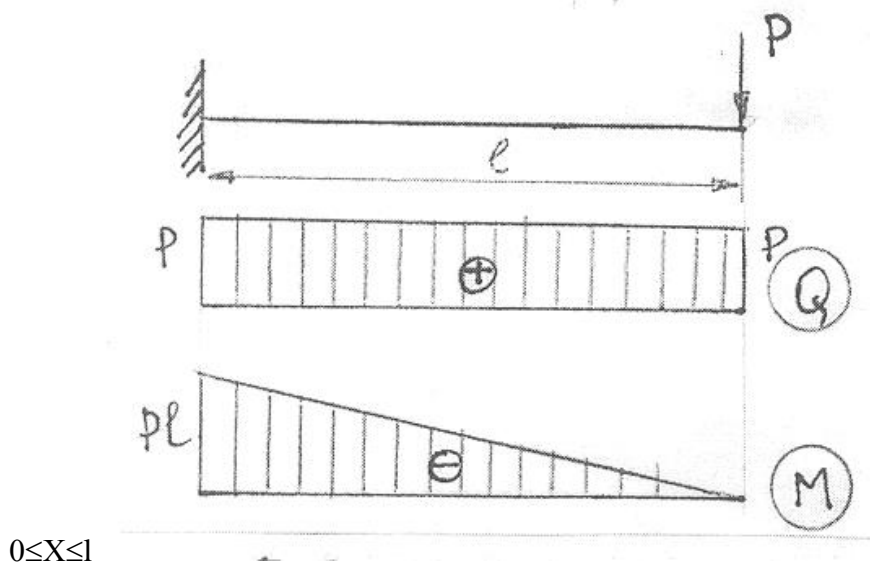
Хавфли кесим ҳолатини “ M ” ва “ Q ” функцияларнинг графикларидан аниқлаш осон. Бундай графикларни мос равишда “ M ” эгувчи момент ва кўндаланг куч “ Q ” эпюралари деб аталади. Эпюраларни қуришда қўйидаги ишора қоидаларга амал қилинади (4.4-расм).



4.4 – расм

Эгувчи момент “М” ва кўндаланг куч “Q” эпюраларини кўриш.

Масала 1. Бундай балка учун “М”, “Q” эпюраларини таянч реакцияларини аниқламасдан кўриш мумкин. Балкада белгиланган кесим учун $Q=P$, $M=-Px$



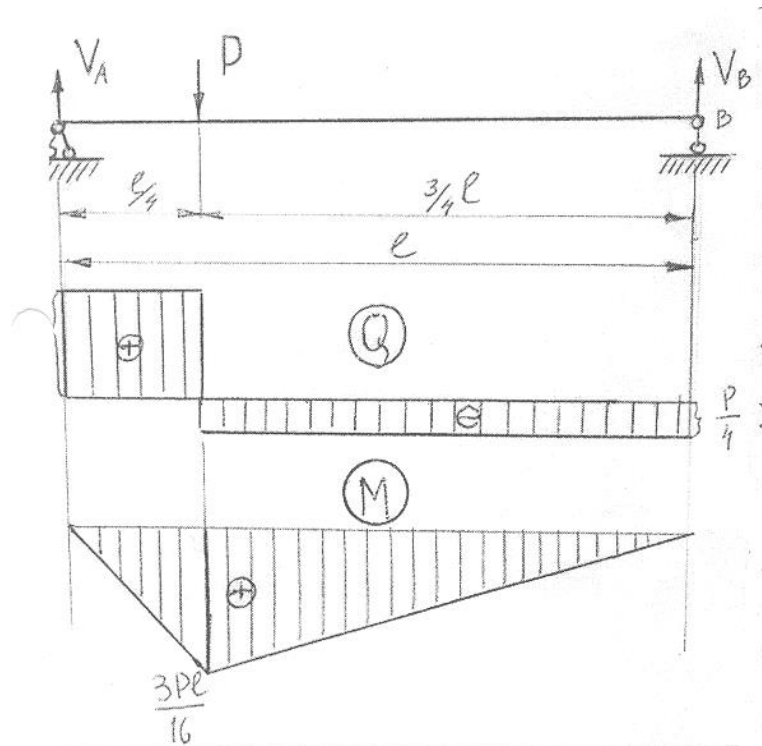
4.5-расм.

$$X=0, M=0$$

$$X=1, M=-Pl$$

“M” нинг мусбат, “Q” нинг манфий эпюралари балка ўқининг тагига, “M” нинг манфий “Q” нинг мусбат эпюралари балка ўқининг Юқорисига қурилади (4.5-расм).

Масала 2. (4.6-расм) Аввал таянч реакциялари аниқланади



4.6 – расм

$$\sum \text{mom}_A = 0 \Rightarrow V_B = \frac{1}{4} P$$

$$\sum \text{mom}_B = 0 \Rightarrow V_A = -\frac{3}{4} P$$

$$\sum X = 0 \Rightarrow H_A = 0$$

“Q” эпюрасини кўриш учун кесим усулини қўлаймиз: 1-кесим

$$0 \leq x_1 \leq \frac{1}{4} \quad M_1 = V_A \cdot x_1 = \frac{P}{4} x_1$$

$$Q_1 = V_A = \frac{3P}{4} = \text{const} \quad x_1 = 0; M_1 = 0$$

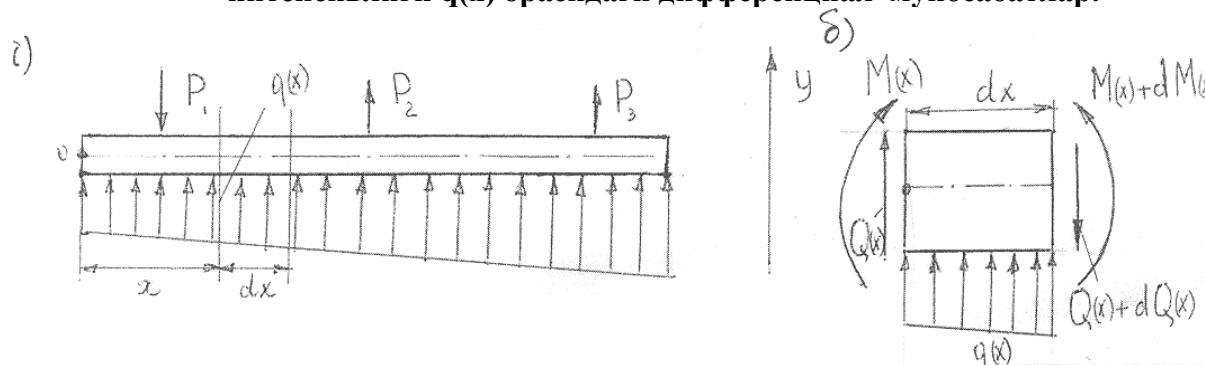
$$x_1 = \frac{1}{4}, \quad M_1 = \frac{3Pl}{16}$$

$$\frac{1}{4} \leq x_2 \leq 1; \quad M_2 \cdot x_2 - P(x_2 - \frac{\ell}{4});$$

2- кесим $Q_2 = V_A - P = -\frac{P}{4} = \text{const}$

$$x_2 = \frac{1}{4}; \quad M_2 = \frac{3Pl}{16}; \quad x_2 = 1; \quad M_2 = 0$$

Эгувчи момент $M(x)$ кўндаланг куч $Q(x)$ ва тарқалган куч интенсивлиги $q(x)$ орасидаги дифференциал муносабатлар.



4.7– расм

Балкадан ажратиб олинган чексиз кичик элементни (4.7-рсм,б) мувозанат шартларини очиб чиқамиз.

$$\sum Y = Q(x) - Q(x) - dQ(x) + q(x)dx = 0$$

бу тенгламадан $q(x) = \frac{dQ(x)}{dx}$ (4.3) муносабатни ҳосил қиламиз.

Элементга таъсир этаётган кучлардан исталган нуқтага нисбатан момент тузиб:

$$Q(x) = \frac{dM(x)}{dx} \quad (4.2)$$

тенгликни ҳосил қиламиз. (4.2) ни (4.3) га олиб бориб қўйсақ:

$$q(x) = \frac{d^2 M(x)}{dx^2} \quad (4.4)$$

келиб чиқади.

Шундай қилиб, бакага таъсир этувчи ташкил этувчи куч $q(x)$, балка кесимларидаги ички кучлар $M(x)$, $Q(x)$ ўртасида (4.2), (4.3) кўринишдаги дифференциал муносабатлар мавжуд экан.

Бу муносабатлардан “M”, “Q” эпюраларининг тўғрилигини текширишда ва баъзи назарий ва амалий ҳисобларни ечишда фойдаланилади.

Назорат учун саволлар

1. Эгувчи момент эпюраси нима учун қурилади?
2. Балканинг хавфли кесими деб қандай кесимга айтилади?
3. Балка кесимининг нейтрал ўқи қандай хусусиятга эга?
4. Энг рационал кесимлар қандай шаклга эга бўлади?
5. Нейтрал ўқ кесимнинг қандай нуқтасида ўтади?

5–Маъруза машғулоти

Эгилишда балка кўндаланг кесимидаги нормал кучланишларни аниқлаш.

Режа

1. Балка кесимидаги нормал кучланишларни аниқлаш.
2. Балканинг нормал кучланишларга нисбатан мустаҳкамлик шартлари.

5.1 Эгилишда нормал кучланишларни аниқлаш.

Эгилиш деформациясининг асосини ташкил этувчи қонуниятлар ва иш гипотезалари мазкур деформациясига оид ўтказилган кўплаб экспериментларнинг хулосалари асосида ҳосил қилинган. Улар қўйидагича таърифланади:

- а) Балканинг текис кўндаланг кесимлари деформация давомида текисликгача қолади;
- б) Бўйлама толалар ёки қатламлар орасида ўзаро босим ҳосил бўлмайди;
- в) Балка кесимининг эни бўйлаб (йўналишда) кучланишлар қиймати доимий қолади;
- г) Балканинг эгилишда узунлиги ўзгармайдиган толаларни нейтрал толалар, мазкур толалардан ўтувчи сиртни нейтрал қатлам деб аталади.

Нейтрал қатлам балкани икки қисмига – чўзиловчи ва сиқилувчи қисмларга ажратади. Балка кўндаланг кесимининг нейтрал қатлам билан кесишиши чизиғини балка кўндаланг кесимининг нейтрал ўқи деб аталади.

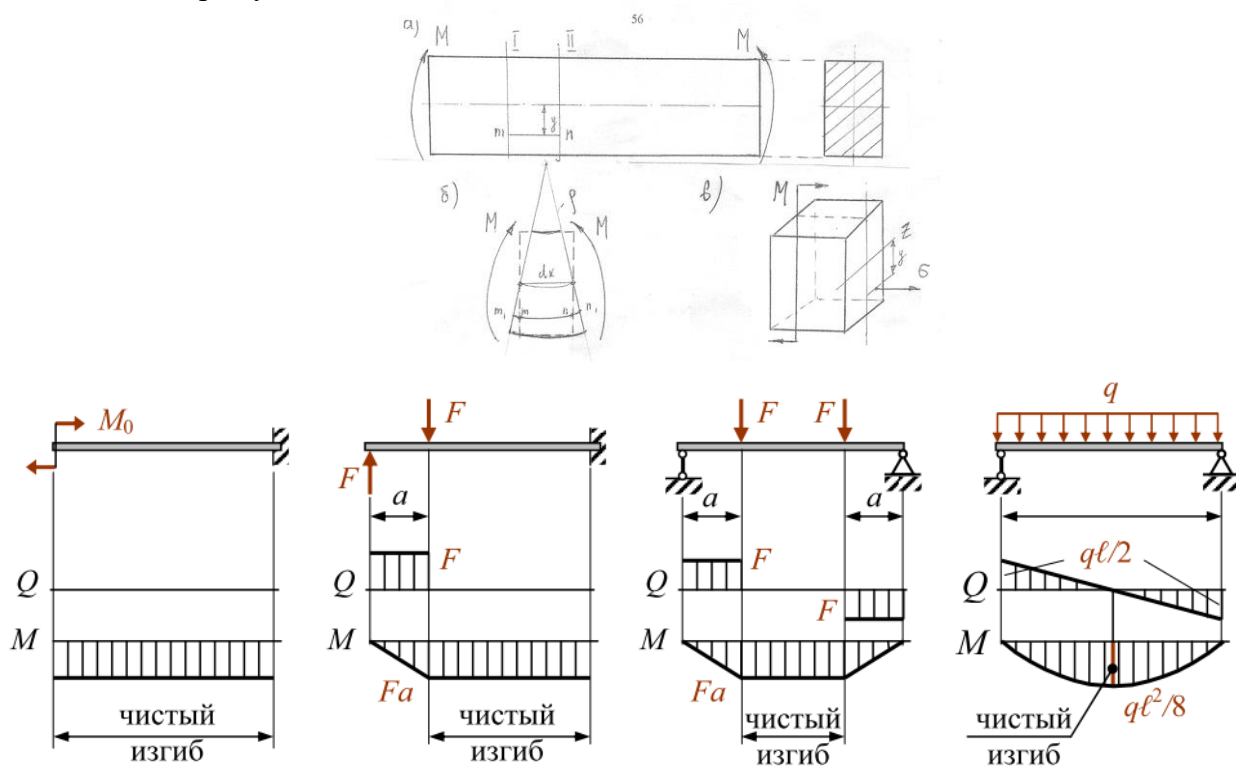


Рис. 7.4. Схемы нагружения, при которых в сечениях возникает чистый изгиб

5.1-расм

Соф эгилишга ишлаётган балканинг (5.1-расм,а) (I), (II) кесимлар орасидаги кесимнинг (5.1-расм,б) деформацияланиш натижасида m толанинг нисбий деформациясини (узайишини) аниқлаймиз.

$$\varepsilon = \frac{\gamma}{\rho}$$

Тола чўзилишга ишлаётгани учун бу толадаги нормал кучланиш Гук қонунига асосан:

$$\sigma = E \frac{\gamma}{\rho} \quad (5.1)$$

га тенг бўлади. Бу кучланиш формуласидан фойдаланиб бўлмайди, чунки балка эгилган ўқнинг эгрилик радиуси номаълум. Бу формуладан фойдаланиш учун уни қулай кўринишга келтираемиз. Балканинг текширилаётган элементи учун статиканинг мувозанат тенгламаларига, масалан:

$$\sum_{(F)} mom_2 = M - \int \sigma \cdot y df = 0 \quad (5.2)$$

(5.1) ни олиб келиб қўямиз.

$M - \frac{E}{\rho} \int y^2 df = 0$, аммо $\int_F y^2 df = J_z$ эканлиги бизга маълум. У ҳолда бу тенгламадан

$$M = \frac{EJ_z}{\rho} \text{ ёки } \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ} \quad (5.3)$$

ни ҳосил қиламиз. Энди (5.3) ни (5.1) га олиб бориб қўямиз:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{J_z} \quad (5.4)$$

Мазкур формула (5.4) асосида балка кесимининг исталган нуқтасидаги нормал кучланишлар аниқланади.

Алоҳида кесимда $\frac{M}{J_z} = const.$

Демак кучланишлар “у” фақат боғлиқ бўлади.

$$-h_2 \leq y \leq h_2 = Y_{max}$$

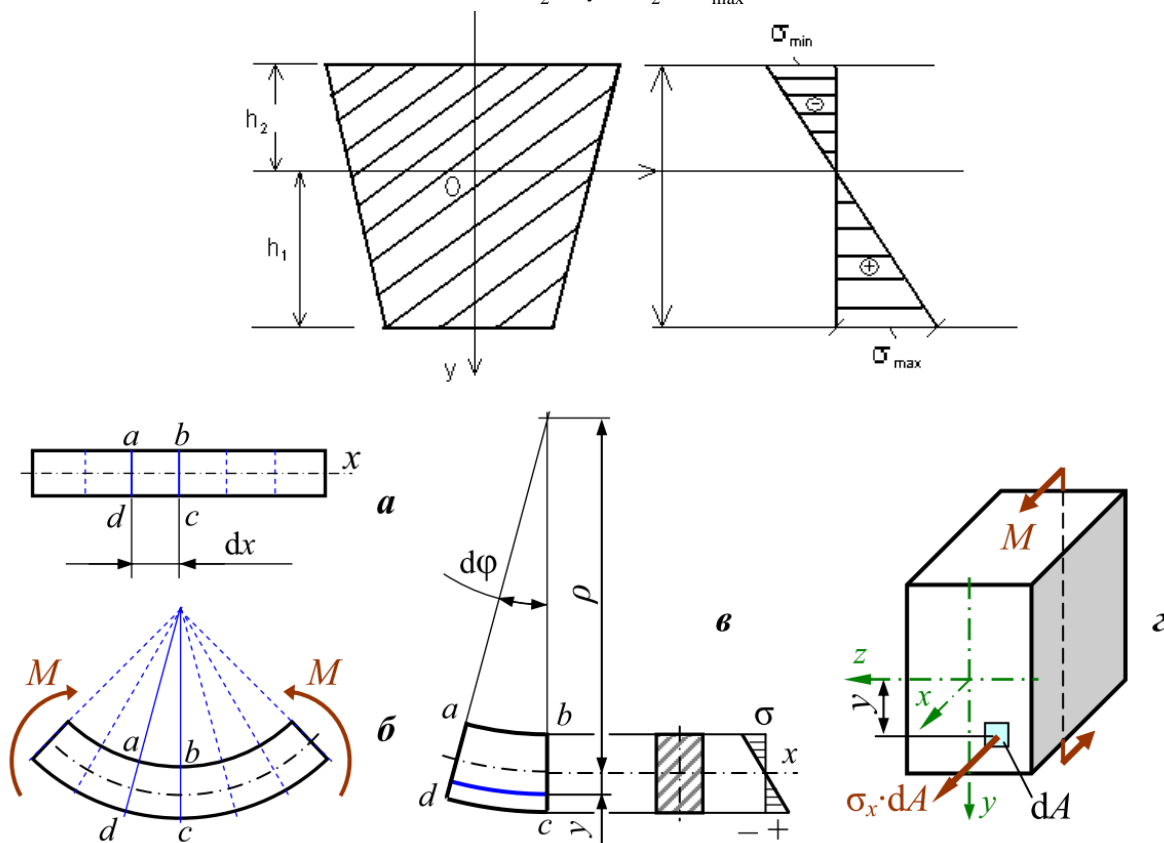


Рис. 7.5. Схемы к определению связи внутренних усилий с напряжениями: а – брус до деформации; б – брус в деформированном состоянии; в – элемент $abcd$ в деформированном состоянии; з – внутренние усилия в сечении

5.2- расм

$$\begin{aligned}
 y = -h_2, \quad \sigma_{\min} &= -\frac{M \cdot h_2}{J_z} \\
 y = 0, \quad \sigma &= 0 \\
 y = h, \quad \sigma = \sigma_{\max} &= \frac{M \cdot Y_{\max}}{J_z}
 \end{aligned}
 \tag{5.5}$$

Нормал кучланишлар кесим баландлиги бўйича чизикли қонун билан ўзгариб боради; натурал ўқда нолга тенг бўлиб, нейтрал ўқдан энг узоқ нуқталарда энг катта қийматга эришади.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{J_z / Y_{\max}} = \frac{M_{\max}}{W_z}
 \tag{5.6}$$

W_z – балка кўндаланг кесимининг нейтрал ўққа нисбатан қаршилик моменти.

5.2 Балкани нормал кучланишлар бўйича мустаҳкамлик шarti.

Балка кесимидаги нормал кучланишлар эгувчи моментга бевосита боғлиқ бўлгани учун, балканинг хавфли кесимидаги нормал кучланиш

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z}
 \tag{5.7}$$

га тенг бўлади. Балка мустаҳкам бўлиши учун

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} \leq [\sigma]
 \tag{5.8}$$

шарт бажарилиши керак. Бу ерда $[\sigma]$ - балка материали учун рухсат этилган кучланиш.

Бу муносабатни балканинг нормал кучланишлар бўйича мустаҳкамлик шarti деб аталади. Мазкур формула асосида кўйидаги амалий масалалар ечилади:

1. Кесим танлаш. Бунда балкага қўйилган ташқи куч, балканинг таянчлари оралиғи, балка кесимининг шакли, балканинг материали маълум бўлади. (5.8) формуладан кўндаланг кесимнинг қаршилик моменти аниқланади.

$$W_z \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]}
 \tag{5.9}$$

Сўнг кесим юзаси F , ёки прокат профилларнинг (кўштавр, швеллер) номери аниқланади.

2. Балканинг юк кутаришқобилиятини аниқлаш. Бу масалада балкага қўйиладиган ташқи кучдан ташқари бошқа миқдорлар берилган бўлади (5.8) дан

$$M_{\max} \leq [\sigma] \cdot W_z
 \tag{5.10}$$

Бу формуладан балкага қўйилиши мумкин бўлган ташқи кучнинг миқдори $[P]$ ёки $[q]$ аниқланади.

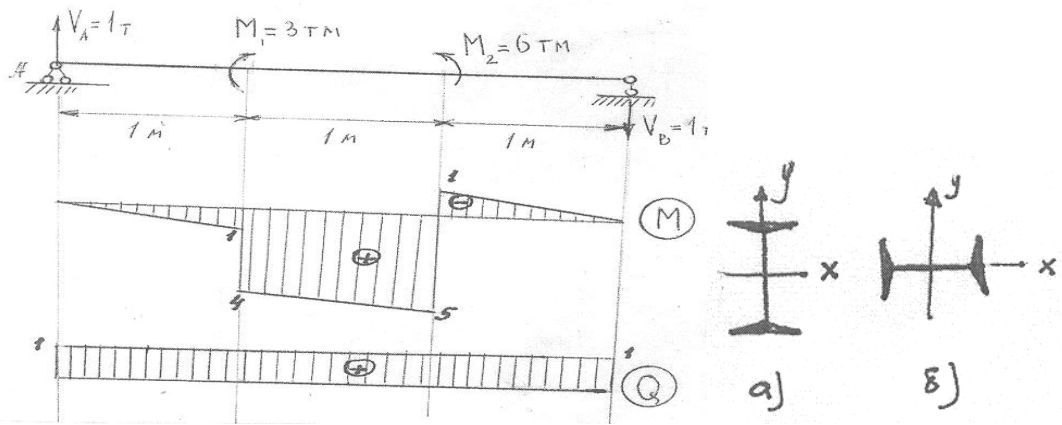
3. Балкани жорий мустаҳкамлигини текшириб кўриш. Бунда (5.8) формуладан қатнашадиган барча миқдорлар маълум бўлади. (5.8) шартнинг бажарилиши текшириб кўрилади.

Масала 1. Кўндаланг кесими 21^a номерли кўштавр балканинг мустаҳкамлиги текшириб кўрилсин. $[\sigma]=1600 \text{ кг/см}^2$ (5.3 расм)

А) жадвалдан: $F=47,7 \text{ см}^2$ $W_x=381 \text{ см}^3$ $W_y=48,4 \text{ см}^3$

Кўйидаги эпюрадан $M_{\max} = 5 \cdot 10^5 \text{ к.г.с.м}$ кўндаланг кесимнинг (а) ҳолати учун

$$\sigma_{\max} = \frac{5 \cdot 10^5}{381} = 1382 < 1600 \text{ кг/см}^2$$



5.3-расм

Демак, бу ҳолат учун мустаҳкамлик шarti бажарилади. Кўндаланг кесим (б) бўлса, $\sigma_{\max} = \frac{5 \cdot 10^5}{48,4} = 10330 \text{ кг/см}^2 \gg 1600 \text{ кг/см}^2$; бу ҳолатида балка мустаҳкам бўла олмайди.

Назорат учун саволлар

1. Балка кесимининг нейтрал ўқи қандай хусусиятга эга?
2. Энг рационал кесимлар қандай шаклга эга бўлади?
3. Нейтрал ўқ кесимнинг қандай нуқтасидан ўтади?
4. Нормал кучланишлар қандай аниқланади?
5. Нормал кучланишлар бўйича мустаҳкамлик шarti?

**Эгилишда уринма кучланишларни аниқлаш.
Балканинг уринма кучланишлар бўйича мустахкамлик шarti.**

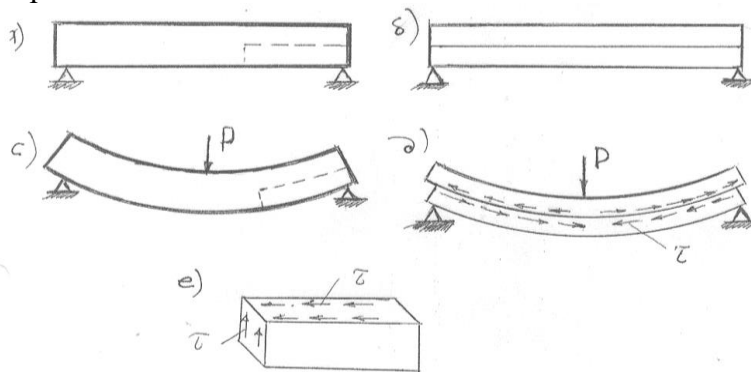
Режа

1. Балканинг кўндаланг эгилиши, умумий тушунчалар.
2. Уринма кучланишларни ҳосил бўлиш омиллари.
3. Уринма кучланишни кесим баландлиги бўйича ўзгариш қонуни.

Эгилиш деформациясида уринма кучларни аниқлаш.

Маълумки умумий ҳолда балка кесимларидаги ички куч омиллари эгувчи момент –“М” ва кўндаланг куч – “Q” дан иборатдир. Эгувчи момент таъсирида балка кўндаланг кесимларида нормал кучланишлар “ σ ” ҳосил бўлиши юқорида кўрилди. Энди кўндаланг куч “Q” таъсирида балка кўндаланг кесимида уринма кучланишлар ҳосил бўлиши ва уларни аниқлаш усулини кўриб чиқамиз.

22.1-расмда бир хил ўлчамга эга бўлган иккита балка тасвирланган: биринчиси (22.1-расм,б) нейтрал қатламга параллел текислик билан қирқилган. 22.1 с) д) расмларда бу балкаларнинг деформацияланиш шакли келтирилган. 22.1 –расмни д) дан балканинг икки қисмлари чегарасида (текисликда) силжиш, ишқаланиш кучлари **пайдо бўлишини** кўрамиз. Бу ҳол яхлит балканинг (22.1 а-расм) ҳам айнан шу текисликларида уринма кучланишлар ҳосил бўлишидан далолат беради.



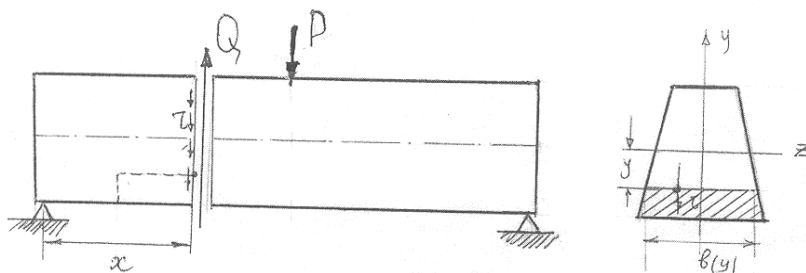
22.1 – расм

Ўзаро тик юзалар учун уринма кучланишларнинг ўзаролик (жуфтлик) принципига асосан балканинг кўндаланг кесимларида ҳам уринма кучланишлар ҳосил бўлади (22.1,е-расм).

Мазкур кучланишларни аниқлашда тажрибаларга асосланган қўйидаги гипотезалар қабул қилинади:

А) Балка кўндаланг кесимидаги уринма кучланишлар “Q” га параллел ва қарама-қарши йўналган;

Б) Балка кўндаланг кесимининг эни йўналишида уринма кучланишлар ўзгармас қийматга эгадир. 22.1-расмда тасвирланган балканинг кичик бир элементини мувозанатини текшириш натижасида балка кўндаланг кесимнинг исталган нуқтасидаги уринма кучланишларни аниқлаш формуласини ҳосил қиламиз.



22.1-расм

$$\tau = \frac{QS_z}{J_z \cdot b(y)} \quad (22.1)$$

бу формуладан: Q – кучланиш аниқланаётган кесимдаги кўндаланг кучининг қиймати;
 S_z – кўндаланг кесимда штрихланган юзанинг нейтрал ўққа нисбатан статик моменти;
 J_z – кўндаланг кесим юзасининг нейтрал ўққа нисбатан инерция моменти;
 $v(y)$ – кесимнинг кучланиш аниқланаётган нуқта сатхидаги эни.

Урунма кучланишларни кесим баландлиги бўйича ўзгариши қонуниятини тўғри тўртбурчак шаклидаги кесим учун кўриб чиқамиз (22.2-расм).

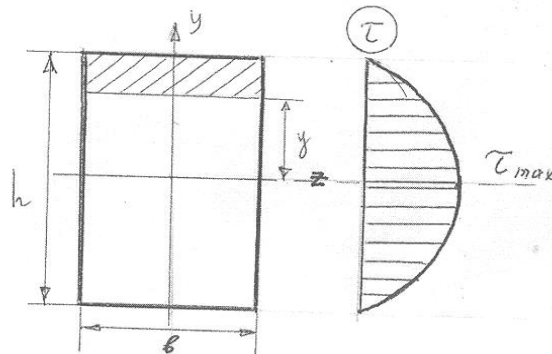
(22.1) формулада $Q(x)=Q$ деб оламиз.

$$J_z = \frac{bh^3}{12}; \quad b(y) = b$$

$$S_r = F^* \cdot y^* = b \left(\frac{h}{2} - y \right) \left(\frac{h}{2} + y \right) \frac{1}{2} = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)$$

Аниқланган қийматларни (22.1) формулага олиб бориб қўямиз.

$$\tau = \frac{Q(x)S_r}{J_z \cdot b(\varphi)} = \frac{6Q}{bh^3} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) \quad (22.2)$$



22.2 – расм

Демак, урунма кучланишлар кесим баландлиги бўйича квадрат парабола қонуниятини билан ўзгариб борар экан. $-\frac{h}{2} \leq y \leq \frac{h}{2}$

$$1) \ y = \pm \frac{h}{2} \quad \text{да} \quad \tau = 0$$

$$2) \ y = 0 \quad \text{да} \quad \tau = \tau_{\max} = \frac{3Q}{2bh}$$

балка кесимнинг нейтрал ўқида ётувчи нуқталарда урунма кучланишлар энг катта қийматга, нейтрал ўқдан энг узоқ ётган нуқталарда эса нолга тенг бўлади. Урунма кучланишлар «т» эпюраси 22.2-расмда келтирилган. Шу усул билан бошқа шаклга эга бўлган кесимларда ҳам урунма кучланишларни аниқлаш мумкин. Масалан кўндаланг кесим доирадан иборат бўлса:

$\tau_{\max} = \frac{4Q}{3F}$ га тенг бўлади. Бу ерда $F = \frac{\pi d^2}{4}$ доиранинг кесим юзи.

22.2 Балка мустаҳкамлигини урунма кучланишларга нисбатан текшириш.

Баъзи материаллар урунма кучланишларга нисбатан заиф (кам) қаршилик кўрсатади. Масалан, ёғоч балка синишдан аввал нейтрал қават текислиги бўйича ёрилади чунки бу қават толаларини орасидаги урунма кучланиш ёғоч материали учун урунма кучланишнинг хавфли қийматига тенглашиб қолган бўлади. Бундай балка урунма кучланишларга нисбатан мустаҳкам (нуқта) бўлиши учун унинг кесимида ҳосил бўладиган энг катта урунма кучланиш балка материали учун рухсат этилган урунма кучланишдан ортиб кетмаслиги керак.

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_{\max}}{J_2 \cdot b} \leq [\tau] \quad (22.3)$$

бу формулани балканинг урунма кучланиш бўйича мустаҳкамлик шарти деб аталади.

Бу ерда Q_{\max} – балкада ҳосил бўлаётган энг катта кўндаланг куч;

S_{\max} – кўндаланг кесимнинг нейтрал ўққа нисбатан бир томондаги юзани мазкур ўққа нисбатан статик моменти;

$[\tau]$ - материал учун рухсат этилган урунма кучланиш.

Назорат учун саволлар

1. Балка кесимидаги урунма кучланишларнинг тенг таъсир этувчиси нимага тенг?
2. Балка кесими баландлиги давомида урунма кучланишлар қандай қонуният билан ўзгаради?
3. Кесимнинг қандай нуқталарида урунма кучланиш ноль, максимум бўлиши мумкин?
4. Статик момент кесимнинг қайси нуқтаси учун энг катта қийматга эга бўлади?

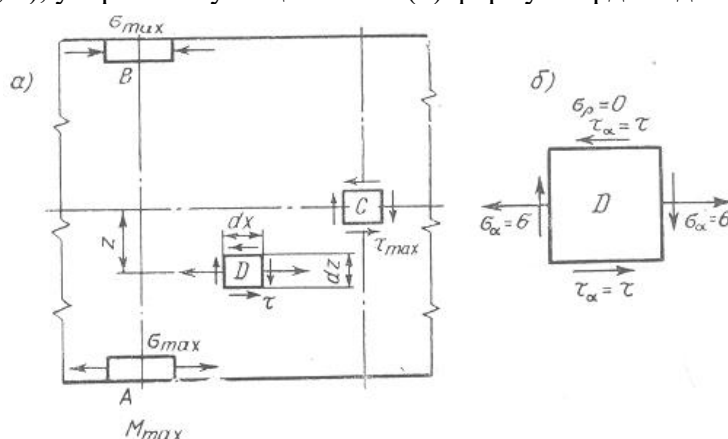
Балканинг мустаҳкамлигини бош кучланишлар бўйича текшириш.

Биз балкаларнинг мустаҳкамлигини нормал ва уринма кучланишлар бўйича ҳисоблаб келдик:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} \leq [\sigma] \quad (a)$$

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_{\max}}{bJ_y} \leq [\tau] \quad (б)$$

Максимал нормал кучланишлар эгувчи момент максимал бўлган кўндаланг кесимдаги нейтрал ўқдан энг узок нуқталарда ҳосил бўлади; бу элементар шаклда А ва В ҳарфлари билан кўрсатилган (23.1-шакл, а), уларнинг мустаҳкамлиги (а) формула ёрдамида текширилади.



23.1 – шакл

Максимал уринма кучланишлар кесувчи куч максимум бўлган кўндаланг кесимларнинг нейтрал ўқидаги нуқтада вужудга келади ва бу нуқтадаги С элемент соф силжиш ҳолатида бўлади. Бу элементнинг мустаҳкамлиги (б) формула ёрдамида текширилади. 1.6-шакл, а да мустаҳкамлиги текширилатган балка ён томонидан кўрсатилган. Унда эгувчи момент максимум бўлган кўндаланг кесимдаги энг катта чўзувчи ва сиқувчи нормал кучланишлар ҳосил бўлган А ва В элементлар билан бир қатор кесувчи куч максимум бўлган кўндаланг кесимдаги соф силжиш ҳолатидаги С элемент кўрсатилган. Бу элементларнинг ҳар бири оддий кучланиш ҳолатида бўлади, бинобарин кўрсатилган элементлар балканинг энг хавфли элементлари деб айтишга ҳеч қандай асос йўқ. Аммо нейтрал ўқдан z масофада турувчи бирор D элемент мураккаб кучланиш ҳолатида бўлади. Шунинг учун бу элементга таъсир қиладиган нормал ва уринма кучланишлар, гарчи баён этилган учта элементга таъсир қиладиган нормал ва уринма кучланишлардан кичик бўлса ҳам, у хавфлироқ ҳолатда бўлиши мумкин, чунки бу элемент икки хил кучланиш, яъни нормал ва уринма кучланишлар таъсиридадир (23.1-шакл, а, б). Бу кучланишларнинг қийматлари (23.1) ва (23.2) формулалар асосида топилади:

$$\sigma_z = \frac{M_x}{J_y} z \quad (6)$$

$$\tau_z = \frac{Q_x S_y^{\text{аж}}}{bJ_y} \quad (2)$$

Бу формулалардаги M_x билан Q_x текширилатган элемент жойлашган кўндаланг кесимдаги эгувчи момент ва кесувчи кучдир. Биз текширилатган D элемент текис кучланиш ҳолатида бўлади. Ҳозир текширилатган конкрет ҳол учун умумий назарияни татбиқ қиламиз.

Бу ҳолда (23.1б-шакл, б) $\sigma_\alpha = \sigma = \frac{M_x \cdot z}{J_y}$, $\sigma_\beta = 0$ бўлади, чунки балканинг нейтрал

қатламига параллел қатламлар бир-бирини босмайди деб фараз қилинади.

$$\tau_\alpha = \tau, \quad \tau_\beta = -\tau; \text{ бундан } \tau_\alpha = \tau = \frac{Q_x S_y^{\text{аж}}}{bJ_y} \text{ эканлиги келиб чиқади.}$$

Балканинг мустаҳкамлик шартини тузиш учун ажратилган элементнинг бош кучланишлари билан бош юзаларини топиш керак. Биз текис кучланиш ҳолатида бўлган элементларнинг бош кучланишларини ва бош юзаларини топишнинг умумий формулаларига юқорида ҳосил бўлган қийматларни қўйиб, бош нормал кучланишлар учун қуйидаги ифодаларни ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{1}{2} \left[\sigma + \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right] \\ \sigma_3 &= \frac{1}{2} \left[\sigma - \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right] \\ \tau_{\frac{\max}{\min}} &= \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \end{aligned} \quad (23.1)$$

Бош юзаларни топиш учун мана бундай формула ҳосил бўлади:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{2\tau}{\sigma} \quad (23.2)$$

(23.1) формуладан балканинг бош юзаларида ҳосил бўладиган бош нормал кучланишларнинг қийматлари, (23.2) формуладан уларнинг йўналишлари аниқланади.

Бош юзалар билан 45° бурчак ҳосил қилган юзаларда максимал уринма кучланишлар ҳосил бўлади:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

бунда σ_1 ва σ_3 ларнинг қийматларини (1.9) формуладан келтириб қўйсақ, қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$\tau_{\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (23.3)$$

Бу формулалардан кўринадикки, бош кучланишлар ҳамда максимал ва минимал уринма кучланишларининг энг катта қийматлари кўндаланг кесимда ҳосил бўладиган нормал ва уринма кучланишларга боғлиқ. Бинобарин уларнинг қийматларини нормал кучланиш σ билан уринма кучланиш τ биргаликда катта қийматларга эришган нукталарни шу билан бирга M_x ва Q_x лар биргаликда энг катта бўлган балка кесимларини излаш керак. Масалан, қўштавр кесимли балка учун бундай нукта унинг пастки ва устки токчалари билан деворни ажратувчи сатҳга тўғри келади.

(б) ва (г) формулалардан кўринадикки, нормал кучланиш - эгувчи моментга ва уринма кучланиш - кесувчи кучга боғлиқдир. Бинобарин балка, узунаси бўйича M билан Q нинг миқдорлари биргаликда ўзининг энг катта ёки унга яқинроқ қийматларига эришган кўндаланг кесимларни излаш керак.

Шундай қилиб, балкаларнинг мустаҳкамлиги бош кучланишлар бўйича қуйидаги икки шарт бажарилган тақдирдагина текширилади:

1. Балканинг бирор кесимида эгувчи момент билан кесувчи куч биргаликда ўзининг энг катта ёки унга яқинроқ қийматига эга бўлиши керак.

2. Балка кесимининг эни унинг устки ва пастки четига яқин ерда масалан, қўштавр каби кесимлардагидек тўсатдан ўзгариши керак.

Балкадаги бош кучланишлар (23.3) формула асосида топилгандан кейин, унинг мустаҳкамлик шarti мустаҳкамлик назарияларидан бири ёрдамида текширилади, масалан III назарияга кўра:

$$\sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma] \quad \text{ёки} \quad \frac{1}{2} \left[\sigma + \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} - \sigma + \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right] \leq [\sigma]$$

бундан қуйидаги келиб чиқади:

$$\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma] \quad (23.4)$$

IV назарияга кўра:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma] \quad (23.5)$$

бўлади. Бу формуладаги σ ва τ нинг қийматлари (в) ва (г) формулалардан топилади.

Назорат саволлари

1. Бош кучланишлар нима?
2. Бош юзаларнинг йўналиши қайси формула орқали топилади?
3. Қайси ҳолларда балканинг мустаҳкамлиги бош кучланишлар бўйича текширилади?
4. Балканинг мустаҳкамлиги қайси назарияларга кўра текширилади?

6-MAVZU. Qurilish mexanikasi faniga kirish. Inshootlar hisoblash sxemalari va ularning turlari.

Reja:

1. Qurilish mexanikasi fanining mohiyati, maqsadi va uning vazifalari.
2. Qurilish mexanikasi fanining masalalari.
3. Qurilish mexanikasi fanining qisqacha rivojlanish tarixi.

Tayanch iboralar: inshootlar mustahkamligi, inshootlar bikrligi, inshootlar ustuvorligi, inshootlar statikasi, inshootlar dinamikasi, tashqi yuklar, ichki zo'riqish kuchlari, fanning asosiy vazifalari, qurilish mexanikasi fanining masalalari, qurilish mexanikasi fanining qisqacha rivojlanish tarixi.

1. Qurilish mexanikasi fanining mohiyati, maqsadi va uning vazifalari.

Qurilish mexanikasi muhandislik fanlarining asosi bo'lib, u quruvchi muhandislarga inshoot va uning elementlarini tejamli, mustahkam, chidamli va muqobil shakllarini topib loyihalash va chizishni o'rgatadigan fandır.

Demak, **qurilish mexanikasi inshootlar va konstruksiyalarning mustahkamligi, bikrligi va ustuvorligini hisoblash usullari to'g'risidagi fandır.**

Yangi loyihalananayotgan inshootlarni **mustahkamlikka** hisoblashdan maqsad, ularni tashqi kuchlarga chidamli bo'lishini ta'minlashdan iboratdir.

Inshootlarning tashqi yuklar ta'siridan hosil bo'ladigan katta ko'chishlarining oldini olish va har xil tebranishlar ta'siriga chidamliligini oshirish hamda ulardan mo'tadil foydalanishini ta'minlash maqsadida **bikrlikka** hisoblanadi.

Ustuvorlikka hisoblash deganda, inshootlarni tashqi yuklar ta'sirida deformatsiyalangandan keyingi muvozanat holatini saqlash tushuniladi.

Inshootlarni tashqi yuklarga hisoblashda qurilish mexanikasi fani matematika, fizika, nazariy mexanika, materiallar qarshiligi va elastiklik nazariyasi fanlariga tayangan holda ish ko'radi. Qurilish mexanikasini puxta o'zlashtirishni o'z oldiga maqsad qilib qo'ygan talaba yuqoridagi fanlarni chuqur o'zlashtirishi lozim.

Qurilish mexanikasi fani inshootga ta'sir etuvchi yuklarning xarakteriga qarab ikkiga bo'linadi: **inshootlar statikasi va inshootlar dinamikasi.**

Inshootlar statikasida inshootga ta'sir qiluvchi kuchlar asta-sekinlik bilan, ya'ni statik qo'yilgan deb qaraladi. Inshootlar dinamikasida esa tashqi yuklarni dinamik kuch deb qarab (qiymati va yo'nalishi o'zgarib turuvchi kuch), vaqtga bog'lab o'rganiladi.

Inshootlar va ularning konstruksiyalarini hisoblashda har qanday muhandis ikkita omilni: inshootga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlarni va uning ta'siridan inshoot va uning elementlarida hosil bo'ladigan ichki zo'riqishlarni aniqlashni bilishi muhim rol o'ynaydi.

Inshootga tashqaridan ta'sir qiluvchi kuchlar (tashqi yuklar)ga quyidagilar kiradi: **inshootning o'z og'irligi, asbob - uskunalar va odamlarning og'irliklari, atmosfera kuchlarining ta'siri** va boshqalar.

Ichki zo'riqish kuchlari bizga materiallar qarshiligi fanidan ma'lum bo'lib, ular uch turga bo'linadi. Inshootning egilishga qarshilik ko'rsatuvchi ichki zo'riqish kuchini **eguvchi moment (M_x)**, kesilishga qarshilik ko'rsatuvchi ichki zo'riqish kuchini **kesuvchi yoki ko'ndalang kuch (Q_x)**, cho'zilish va siqilishga qarshilik ko'rsatuvchi ichki zo'riqish kuchlarini esa **bo'yalama kuchlar (N_x)** deb belgilaymiz. Xalqaro SI o'lchovlar sistemasida eguvchi momentning birligi kN·m da, ko'ndalang va bo'yalama kuchlarning birligi esa kN larda o'lchanadi.

Demak, **qurilish mexanikasining asosiy vazifalaridan biri – inshootlarda tashqi yuklardan hosil bo'ladigan ichki zo'riqish kuchlari (M_x , Q_x , N_x)ni aniqlashdan iboratdir. Inshoot va uning elementlarida tashqi yuklar ta'siridan hosil bo'ladigan salqilik, ko'chish, chekli kuch miqdorini aniqlash, tebranish amplitudalari va vaqtini aniqlash kabi masalalar ham qurilish mexanikasining vazifalariga kiradi.**

2. Qurilish mexanikasi fanining masalalari.

Keng ma'noda qurilish mexanikasi quyidagi fanlarni o'z ichiga oladi: ***nazariy mexanika, materiallar qarshiligi, elastiklik nazariyasi, plastiklik nazariyasi, polzuchest (sirg'alish) nazariyasi.*** Tor ma'noda qurilish mexanikasi, ***sterjenli sistemalarning qurilish mexanikasi, plastina va qobiqlar qurilish mexanikasi*** kabi fanlarni o'z ichiga oladi.

Materiallar qarshiligi asosan inshoot qismlari yoki elementlarining taqribiy hisoblari bilan shug'ullanadi. **Qurilish mexanikasi** (tor ma'noda) materiallar qarshiligidan farqli ravishda inshootlarning (qismlar va elementlar majmuasi) taqribiy hisoblari bilan shug'ullanadi. **Elastiklik nazariyasida** esa yuqoridagidan farqli o'laroq, masalalar qat'iy va aniq echilishi talab etiladi. Shuning uchun bu erda ancha murakkab matematik apparatdan foydalanishga to'g'ri keladi. Shuni e'tiborga olish lozimki, bu fanlar orasida aniq chegara o'tkazish qiyin.

Plastiklik nazariyasi plastik hamda elastigu plastik jismlar deformatsiyasi va kuchlanishlari orasidagi munosabatlarni o'rganishga bag'ishlanadi.

Polzuchest (sirg'alish) nazariyasi jismlarning vaqt o'tishi bilan deformatsiyalanishi yoki o'zgarmas deformatsiya holatida vaqtga bog'liq holda kuchlanishning o'zgarishi muammolarini o'rganishga bag'ishlangan.

Hozirgi vaqtda qurilish mexanikasining yangi zamonaviy yo'nalishi shakllandi – bu **chekli elementlar nazariyasi** deb ataladi. Bu nazariyadan foydalanib, qurilish mexanikasining barcha masalalari shaxsiy EHM yordamida echilishi mumkin.

Bundan tashqari, qurilish mexanikasi tajribalarga asoslanib rivojlanuvchi nazariy fandir. Nazariyaga asoslanib erishilgan har bir natija tajribada tasdiqlanmaguncha amaliyotga qo'llanilmaydi.

Yuqorida ta'kidlab o'tganimizdek, ***qurilish mexanikasining barcha masalalari ikkiga bo'linadi, ya'ni: statik masalalarda vaqt hisobga olinmagan holda o'rganilsa, dinamik masalalarda vaqt va inshootlarda hosil bo'ladigan vaqtning hosilasi sifatida qaraladigan inersiya kuchlari hisobga olib qaraladi.***

Statik va dinamik masalalar, o'z navbatida, bir o'lchamli, yassi va fazoviy masalalarga bo'linadi. ***Bir o'lchamli masalalarda noma'lum faktor bitta koordinata***

o'qining funksiyasi orqali qaralsa, yassi masalalarda ikkita koordinata o'qining funksiyasi, fazoviy masalalarda esa uchta koordinata o'qining funksiyasi deb qaraladi. Fazoviy masalalarni yassi elementlarga ajratish orqali, hisoblash ancha osonlashtiriladi.

Qurilish mexanikasi masalalari chiziqli va chiziqsiz masalalarga ham ajratiladi. Chiziqsiz masalalar o'z navbatida geometrik va fizik chiziqsiz masalalarga bo'linadi. *Geometrik chiziqsiz masalalar qurilish konstruksiyalarining elementlarini katta ko'chishlarida va deformatsiyalanishida hosil bo'lib, amaliyotda juda kam uchraydi. Fizik chiziqsiz masalalar konstruksiya elementi materialining ishlashi davomida kuchlanish va deformatsiyani proporsionallik chegarasining buzilishi oqibatida sodir bo'ladi.* Bunday xususiyatga deyarli barcha konstruksiyalar ega bo'ladi. Ko'pincha fizik chiziqsiz masalalarda katta kuchlanishlar sodir bo'lmasa ularni chiziqli masala deb qarash mumkin.

3. Qurilish mexanikasi fanining qisqacha rivojlanish tarixi.

Qurilish mexanikasi fanining dastlabki rivojlanish davrida mustaqil fan bo'lmay, umumiy mexanikaning tarkibiy qismlaridan biri sifatida rivojlangan. Mexanika fanining nazariy asoslari dastlab qadimgi Yunoniston va Misrda paydo bo'lgan. Mexanika so'zini ilmiy atama sifatida fanga birinchi bo'lib kiritgan olim, eramizdan 384-322 yillar ilgari yashab o'tgan Yunonistonlik mashhur faylasuf Aristotel (Arastu) hisoblanadi. Mexanikaning xilma-xil masalalarini hal etishda qadimgi zamon olimlaridan Arximed, Geron, Platon, Ptolomey va boshqalarning xizmatlari benihoya kattadir.

Sharq mamlakatlarida mexanika fani IX asrdan boshlab rivojlana boshladi. Qadimgi Yunon olimlarining asarlarini ijodiy o'rganib, mashhur vatandoshimiz Abu Ali ibn Sino o'zining «Donishnoma» asarida yuklarni ko'taradigan uskunalar haqida fikrlarni aytadi. Al Xorazmiy «Fanlar kaliti» asarida mexanika fani to'g'risida g'oyalarni ilgari suradi. SHarqning mashhur olimlaridan Abu Rayhon Beruniy, Abu Abdulloh al Xorazmiy, Umar Xayyom, Forobiy va boshqalar mexanika fanining rivojlanishida munosib hissa qo'shganlar.

Yurtimizda VII-VIII asrlarda islom dinining kirib kelishi bilan mahobotli masjid, madrasa, minora, maqbaralar qurilishi avj olib ketdi. Shunday qadimiy yodgorliklardan hozirgi kungacha saqlanib kelayotganlaridan biri 1127 yilda muhandis va me'mor Bako tomonidan bunyod etilgan Buxorodagi Minorai Kalon ulkan minora hisoblanadi. Ushbu minoraning balandligi 50 m, asosining diametri 9 m bo'lib, yuqoriga borgan sari ingichkalashib borgan. Hozirgi kun qurilish mexanikasi nuqtai nazari bilan qaraganda, ushbu minoraning shakli siqilishga teng qarshilik ko'rsatuvchi jism sifatida, zilzilabardosh qilib qurilganligidir. Bunday qadimiy me'morchilik obidalarini asrlar osha shu kungacha etib kelishi bobokalon me'mor va ustalarimizning amaliy qurilish mexanikasidan yaxshi xabardor ekanliklarini bildiradi.

Qadimgi Yunon olimlarining asarlarini ijodiy o'rganib, ularni o'z asarlari bilan boyitgan sharq olimlari dunyoda mexanika fanini rivojlanishida ulkan hissa qo'shdilar. Ushbu boy meros turli yullar bilan Yevropaga kirib bordi. Natijada mexanika fanining keyingi rivoji Evropaga ko'chdi.

Evropada uygʻonish davrida Leonard da Vinchi, Kopernik, Galileo Galiley, Nyuton singari mexanikaning buyuk olimlari olamshumul ixtirolari va ilmiy asarlari mexanikaning rivojlanishiga katta hissa qoʻshdilar. Italiyalik mashhur olim Galileo Galileyning (1564-1642) «Ikki yangi fan haqida suhbatlar va matematik isbotlar» asari, materiallar qarshiligi va qurilish mexanikasi fanlari toʻgʻrisida birinchi kitob hisoblanadi. 1678 yilda ingliz olimi Robert Guk (1635-1703) oʻzining mashhur qonuni, yaʼni jismning elastik deformatsiyasi unga taʼsir qiluvchi kuchga toʻgʻri proporsionalligini kashf qildi. Hozirgi zamon qurilish mexanikasining barcha nazariyalari ana shu qonunga asoslanadi.

XVIII asrda sanoatning keng rivojlanishi, XIX asrda temir yoʻllarning, koʻpriklar va yirik sanoat binolarining qurilishi, qurilish mexanikasi fanini yanada rivojlanishiga turtki boʻldi. Ushbu va bundan keyingi davrlarda qurilish mexanikasi fanining rivojlanishiga chet ellik olimlardan Dalamber, Lagranj, Kulon, Lame, Sen-Venan, Eyler, Maksvell, Mor va boshqalar, rus va sovet olimlaridan D. I. Juravskiy, F. S. Yasinskiy, V.G.Shuxov, L.R.Proskuryakov, A.N.Krilov, N.G.Bubnov, B.G.Galyorkin, I.M.Rabinovich, V.Z.Vlasov, K.S.Zavriev, A.F.Smirnov, N.I.Bezuxov, V.V.Bolotin, A.V.Darkov va boshqalarning katta hissa qoʻshdilar.

Qurilish mexanikasi fanini rivojlanishiga oʻzbekistonlik olimlardan akademiklar M.T.Oʻrozboev, X.A.Rahmatullin, V.Q.Qobulov, T.R.Rashidov, T.Sh.Shirinqulov va boshqalar oʻzlarining munosib hissalarini qoʻshdilar. Akademik M.T.Oʻrozboev oʻzbek mexanikalarining otasi hisoblanib, inshootlar seysmik mustahkamligi nazariyasini yaratilishida munosib hissa qoʻshgan va birinchi boʻlib oʻzbek tilida nazariy mexanika va materiallar qarshiligi kurslaridan oʻzbek tilida darslik yaratgan. Akademik X.A.Rahmatullin elastik va elastik-plastik muhitlarda toʻlqin tarqalishini dinamik nazariyalarini yaratib, Moskva Davlat Universiteti talabalariga dars bergan. Oʻzbekistonda kibernetikaning taraqqiyotiga munosib hissa qoʻshgan akademik olim V.Q.Qobulov yaxlit muhitlar mexanikasini algoritmlash, avtomatik boshqaruv sistemasini yaratishda, inshootlarni hisoblashda EHMdan foydalanish sohasida samarali ishlar olib borgan. Akademik T.R.Rashidov er osti inshootlari seysmik mustahkamligi nazariyasini yaratishda ulkan ishlarni amalga oshirgan. Akademik T.Sh.Shirinqulovning zamin va poydevorlar sohasida olib borgan ilmiy tadqiqot ishlari koʻp davlatlarda tan olingan.

Maʼruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Qurilish mexanikasi fani nimani oʻrganadi?
2. Inshootlarni mustahkamlikka hisoblashdan maqsad nima?
3. Inshootlarni bikrikka hisoblashdan maqsad nima?
4. Inshootlarni ustuvorlikka hisoblashdan maqsad nima?
5. Inshootlar statikasi va inshootlar dinamikasi deganda nimani tushunasiz?
6. Qanday tashqi yuklarni va ichki zoʻriqish kuchlarini bilasiz?
7. Qurilish mexanikasining fanining asosiy vazifalari nimalardan iborat?
8. Qurilish mexanikasi fani qanday masalalarni oʻrganadi?
9. Qurilish mexanikasi fanini qisqacha rivojlanish tarixini ayting?
10. Qurilish mexanikasi fanini rivojlanishida hissa qoʻshgan oʻzbek olimlarini ayting?

INSHOOTLAR HISOBLASH SXEMALARI VA ULARNING TURLARI

REJA:

1. Inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash.
2. Inshootlar klassifikatsiyasi.
3. Tayanchlar va ularning turlari

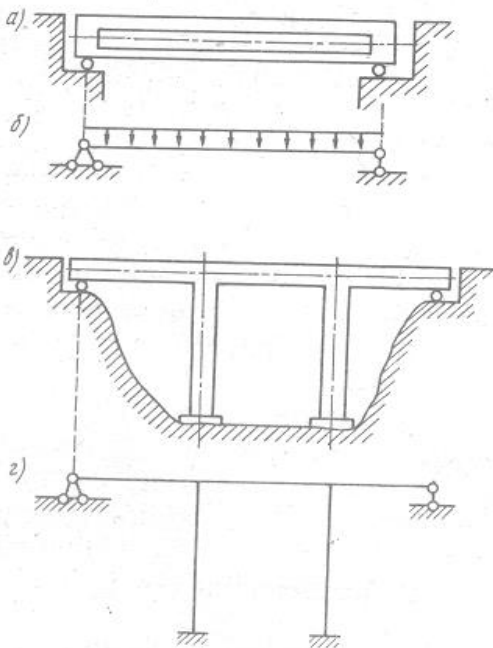
Tayanch iboralar: inshootlarning hisoblash sxemasi, inshootlar hisoblash sxemalarining turlari, sterjen, balka, arka, rama, ferma, ko'p oraliqli balkalar, plastina, plita, qobiq, massiv inshootlar, geometrik o'zgaruvchan sistemalar, geometrik o'zgarmas sistemalar, sharnirli bog'lanishli inshootlar, bikr bog'lanishli inshootlar, kombinatsiyali bog'lanishli inshootlar, yassi va fazoviy sistemalar, havonli va havonsiz sistemalar.

1. Inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash.

Muhandislik inshootlari odatda sterjen, balka, plastina, qobiq va xajmiy jismlar singari turli konstruktiv elementlarni tegishli ravishda o'zaro biriktirish yo'li bilan hosil qilinadi. Demak, yaxlit inshoot alohida elementlardan tashkil topgan murakkab sistema hisoblanadi.

Inshootlarni hisoblaganda, ayrim elementlarning o'lcham va shakllarini, ular orasidagi bog'lanishni aniq hisobga olish nazariy jihatdan yo'lmak, yo o'ta murakkab ishdir. Shuning uchun qurilish mexanikasida boshqa fanlardagi singari ilmiy abstraksiya usulidan foydalanib, mavjud inshoot hisoblash sxema bilan almashtiriladi.

H i s o b l a s h s x e m a s i — inshootning soddalashtirilgan tasviri bo'lib, unda yuk ta'siridagi inshootning asosiy ko'rsatkichlari mujassamlashgan bo'ladi. Hisoblash sxemalarida sterjenlar — o'klar bilan, plastinalar — o'rta sirtlar bilan, ko'ndalang kesimlar — yuza va inersiya momentlarining son qiymatlari bilan, real tayanchlar ideal tayanchlar bilan almashtiriladi; yuklar o'qlarga qo'yilgan deb faraz etiladi va h.k. Inshootlar hisobi ana shunday hisoblash sxemalari orqali amalga oshiriladi.



2.1-rasmda bir oraliqli ko'prik (a) hamda balka deb ataluvchi uning hisoblash sxema (b) tasvirlangan. 2.1-rasm, v-da uch oraliqli ko'prik hamda rama deb ataluvchi uning hisoblash sxemasi (g) berilgan. Yo'l qoplamasining vazni hamda ko'prikning hususiy og'irligi balkaga tekis yoyiq kuch sifatida ta'sir etadi. Balkada tashqi kuchlar va harorat ta'sirida bo'ylama kuchlar hosil bo'lmasligi uchun uning tayanchlaridan biri qo'zg'aluvchan, ikkinchisi qo'zg'almas qilib ishlanadi.

Inshootning hisoblash sxemasini tanlash murakkab, ayni paytda, muhim masalalardan biridir. Hisobning sifati, ya'ni uning aniqligi ko'p jihatdan, hisoblash sxemasining qanday tanlanishiga bog'liq.

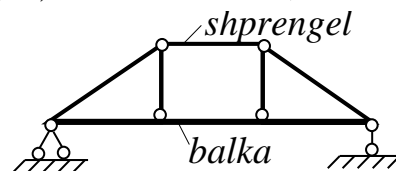
Agar hisob noto'g'ri tanlangan hisoblash sxemasi bo'yicha bajarilgan bo'lsa, u o'ta aniq usullar bilan hisoblangan takdirida ham to'g'ri natija bermaydi.

2. Inshootlar klassifikatsiyasi.

Inshoot elementlarining o'zaro bog'lanishiga ko'ra quyidagicha bo'ladi:

- 1) sharnirli bog'lanishli inshootlar.
- 2) bikr bog'lanishli inshootlar.
- 3) kombinatsiyali bog'lanishli inshootlar.

Sharnirli bog'lanishli inshootlarga **f e r m a l a r** misol bo'lsa (2.3-rasm, d), bikr bog'lanishli inshootlarga **r a m a l a r** kiradi (2.3-rasm, v). Ham sharnirli, ham bikr bog'lanishli birikmalardan tashkil topgan inshootlar **k o m b i n a s i y a l i** bog'lanishli inshootlar deyiladi. Bunday inshootlarga balka va shprengeldan tashkil topgan **sh p r e n g e l l i b a l k a** misol bo'ladi (2.7-rasm).

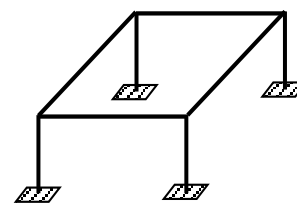


2.7-rasm

IV. Inshoot elementlarining joylashishiga ko'ra yassi va fazoviy sistemalarga bo'linadi.

Inshoot va unga qo'yiladigan yuklar bir tekislikda bo'lsa, bunday inshootlar y a s s i s i s t e m a l a r deyiladi (2.3-rasm, b, v, g, d va e). Agar inshoot elementlari turli tekisliklarda joylashgan bo'lsa, u *f a z o v i y s i s t e m a* deyiladi (2.8-rasm).

Inshootlar tayanch reaksiyalarining yo'nalishiga ko'ra **havonli va havonsiz sistemalarga bo'linadi**. Vertikal yuklar ta'sirida bo'lgan inshootlarning tayanchlarida vertikal va gorizontallik yo'nalishlarda reaksiyalar hosil bo'lsa, u **h a v o n l i s i s t e m a** deyiladi. Masalan 2.3-rasm, g dagi arka havonli sistemaga kiradi. Agarda vertikal yuklar ta'sirida bo'lgan inshootlarning tayanchlarida fakat vertikal yo'nalishlarda reaksiyalar hosil bo'lib, gorizontallik yo'nalishlarda reaksiyalar hosil bulmasa, unga **h a v o n s i z s i s t e m a** deyiladi. Masalan 2.3-rasm, b dagi balka, 2.3-rasm, d dagi ferma va 2.3-rasm, e dagi ko'p oralikli balka, havonsiz sistemalarga kiradi.



Fazoviy ferma

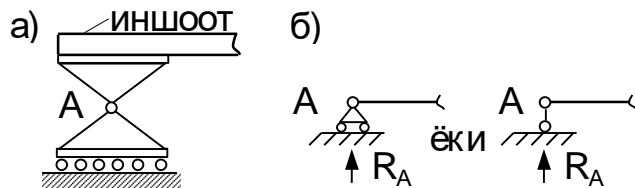
2.8-rasm

3. Tayanchlar va ularning turlari.

Inshootlarni poydevor yoki zamin bilan biriktiruvchi va ularning ko'chishini cheklovchi qurilmalar tayanchlar deb ataladi.

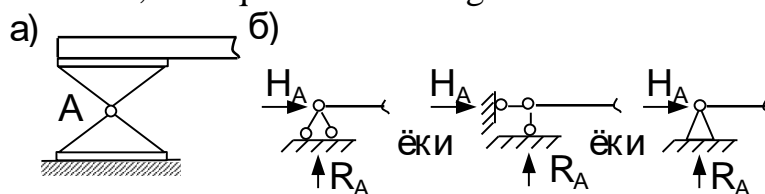
Inshoot tayanchlar asosan quyidagi turlarga bo'linadi:

1. **Sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch.** Bu tayanchning konstruksiyasi 2.9-rasm, a da tasvirlangan. Uning sodda tasviri yoki hisoblash sxemai 2.9-rasm, b da ko'rsatilgan. Bunday tayanchga biriktirilgan inshoot A sharnir atrofida aylanadi va gorizontall ko'chishi mumkin. U faqat inshootning vertikal ko'chishiga qarshilik ko'rsatadi. Demak ushbu tayanch inshootni bitta erkinlik darajasini cheklaydi. SHu sababli bu tayanchda inshootning faqat vertikal ko'chishiga 2.9-rasm qarshilik ko'rsatadigan vertikal yo'nalish bo'yicha reaksiya kuchi R_A hosil bo'ladi (2.9-rasm, b).



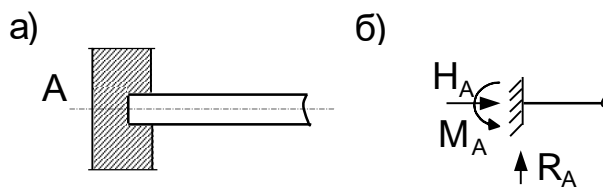
2. **Sharnirli qo'zg'almas tayanch.** 2.10-rasm, a da bu tayanchning konstruksiyasi va 2.10-rasm, b da uning hisoblash sxemai ko'rsatilgan. Bunday tayanchda inshoot A sharnir atrofida aylana oladi, biroq vertikal va gorizontall ko'chishlari cheklangandir.

Natijada tayanchda vertikal tayanch reaksiyasi R_A va gorizontall tayanch reaksiyasi H_A vujudga keladi. Demak, ushbu tayanch inshootni ikkita erkinlik darajasini cheklaydi.



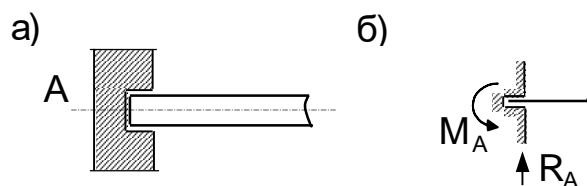
2.10-rasm

3. **Qistirib mahkamlangan yoki bikr tayanch** (2.11-rasm, a). Bunday tayanchga inshoot qistirib mahkamlangan bo'ladi. Bu tayanch inshootning buralishiga, vertikal va gorizontall ko'chishiga qarshilik ko'rsatganligi sababli, unda vertikal reaksiya kuchi R_A , gorizontall reaksiya kuchi H_A va reaktiv moment M_A lar hosil bo'ladi (2.11-rasm, b). Demak ushbu tayanch inshootni uchta erkinlik darajasini cheklaydi.



2.11-rasm

4. **Qistirib mahkamlangan qo'zg'aluvchan tayanch.** Inshootda tashqi yuklar va temperatura ta'siridan bo'ylama zo'riqishlar hosil bo'lmasligini ta'minlash uchun tayanchlardan biri qo'zg'aluvchan qilib tayyorlanadi. 2.12-rasm, a da bunday tayanchning konstruksiyasi, 2.12-rasm, b da uning hisoblash sxemai ko'rsatilgan. Bunday tayanchlar inshootning vertikal va burchakli ko'chishini cheklaganligi sababli, ularda vertikal reaksiya kuchi R_A va reaktiv moment M_A vujudga keladi. Demak ushbu tayanch inshootni ikkita erkinlik darajasini cheklaydi.



2.12-rasm

Yuqorida qaralgan tayanchlarning ichida eng mustahkami biki tayanch hisoblanadi. Chunki, ushbu tayanch inshootni uchta erkinlik darajasini cheklab, uchta ko'chishini cheklaydi. Shu sababli qurilish amaliyotida asosan qistirib mahkamlangan yoki biki tayanchlar qo'llaniladi.

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Inshootlarning hisoblash sxemai deb nimaga aytiladi?
2. Inshootlarning hisoblash sxemai qanday turlarga bo'linadi?
3. Sterjen deb nimaga aytiladi?
4. Balka deb nimaga aytiladi?
5. Rama deb nimaga aytiladi?
6. Ferma deb nimaga aytiladi?
7. Ko'p oraliqli balka deb nimaga aytiladi?
8. Plita deb nimaga aytiladi?
9. Qobiq deb nimaga aytiladi?
10. Massiv inshootlar deb nimaga aytiladi?
11. Inshootlar kinematik belgisiga ko'ra qanday inshootlarga bo'linadi?
12. Inshoot elementlarining joylashishiga ko'ra qanday inshootlarga bo'linadi?
13. Inshoot tayanch reaksiyalarining yunalishiga ko'ra qanday inshootlarga bo'linadi?
14. Inshoot tayanchi deb nimaga aytiladi?
15. Inshoot tayanchlarining turlarini ayting?
16. Sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch inshootni nechta erkinlik darajasini cheklaydi?
17. Sharnirli qo'zg'almas tayanch inshootni nechta erkinlik darajasini cheklaydi?
18. Biki tayanch inshootni nechta erkinlik darajasini cheklaydi?
19. Biki qo'zg'aluvchan tayanch inshootni nechta erkinlik darajasini cheklaydi?
20. Qanday tayanch mustahkam xisobdanadi?

7-MAVZU. INSHOOTLAR HISOBLASH SXEMALARINING KINEMATIK ANALIZI

REJA:

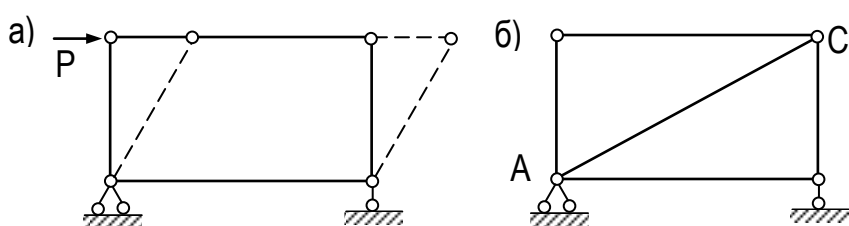
1. Inshootlarni hisoblash sxemalarining geometrik analizi haqida tushuncha.
2. Inshootlarning erkinlik darajasi va ularning statik tahlili.
- 3 Inshootlar hisoblash sxemalari tuzilishining tahlili.

Tayanch iboralar: inshootlarni hisoblash sxemalarining geometrik tahlili, inshootlarni erkinlik darajasi, disk, oddiy va karrali sharnirlar, geometrik o'zgaruvchan va o'zgarmas inshootlar, inshootlarni statik tahlili, inshootlar hisoblash sxemalari tuzilishining tahlili.

1. Inshootlarni hisoblash sxemalarining geometrik tahlili haqida tushuncha.

Qurilishda ishlatiladigan inshootlar tashqi yuklar ta'sirida o'zining shaklini o'zgartirmasligi lozim. Har qanday inshoot geometrik o'zgarmas sistemadan tashkil topgan bo'lsa, dastlabki geometrik shaklini tashqi yuk ta'sirida saqlab turishi mumkin. Geometrik o'zgaruvchan sistemalar qurilishda ishlatilmaydi, chunki bunday sistemalar tashqi yuk ta'sirida o'z shaklini va holatini keskin o'zgartiradi. Geometrik o'zgarmas sistemalar esa o'z shaklini elementlarining deformatsiyalanishi evaziga o'zgartirishi mumkin.

Har bir inshootni hisoblashda oldin uning hisoblash sxemaini geometrik o'zgarmaslik shartlariga binoan kinematik tahlil qilish kerak. Masalan 3.1-rasm, b da tasvirlangan sterjenli sistema geometrik o'zgaruvchandir. Chunki, oz miqdordagi R kuchning ta'siri uning shaklini va holatini o'zgartiradi (3.1-rasm, a).



3.1-pacm

Bu sistemaning geometrik o'zgarmas bo'lishi uchun unga qo'shimcha bog'lanish AC sterjenni kiritamiz. Hosil bo'lgan uchburchakli sistemaning shakli sterjenlari deformatsiyalanganda o'zgaradi, aks holda o'zgarmay turaveradi. SHuning uchun u geometrik o'zgarmas sistema hisoblanadi. Uchburchakli sistemalar doimo geometrik o'zgarmas hisoblanadi.

Demak, inshootlarni geometrik o'zgarmas yoki o'zgaruvchanligini tekshirish maqsadida kinematik tahlil qilinadi.

2. Inshootlarning erkinlik darajasi va ularning statik tahlili.

Biror inshoot yoki sistemaning erkinlik darajasi deb, shu inshoot yoki sistemaning elementlari holatini to'liq'icha aniqlaydigan, bir-biriga bog'liq bo'lmagan geometrik parametrlar soniga aytiladi.

Biz asosan tekislikdagi inshootlarni qaraganimiz sababli, yassi inshootlarning erkinlik darajasini aniqlash bilan cheklanamiz.

Inshootning har qanday geometrik o'zgarmas elementiga disk deyiladi. Disk deb sterjen, balka, plastina, massiv singari elementlarni

qarash mumkin. Har qanday disk tekislikda 3 ta erkinlik darajasiga, ya'ni disk 2 yo'nalish bo'ylab ko'chishga va o'z o'qi atrofida burilish burchagiga ega bo'ladi (3.2-rasm, a). Eng oddiy disk bu sterjendir. 3.2-rasm, a da tasvirlangan sterjen (disk)ning biror qo'zg'almas koordinatalar o'qiga nisbatan holatini uchta x , u , φ parametrlar orqali aniqlashimiz mumkin. Agar tekislikda biror A nuqta berilgan bo'lsa, uning holati koordinatalar o'qiga nisbatan olingan 2 ta parametr X_A , Y_A bilan aniqlanadi. Demak nuqtaning erkinlik darajasi ikkiga teng.

Inshootlar qo'zg'almas bo'lishi uchun inshoot disklarining erkinlik darajasi cheklanadi. Buning uchun disklar har xil bog'lanishlar yordamida bir-biriga

tutashtiriladi. Bunday bog'lanishlar vazifasini sharnir va tayanchlar o'taydi. Sharnirlar oddiy va karrali bo'ladi. **Oddiy sharnir 2 ta diskni o'zaro birlashtiradi** (3.3-rasm, a). **Karrali sharnir esa 2 tadan ortiq diskni o'zaro birlashtiradi** (3.3-rasm, b). Karrali sharnirlar soni disklar sonidan 1 ta kam bo'lib, quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$SH = n - 1, \quad (3.1)$$

bu erda: SH - sharnirlar soni; n - disklar soni.

Har qanday oddiy sharnir 2 ta bog'lanishga ega bo'lib, 2 ta diskni birlashtiradi va 2 yo'nalishdagi o'zaro ko'chishni cheklaydi.

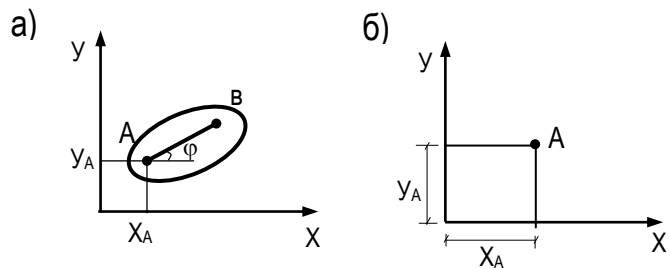
Har bir tayanch sterjenlari bitta bog'lanishga ega bo'lib, disklarning bitta sterjen yo'nalishidagi ko'chishini cheklaydi.

SHunday qilib, sharnirlar (SH) va tayanch sterjenlari (S_T) yordamida birlashtirilgan disklardan (D) tashkil topgan inshootning erkinlik darajasi (W) quyidagi P.A.CHebishev formulasi yordamida aniqlanadi:

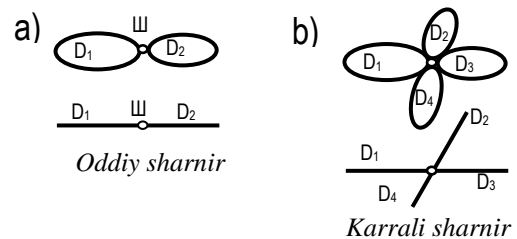
$$W = 3D - 2SH - S_T. \quad (3.2)$$

SHarnirlar va sterjenlardan tashkil topgan sistemalarning, ya'ni fermalarning erkinlik darajasi esa quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$W = 2T - S - S_T, \quad (3.3)$$



3.2-pacm



3.3-rasm

bu erda: T - ferma tugunlarining soni;
 S - ferma ichki sterjenlarining soni;
 S_T - tayanch sterjenlarining soni.

Tayanch sterjenlariga ega bo'lmagan sistemalarning erkinlik darajasi shu inshootning o'zgaruvchanligiga teng bo'lib, quyidagi munosabat orqali aniqlanadi:

$$U = W - 3 = 3D - 2SH - 3. \quad (3.4)$$

Sharnirlar va sterjenlardan tashkil topgan sistemalar (fermalar) uchun:

$$U = 2T - S - 3. \quad (3.5)$$

1. Agarda $W > 0$ yoki $U > 0$ bo'lsa, sistema geometrik o'zgaruvchan bo'lib, etarli bog'lanishlarga ega emas. Bunday sistemalar mexanizm deyiladi (2.6-rasm, a).

2. Agarda $W = 0$, $U = 0$ bo'lsa, sistema etarli (minimum) bog'lanishlarga ega bo'lib, geometrik o'zgarmas bo'lishi mumkin (2.6-rasm, b).

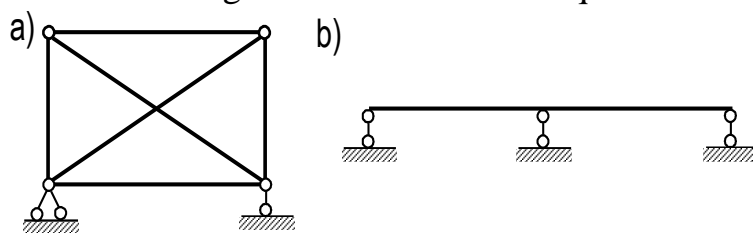
3. Agarda $W < 0$, $U < 0$ bo'lsa, sistema ortiqcha bog'lanishlarga ega bo'ladi. Ortiqcha bog'lanishlar soni quyidagicha aniqlanadi (2.6-rasm, v):

$$S_A = -W = C_T + 2SH - 3D, \quad (3.6)$$

bu erda S_A – ortiqcha bog'lanishlar soni bo'lib, sistema statik noaniqlik darajasini ham ifodalaydi.

$W \leq 0$ yoki $U \leq 0$ shartlarga analitik shart deyilib, inshootlarni geometrik o'zgarmas va qo'zg'almas bo'lishi uchun ular zaruriy shart bo'lib, etarli shart emasdir. Masalan, 3.4-rasm, b da tasvirlangan balkaning erkinlik darajasi $W = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 3 = 0$ bo'lsa ham geometrik o'zgaruvchandir, chunki bu erda balka geometrik o'zgarmasligining zaruriy sharti bajarilgani bilan etarli sharti bajarilmaydi, u uchta o'zaro parallel sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchlarga maxkamlangan bo'lib, gorizontal yo'nalishda harakatga kelishi mumkin.

Demak, inshootlarni haqiqatan ham geometrik o'zgarmas va qo'zg'almas ekanligini aniqlash uchun ularning tuzilishini ham tahlil qilish zarur.



3.4-rasm

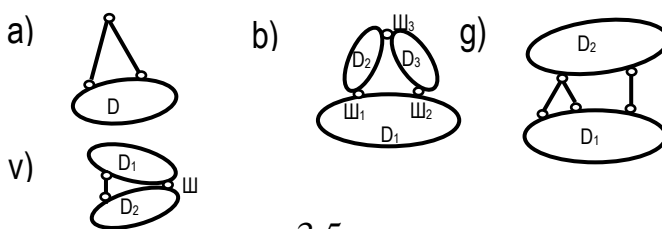
3. Inshootlar hisoblash sxemalari tuzilishining tahlili.

Inshootlarning tuzilishini tahlil qilish uchun disklardan eng oddiy geometrik o'zgarmas sistemalar tashkil qilish shartlarini bilishga to'g'ri keladi. Ular quyidagilardan iborat:

1. Geometrik o'zgarmas sistemaga bir to'g'ri chiziqda yotmagan ikkita sterjen bir sharnir orqali o'zaro tutashtirilsa, bu sistemaning erkinlik darajasi o'zgarmaydi (3.5-rasm, a), ya'ni geometrik o'zgarmas sistema hosil bo'ladi.

2. Uchta diskni o‘zaro bir to‘g‘ri chiziqda yotmagan uchta sharnir yordamida tutashtirib, geometrik o‘zgarmas sistema hosil qilish mumkin (3.5-rasm, b).

3. Ikkita diskni o‘zaro geometrik o‘zgarmas qilib, bitta sharnir va bir sterjen yordami-da tutashtirish mumkin. Bu erda sterjen sharnir markazidan o‘tmasligi lozim (3.5-rasm, v).



3.5-rasm

4. Ikkita diskni o‘zaro geometrik o‘zgarmas qilib, bir nuqtada kesishmaydigan va bir-biriga parallel bo‘lmagan uchta sterjen yordamida tutashtirish mumkin (3.5-rasm, g).

Bu shartlarni tahlil qilib qarasaq, ularning asosini uchburchak tashkil qilishini ko‘ramiz. Demak, eng oddiy geometrik o‘zgarmas sistema uchburchak hisoblanadi.

Agarda inshoot elementlari yuqoridagi shartlar asosida birlashtirilgan bo‘lsa, u geometrik o‘zgarmas bo‘ladi. Har bir qaralayotgan inshootni hisoblash sxemai geometrik o‘zgarmas sistema ekanligiga ishonch hosil qilish uchun $W \leq 0$ zaruriy shartning bajarilishidan tashqari, sistema elementlarining bir-biri bilan o‘zaro bog‘lanishini yuqoridagi qayd qilingan shartlarga asosan tahlil qilish lozim.

Ma‘ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Inshootlarni hisoblash sxemaining kinematik tahlili deb nimaga aytiladi?
2. Inshootlarni erkinlik darajasi deb nimaga aytiladi?
3. Disk deb nimaga aytiladi?
4. Oddiy va karrali sharnir deb nimaga aytiladi?
5. Inshootlarning erkinlik darajasi qaysi formula bilan aniqlanadi?
6. Geometrik o‘zgarmas inshoot deb, kandy inshootga aytiladi?
7. Geometrik o‘zgaruvchan inshoot deb, kandy inshootga aytiladi?
8. Geometrik o‘zgarmas inshootlar xosil qilish shartlarini ayting?
9. Inshootlar hisoblash sxemaining statik tahlili kandy tekshiriladi?
10. Inshootlar hisoblash sxemai tuzilishining tahlili kandy bajariladi?

8-MAVZU. KO'P ORALIQLI STATIK ANIQ BALKALARNI QO'ZG'ALMAS YUKLAR TA'SIRIGA HISOBLASH

Reja:

1. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar to'g'risida tushuncha.
2. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar uchun qavatlarora sxemalarini chizish.
3. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.

Tayanch iboralar: ko'p oraliqli statik aniq balkalar, ko'p oraliqli statik aniq balkalarning afzalliklari va kamchiliklari, ko'p oraliqli statik aniq balkalar uchun qavatlarora sxemalarini chizish, ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.

1. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar to'g'risida tushuncha.

Bir necha oddiy balkalarni o'zaro sharnirlar yordamida biriktirishdan hosil qilingan geometrik o'zgarmas statik aniq sistemalarga ko'p oraliqli statik aniq balkalar deyiladi.

Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni hisoblash nazariyasi 1871 yilda rossiyalik muhandis G.Semikolenov tomonidan tavsiya qilingan. Ko'p oraliqli sharnirli balka statik aniq sistema deb hisoblanadi, chunki muvozanat tenglamalaridan tashqari unda qancha oraliq sharnirlar bo'lsa, shuncha qo'shimcha tenglamalar tuzish mumkin. SHu sababli ko'p oraliqli statik aniq balkalarga ko'p oraliqli sharnirli balkalar yoki ko'p oraliqli balkalar xam deyiladi.

Qurilishda ko'p oraliqli balkalar yaxlit balkalarga o'xshab ko'priksozlikda, inshootlarni yopishda ishlatiladi. Yaxlit balkalar statik noaniq bo'lib, unda bir oraliqli balkaga nisbatan eguvchi moment miqdori ancha kam bo'ladi. Ammo, ko'p oraliqli sharnirli balkalar yaxlit balkalarga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega:

1. *Alohida oddiy balkalardan yasalganligi.*
2. *Zavodlarda ommaviy tayyorlash va mexanizmlar orqali montaj qilish mumkinligi.*
3. *Zo'riqishlarni statika muvozanat tenglamalari orqali aniqlash mumkinligi va tayanchlarning cho'kishiga bog'liq emasligi.*

Shu bilan bir qatorda ko'p oraliqli sharnirli balkalar yaxlit balkalarga nisbatan quyidagicha kamchiliklarga ega:

1. *Ko'p oraliqli sharnirli balkalar yaxlit balkalarga nisbatan mustahkamligi kam bo'ladi.*
2. *Sharnirlar tayyorlash texnologiyasi birmuncha qiyin hisoblanadi.*

Ko'p oraliqli sharnirli balkalarni yaxlit balkalarga sharnirlar kiritish orqali hosil qilish mumkin. Bu holda sharnirlar soni quyidagi shartni qanoatlantirishi kerak:

$$SH = S_T - 3, \quad (4.1)$$

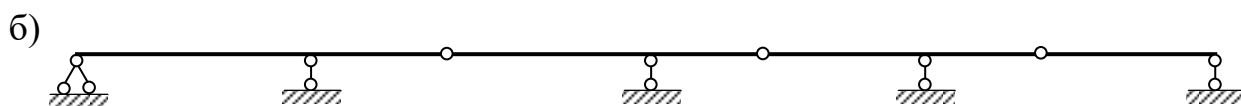
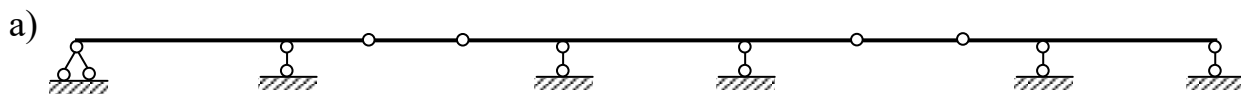
bu erda, S_T - tayanch sterjenlari soni.

(4.1) shart ko'p oraliqli sharnirli statik aniq balkalar uchun zaruriy shart bo'lib, etarli bo'la olmaydi. Ular geometrik o'zgarmas va qo'zg'almas bo'lishi uchun sharnirlarni joylashtirishning quyidagi qoidalariga amal qilish kerak.

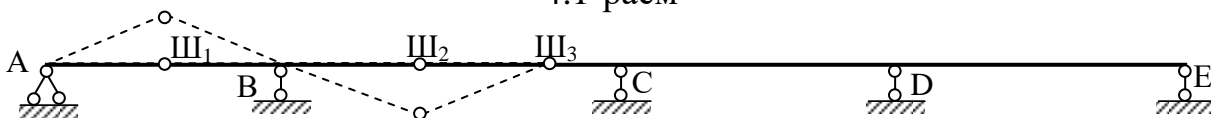
Har bir oraliqda sharnirlar soni 2 tadan ortiq bo'lmasligi shart.

1. Agar bir oraliqda sharnirlar soni 2 ta bo'lsa, undan oldingi va keyingi oraliqlarda sharnir bo'lmasligi shart (4.1-rasm, a).

2. Agarda oraliqlarda 1 tadan sharnirlar qo'yilgan bo'lsa, u vaqtda balkaning bir oraliq'i sharnirsiz bo'lishi shart (4.1-rasm, b).



4.1-pacm



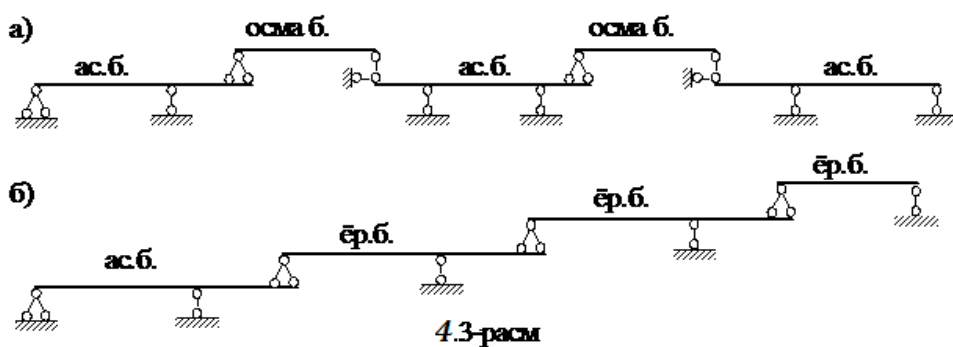
4.2-pacm

Agar ko'p oraliqli balkada sharnirlar soni (4.1) shartni qanoatlantirgan bo'lib, ularni joylashtirishda yuqoridagi qoidaga amal qilinmagan bo'lsa, u holda uning bir qismi statik noaniq, qolgan qismi esa geometrik o'zgaruvchan bo'lishi mumkin. Masalan, 4.2-rasmda tasvirlangan balkada sharnirlar soni $SH = S_T - 3 = 6 - 3 = 3$ ta bo'lib, (4.1) shart qanoatlanadi, ya'ni berilgan ko'p oraliqli sharnirli balka geometrik o'zgarmas bo'lishining zaruriy sharti bajariladi, ammo sharnirlarning joylashishi yuqoridagi qoidaga mos kelmasligi sababli, balkaning ASH_1 , SH_1VSH_2 , SH_2SH_3 elementlari geometrik o'zgaruvchandir, chunki bu elementlar uzoq chiziqlar bilan tasvirlangandek erkin ko'chishga ega. Balkaning CDE qismi esa statik noaniqdir. SHunday qilib, berilgan balkani statika tenglamalari yordamida hisoblab bo'lmaydi.

2. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar uchun qavatlarora sxemalarini chizish.

Ko'p oraliqli sharnirli statik aniq balkalarni hisoblash uchun ularning elementlarining o'zaro bog'lanishi yoki qavatli sxemalari tuziladi. Buning uchun u asosiy va yordamchi balkalarga ajratiladi (4.3-rasm, a, b).

Asosiy balka o'ziga va yordamchi balkalarga ta'sir qilayotgan yuklarni qabul qilib, hammasini bevosita yerga uzatadi. Yordamchi balkalar esa, o'zlariga ta'sir qilayotgan yuklarni qisman yerga yoki to'lig'icha asosiy balkaga yoki o'zidan pastdagi yordamchi balkaga uzatadi (4.3-rasm, b). Agarda yordamchi balka bevosita yer bilan bog'langan bo'lmasa, unga osma balka deyiladi (4.3-rasm, a).



Ko‘p oraliqli sharnirli statik aniq balkalarni hisoblash doimo osma yoki yordamchi balkadan, yordamchi balkalarning ham eng yuqoridagisidan boshlanadi.

Ko‘p oraliqli sharnirli statik aniq balkalardagi ichki zo‘riqlashlarning o‘zgarishi oddiy balkalar kabi bo‘lib, bu bizga materiallar qarshiligi fanidan ma‘lum.

3. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni qo‘zg‘almas tashqi yuklarga hisoblash.

Ko‘p oraliqli statik aniq sharnirli balkalarni qo‘zg‘almas tashqi yuklar ta‘siriga quyidagi tartibda hisoblanadi:

1. Ko‘p oraliqli statik aniq balkadagi sharnirlar soni (4.1) formula yordamida tekshiriladi va ularning joylashishi kinematik tahlil qilinadi.
2. Balka qismlarining o‘zaro bog‘lanishi, qavatlar sxemai tuzilib, asosiy, yordamchi, osma balkalar belgilab olinadi.
3. Hisoblash, ya‘ni tayanch reaksiyalarni aniqlash, eguvchi moment va ko‘ndalang kuch epyuralarini chizish osma balkadan boshlanadi.
4. Asosiy va yordamchi balkalar uchun eguvchi moment va ko‘ndalang kuch epyuralarini chizishda unga qo‘yilgan tashqi yuklar qatorida, uning uchlariga tayangan osma balkalarning tayanch reaksiyalari teskari yo‘naltirib hisobga olinadi.
5. Asosiy, yordamchi va osma balkalarning eguvchi moment va ko‘ndalang kuch epyuralari chizilgandan so‘ng ular bir koordinatalar sistemasiga keltirilib, ko‘p oraliqli balka uchun umumiy eguvchi moment va ko‘ndalang kuch epyuralari quriladi va tekshiriladi.

Ma‘ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalar deb, qanday balkalarga aytiladi?
2. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni hisoblash nazariyasini kim yaratgan?
3. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni afzalliklari va kamchiliklarini ayting?
4. Ko‘p oraliqli sharnirli statik aniq balkalarni zaruriy shartini ayting?
5. Ko‘p oraliqli sharnirli statik aniq balkalarni etarli shartini ayting?
6. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni kavatli tarxlari qanday tuziladi?
7. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni hisoblash avvalo qanday balkadan boshlanadi?
8. Asosiy, yordamchi balka deb, qanday balkaga aytiladi?
9. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni qo‘zg‘almas tashqi yuklarga hisoblash tartibi ayting?

TA'SIR CHIZIQLAR NAZARIYASI.

Reja:

1. Harakatlanuvchi yuklar va ta'sir chiziqlar nazariyasi haqida tushuncha.
2. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari.

Tayanch iboralar: harakatlanuvchi yuklar va ta'sir chiziqlar nazariyasi, ta'sir chiziqlarni chizishning statik va kinematik usullari, oddiy balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chizig'i, oddiy balkaning ixtiyoriy kesimida ko'ndalang kuch Q va eguvchi moment M larning ta'sir chiziqlari, konsolli balkalar zo'riqishlarining ta'sir chiziqlari, konsol balkaning zo'riqishlarini ta'sir chiziqlari.

1. Harakatlanuvchi yuklar va ta'sir chiziqlar nazariyasi haqida tushuncha.

Inshootlarni hisoblashda qo'zg'almas tashqi yuklardan tashqari qo'zg'aluvchan, harakatdagi yuklar ta'siri ham hisobga olinadi. Ko'pgina muhandislik inshootlarini, masalan, ko'prik, kran osti balkalari, estakada kabi inshootlarni hisoblashda asosan harakatdagi yuk ta'siri muhim rol o'ynaydi.

Temir yo'l va avtomobil ko'priklariga ta'sir qiluvchi poezd va avtomobillarning ta'sirini harakatlanuvchi va bir-biriga bog'langan vertikal yuklar sistemasi deb qarash mumkin.

Harakatlanuvchi va bir-biri bilan bog'langan vertikal yuklar sistemasi ta'sirida inshoot elementlarida hosil bo'ladigan maksimal zo'riqishlarni aniqlash uchun ta'sir chiziqlar nazariyasidan foydalaniladi.

Bu nazariyaga ko'ra dastlab inshoot bo'ylab vertikal birlik kuch ($P=1$) harakat qilyapti deb qaraladi. Birlik kuch ta'siridan inshoot elementida hosil bo'ladigan zo'riqishlarning o'zgarish qonuni tekshiriladi. Bu o'zgarish qonunlariga asosan va kuchlar ta'sirining o'zaro bog'liqsizligi shartidan foydalanib, harakatlanuvchi yuklar sistemasi ta'sirida inshoot elementlarida hosil bo'ladigan zo'riqishlar aniqlanadi.

Inshoot bo'ylab birlik kuch ($R=1$) harakat qilganida uning elementlarida (tayanch reaksiyalar yoki ixtiyoriy kesimida) hosil bo'ladigan zo'riqishlar miqdorining o'zgarishini ifodalovchi grafik shu zo'riqishlarning ta'sir chizig'i deyiladi.

Ta'sir chiziqlarni chizishning statik va kinematik usullari mavjud.

Statik usulda harakatlanuvchi birlik kuch ($R=1$) ning ixtiyoriy nuqtada turgan holati uchun muvozanat tenglamalar tuzib, izlanayotgan zo'riqishning analitik ifodasi hosil qilinadi.

$$S = f(x) \quad (5.1)$$

Bu analitik ifoda yordamida S zo'riqish miqdorining o'zgarishi grafigi chizilib, uning ta'sir chizig'i olinadi. Kinematik usuldan zo'riqishlar ta'sir chizig'ining umumiy ko'rinishini hosil qilish uchun qo'llaniladi.

2. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari.

Oddiy balkalarda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini chizish

Agar balkaga harakatlanuvchi kuchlar sistemasi qo'yilgan bo'lsa, uni avvalo bitta harakatlanuvchi birlik kuch ($R=1$) ta'siriga hisoblanadi. Oddiy balkaning tayanch reaksiyalari va ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment va ko'ndalang kuch zo'riqishlari harakatlanuvchi birlik kuchning vaziyatiga bog'liq bo'lib, bu zo'riqishlarning (5.1) analitik ifodasi olinadi:

$$R_A = f_1(x); \quad R_V = f_1(x); \quad M_x = f_3(x); \quad Q_x = f_4(x). \quad (5.2)$$

Ta'sir chizig'ini chizish uchun birlik kuch $R=1$ balka bo'ylab ma'lum nuqtalarga ketma-ket qo'yilib, bizni qiziqtirayotgan miqdorning o'zgarishi qonunini ifodalovchi funksiya (5.2) aniqlanadi. So'ngra bu funktsiyaning grafigi chiziladi.

A. Oddiy balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chizig'ini chizish

R_A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizish. Buning uchun balka ustida harakatlanuvchi birlik yukni ($R=1$) chap tayanchdan x masofada joylashtiramiz va statika muvozanat tenglamasini tuzamiz (5.1-rasm, a):

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0; \quad R_A \cdot \ell - \bar{P}(\ell - x) &= 0, \\ R_A = \bar{P} \frac{\ell - x}{\ell} = \frac{\ell - x}{\ell} \quad 0 \leq x \leq \ell \end{aligned} \quad (5.3)$$

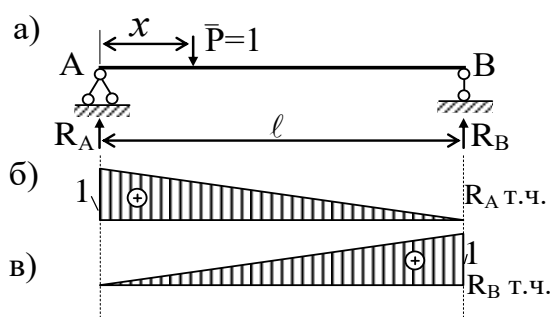
Bu ifoda R_A tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'i tenglamasi deyiladi. Demak, birlik kuch ($\bar{P}=1$) balka bo'ylab harakatlansa, R_A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i to'g'ri chiziq qonuni bo'yicha o'zgarar ekan.

Tayanch reaksiyasi R_A ning ta'sir chizig'ini chizish uchun (5.3) tenglamadagi o'zgaruvchi x ga $0 \leq x \leq \ell$ oraliqda qiymatlar beramiz.

$$x = 0 \text{ bo'lsa } R_A = 1;$$

$$x = \ell \text{ bo'lsa } R_A = 0 \text{ bo'ladi.}$$

Bu qiymatlarga asosan R_A ning ta'sir chizig'ini ifodalovchi grafikni chizamiz (5.1-rasm, b). Uni qisqacha (R_A t.ch.) deb belgilaymiz.



5.1-pacm

R_B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizish. Buning uchun balka ustida

harakatlanuvchi birlik yukni ($\bar{P}=1$) chap tayanchdan x masofada joylashtiramiz va statika muvozanat tenglamasini tuzamiz (5.1-rasm, a).

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0; \quad R_B \cdot \ell - \bar{P} \cdot x &= 0, \\ R_B = \bar{P} \frac{x}{\ell} = \frac{x}{\ell} \quad 0 \leq x \leq \ell \end{aligned} \quad (5.4)$$

Bu tenglik R_B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i tenglamasidir, bunda $0 \leq x \leq \ell$, bo'lib $x = 0$ bo'lsa $R_B = 1$; $x = \ell$ bo'lsa $R_B = 0$ bo'ladi (5.1-rasm, v).

(4.3) va (4.4) ifodalarga ko'ra, R_A va R_B tayanch reaksiyalari ta'sir chiziqlarining ordinatalari musbat ishorali bo'lib, o'lchamsiz miqdorlardan iboratdir.

Demak, qurilgan har bir ta'sir chiziq faqat ta'sir chizig'i qurilgan zo'riqishning $\bar{P}=1$ kuchning holatiga qarab o'zgarishini ifodalovchi grafikdir. Masalan, R_A ta'sir chizig'i faqat R_A tayanch reaksiyasini $\bar{P}=1$ kuchning holatiga qarab o'zgarishini ko'rsatadi. Bu erdan harakatdagi tashqi yukning qanday holatida R_A tayanch reaksiyasi maksimal qiymatga ega bo'lishini aniqlash mumkin.

B. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimida ko'ndalang kuch Q ta'sir chizig'ini chizish

Balkaning berilgan ixtiyoriy C kesimidagi kesuvchi kuch Q_C ning ta'sir chizig'ini chizish uchun $R=1$ kuchning ikki holatini tekshirish kerak (4.2-rasm, a).

1-holat. Birlik kuch ($R=1$) C kesimdan chap tomonda harakat qiladi, ya'ni $0 \leq x \leq a$. Balka o'ng tomonining muvozanatini ko'rib, Q_C ni aniqlaymiz:

$$\sum Y = 0, \quad Q_C^{uan} = -R_B = -\frac{x}{\ell}, \quad (5.5)$$

Agar $x = 0$ bo'lsa $Q_C^{uan} = 0$; $x = a$ bo'lsa $Q_C^{uan} = -\frac{a}{\ell}$ bo'ladi.

Demak, Q_C^{uan} chiziq ordinatalari balkaning B tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ining teskari ishora bilan olingan chap tayanchdan C kesimgacha bo'lgan ordinatalar qiymatiga teng bo'lar ekan.

2-holat. Birlik kuch C kesimdan o'ng tomonda harakat qilsin. Unda $a \leq x \leq \ell$, (5.2-rasm, b). Balka chap qismining muvozanatini tekshiramiz:

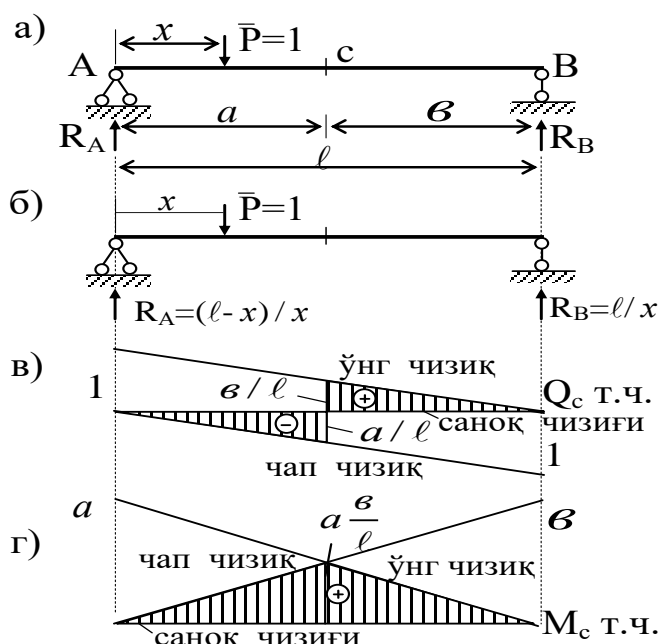
$$\sum Y = 0, \quad Q_C^{yuz} = R_A = \frac{\ell - x}{\ell} \quad (5.6)$$

Agar $x = a$ bo'lsa $Q_C^{yuz} = \frac{\ell - a}{\ell} = \frac{a}{\ell}$;

$x = \ell$ bo'lsa $Q_C^{yuz} = 0$ bo'ladi

Q_C^{yuz} chiziq ordinatalari esa A tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ining C kesimdan balkaning oxirigacha bo'lgan qismiga mos tushadi.

(5.5) va (5.6) ga asosan: Q_C^{uan} va Q_C^{yuz} chiziqlarni chizamiz. Q_C^{uan} va Q_C^{yuz} chiziqlar bir-biriga parallel bo'ladi. Chap chiziq balkaning chap tayanchidan C kesimgacha, o'ng chiziq esa C kesimdan o'ng R_A tayanchgacha Q_C ning o'zgarishini ifodalaydi. (5.2-rasm, v dagi shtrix chiziq).



5.2-rasm

Balkaning zo'riqishlari nol bo'lgan o'qiga sanoq chizig'i deyiladi.

SHunday qilib, balkaning ixtiyoriy C kesimidagi ko'ndalang kuch Q_C ta'sir chizig'ini chizish uchun sanoq chizig'iga chap tayanch ostida birlik musbat ordinatani o'lchab qo'yib, uni o'ng tayanch sanoq chizig'ining nol nuqtasi bilan tutashtiramiz, so'ngra sanoq chizig'iga o'ng tayanch ostiga birlik manfiy ordinatani o'lchab qo'yib, uni chap tayanch ostidagi nol nuqtasi bilan tutashtiramiz. Nati-jada bir-biriga parallel bo'lgan chap va o'ng to'g'ri chiziqlarni hosil qilamiz. Chap to'g'ri chiziq chap tayanchdan C kesimgacha, o'ng to'g'ri chiziq esa C kesimdan o'ng tayanchgacha bo'lgan oraliqlarda Q_C ning o'zgarishini ifodalaydi (5.2-rasm, v).

Ko'ndalang kuchning ta'sir chiziqlari tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari kabi o'lchamsiz bo'ladi.

V. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimida eguvchi moment M ta'sir chizig'ini chizish

Balkaning C kesimida hosil bo'ladigan eguvchi momentning ta'sir chizig'ini chizish uchun ham birlik kuchning ikki holatini tekshiramiz (5.2-rasm, a, b).

1-holat $R=1$ kuch C kesimdan chap tomonda harakatlansin ($0 \leq x \leq a$) deb faraz qilib, M_c^{uan} eguvchi moment tenglamasini balkaning o'ng tomoni muvozanatiga asosan yozamiz:

$$M_c^{uan} = R_B(\ell - a) = \frac{x}{\ell} \epsilon \quad (5.7)$$

Bu tenglama chap chiziq tenglamasi bo'lib, uni chizish uchun sanoq chizig'ida B tayanch ostiga ϵ ga teng o'zgarmas ordinata qo'yib, A tayanch ostidagi nol ordinata bilan birlashtiramiz.

2-holat. $R=1$ kuch C kesimdan o'ng tomonda ($a \leq x \leq \ell$) harakat qiladi deb, M_c^{yhz} ni aniqlaymiz. Balka chap tomonining muvozanatini tekshiramiz:

$$M_c^{yhz} = R_A \cdot a = \frac{\ell - x}{\ell} a \quad (5.8)$$

Demak, M_c^{yhz} chiziq, R_A tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'i ordinatalarini o'zgarmas a ga ko'paytirib chizilganiga to'g'ri keladi. Bu chiziq o'ng chiziq bo'ladi va (5.8) o'ng chiziq tenglamasi deyiladi.

Doimo chap va o'ng chiziqlar kesimdan tushirilgan ordinata chizig'i ustida kesishadi (5.2-rasm, g).

Eguvchi moment ta'sir chizig'ining ordinatalari uzunlik o'lchamida, ya'ni metr (m) da o'lchanadi.

Konsol balkaning zo'riqishlarini ta'sir chiziqlarini chizish

Konsol balkaning vertikal tayanch reaksiyasi R_A ta'sir chizig'ini chizish uchun y o'qiga proeksiya olamiz.

$$\sum Y = 0, \quad R_A - \bar{P} = 0; \quad R_A = \bar{P} = 1$$

Demak, $\bar{P} = 1$ kuchning har qanday holatida $R_A = 1$. (5.3-rasm, b).

Konsol balka ixtiyoriy C kesimidagi eguvchi moment M_c ta'sir chizig'ini chizish uchun $\bar{P}=1$ kuch ikki holatini qaraymiz.

1-holat. $\bar{P}=1$ kesimdan chap tomonda harakatlansin: $a \leq x \leq \ell$

$$M_c^{yuz} = 0$$

2-holat. $\bar{P}=1$ kesimdan o'ng tomonda harakatlansin: $0 \leq x \leq a$

$$M_c^{yuz} = -\bar{P} \cdot x = -x$$

Demak, konsolning ixtiyoriy C kesimidagi eguvchi moment M_c ta'sir chizig'ini chizish uchun, konsol uchidan C kesimgacha bo'lgan masofani o'lchab, sanoq chizig'ida konsol uchiga manfiy ordinata qilib sanoq qo'yib, uni kesim tagidagi nol nuqtasi bilan birlashtirish kerak. (5.3-rasm, v)

Agarda C kesimni A tayanchda deb qarasak, u holda M_A tayanch reaksiyaning ta'sir chizig'i hosil bo'ladi (4.3-rasm, g).

Konsol balka ixtiyoriy C kesimidagi ko'ndalang kuch Q_c ta'sir chizig'ini chizish uchun ham $\bar{P}=1$ kuch ikki holati qaraladi.

1-holat. $\bar{P}=1$ kuch kesimdan o'ng tomondagi harakatini qaraymiz: $0 \leq x \leq a$

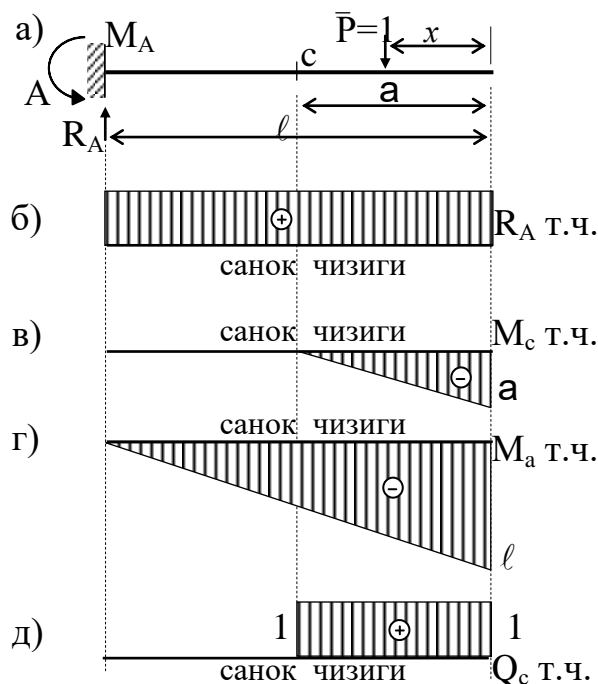
$$Q_c^{yuz} = 1$$

2-holat. $\bar{P}=1$ kuch kesimdan chap tomonda harakatlansin $a \leq x \leq \ell$.

$$Q_c^{yuz} = 0$$

Q_s ning ta'sir chizig'i 5.3-rasm d da ko'rsatilgan

Demak, o'ng konsolli balka ixtiyoriy C kesimidagi ko'ndalang kuch Q_c ning ta'sir chizig'ini chizish uchun konsol uchidan kesimgacha bo'lgan masofaga birlik musbat ordinatani joylashtiramiz.



5.3-rasm

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Harakatlanuvchi yuklar deb, qanday yuklarga aytiladi?
2. Ta'sir chiziqlar nazariyasi deb, nimaga aytiladi?
3. Ta'sir chiziqlarni chizishning statik va kinematik usullarini ayting?
4. Oddiy balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?
5. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimida ko'ndalang kuch Q va eguvchi moment M larning ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?
6. Konsol balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?
7. Konsol balka ichki zo'riqishlarining ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?
8. Ikki konsolli balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?
9. Ikki konsolli balka zo'riqishlarining ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?
10. Ikki konsolli balkaning chap yoki ung konsolidagi ichki zo'riqishlarining ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?

TA'SIR CHIZIQLAR YORDAMIDA ZO'RIQISHLARNI ANIQLASH

1. Ta'sir chizilari yordamida zo'riqishlarni aniqlash.

Inshootlarga qo'zg'almas yuk qo'yilganda, ulardan hosil bo'lgan zo'riqishlarni aniqlashni biz ilgari ko'rgan edik. Endi qo'zg'almas yuklar ta'siridagi inshootning ixtiyoriy kesimidagi zo'riqishini ta'sir chiziqilar yordamida aniqlashni qaraymiz. Buning uchun quyidagi yuklar ta'sirini ko'ramiz.

1. Inshootga to'plangan kuchlar sistemasi qo'yilgan bo'lsin.

(6.1-rasm, b). a). *Tayanch reaksiyasi qiymatini ta'sir chizig'idan foydalanib hisoblash.*

Buning uchun berilgan balka tayanch reaksiyasi (R_A) ta'sir chizig'ini quramiz. Ma'lumki,

$$R_A = \frac{P(\ell - x)}{\ell}$$

bu erda R kuch shartli ravishda $R=1$ ga teng (o'lchamsiz) deb qabul qilinadi. U

holda $R_A = \frac{\ell - x}{\ell}$ ga teng bo'ladi. Bu erda

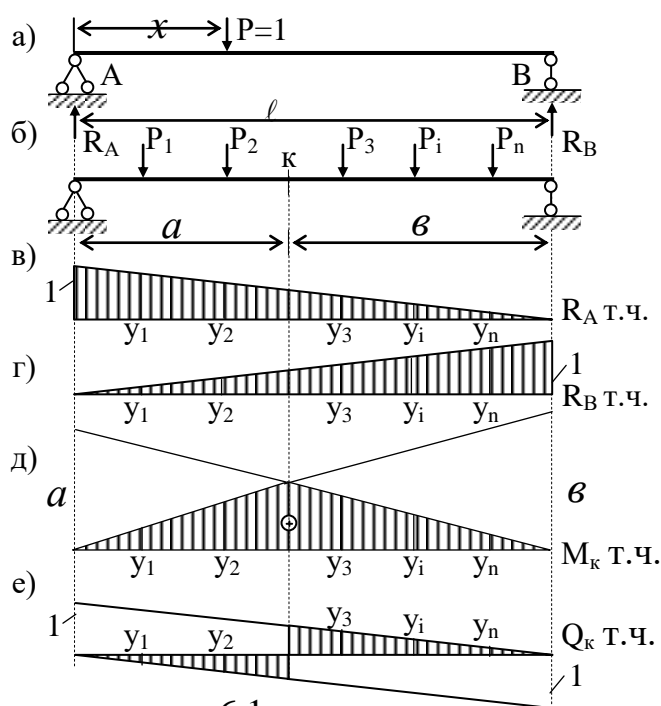
ℓ ning birligi m da, x ning ham birligi m da bo'ladi, bundan ko'rinib turibdiki, R_A o'lchamsiz bo'ladi. Agar, $x=0$ bo'lsa, ya'ni harakatdagi yuk A tayanchning ustida bo'lsa, R_A tayanch reaksiyasining qiymati harakatlanuvchi yakka yukning qiymatiga teng bo'ladi, ya'ni $R_A=1$. Agar, yakka yuk balkaning o'rtasida $x = \ell/2$ bo'lsa, ma'lumki $R_A = 1/2$ bo'ladi. Yakka

yukka mos kelgan R_A ta'sir chizig'ining ordinatasi ham $1/2$ ga teng. Demak, yuqorida ta'kidlab o'tganimizdek, R_A tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ining ordinalari R_A tayanch reaksiyasining $R=1$ yakka yukning holatlariga ($0 \leq x \leq \ell$) mos kelgan qiymatlarini ifodalaydi. Agar balkaga harakatlanuvchi yakka yukning o'rnida ixtiyoriy R_1 qo'zg'almas yuk ta'sir etsa, bu yuk ta'sirida R_A tayanch reaksiyasining qiymatini topish uchun R_1 yukni R_A tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'iga mos keluvchi ordinataga ko'paytirish kerak ekan, ya'ni $R_A = P_1 \cdot y_1$. Agar balkaga bir nechta P_1, P_2, \dots, P_n kuchlar ta'sir etsa bu kuchlar ta'sirida R_A tayanch reaksiyasining qiymati quyidagi munosabatdan aniqlanadi.

$$R_A = P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2 + \dots + P_n \cdot y_n$$

b). *Eguvchi moment zo'riqishini M_k ta'sir chizig'idan foydalanib hisoblash.*

Oddiy balkaning ixtiyoriy k kesimida eguvchi momentning ta'sir chizig'i M_k ni quramiz (6.1-rasm, d). M_k zo'riqish ta'sir chizig'ining y_1 ordinatasi ustiga, balkaga R_1 kuch qo'yilgan bo'lsa, u holda M_k zo'riqishning miqdori



6.1-pacm

$M_k = R_1 \cdot u_1$ bo'ladi. R_2 kuch ta'siridan esa M_k zo'riqishning miqdori $M_k = R_2 \cdot y_2$ bo'ladi. Boshqa to'plangan kuchlardan ham M_k zo'riqishning miqdori shunga o'xshash aniqlanadi.

Agar balkaga n ta to'plangan kuchlardan iborat yuklar sistemasi qo'yilgan bo'lsa, k kesimdagi M_k zo'riqishning miqdori kuchlar ta'sirining mustaqilligi shartiga asosan quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$M_k = R_1 \cdot u_1 + R_2 \cdot u_2 + \dots + R_n \cdot u_n = \sum R_i \cdot u_i \quad (6.1)$$

bu erda u_i - M_k zo'riqishi ta'sir chizig'idagi R_i kuchlarga mos keluvchi ordinatalari.

v). **Kesuvchi kuch zo'riqishini Q_k ta'sir chizig'idan foydalanib hisoblash.**

Buning uchun balkaning k kesimida Q_k kesuvchi kuch zo'riqishining ta'sir chizig'i quriladi (6.1-rasm, e). Agar balkaga R_1 kuch qo'yilgan bo'lsa, balkaning k kesimidagi Q_k zo'riqishning qiymati $Q_k = R_1 \cdot y_1$ ga teng bo'ladi. Bu erda y_1 - Q_k ta'sir chizig'ining R_1 kuchga mos kelgan ordinatasi. Agar balkaga P_1, P_2, \dots, P_n kuchlar qo'yilgan bo'lsa, u holda balkaning k kesimidagi Q_k zo'riqishning qiymati quyidagicha aniqlanadi

$$Q_k = R_1 \cdot u_1 + R_2 \cdot u_2 + \dots + R_n \cdot u_n = \sum R_i \cdot u_i$$

2. **Inshootga tekis tarqalgan yuk q qo'yilgan bo'lsin** (6.2-rasm, a). M_k zo'riqishning miqdorini aniqlash uchun tekis yoyilgan yuk uzunligini elementar dx bo'lakchalarga bo'lib qaraymiz. Biror elementar dx bo'lakka mos keluvchi tekis yoyilgan yukni elementar to'plangan kuch $q \cdot dx$ deb qarajak, u holda bu elementar kuchdan hosil bo'lgan elementar dM_k zo'riqish (6.1) formulaga asosan aniqlanadi:

$$dM_k = q \cdot dx \cdot y = q \cdot d\omega, \quad (a)$$

bu erda $d\omega = dx \cdot u - M_k$ ta'sir chizig'ining dx oralig'iga mos kelgan elementar yuzasi.

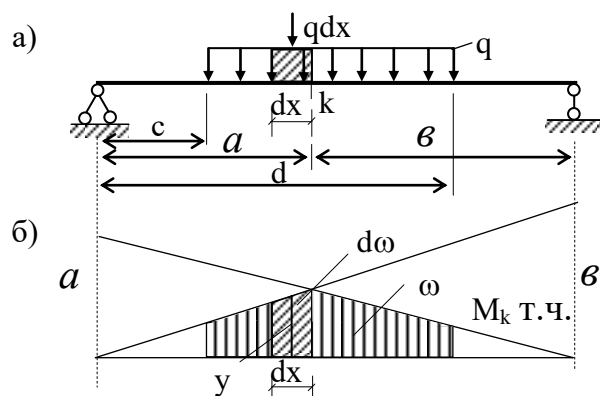
Tekis yoyilgan yukdan hosil bo'lgan M_k zo'riqish miqdorini aniqlash uchun (a) ifodani integrallaymiz:

$$M_k = \int_c^d q \cdot dx \cdot y = q \int_c^d d\omega = q \cdot \omega, \quad (6.2)$$

bu erda ω - tekis yoyilgan yuk a) qo'yilgan oraliqqa mos keluvchi ta'sir chizig'ining yuzasi (6.2-rasm, b).

Agar inshootga har xil intensivlikdagi tekis yoyilgan bir nechta yuk qo'yilgan bo'lsa, u holda kuchlar ta'sirining mustaqillik shartiga asosan M_k zo'riqishning miqdori (6.2) ifodaga binoan quyidagicha aniqlanadi:

$$M_k = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega_i. \quad (6.3)$$



6.2-pacm

3. **Inshootga moment juft kuch yoki moment M_i qo'yilgan bo'lsin** (6.3-rasm, a).

Balkani k kesimidagi M_k zo'riqish miqdorini aniqlaymiz. M_i momentni juft kuchlar

sistemasi bilan almashtiramiz $M_i = R \cdot dx$ (6.3-rasm, b). Bu to'plangan kuchlardan hosil bo'lgan M_k zo'riqishni (6.1) formulaga asosan aniqlaymiz.

$$M_k = R \cdot y_1 - R \cdot y_2 = R(y_1 - y_2) = R \cdot dx \cdot \operatorname{tg} \alpha = M_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i \quad (6.4)$$

bu erda $\operatorname{tg} \alpha_i$ - moment qo'yilgan nuqtada ta'sir chizig'iga o'tkazilgan urinmaning absissa o'qi bilan hosil qilgan burchagining tangensi.

Agar inshootga bir qancha to'plangan kuch, tekis yoyilgan kuch va momentlar qo'yilgan bo'lsa, unda hosil bo'ladigan zo'riqishlar miqdori S ta'sir chizig'i yordamida (6.1), (6.2) va (6.4) formulalarga asosan umumiy holda quyidagicha aniqlanadi.

$$S = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega + \sum_{i=1}^n M_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i \quad (6.5)$$

(6.5) formuladan foydalanishda quyidagi ishoralar qoidasiga rioya qilish kerak:

1. Agar to'plangan kuch R_i va tekis yoyilgan yuk q_i pastga qarab yo'nalgan bo'lsa, ular musbat deb qabul qilinadi.

2. Moment M_i ning yo'nalishi soat strelkasi yo'nalishiga mos kelsa, uni musbat deb qabul qilinadi.

3. Ordinata u_i va yuza ω_i ning ishorasi ta'sir chizig'i ishorasi bo'yicha olinadi.

4. Agar birlik yuk ($R=1$) tekshirilayotgan uchastkada chapdan o'ngga harakat qilganida ta'sir chizig'ining ordinatasi ortib borsa, $\operatorname{tg} \alpha_i$ musbat deb qabul qilinadi, aks holda $\operatorname{tg} \alpha_i$ manfiy bo'ladi.

2. Tugunlar orqali yuk uzatilganda ta'sir chiziqlar chizish.

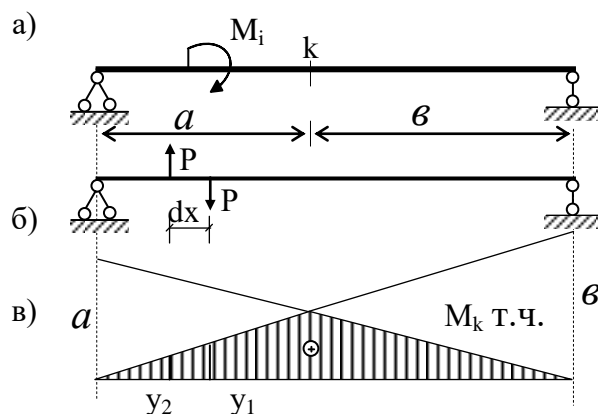
Biz yuqorida tashqi yuklarning harakatlanishini bevosita balkalar ustida qaradik. Lekin amalda, tashqi yuklar asosiy balka ustiga qo'yilgan yordamchi balkalar ustida harakatlanadi, masalan, ko'priklarda. Bu erda asosiy balka ustiga ma'lum oraliqlarda ko'ndalang balkalar qo'yilib, ko'ndalang balkalar ustiga yordamchi balkalar qo'yilgan bo'ladi (6.4-rasm, a). Yuklarning asosiy balkaga bunday uzatilishi tugun orqali uzatilgan yuklar deyiladi.

Asosiy balkaga ko'ndalang balkaning tayangan joyi tugun, ikki tugun oralig'i esa panel deb ataladi. Hisoblash ishlarini osonlashtirish uchun yordamchi balka asosiy balkaga ko'ndalang balkalar orqali sharnirli tayangan deb qabul qilinadi (6.4-rasm, b).

Yordamchi balkaning uzunligi panel uzunligiga teng bo'lib, d harfi bilan belgilanadi. Birlik ko'chma yuk ($R=1$) yordamchi balkalar ustida harakatlanadi deb, A va B tayanch reaksiyalarini, asosiy balkaning biror ixtiyoriy k kesimi uchun eguvchi moment M_k va kesuvchi kuch Q_k ta'sir chizig'ini chizishni qaraymiz.

A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i (R_A ta'sir chizig'i) ni chizish.

Birlik harakatlanuvchi yuk $R=1$ ni A tayanchdan x masofada deb, muvozanat tenglamani yozamiz (5.4-rasm, a).



6.3-pacm

$$\sum M_V = 0, \quad R_A \cdot \ell - P(\ell - x) = 0. \quad \text{Bundan} \quad R_A = P \frac{\ell - x}{\ell} \quad \text{yoki} \quad R_A = \frac{\ell - x}{\ell}$$

Bu ifoda A tayanch reaksiyasi R_A ning ta'sir chizig'i tenglamasi bo'lib, oddiy balkaning tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'i tenglamasidan farq qilmas ekan (6.4-rasm, v). Shunga o'xshash B tayanch reaksiyasini R_V ta'sir chizig'i quriladi (6.4-rasm, g).

Eguvchi moment M_k ta'sir chizig'ini chizish. Agar birlik yuk tugunlar ustida bo'lsa, uning ta'siri asosiy balkaga yordamchi balkasiz uzatiladi. Bu holda M_k ning ta'sir chizig'i yordamchi balkalarni e'tiborga olmasdan oddiy balkaning shu kesimi uchun qurilgan eguvchi moment ta'sir chizig'i kabi quriladi (6.4-rasm, d).

Endi birlik yuk yordamchi balka bo'ylab harakatlanishi holatini qaraymiz. Birlik $R=1$ yuk kesim joylashgan panelning chap tugunidan x masofada (6.4-rasm, b) bo'lsin. U holda uning ta'siri 2 va 3 tugunlar orqali R_2, R_3 reaksiyalar ko'rinishida asosiy balkaga uzatiladi. Bu reaksiyalarning miqdori prolyoti d ga teng bo'lgan oddiy balka tayanch reaksiyalari kabi aniqlanadi.

$$R_2 = \frac{d-x}{d}; \quad R_3 = \frac{x}{d}, \quad \text{bu erda} \quad 0 \leq x \leq d \quad \text{bo'ladi.}$$

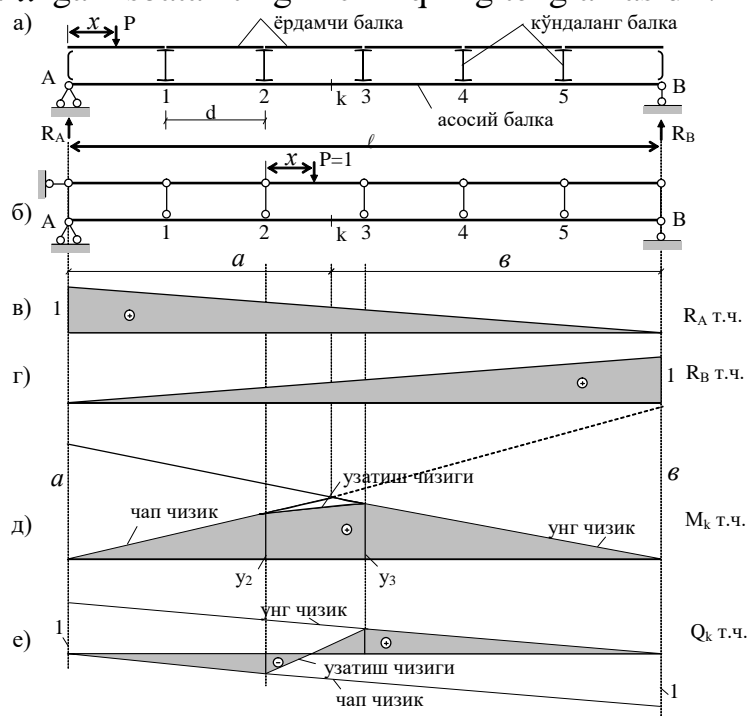
R_2 va R_3 reaksiyalar ta'siridan balkada hosil bo'lgan M_k zo'riqishning miqdori (4.9) formulaga asosan aniqlanadi.

$$M_k = R_2 \cdot y_2 + R_3 \cdot y_3$$

Bunga R_2 va R_3 ning yuqoridagi qiymatlarini qo'ysak, M_k quyidagi ko'rinishni oladi.

$$M_k = \frac{d-x}{d} y_2 + \frac{x}{d} y_3 \quad (a)$$

(a) ifoda x ga nisbatan to'g'ri chiziqning tenglamasidir.



6.4-рasm

Agar $x = 0$ bo'lsa, $M_k = y_2$ ga teng bo'ladi, agar $x = d$ bo'lsa, $M_k = y_3$ bo'ladi (5.4-rasm, d). Demak, birlik ($R=1$) kuch 2 va 3 tugunlar oralig'ida harakat qilganda k

kesimdagi M_k ta'sir chizig'i to'g'ri chiziq bo'ladi. U holda, y_2 va y_3 ordinatalarni to'g'ri chiziq orqali birlashtiramiz. Bu birlashtiruvchi to'g'ri chiziq uzatish chizig'i deyiladi.

Shunga o'xshash mulohaza bilan k kesimdagi kesuvchi kuch Q_k ning ta'sir chizig'i quriladi (6.4-rasm, e).

Shunday qilib, yuk tugunlar orqali uzatilganda balka ichki zo'riqishlarining ta'sir chiziqlari quyidagi tartibda quriladi:

1. Berilgan kesimdagi ichki zo'riqishning ta'sir chizig'i, avvalo yuk tugunlar orqali uzatilishini e'tiborga olmasdan, asosiy balka uchun chiziladi.

2. Kesim joylashgan panel chekka tugunlariga to'g'ri keluvchi chap va o'ng chiziqdagi ordinatalar uzatuvchi chiziq bilan birlashtiriladi.

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Inshootga to'plangan kuchlar sistemasi qo'yilganda ta'sir chiziqlar yordamida zo'riqishlar qanday aniqlanadi?
2. Inshootga tekis tarqalgan kuchlar sistemasi qo'yilganda ta'sir chiziqlar yordamida zo'riqishlar qanday aniqlanadi?
3. Inshootga juft kuchlar sistemasi qo'yilganda ta'sir chiziqlar yordamida zo'riqishlar qanday aniqlanadi?
4. Inshootga bir vaqtning o'zida to'plangan kuchlar, tekis tarqalgan kuchlar va juft kuchlar sistemasi qo'yilganda ta'sir chiziqlar yordamida zo'riqishlar qanday aniqlanadi?
5. Tugunlar orqali yuk o'zatilganda ta'sir chiziqlar qanday chiziladi?

KO'P ORALIQLI STATIK ANIQ BALKALARNI HARAKATLANUVCHI YUKLAR TA'SIRIGA HISOBLASH

Reja:

1. Ko'p oraliqli statik aniq balka zo'riqishlarining ta'sir chiziqlarini chizish.
2. Ko'p oraliqli statik aniq balka zo'riqishlarini ta'sir chiziqlar yordamida aniqlash.

Tayanch iboralar: ko'p oraliqli balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chizig'i, ko'p oraliqli kesimida ko'ndalang kuch Q va eguvchi moment M larning ta'sir chiziqlari, ko'p oraliqli statik aniq balka zo'riqishlarini ta'sir chiziqlar yordamida aniqlash.

1. Ko'p oraliqli statik aniq balka zo'riqishlarining ta'sir chiziqlarini chizish.

Ko'p oraliqli statik aniq balka tayanch reaksiyalari va ichki zo'riqishlarining ta'sir chiziqlarini chizish oddiy, konsol va konsolli balkalarning ta'sir chiziqlarini chizish qoidalariga asoslanadi. Buning uchun, avvalo, ko'p oraliqli balkaning qavatli tarhlari tuziladi. Asosiy va yordamchi balkalar uchun ta'sir chizig'ini chizish konsolli yoki oddiy balkalar uchun ta'sir chiziqlarni chizishdan farq qilmaydi.

Ko'p oraliqli statik aniq sharnirli balkalarda zo'riqishlar ta'sir chizig'ini chizishni quyidagi misolda ko'ramiz.

Misol. 7.1-rasm, a da ko'rsatilgan ko'p oraliqli balkaning R_V tayanch reaksiyasi va rasmda ko'rsatilgan C_1 , C_2 va C_3 ko'ndalang kesimlar uchun Q_c va M_c ta'sir chiziqlari chizilsin.

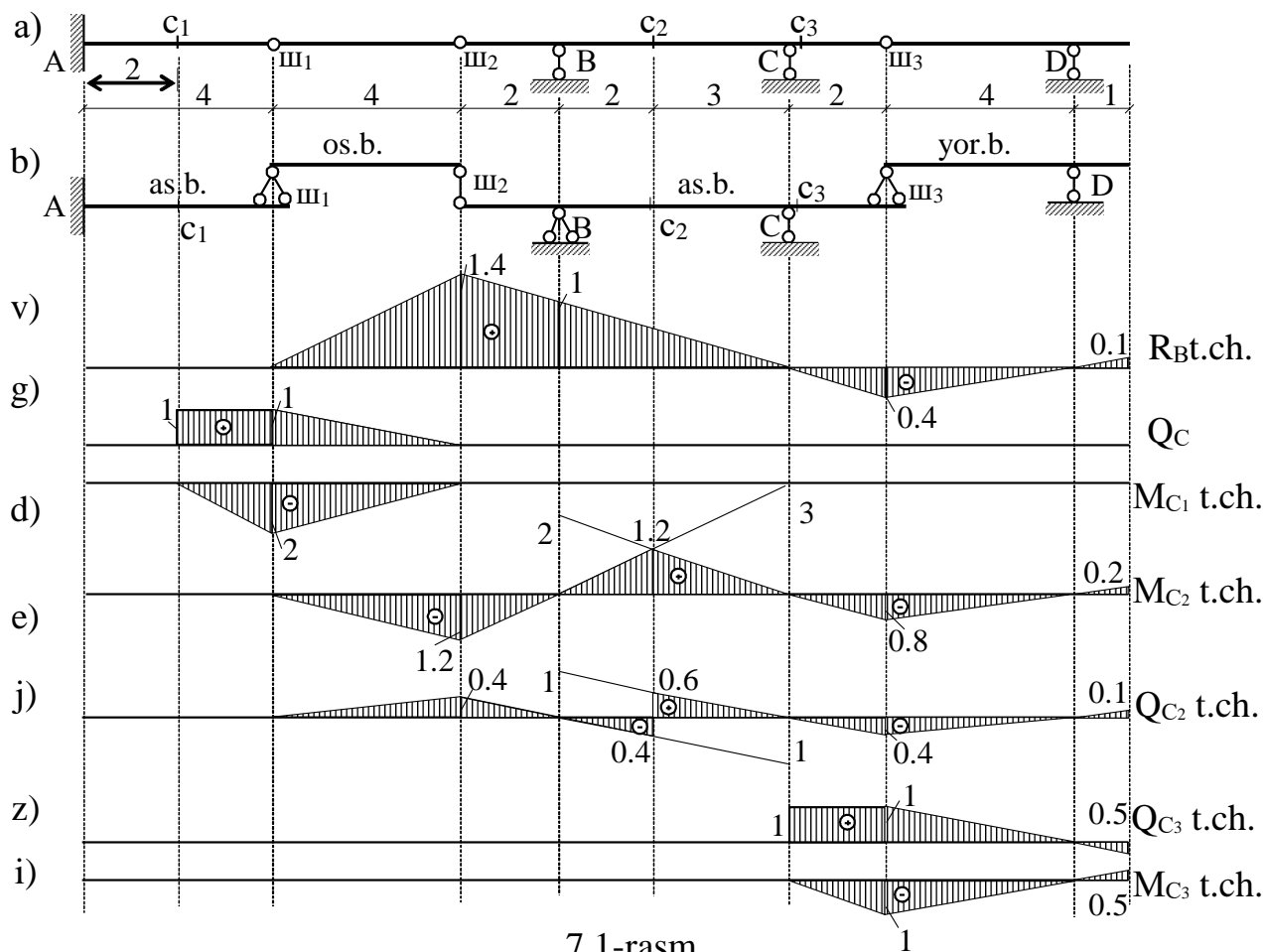
Yechish: 1) Ko'p oraliqli balkaning qavatli tarhi 7.1-rasm, b da ko'rsatilgan.

1) R_b tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizamiz. R_b tayanch reaksiyasi SH_2BCSH_3 asosiy konsolli balkaning tayanch reaksiyasi bo'lganligi sababli avvalo $R=1$ ko'chma yukni shu asosiy balka ustida harakatlanishi qaraladi. $R=1$ yuk SH_2BCSH_3 asosiy konsolli balka ustida harakatlanganda R_B ta'sir chizig'i konsolli balka tayanch reaksiyasi kabi chiziladi. $R=1$ yuk SH_1 SH_2 osma balka bo'ylab chap tomonga harakatlanganda R_V reaksiyasining qiymati kamayib boradi va SH_1 sharnirda $R_B = 0$ bo'ladi. $R=1$ yuk ASH_1 asosiy balkada harakatlanganda $R_B=0$ bo'ladi. Chunki, $R=1$ yuk ASH_1 asosiy balkada harakatlanganda uning ta'siri osma SH_1 SH_2 balka orqali R_B tayanchga uzatilmaydi.

$R=1$ yuk SH_3D yordamchi balka bo'ylab o'ng tomonga harakatlanganda R_V reaksiyaning qiymati kamayib borib, yuk D tayanch ustida bo'lganda nolga teng bo'ladi. Demak, SH_3 sharnir bilan D tayanch oralig'ida R_B reaksiyasining ta'sir chizig'i to'g'ri chiziq bo'ylab o'zgarishi sababli, bular ostidagi ordinatalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtirib uni konsol oxirigacha davom ettiramiz (7.1-rasm, v).

Balka bo'ylab $R=1$ yukning harakatlanishini tekshiramiz. U holda Q_{c_1} va M_{c_1} ning ta'sir chizig'i o'ng konsol balkadagi ko'ndalang kuch va eguvchi moment

ta'sir chiziqlariga o'xshab chiziladi. $R=1$ kuch kesimdan chap tomonda harakatlenganda $Q_c^{uan} = 0$, $M_c^{uan} = 0$, bo'ladi. Demak, chap chiziq sanoq chizig'i ustiga tushadi. $R=1$ yuk kesimdan o'ng tomonda harakatlenganda $Q_c^{yhz} = 1$, $M_c^{yhz} = -x$ bo'ladi; $x=0$ bo'lsa, $M_c^{yhz} = 0$; $x=2$ bo'lsa, $M_c^{yhz} = -2$ bo'ladi.



7.1-rasm

3) Q_{c_1} va M_{c_1} ta'sir chiziqlarini chizish. C_1 kesim ASH_1 asosiy balkaning ko'ndalang kesimi bo'lganligi sababli, avval $R=1$ yukning ASH_1 asosiy konsol

Agar $R=1$ yuk osma SH_1 SH_2 balkaning SH_1 sharnirida bo'lsa, $Q_{c_1}=1$ va $M_{c_1} = -2$; SH_1 sharnirdan uzoqlashib SH_2 sharnirga kelganida esa $Q_{c_1}=0$, $M_{c_1}=0$, bo'ladi.

$R=1$ yuk SH_2BCSH_3 asosiy balka va SH_3D yordamchi balkalar ustida harakatlenganda, u asosiy balka ASH_1 ga hech qanday ta'sir ko'rsatmaydi va $Q_{c_1}=0$, $M_{c_1} = 0$ bo'ladi.

Bu ordinatalarni sanoq chizig'iga qo'yib, hamda to'g'ri chiziqlar bilan tegishli ravishda birlashtirib Q_{c_1} va M_{c_1} larning ta'sir chiziqlarini chizamiz (7.1- rasm, g va d).

4) Q_{c_2} va M_{c_2} ta'sir chiziqlarini chizish. C_2 kesim asosiy SH_2BCSH_3 konsolli balkada bo'lganligi uchun Q_{c_2} va M_{c_2} ta'sir chiziqlarini chizishda $R=1$ yukning shu balka bo'ylab harakatlanishi tekshiriladi. Konsolli balkaning s_2 oraliq kesimidagi Q_{c_2} va M_{c_2} zo'riqishlarining ta'sir chiziqlari oddiy balkalardagi ko'ndalang kuch va eguvchi momentlarning ta'sir chiziqlari kabi chizilib, so'ngra chap chiziqni chap tomondagi konsolning oxirigacha, o'ng chiziqni o'ng tomondagi konsolning oxirigacha davom ettiriladi.

$R=1$ yuk SH_1SH_2 osma va SH_3D yordamchi balkalar ustida harakatlanganda Q_{c_2} va M_{c_2} ta'sir chizig'i R_B tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'idagidek chiziladi (7.1-rasm, e va j).

5) Q_{c_3} va M_{c_3} ta'sir chiziqlarini chizish. s_3 kesim asosiy SH_2BCSH_3 konsolli balkaning o'ng konsolida C tayanchga cheksiz yaqin joylashganligi uchun Q_{c_3} va M_{c_3} zo'riqishlarining ta'sir chiziqlari Q_{c_1} va M_{c_1} ta'sir chiziqlari kabi chiziladi, faqat bu erda ta'sir chiziq konsol uchigacha davom ettiriladi (7.1.-rasm, z va i).

SHunday qilib, ko'p oraliqli balkalarda ta'sir chiziqlar quyidagi tartibda quriladi:

1. Ko'p oraliqli balkaning qavatli tarhlari tuziladi.

2. Asosiy balka uchun ta'sir chizig'ini chizishda ko'chma $R=1$ yukning avvalo shu asosiy balka ustida harakatlanishi qaraladi, so'ngra unga tayangan yordamchi balkalar ustida harakatlanishi ko'rib chiqiladi. Bunda asosiy balkaga tayangan yordamchi balkalarning ta'siri e'tiborga olinadi.

3. Yordamchi balka zo'riqishlarini ta'sir chizig'ini chizishda ko'chma $R=1$ yukning shu balka ustida harakatlanishi qaraladi, undan keyin bu yordamchi balkaga tayangan yordamchi balkalar ustida harakatlanishi tekshiriladi. $R=1$ yuk asosiy balka ustida harakatlanganda uning zo'riqishlari nolga teng bo'ladi.

4. Ta'sir chiziqlar to'g'ri chiziq qonuniga bo'ysinadi.

5. Berilgan tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'i shu tayanch ordinatasida birga teng bo'lsa, qolgan tayanch ordinatalarida nolga teng bo'ladi.

2. Ko'p oraliqli statik aniq balka zo'riqishlarini ta'sir chiziqlar yordamida aniqlash.

Ko'p oraliqli statik aniq balka zo'riqishlarini ta'sir chiziqlar yordamida aniqlashni quyidagi misol yordamida ko'ramiz.

Misol. 7.2-rasm, a da ko'rsatilgan ko'p oraliqli balkaning A va D tayanch reaksiyalari va rasmda ko'rsatilgan k_1 , k_2 va k_3 ko'ndalang kesimlar uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch miqdori ta'sir chiziqlar yordamida aniqlansin.

Echish. 1) Ko'p oraliqli balka elementlarining o'zaro bog'lanishi qavatlar tarhi tuziladi. Balkaning qavatlar tarhi 7.2-rasm, b da ko'rsatilgan.

2) Izlanayotgan zo'riqishlarning ta'sir chizig'i chiziladi. Miqdorlari aniqlanishi lozim bo'lgan zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari 7.2-rasm, v da ko'rsatilgan.

3) Chizilgan ta'sir chiziqlari hamda (6.5) formula yordamida izlanayotgan zo'riqishlarning miqdorlari ishoralar qoidasiga rioya qilingan holda aniqlanadi.

$$S = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega + \sum_{i=1}^n M_i \cdot tg\alpha_i$$

$$R_A = P_1 \cdot y_1 + q_1 \cdot \omega_1 = 8 \cdot 0.5 + 2 \left(-\frac{0.75 \cdot 4}{2} \right) = 4 - 3 = 1 \kappa H$$

$$R_D = P_2 \cdot y_2 + q_1 \cdot \omega_1 + q_2 \cdot \omega_2 + M \cdot tg\alpha =$$

$$= 5(-0.6) + 2 \left(-\frac{0.5 \cdot 4}{2} \right) + 1 \left(\frac{1.5 \cdot 5}{2} \right) + 20 \frac{1}{4} = -3 - 2 + 3.75 + 5 = 3.75 \kappa H.$$

$$M_{k_1} = P_1 \cdot y_1 + q_1 \cdot \omega_1 = 8 \cdot 1 + 2 \left(-\frac{1.5 \cdot 4}{2} \right) = 8 - 6 = 2 \kappa Hm.$$

$$Q_{k_1}^{uan} = P_1 \cdot y_1^{uan} + q_1 \cdot \omega_1 = 8 \cdot 0.5 + 2 \left(-\frac{0.75 \cdot 4}{2} \right) = 4 - 3 = 1 \kappa Hm.$$

$$M_{k_2} = q_1 \cdot \omega_1 = 2 \cdot \left(-\frac{2 \cdot 4}{2} \right) = -8 \kappa H M.$$

$$Q_{k_2} = q_1 \cdot \omega_1 = 2 \cdot \left(-\frac{1 \cdot 4}{2} \right) = -4 \kappa H M.$$

$$Q_{k_3} = P_2 \cdot y_2 + q_1 \cdot \omega_1 + q_2 \cdot \omega_2 + M \cdot \operatorname{tg} \alpha = 5 \cdot 0.2 + 2 \left(+\frac{0.5 \cdot 4}{2} \right) + 1 \left(\frac{0.5 \cdot 5}{2} \right) + 20 \left(-\frac{1}{4} \right) =$$

$$1 + 2 - 1.25 - 5 = -3.25 \kappa H M.$$

Tashqi kuchlar ta'siridan ko'p oraliqli balkada qurilgan M va Q epyuralar yordamida istalgan kesimda hosil bo'lgan zo'riqishlar miqdorini aniqlash mumkin. Ta'sir chizig'i yordamida esa tashqi kuchlar ta'siridan ma'lum kesimdagi bir zo'riqishning qiymati aniqlanadi.

Demak, ko'p oraliqli balkaning biror kesimidagi zo'riqishni aniqlash lozim bo'lsa, uni ta'lig'icha analitik hisoblamasdan, shu kesim uchun izlanayotgan zo'riqishning ta'sir chizig'ini chizib, (6.5) formula yordamida zo'riqish miqdorini aniqlash mumkin ekan.

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Inshootga to'plangan kuchlar sistemasi quyilgan bo'lsa, ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqishlar qanday formula bilan aniqlanadi?
2. Inshootga tekis tarqalgan kuchlar sistemasi quyilgan bo'lsa, ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqishlar qanday formula bilan aniqlanadi?
3. Inshootga juft kuchlar sistemasi quyilgan bo'lsa, ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqishlar qanday formula bilan aniqlanadi?
4. Ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqishlar qanday formula bilan aniqlanadi?
5. Ko'p oraliqli statik balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?
6. Ko'p oraliqli statik balkaning asosiy balkasi zo'riqishlarining ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?
7. Ko'p oraliqli statik balkaning yordamchi balkasi zo'riqishlarining ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?
8. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar zo'riqishlarining ta'sir chiziqlarini chizish tartibini ayting?
9. Ko'p oraliqli statik balka zo'riqishlarining ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?
10. Ko'p oraliqli statik aniq balka zo'riqishlarini ta'sir chiziqlar yordamida qanday aniqlanadi.

9-MAVZU. STATIK ANIQ TEKIS FERMA LARNI QO'ZG'ALMAS YUKLAR TA'SIRIGA HISOBLASH.

Reja:

1. Fermalar to'g'risida tushunchalar.
2. Fermalarning turlari.

Tayanch iboralar: fermalar, metall fermalar, temir-beton fermalar, yogoch fermalar, ferma tuguni, yukori va pastki belboglari, panjarasi, ustun, xovon, panel, fermaning geometrik uzgarmaslik shartlari, fermalarning turlari: tashqi konturining ko'rinishiga, panjaralarining tuzilishiga ko'ra, tayanchlarining joylashishiga ko'ra, foydalanilishiga ko'ra, ko'priklar fermalarda konstruksiyalarining talabiga ko'ra turlari,

1. Fermalar to'g'risida tushunchalar.

Bikr tugunlari sharnirlar bilan almashtirilishidan hosil qilingan geometrik o'zgarmas sterjenli sistemalarga fermalar deb ataladi.

Amalda, fermalarni sterjenlari o'zaro bikr biriktirilgan bo'ladi (8.1-rasm, a). Masalan, **m e t a l l f e r m a** sterjenlari o'zaro payvandlangan yoki boltlar yordamida biriktirilgan, **t e m i r b e t o n f e r m a l a r** butunligicha tayyorlangan bo'ladi. **Y o g' o c h f e r m a** sterjenlari o'zaro elimlangan yoki boltlar orqali biriktiriladi. Lekin, fermalarni hisoblashda bikr tugunlar ideal sharnirlar bilan almashtiriladi (8.1-rasm, b). Ferma sterjenlari to'g'ri chiziqli, tashqi yuklar tugunlarga qo'yilgan deb qaraladi. Bu holda ferma sterjenlari faqat cho'zilish yoki siqilishga ishlaydi.

Ma'lumki, *sterjenlar sharnirlar yordamida o'zaro biriktirilgan bo'lib, unga ko'ngdalang kuchlar ta'siri bo'lmasa, bunday sterjenlarda eguvchi moment nolga teng bo'ladi.* Biroq amalda, ferma elementlarida eguvchi moment hosil bo'ladi. Bu moment miqdori bo'ylama kuchlarga nisbatan juda kichik bo'lgani uchun hisobga olinmaydi. SHuning uchun ham fermaning bikr tugunlari sharnirlar yordamida almashtiriladi.

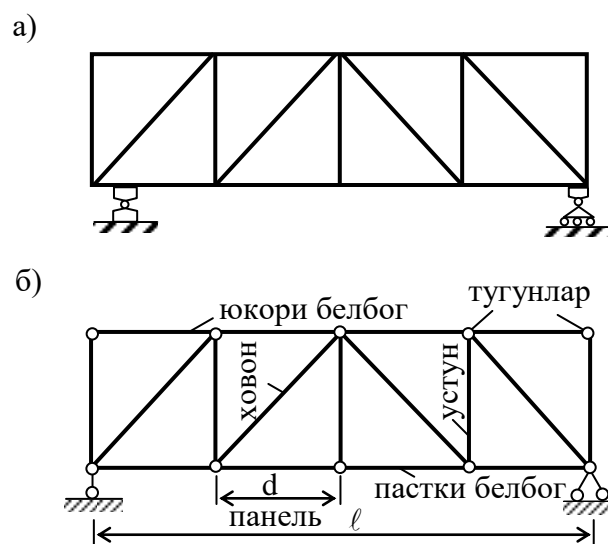
Sterjenlarning uchlarini tutashtiruvchi sharnir **tugun** deb ataladi. Ferma konturining yuqorigi qismini tashkil etuvchi sterjenlar birikmasi **yu q o r i b e l b o g'**, uning pastki elementlari birikmasi esa **p a s t k i b e l b o g'** deyiladi. Yuqorigi va pastki belbog'larni tutashtiruvchi vertikal va og'ma elementlar fermaning **panjarasini** hosil qiladi. Panjaraning vertikal elementlari **u s t u n** va og'ma joylashgan elementlari **h o v o n** lar deyiladi. Fermaning ikki tuguni orasi **p a n e l** deyiladi. Panel oraligi d bilan belgilanadi. Fermaning tayanchlari orasidagi masofa **oraliq** yoki **prolet** deb ataladi va l bilan belgilanadi. Ferma geometrik o'zgarmas bo'lishi uchun, sterjenlari bilan tugunlari orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz. Inshootlarning kinematik tahlilida keltirilgan ta'rifga asosan, sistema geometrik o'zgarmas, statik aniq bo'lishi uchun uning erkinlik darajasi nolga teng bo'lishi kerak, ya'ni

$$W = 2T - S - S_T = 0$$

bu erdan statik aniq fermalarni tayanch sterjenlari soni $S_T = 3$ ekanligini xisobga olsak,

$$S = 2T - S_T = 2T - 3 \quad (6.1)$$

Demak, geometrik o'zgarmas va statik aniq ferma tuzish uchun (6.1) shart bajarilishi zarur. Ushbu (6.1) formula zaruriy shart bo'lib, etarli bo'la olmaydi. Yetarli shart bajarilishi uchun ferma tuzilishining geometrik o'zgarmasligini tekshirish kerak.



8.1-расм

Agar uchburchak shaklidagi sterjen-sharnirli birikmaga har bir keyingi sharnir bir to'g'ri chiziqda yotmagan ikki sterjen yordamida ulangan bo'lsa, hosil bo'lgan ferma geometrik o'zgarmas ferma deyiladi.

2. Fermalarning turlari.

Fermalar quyidagi belgilariga qarab turlarga bo'linadi:

1. *Fermalar tashqi konturining ko'rinishiga qarab uchburchak shaklli (8.2-rasm, a), parallel belbog'li (8.2-rasm, b) va poligonal shaklli (8.2-rasm, v) bo'lishi mumkin.*

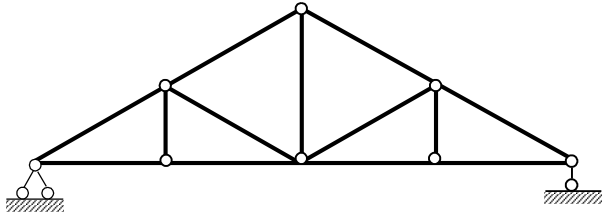
2. *Fermalar panjaralarining tuzilishiga ko'ra quyidagilarga bo'linadi: uchburchak panjarali (8.3-rasm, a); oddiy hovon panjarali (8.3-rasm, a, b, v); yarim hovon panjarali (8.3-rasm, b); ikki hovon panjarali (8.3-rasm, v) va ko'p panjarali (8.3-rasm, g) fermalar.*

Ferma tayanchlarining joylashishiga ko'ra quyidagilarga bo'linadi: balkasimon fermalar (8.2-rasm); konsolli balkasimon fermalar (8.4-rasm, a); konsol fermalar (8.4-rasm, b) va arkasimon fermalar (8.5-rasm).

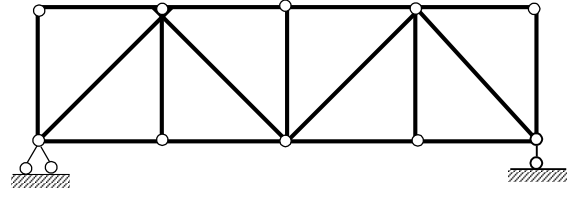
4. *Fermalar foydalanilishiga ko'ra quyidagi turlarga bo'linadi: tomlarni yopishda ishlatiladigan stropila fermalari (8.6-rasm, a); ko'prik fermalari (8.2 va 8.3-rasmlar); kran fermalar va minorasimon fermalar (8.6-rasm b va v).*

Ko'prik fermalarda konstruksiyalarining talabiga ko'ra harakat yuqoridan, pastdan yoki o'rtadan bo'lishi mumkin (8.2-rasm, b; 8.3-rasm, a).

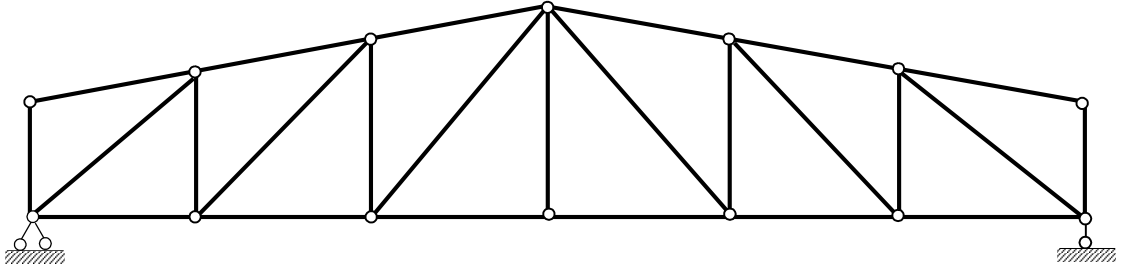
a)



b)

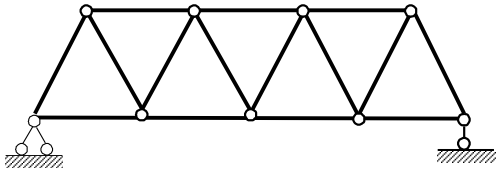


v)

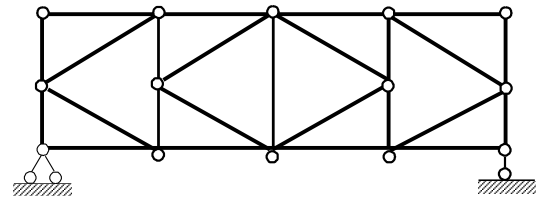


8.2-rasm

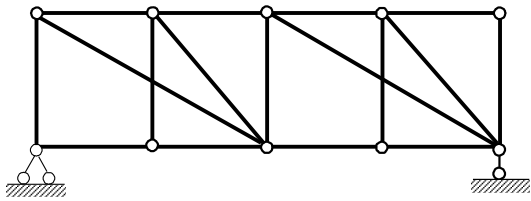
a)



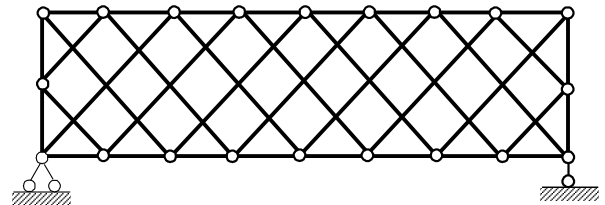
b)



v)

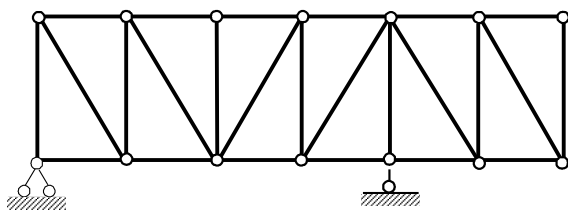


g)

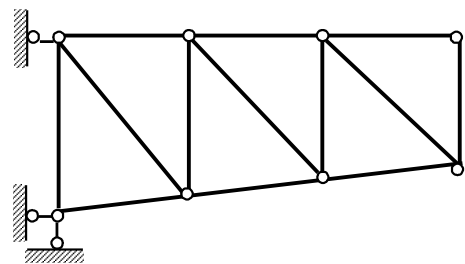


8.3-rasm

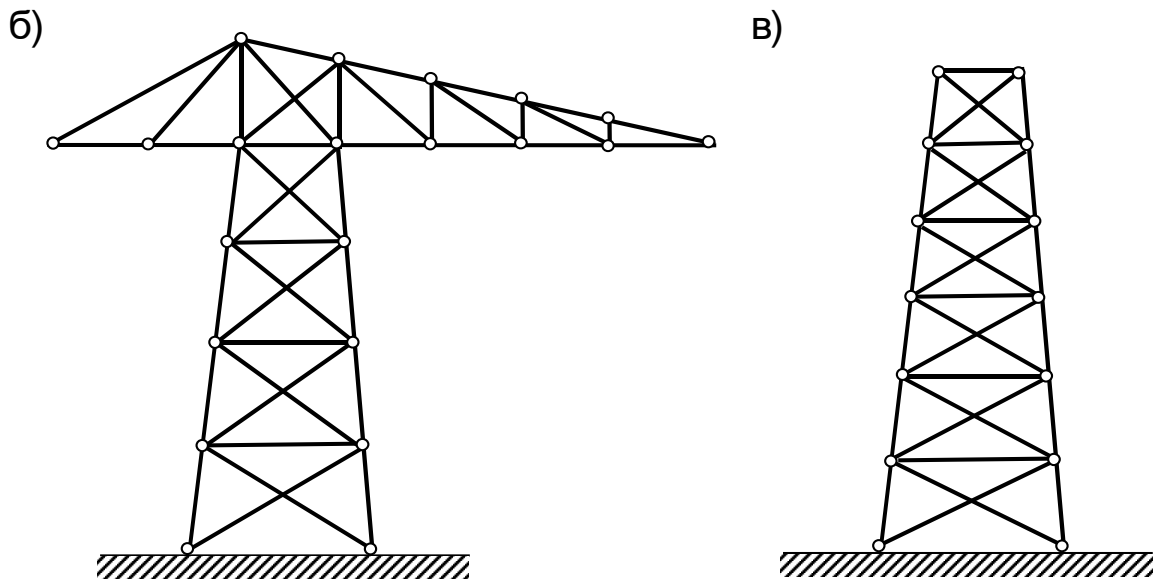
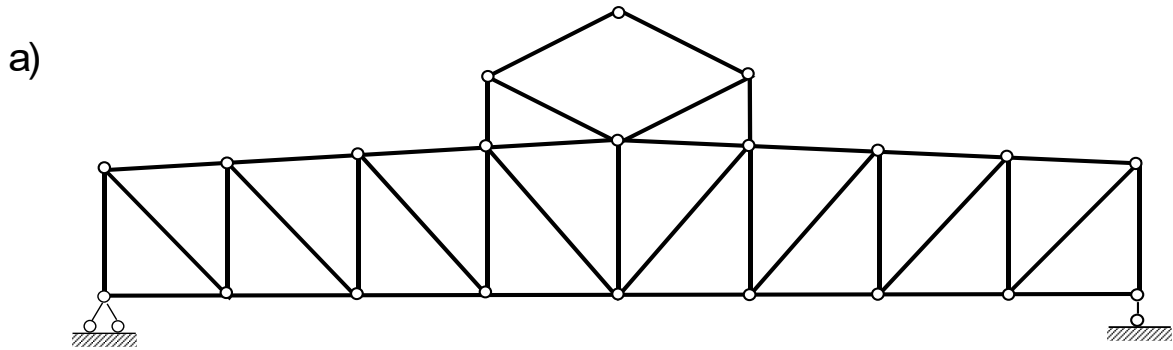
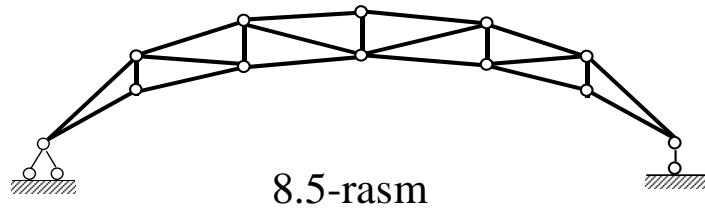
a)



b)



8.4-rasm



8.6-rasm

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Fermalar deb nimaga aytiladi?
2. Fermalarning turlarini ayting?
3. Metal, temir-beton, yog'och fermalar qanday yasaladi?
4. Fermalarning tuguni deb nimaga aytiladi?
5. Fermalarning pastki va yukori belbog'lari deb nimaga aytiladi?

STATIK ANIQ TEKIS FERMA LARNI DOIMIY YUKLAR TA'SIRIGA HISOBLASH

1. Fermalarni hisoblash usullari.

Fermalarni tashqi yuklar ta'siriga hisoblash deganda, uning sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlash tushuniladi. Buning uchun, avvalo, ferma tayanch reaksiyalari muvozanat tenglamalari yordamida aniqlanadi. So'ngra, ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar hisoblanadi. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar asosan quyidagi usullar yordamida aniqlanadi:

1. **Tugun qirqish usuli.**
2. **To'liq kesim usuli.**
3. **Qo'shma kesim usuli.**
4. **Sterjenlarni almashtirish usuli.**
5. **Yopiq kontur usuli.**
6. **Grafik usul.**

Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlashni xar bir usulini alohida-alohida misollarda ko'rib chiqamiz.

2. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlash.

1. Tugun qirqish usuli. Bu usulda ferma tugunlari fikran ketma-ket qirqib ajratib olinib, uning muvozanati qaraladi. Chunki har bir ajratib olingan tugunlarda bir nuqtada kesishuvchi zo'riqish kuchlar sistemasi mavjud. Bu holda sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlash chog'i har bir tugun uchun ikkita muvozanat tenglamasini tuzish mumkin:

$$\sum X = 0; \quad \sum Y = 0.$$

Bu tenglamalarni tuzish 2 ta sterjen tutashgan ixtiyoriy tugundan boshlanadi va undagi noma'lum zo'riqishlar topiladi. So'ngra noma'lum zo'riqishlari ikkitadan ortiq bo'lmagan tugunlar qirqib olinib, muvozanat tenglamalarini tuzish bilan fermaning boshqa sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlanadi.

Bu usul yordamida tugunlar muvozanatining ayrim hollarini tekshirib, nol zo'riqishli sterjenlarning belgilarini aniqlaymiz. Buni quyidagi misol yordamida qaraymiz.

Misol. 8.7-rasm, a da berilgan fermaning nol sterjenlari aniqlansin.

Yechish. Ferma tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

$$\sum X = 0; \quad N_A = 0.$$

$$\sum M_A = 0; \quad R \cdot d + P \cdot 3d + P \cdot 4d - R_B \cdot 4d = 0, \text{ bundan } R_B = \frac{8Pd}{4d} = 2P.$$

$$\sum M_B = 0; \quad R_A \cdot 4d - P \cdot 3d - P \cdot d = 0, \text{ bundan } R_A = \frac{4Pd}{4d} = P.$$

$$\text{Tekshirish: } \sum U = 0; \quad R_A + R_B - 3R = 2P + P - 3R = 0.$$

2. 9.1.-rasm, a da ko'rsatilgan fermadan 1-tugunni ajratib, tutashgan sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlaymiz (9.1-rasm, b):

$$\sum X = 0; \quad N_{1-2} = 0; \quad \sum Y = 0; \quad N_{1-A} = 0.$$

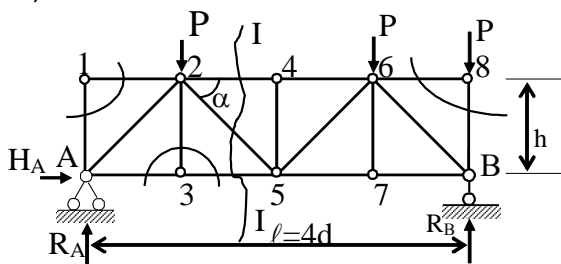
Demak, **bir chiziqda yotmagan ikki sterjen tutashgan tugunga yuk qo'yilmagan bo'lsa, fermaning bu sterjenlaridagi zo'riqishlar nolga teng bo'ladi.** Bu shart nol zo'riqishli sterjenlarning birinchi belgisidir.

3. Fermaning 3-tugunini ajratib, uning uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz (8.7-rasm, v).

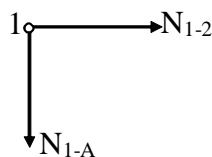
$$\sum X = 0; \quad -N_{3-A} + N_{3-5} = 0; \quad \text{bundan} \quad N_{3-5} = N_{3-A} .$$

$$\sum Y = 0; \quad N_{3-2} = 0.$$

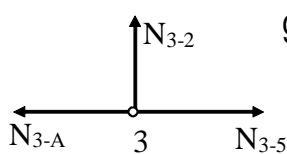
a)



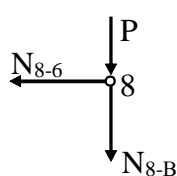
b)



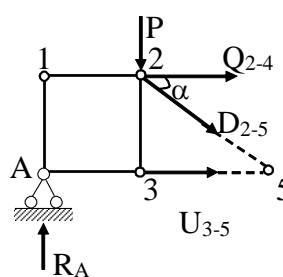
v)



g)



d)



9.1-rasm

Demak, **fermaning yuklanmagan tugunida uchta sterjen tutashgan bo'lib, ularning ikkitasi bir to'g'ri chiziqda yotsa ulardagi zo'riqishlar bir-biriga teng, uchinchi sterjendagi zo'riqishi esa nolga teng bo'ladi.** Bu nol zo'riqishli sterjenlarning ikkinchi belgisidir. Bunga asosan $N_{4-5} = N_{7-6} = 0$.

4. Fermaning 8-tugunini qirqib, uning uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz (9.1-rasm, g):

$$\sum X = 0; \quad -N_{8-6} = 0;$$

$$\sum Y = 0; \quad -R - N_{8-B} = 0; \quad N_{8-B} = -R$$

Demak, **tugunda ikki sterjen tutashgan bo'lib, unga qo'yilgan yuk biror sterjen o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lsa, bu sterjendagi zo'riqish qo'yilgan yukka teng, ikkinchi sterjendagi zo'riqish esa nolga teng.** Bu nol zo'riqishli sterjenlarning uchinchi belgisidir.

2. **To'liq kesim usuli.** Yassi fermaning ayrim sterjenlaridagi zo'riqishlarini aniqlash talab qilinsa, u holda to'liq kesim usulidan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Bu usulda fermaning zo'riqishi aniqlanadigan sterjenini kesib o'tuvchi biror I-I to'liq kesim bilan fermani fikran ikki qismga ajratilib, uning chap yoki o'ng qismini muvozanati tekshiriladi.

Bu erda imkoni boricha fermaning kuchlar ko'proq ta'sir qilayotgan qismini tashlab yuborish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Fermaning qoldirilgan qismi uchun tekislikdagi kuchlarning muvozanat tenglamalari tuziladi. Fermaning ajratilgan

qismidagi noma'lum zo'riqishlarni aniqlash uchun statikaning muvozanat tenglamalaridan foydalaniladi. Tenglamalar tuzishda, iloji bo'lsa har bir tenglamada noma'lumlar soni bittadan oshmasligi lozim.

Misol. 8.7-rasm, a da tasvirlangan fermaning Q_{2-4} , U_{3-5} va D_{2-5} sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlansin.

Echish: Fermaning tayanch reaksiyalari oldingi misolda aniqlangan bo'lib, izlanayotgan sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlash uchun ularni qirqib o'tuvchi I-I to'liq kesim o'tkazamiz (9.1-rasm, a) va fermaning chap qismini ajratib qaraymiz. (9.1-rasm, d) Q_{2-4} zo'riqishni aniqlash uchun 5 nuqtaga nisbatan momentlar tenglamasi tuziladi. Chunki bu nuqtada D_{2-5} va U_{3-5} zo'riqishlarning momentlari nolga teng. 5 - nuqta Q_{2-4} sterjenda hosil bo'luvchi zo'riqishni hisoblash uchun moment nuqta deyiladi.

$$\sum M_5^{uan} = 0; \quad R_A \cdot 2d - P \cdot d + Q_{2-4} \cdot h = 0, \quad \text{bundan}$$

$$Q_{2-4} = \frac{Pd - R_A \cdot 2d}{h} = \frac{Pd}{h} \quad \text{bo'ladi.}$$

SHuningdek U_{3-5} zo'riqishini aniqlashda ham moment nuqta usulidan foydalanib, 2 - nuqtaga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_2^{uan} = 0; \quad R_A \cdot d - U_{3-5} \cdot h = 0, \quad \text{bundan}$$

$$U_{3-5} = R_A \frac{d}{h} = \frac{Pd}{h} \quad \text{bo'ladi.}$$

Agar qirqilgan sterjenlardan ikkitasi o'zaro parallel bo'lsa, u holda uchinchi sterjendagi zo'riqish parallel bo'lgan sterjenlarga tik yo'nalgan o'qqa tushirilgan proeksiyalar yig'indisining nolga tengligi shartidan foydalanib aniqlanadi. Masalan, D_{2-5} sterjen zo'riqishini aniqlash uchun $\sum Y = 0$ shartidan foydalaniladi.

$$\sum Y = 0; \quad R_A - P - D_{2-5} \cdot \sin \alpha = 0, \quad \text{bundan}$$

$$D_{2-5} = \frac{R_A - P}{\sin \alpha} \quad \text{bo'ladi.}$$

Qo'shma kesimlar usuli. Ba'zi fermalarning sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlash uchun 2 yoki undan ortiq kesim o'tkazishga to'g'ri keladi. Bunday usulga qo'shma kesimlar usuli deyiladi. Bu usulni quyidagi misol orqali qaraymiz.

Misol. 8.8-rasm, a da tasvirlangan yarim havonli fermaning 1-3 va 1-4 havon sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlansin.

Yechish: 1) Ferma tayanch reaksiyalari aniqlanadi.

$$R_A = R_B = \frac{5P}{2} = 2.5P$$

2) Fermaning zo'riqishi aniqlanishi lozim bo'lgan havon sterjenlarini qirqib o'tuvchi I-I to'liq kesim o'tkazamiz (8.8-rasm, a) va fermanni chap qismini ajratib qaraymiz (9.2-rasm, b). Bu erda noma'lum zo'riqishlar soni 4 ta Q_{2-3} , D_{1-3} , D_{1-4} , U_{A-4} bo'ladi. SHuning uchun qo'shimcha II-II kesim o'tkazamiz, ya'ni 1-tugunni qirqib qaraymiz (9.2-rasm, v). I-I kesim (8.8-rasm, b) bo'yicha

$$\sum Y = 0;$$

$$R_A - P + (D_{1-3} - D_{1-4}) \cdot \sin \alpha = 0, \quad (a)$$

tenglamani tuzamiz.

1-tugundan (9.2-rasm, v)

$$\sum X = 0; (D_{1-3} - D_{1-4}) \cdot \cos \alpha = 0, \quad (b)$$

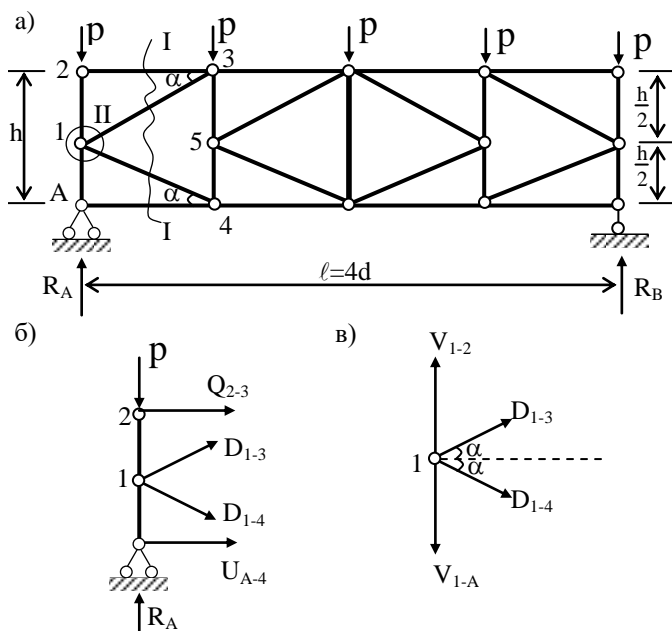
tenglamani tuzamiz.

Bundan

$$D_{1-3} = -D_{1-4} \quad (v)$$

(v) ni (a) ga qo'yib D_{1-4} ni aniqlasak,

$$D_{1-4} = \frac{R_A - P}{2 \sin \alpha} = \frac{1.5P}{2 \sin \alpha} \quad \text{bo'ladi.}$$



9.2-расм

4. Sterjenlarni almashtirish usuli.

Murakkab fermalarni hisoblashni soddalashtirish uchun sterjenlarni almashtirish usuli tadbiiq etiladi. Bu usul yordamida murakkab fermanni oddiy fermaga almashtirish mumkin. Sterjenlarni almashtirish usuli bilan hosil qilingan ferma o'zgartirilgan ferma deyiladi. O'zgartirilgan fermanni yuqorida qaralgan usullarning biri bilan hisoblash mumkin.

Sterjenlarni almashtirish usulini quyidagi misol orqali qaraymiz.

Misol. 9.3-rasm, a da berilgan fermaning 2-4 sterjenidagi zo'riqish aniqlansin.

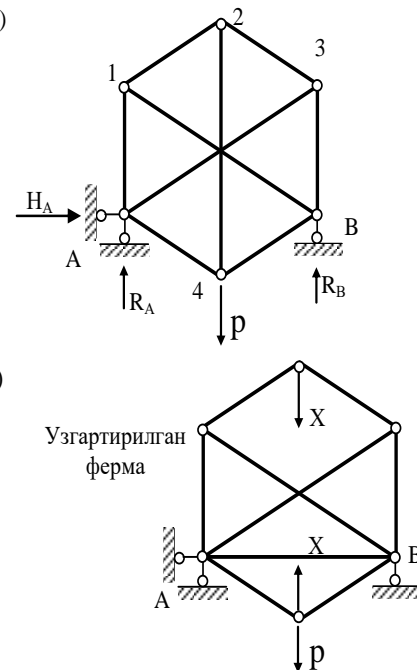
Echish:

1) Fermaning tayanch reaksiyalarini topamiz.

$$H_A = 0; \quad R_A = R_B = \frac{P}{2}$$

2) 9.3-rasm, a da keltirilgan fermanni 2 - 4 sterjenini tashlab, uni A-B sterjen bilan almashtirib o'zgartirilgan oddiy ferma hosil qilinadi (9.3-rasm, b).

Tashlab yuborilgan 2-4 sterjendagi zo'riqishni noma'lum deb, X bilan belgilanadi. Almashtirilgan sterjendagi zo'riqish, almashtiruvchi sterjendagi zo'riqish nol ekanligidan foydalanib aniqlanadi, ya'ni



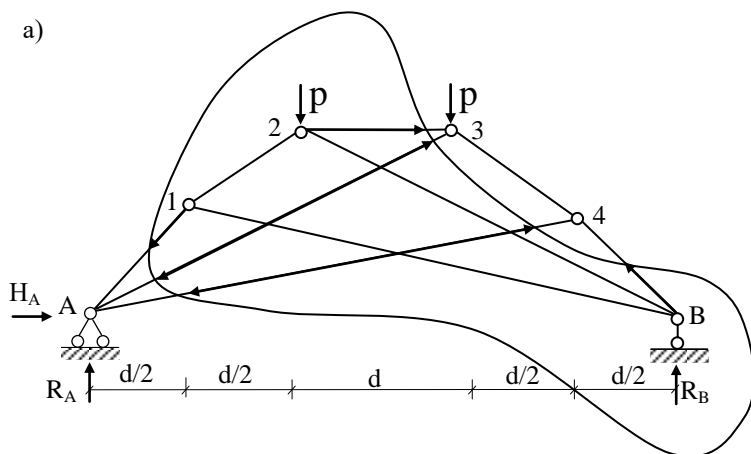
9.3-расм

$$N_{AB} = N_{AB,P} + \bar{N}_{AB} \cdot X = 0, \quad \text{bundan} \quad X = \frac{-N_{AB,P}}{\bar{N}_{AB}} \quad \text{bo'ladi.}$$

bu erda $\bar{N}_{AB}, N_{AB,P}$ - almashtiruvchi AB sterjendagi $X=1$ va tashqi yuklardan hosil bo'lgan zo'riqishlar. Bu zo'riqishlar quyidagicha aniqlanadi. O'zgartirilgan fermani faqat $X=1$ yukka hisoblab, AB sterjendagi \bar{N}_{AB} zo'riqishni tugun kesish usuli orqali topiladi. $N_{AB,P}$ zo'riqishni aniqlash uchun esa o'zgartirilgan ferma faqat tashqi R yukka hisoblanadi. Bu erda ham tugun kesish usulini qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Yopiq (berk) kontur usuli. Bu usul ham murakkab fermalarni hisoblash uchun qo'llaniladi. Yopiq kontur usulini Shuxov V.G. fermalari sterjenlari zo'riqishlarini aniqlash misolida qaraymiz. (9.4-rasm, a).

Misol. 9.4-rasm, a da ko'rsatilgan fermaning B-4 sterjenidagi zo'riqish aniqlansin.



Yechish:

1) Fermaning tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

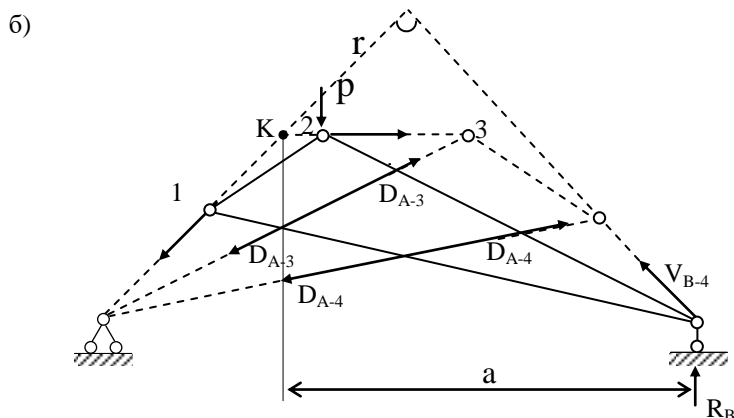
$$H_A = 0; \quad R_A = R_B = \frac{2P}{2} = P$$

2) Ferma sterjenidagi izlanayotgan zo'riqishni aniqlash uchun, uni kesib o'tuvchi yopiq qirgim yoki yopiq kontur o'tkazamiz (9.4-rasm, a). Fermanni yopiq konturdan tashqari qismini tashlab yuboramiz va ichki qismini ajratib qoldiramiz (9.4-rasm, b) qoldirilgan qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$\sum M_K = 0; \quad -R_B \cdot a - V_{B-4} \cdot r = 0,$$

bundan

$$V_{B-4} = -\frac{a}{r} R_B \quad \text{bo'ladi.}$$



9.4-pacm

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlashning tugun kirkish usuli?
2. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlashning tulik kesim usuli?
3. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlashning qo'shma kesimlar usuli?
4. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlashning sterjenlarni almashtirish usuli ?
5. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlashning yopiq kontur usuli?

STATIK ANIQ TEKIS FERMALARNI HARAKATLANUVCHI YUKLAR TA'SIRIGA HISOBLASH

Reja:

1. Fermalarda tasir chiziqlar chizish to'g'risida tushunchalar.
2. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarning tasir chiziklarini chizish.

Tayanch iboralar: fermalarda tasir chiziqlar chizish, ferma tayanch reaksiyalari va sterjenlaridagi zo'riqishlarning tasir chiziqlari

1. Fermalarda tasir chiziqlar chizish to'g'risida tushunchalar.

Ba'zi hollarda tekis fermalarga doimiy yuklardan tashqari harakatdagi yuklar ham ta'sir etadi. Ma'lumki, qo'zg'almas tashqi yuklar fermaning sharnirli tugunlariga qo'yiladi deb qaralganligi sababli harakatdagi ko'chma yuk ham fermanni sharnirli tugunlariga ketma-ket qo'yib qaraladi. Harakatdagi yuk ta'siridan ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar miqdori o'zgarib boradi. Zo'riqishlarning o'zgarishini tasvirlash uchun ta'sir chiziqlari quriladi.

Harakatdagi yukning ferma tugunlariga qo'yib qaralishi balkaga yuklarni tugunlar orqali uzatishga aynan o'xshashdir. Shu sababli ferma elementlaridagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini chizishda yuklarning tugun orqali asosiy balkaga uzatishdagi ta'sir chiziqlar chizish qoidalari qo'llaniladi.

2. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarning tasir chiziqlarini chizish.

Ferma elementlarida ta'sir chizig'ini chizish tartibini quyidagi misolda ko'ramiz.

Misol. 9.1-rasmda tasvirlangan poligonal ferma elementlaridagi zo'riqishlarning ta'sir chizig'ini chizish talab qilinsin. $h = 2 m$; $d = 1 m$.

Yechish: $R=1$ yuk fermaning pastki belbog'i bo'ylab harakatlansin.

a). Ferma tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlarini chizish.

Ferma tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari oddiy balka tayanch reaksiyalar ta'sir chiziqlariga aynan o'xshash bo'ladi.

b). Fermaning pastki belbog'i sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish.

Pastki belbog'ning 3-5 elementidagi U_{3-5} zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish uchun fermanni I-I kesim bo'yicha kesib, ko'chma birlik yukning ikki holatini tekshiramiz.

1-holat. Birlik yuk ($R=1$) kesim o'tkazilgan paneldan chap tomonda harakatlanadi, ya'ni $0 \leq x \leq d$.

Fermaning o'ng qismi uchun muvozanat tenglamasini yozib, U_{3-5}^{chap} ni aniqlaymiz.

$$\sum M_6^{\text{o'ng}} = 0; \quad -R_B \cdot 4d + U_{3-5}^{\text{chap}} \cdot h_{5-6} = 0,$$

$$\text{bundan} \quad U_{3-5}^{\text{uan}} = \frac{4d}{h_{5-6}} R_B \quad (\text{a})$$

Demak, U_{3-5}^{chap} ning ta'sir chizig'i R_B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i kabi bo'lib, R_V ning ordinatalari o'zgarmas $\frac{4d}{h_{5-6}}$ ga ko'paytirilgan bo'ladi. (a) tenglama U_{3-5} zo'riqish ta'sir chizig'ining chap chiziq tenglamasi deyiladi va $R=1$ yuk kesimdan chapda harakatlanganida U_{3-5} sterjen zo'riqishining o'zgarishini ifodalaydi.

2-holat. $R=1$ ko'chma yuk kesim o'tkazilgan paneldan o'ng tomonda harakatlanadi ($2d \leq x \leq 6d$). Bu hol uchun ham 6 moment nuqtaga nisbatan fermaning chap qismida yotgan kuchlar momentlarining yig'indisi nolga tengligi shartidan foydalanamiz, ya'ni

$$\sum M_6^{\text{chap}} = 0; \quad R_A \cdot 2d - U_{3-5}^{\text{o'ng}} \cdot h_{5-6} = 0,$$

$$\text{bundan} \quad U_{3-5}^{\text{o'ng}} = \frac{2d}{h_{5-6}} R_A \quad (\text{b})$$

Demak, $R=1$ yuk kesimdan o'ngda harakatlanganida, $U_{3-5}^{\text{o'ng}}$ zo'riqishning ta'sir chizig'i oddiy balka A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i kabi bo'ladi, lekin uning ordinatalari o'zgarmas miqdor $\frac{2d}{h_{5-6}}$ ga ko'paygan bo'ladi. (b) tenglama o'ng chiziq

tenglamasi deyiladi va u $R=1$ yuk kesim o'tkazilgan paneldan o'ng tomonda harakatlanayotganda zo'riqishning o'zgarishini xarakterlaydi. Uning kerakli qismi $2d \leq x \leq 6d$ oraliqda bo'ladi (10.1-rasm, b). $R=1$ yuk kesilgan panelda harakatlanayotganda U_{3-5} zo'riqishning o'zgarish qonunini ifodalovchi uzatish chizig'i 3-5 chap chiziq ustida yotadi. Shunday qilib, U_{3-5} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'i 10.1-rasm, b da tasvirlangandek bo'ladi.

v). Fermaning xovon sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish.

Fermaning xovon D_{3-6} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish uchun fermanni I-I kesim bo'yicha kesib, ko'chma birlik yukning ikki holatini tekshiramiz

1-holat. Ko'chma $R=1$ yuk I-I kesimdan chap tomonda harakatlansin.

($0 \leq x \leq d$)

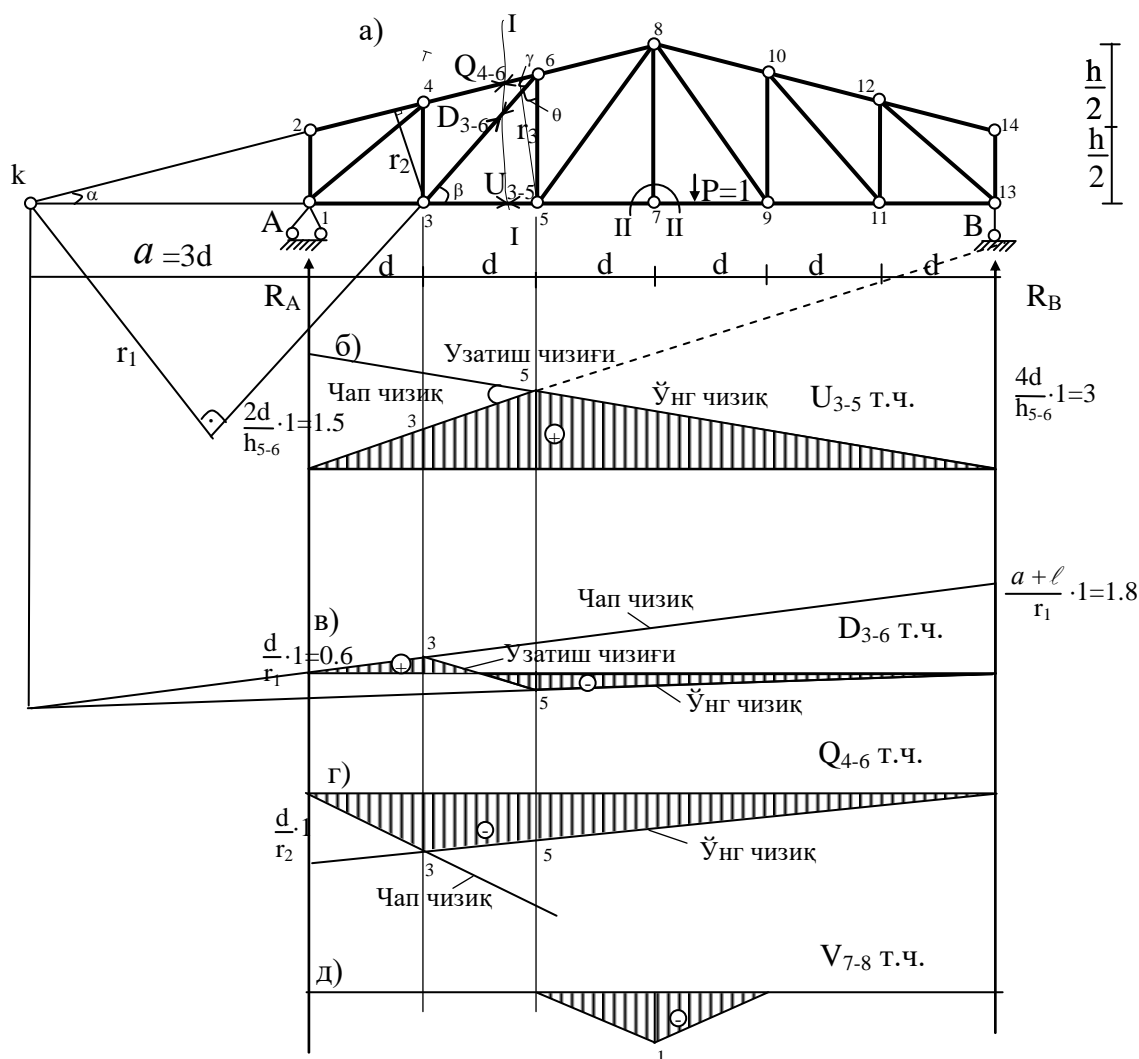
$$\sum M_k^{\text{o'ng}} = 0; \quad -R_V \cdot (a + \ell) + D_{3-6}^{\text{chap}} \cdot r_1 = 0, \quad D_{3-6}^{\text{uan}} = \frac{a + \ell}{r_1} R_B \quad (\text{v})$$

Bu tenglamaga chap chiziq tenglamasi deyiladi.

2-holat. $R=1$ yuk kesimdan o'ng tomonda harakatlanadi. ($2d \leq x \leq 6d$)

$$\sum M_k^{\text{chap}} = 0; \quad -R_A \cdot a - D_{3-6}^{\text{o'ng}} \cdot r_1 = 0, \quad D_{3-6}^{\text{yHz}} = -\frac{a}{r_1} R_A. \quad (\text{g})$$

Bu tenglamaga o'ng chiziq tenglamasi deyiladi.



10.1-rasm

Чап чизиқ (b) va o'ng chiziқ (g) tenglamasi tarkibidagi a va r_1 lar noma'lum bo'lib, ularni aniqlash lozim (10.1-rasm, a). a ni aniqlash uchun quyidagi shartdan foydalanamiz:

$$\frac{h_{7-8}}{h_{1-2}} = \frac{(3d + a)}{a}; \quad h_{7-8} = h; \quad h_{1-2} = \frac{1}{2}h; \quad ah = \frac{1}{2}h(3d + a);$$

bundan $a = 3d$.

r_1 quyidagi tartibda aniqlanadi:

$$\frac{h_{1-2}}{3d} = \operatorname{tg}\alpha; \quad \frac{h}{6d} = \operatorname{tg}\alpha; \quad \operatorname{tg}\alpha = \frac{2m}{6 \cdot 1m} = \frac{1}{3} = 0.3333; \quad \alpha = 18^\circ 25'$$

$$\frac{a + 2d}{b_{k-6}} = \cos\alpha; \quad b_{k-6} = \frac{a + 2d}{\cos\alpha} = \frac{5d}{\cos 18^\circ 25'} = \frac{5 \cdot 1}{0.947} = 5.32m.$$

$$\gamma = 90^\circ - \alpha - \theta; \quad \theta = 180^\circ - 90^\circ - \beta; \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{h_{5-6}}{d}; \quad \frac{h_{5-6}}{a + 2d} = \operatorname{tg}\alpha$$

$$h_{5-6} = (a + 2d) \frac{1}{3} = \frac{5d}{3} = 1.6666d; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{1.6666d}{d} = 1.6666. \quad \beta = 59^{\circ}$$

$$\text{bundan } \theta = 180^{\circ} - 90^{\circ} - 59^{\circ} = 31^{\circ}$$

$$\gamma = 90^{\circ} - \alpha - \theta = 90^{\circ} - 18^{\circ} 25' - 31^{\circ} = 40^{\circ} 35'.$$

$$\text{Demak } \frac{r_1}{b_{k-6}} = \sin \gamma$$

$$r_1 = b_{k-6} \cdot \sin \gamma = 5.32_M \cdot \sin 40^{\circ} 35' = 5.32 \cdot 0.316 = 1.68_M$$

Chap va o'ng chiziq tenglamalariga asosan D_{3-6} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'ini quramiz (10.1-rasm, v). $R=1$ yuk kesilgan panelda harakatlanganida ta'sir chizig'i 3-5 uzatish chizig'i orqali ifodalanadi.

g). Fermaning yukori belbog'i sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish.

Fermaning yukori belbog'i Q_{4-6} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish uchun xam fermanni I-I kesim bo'yicha kesib, ko'chma birlik yukning ikki holatini tekshiramiz

1-holat. $R=1$ yuk kesimdan chap tomonda $0 \leq x \leq d$) deb, fermaning o'ng qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzib, Q_{4-6}^{chap} ni aniqlaymiz.

$$\sum M_3^{\text{ung}} = 0; \quad -Q_{4-6}^{\text{chap}} \cdot r_2 - R_V \cdot 5 \cdot d = 0, \quad Q_{4-6}^{\text{yan}} = -\frac{5d}{r_2} R_B. \quad (\text{d})$$

Bu tenglamaga chap chiziq tenglamasi deyiladi.

2-holat. $R=1$ yuk kesimdan o'ng tomonda harakatlanadi. ($2d \leq x \leq 6d$) deb, fermaning chap qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$\sum M_3^{\text{chap}} = 0; \quad Q_{4-6}^{\text{o'ng}} \cdot r_2 + R_A \cdot d = 0, \quad Q_{4-6}^{\text{yhz}} = -\frac{d}{r_2} R_A. \quad (\text{e})$$

Bu tenglamaga o'ng chiziq tenglamasi deyiladi.

Chap chiziq (d) va o'ng chiziq (e) tenglamalari tarkibidagi r_2 noma'lum quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$\frac{r_2}{a+d} = \sin \alpha = \sin 18^{\circ} 25' = 0.316; \quad r_2 = 4d \cdot 0.316 = 1.264_M$$

Chap va o'ng chiziq tenglamalariga asosan Q_{4-6} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'ini quramiz. (10.1-rasm, g). Chap va o'ng chiziqlar moment nuqtadan tushirilgan ordinata chizig'i ustida kesishadi.

d). Fermaning ustun sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish.

Fermaning ustun V_{7-8} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizishni karaymiz. Bunday sterjenlardagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini chizishda tugunlarni kesish usulidan foydalaniladi. Fermaning 7-tugunini kesib, $R=1$ yukning ikki xolatini tekshiramiz.

1-holat. $R=1$ yuk II-II kesimdan tashqarida harakatlansin. Bu holda, $V_{7-8} = 0$ bo'ladi.

2-holat. $R=1$ yuk II-II kesim ichkarisida harakatlanadi, ya'ni 7- tugun ustiga qo'yilgan holni qaraymiz. Bu holda $V_{7-8} = 1$.

Demak, $R=1$ yuk fermaning boshqa tugunlariga qo'yilganda V_{7-8} zo'riqish nolga teng. 7-tugunga qo'yilganda esa $V_{7-8} = 1$ bo'ladi. Hosil bo'lgan V_{7-8} zo'riqishning ta'sir chizig'i 10.1-rasm, d da ko'rsatilgan.

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Fermalarda tasir chiziklar chizish to'g'risida ayting?
2. Ferma tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari qanday quriladi?
3. Fermaning pastki belbog'i sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'i qanday quriladi?
4. Fermaning yukori belbog'i sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'i qanday quriladi?
5. Fermaning xovon sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'i qanday quriladi?
6. Fermaning ustun sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'i qanday quriladi?

10-MAVZU. UCH SHARNIRLI ARKALARNI QO‘ZG‘ALMAS YUKLAR TA‘SIRIGA HISOBLASH.

Reja:

1. Uch sharnirli sistemalar hakida tushuncha.
2. Uch sharnirli arka tayanch reaksiyalarini aniqlash.
3. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy ko‘ndalang kesimidagi zo‘riqishlarni aniqlash.
4. Arka o‘qining ratsional shakli

Tayanch iboralar: uch sharnirli sistema, uch sharnirli arka, uch sharnirli rama, uch sharnirli arkasimon ferma, uch sharnirli arkaning tayanch reaksiyalarini va ixtiyoriy ko‘ndalang kesimidagi zo‘riqishlar.

1. Uch sharnirli sistemalar hakida tushuncha.

O‘zaro bitta sharnir, asos bilan 2 ta sharnir yordamida tutashgan ikki diskdan iborat sistemaga uch sharnirli sistema deyiladi (10.1-rasm, a).

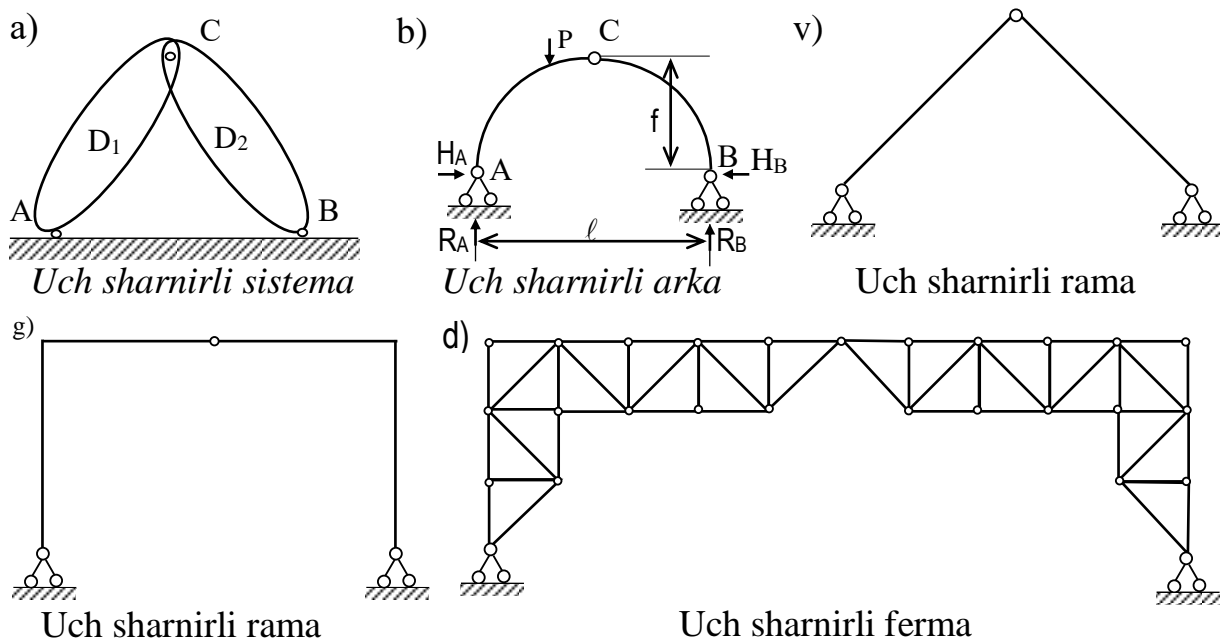
Agar disklar egri sterjenlardan tashkil topgan bo‘lsa, bunday sistemalarga uch sharnirli arkalar deyiladi (10.1-rasm, b).

Agar disklar to‘g‘ri va siniq sterjenlardan tashkil topgan bo‘lsa, bunday sistemalar uch sharnirli ramalar deyiladi (10.1-rasm, v, g).

Agar disklar fermalardan tashkil topgan bo‘lsa, bunday sistemalar uch sharnirli arkasimon fermalar deyiladi (10.1-rasm, d).

Tayanchlar orasidagi masofaga oraliq deyiladi va ℓ bilan belgilanadi.

Arka tayanch chizig‘idan arkaning eng baland nuqtasigacha bo‘lgan masofa arkaning ko‘tarilish cho‘qqisi deyiladi va f bilan belgilanadi (10.1-rasm, b).

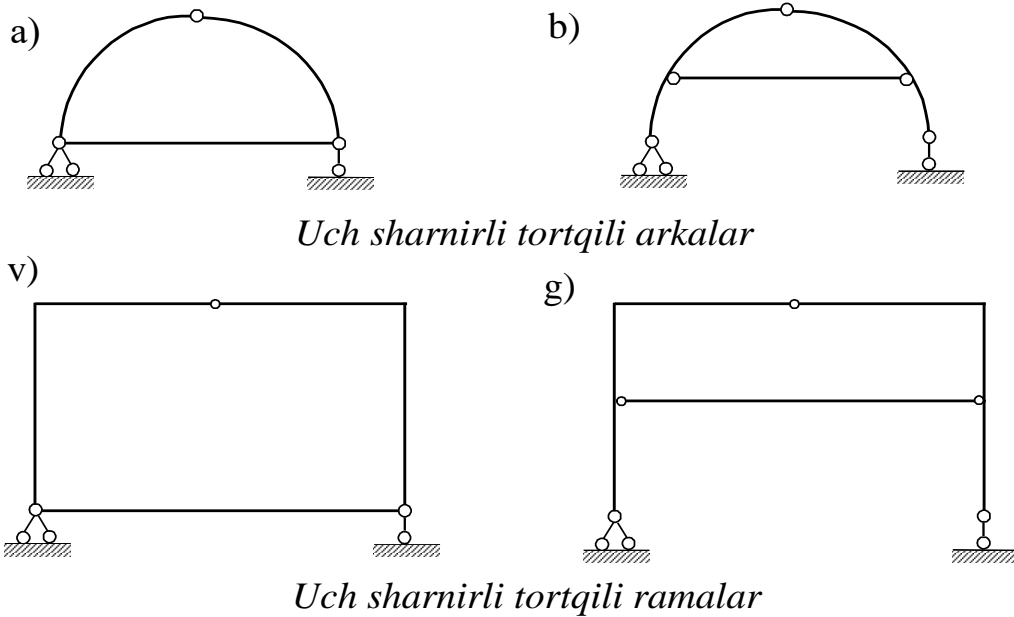


10.1-rasm

A va B tayanch sharnirlar tovon sharnirlar, oraliq C sharnir esa **qulf** sharnir deb ataladi (10.1-rasm, b).

Uch sharnirli sistemalarda vertikal yuklar ta'siridan gorizontall reaksiyalar hosil bo'ladi. Bu gorizontall reaksiyalar H_A va H_B hovonlar deyiladi. Shuning uchun ham bunday sistemalar **hovonli sistemalar** deyiladi (10.1-rasm, b).

Yuqorida qaralgan sistemalarning tayanchlari qo'zg'almasdir. Odatda, amaliyotda ba'zi bir uch sharnirli sistemalarning bir tayanchi qo'zg'aluvchan qilib tayyorlanadi. Bunday sistemalarning geometrik o'zgarmasligi tortqilar hisobiga ta'minlanadi. Bunday sistemalarni tortqili uch sharnirli sistemalar deyiladi (10.2-rasm, a, b, v, g).



10.2-rasm

2. Uch sharnirli arka tayanch reaksiyalarini aniqlash

Uch sharnirli arkaga vertikal yuklar ta'sir qilayotgan hol uchun tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz. Vertikal tayanch reaksiyalarni V_A , V_B , gorizontallarni esa N_A , N_B bilan belgilaymiz. Ularni aniqlash uchun statika muvozanat tenglamalari tuziladi:

$$\sum X = 0; \quad \sum M_A = 0; \quad \sum M_V = 0.$$

Bu statika muvozanat tenglamalariga qo'shimcha to'rtinchi tenglama, C sharnirda moment nol ekanligidan $\sum M_C^{\text{chap}} = 0$; yoki $\sum M_C^{\text{ong}} = 0$. tuziladi.

A tayanchning vertikal reaksiyasi V_A ni aniqlash uchun B sharnirga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz.

$$\sum M_B = 0; \quad V_A \cdot \ell - P_1(\ell - a_1) - P_2(\ell - a_2) - q \frac{\ell}{2} \cdot \frac{\ell}{4} = 0,$$

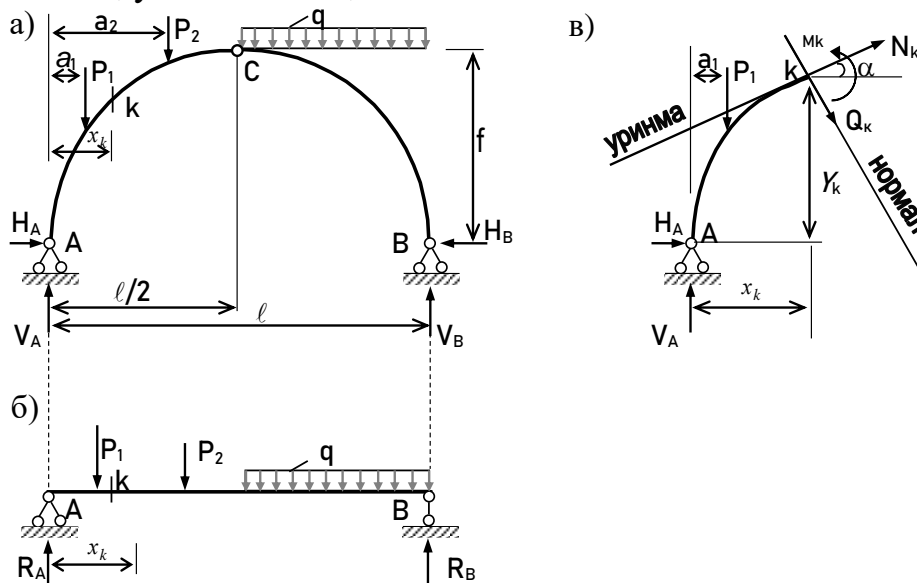
bundan
$$V_A = \frac{1}{\ell} \left[P_1(\ell - a_1) + P_2(\ell - a_2) + \frac{q\ell^2}{8} \right]. \quad (a)$$

B tayanch reaksiyasining vertikal tashkil etuvchisi V_B ni aniqlash uchun A sharnirga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz.

$$\sum M_A = 0; \quad -V_B \cdot \ell + P_1 a_1 + P_2 a_2 + q \frac{\ell}{2} \cdot \frac{3\ell}{4} = 0,$$

bundan
$$V_B = \frac{1}{\ell} \left[P_1 a_1 + P_2 a_2 + \frac{3}{8} q \ell^2 \right]. \quad (b)$$

(a) va (b) ifodalardan uch sharnirli arkaning vertikal tayanch reaksiyalari xuddi shunday oraliqli arka kabi yuklangan oddiy balkaning tayanch reaksiyalariga teng ekanligini ko‘ramiz, ya’ni $V_A = R_A$; $V_B = R_B$.



10.3-расм

Uch sharnirli arka gorizontaal tayanch reaksiyalarini hisoblash.

$$\sum X = 0; \quad N_A - N_V = 0; \quad N_A = N_V.$$

N_A yoki N_B ni aniqlash uchun C sharnirda momentning nol ekanligi shartidan foydalanamiz:

$$\sum M_C^{\text{chap}} = 0; \quad V_A \frac{\ell}{2} - P_1 \left(\frac{\ell}{2} - a_1 \right) - P_2 \left(\frac{\ell}{2} - a_2 \right) - H_A \cdot f = 0,$$

$$H_A = \frac{1}{f} \left[-P_1 \left(\frac{\ell}{2} - a_1 \right) - P_2 \left(\frac{\ell}{2} - a_2 \right) + V_A \frac{\ell}{2} \right] = \frac{M_C^0}{f}.$$

Demak, arkaning hovon reaksiyasi unga mos bo‘lgan oddiy balkaning C kesimidagi eguvchi momenti arkaning ko‘tarilish cho‘qqisiga nisbatiga teng ekan.

Agar arkaga faqat vertikal yuklar qo‘yilgan bo‘lsa, u holda doim

$$N_A = N_B = N \text{ bo‘ladi.}$$

Uch sharnirli ramalarning tayanch reaksiyalarini aniqlash ham uch sharnirli arkalardagidek bajariladi.

3. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy ko‘ndalang kesimidagi zo‘riqishlarni aniqlash.

Uch sharnirli arkaning tayanch reaksiyalari aniqlangandan so‘ng, uning ixtiyoriy kesimida hosil bo‘ladigan ichki zo‘riqishlar aniqlanadi. Arkaning biror k kesimidagi zo‘riqishlar miqdorini aniqlashni qaraymiz. Buning uchun arkani k kesim bo‘yicha fikran qirqib, chap yoki o‘ng qismini tashlab yuboramiz, qolgan qismi muvozanatda bo‘lishi uchun tashlab yuborilgan qism ta’sirini almashtiruvchi zo‘riqishlarni: eguvchi

moment M_k , ko'ndalang kuch Q_k va bo'ylama kuch N_k larni ko'ndalang kesimga qo'yamiz (10.3-rasm, v).

a) Eguvchi momentni hisoblash

Arkaning ixtiyoriy k kesimidagi eguvchi moment shu kesimning bir tomonidagi hamma kuchlardan kesim og'irlik markaziga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng. (10.3- rasm, v)

$$M_k = V_A \cdot x_k - P_1(x_k - a_1) - H \cdot y_k,$$

bu yerda $V_A \cdot x_k - P_1(x_k - a_1) = M_k^0$ ifoda, yuklanishi aynan arka bilan bir xil bo'lgan oddiy balkaning eguvchi momentini anglatadi. U holda

$$M_k = M_k^0 - H \cdot y_k \quad (10.1)$$

Demak, arkaning k kesimidagi eguvchi moment shu arkaga mos bo'lgan oddiy balkaning aynan shu kesimidagi eguvchi moment M_k^0 dan hovon reaksiyasidan olingan moment $N \cdot u_k$ ni ayirmasiga teng .

b) Ko'ndalang kuchni hisoblash

Arkaning ixtiyoriy k kesimidagi ko'ndalang kuch Q_k bu kesimdan bir tomonda joylashgan hamma kuchlarning arka o'qining shu nuqtasiga o'tkazilgan normalga tushirilgan proeksiyalarning algebraik yig'indisiga teng.

$$Q_k = (V_A - P_1) \cdot \cos\alpha_k - H \cdot \sin\alpha_k ,$$

Bu formulada $Q_k^0 = V_A - P_1$ arkaga mos kelgan oddiy balkadagi ko'ndalang kuchni bildiradi.

U holda

$$Q_k = Q_k^0 \cdot \cos\alpha_k - H \cdot \sin\alpha_k \quad (10.2)$$

v) Bo'ylama kuchni hisoblash

Arkaning istalgan k kesimidagi bo'ylama kuch, kesimdan bir tomonda joylashgan hamma kuchlarning arka o'qining k nuqtasiga o'tkazilgan urinmaga proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng.

$$N_k = (-V_A + P_1) \cdot \sin\alpha_k - H \cdot \cos\alpha_k ,$$

bu erda $Q_k^0 = V_A - P_1$

U holda

$$N_k = -Q_k \cdot \sin\alpha_k - H \cdot \cos\alpha_k .$$

yoki

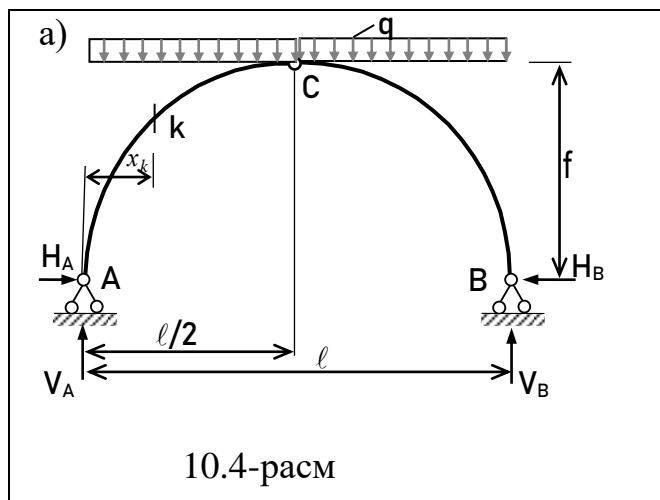
$$N_k = -(Q_k \cdot \sin\alpha_k + H \cdot \cos\alpha_k) . \quad (10.3)$$

Arkalar siqilishga ishlagani uchun (10.3), bo'ylama kuch manfiy bo'ladi. (10.1) va (10.2) formulalardan ko'rinib turibdiki, arkalarda eguvchi moment va ko'ndalang kuch miqdorlari arkaga to'g'ri keluvchi balkalarga nisbatan ancha kichik bo'lar ekan. SHuning uchun arkalar katta oraliqli inshootlarni yopishda balkalarga nisbatan ancha mustahkam, demak iqtisodli bo'ladi. Lekin kichik oraliqli inshootlarni yopishda uch sharnirli arka balkaga nisbatan tejamsiz bo'lishi mumkin. Chunki arkalarni tayyorlash texnologiyasi murakkabligi sababli qimmatga tushishi mumkin.

3. Arka o'qining ratsional shakli.

Uch sharnirli arkaga vertikal yuklar ta'sir qilayotgan hol uchun ratsional o'q shakli kesimda balka eguvchi moment nolga teng bo'lsa erishadi. Buning uchun quyidagi ifodani nolga tenglashtiramiz:

$$M_k = M_k^0 - H \cdot y_k.$$



$$\sum M_B = 0; V_A \cdot l - q l \frac{l}{2} = 0, \quad \text{bundan}$$

$$V_A = \frac{q l}{2}.$$

N ni aniqlash uchun C sharnirda eguvchi momentning nol ekanligi shartidan foydalanamiz:

$$\sum M_C^{\text{chap}} = 0; V_A \frac{l}{2} - q \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4} - H \cdot f = 0,$$

$$\text{bundan} \quad H = \frac{q l^2}{8 f}$$

Arka o'qining tenglamasi quyidagicha

yoziladi:

$$y_k = \frac{4 f}{l^2} X_k (l - X_k)$$

Tenglamadan ko'rinadiki, arka o'qi parabola qonuni bo'yicha o'zgarar ekan.

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Uch sharnirli sistemalar deb nimaga aytiladi?
2. Uch sharnirli arkalar deb nimaga aytiladi?
3. Uch sharnirli ramalar deb nimaga aytiladi?
4. Uch sharnirli arkasimon fermalar deb nimaga aytiladi?
5. Uch sharnirli arkalarni vertikal tayanch reaksiyalar qanday aniqlanadi?
6. Uch sharnirli arkalarni gorizont tal tayanch reaksiyalar qanday aniqlanadi?
7. Uch sharnirli arka ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment qanday aniqlanadi?
8. Uch sharnirli arkalarni ixtiyoriy kesimidagi ko'ngdalang kuch qanday aniqlanadi?
9. Uch sharnirli arkalarni ixtiyoriy kesimidagi bo'ylama kuch qanday aniqlanadi?
10. Uch sharnirli arkalarni balkalar bilan taqqoslang?

KO'CHISHLARNI ANIQLASH FORMULALARI

Reja:

1. Ko'chishlarni aniqlashning universal formulasi (Mor formulasi).
2. Ko'chishlarni aniqlashning A.N.Vereshchagin usuli.

Tayanch iboralar: ko'chishlarni aniqlashning universal formulasi, universal formulaning xususiy hollari, ko'chishlarni aniqlashning A.N.Vereshchagin usuli, temperatura ta'siridan va tayanchlar cho'kishidan hosil bo'ladigan ko'chishlar.

1. Ko'chishlarni aniqlashning universal formulasi (Mor formulasi).

Mumkin bo'lgan ko'chishlar qoidasini deformatsiyalangan sistemalarga tadbiiq qilganda, tashqi va ichki kuchlarning mumkin bo'lgan ishini hisobga olishga to'g'ri keladi.

Tashqi va ichki kuchlarning mumkin bo'lgan ishlarning yig'indisi kichik ko'chishlarda nolga teng.

$$A_{ik} + W_{ik} = 0. \quad (18.1)$$

Deformatsiyalanayotgan sterjenli sistemalar uchun (18.1) va (18.2) formulani hisobga olsak,

$$A_{ik} - \left(\sum \int_S \frac{M_i M_k}{EI} dx + \sum \int_S \eta \frac{Q_i Q_k}{GF} dx + \sum \int_S \frac{N_i N_k}{EF} dx \right) = 0 \quad (18.2)$$

Quyidagi balkaning ikki holatini qaraymiz (18.1-rasm).

I-holat yuklaridan berilgan kesimda bo'lgan ko'chish yo'nalishidagi, II-holat kuchining bajargan ishi:

$$A_{iR} = \bar{P}_i \cdot \Delta_{iR} \quad (18.3)$$

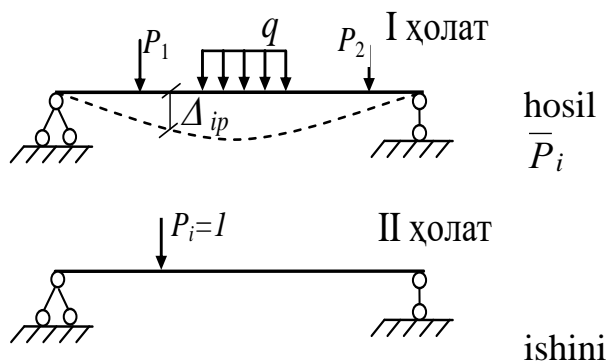
Ichki kuchlarning mumkin bo'lgan hisobga olib, (18.3) ni (18.2) ga qo'ysak

$$\bar{P}_i \Delta_{iP} = \sum \int_S \frac{M_i M_P}{EI} dx + \sum \int_S \eta \frac{Q_i Q_P}{GF} dx + \sum \int_S \frac{N_i N_P}{EF} dx \quad \text{bo'ladi.}$$

Ikkinchi holatda $\bar{P}_i = 1$ deb qabul qilsak,

$$\Delta_{iP} = \sum \int_S \frac{\bar{M}_i M_P}{EI} dx + \sum \int_S \eta \frac{\bar{Q}_i Q_P}{GF} dx + \sum \int_S \frac{\bar{N}_i N_P}{EF} dx \quad (18.4)$$

(18.4) formula Mor formulasi, ya'ni ko'chishlarni aniqlashning universal formulasi deyiladi.



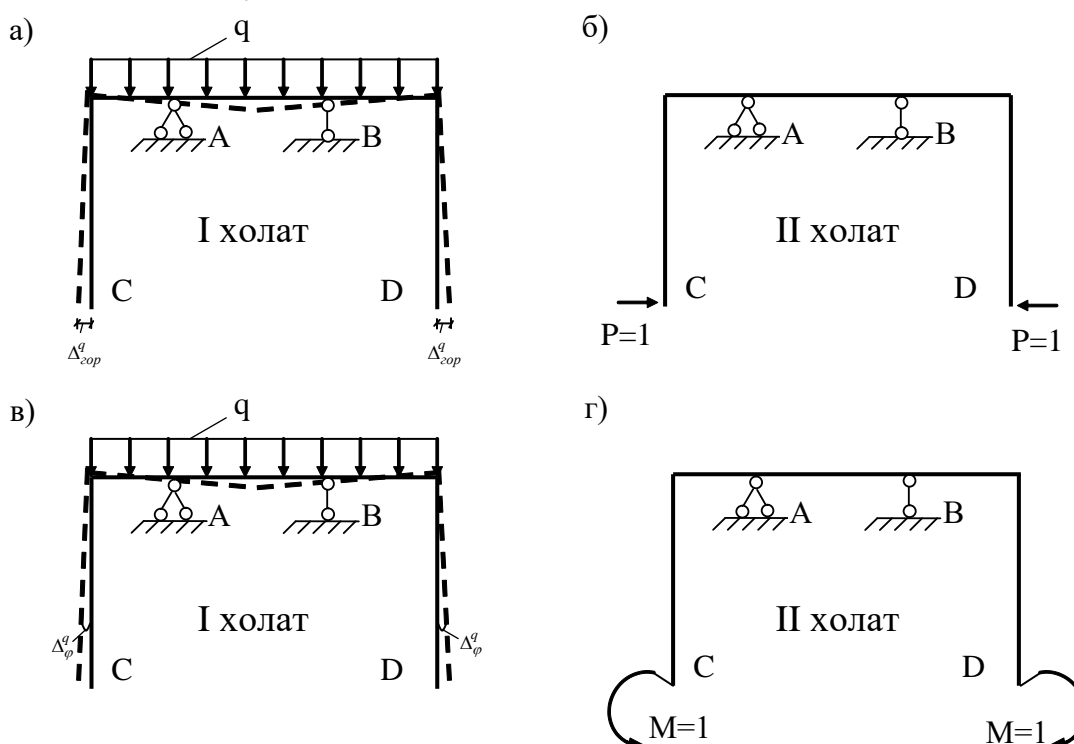
Universal formulaning xususiy hollari:

1. Balka va ramalardagi ko‘chishlarni aniqlashda, bo‘ylama va ko‘ndalang kuchlardan hosil bo‘ladigan ko‘chishlarni hisobga olmasa ham bo‘ladi. Chunki ulardan hosil bo‘ladigan ko‘chish eguvchi moment ta‘siridan hosil bo‘ladigan ko‘chishga nisbatan juda kichik bo‘ladi. Shunday qilib, bu holda (18.4) formula quyidagi ko‘rinishni oladi.

$$\Delta_{iP} = \sum \int_S \frac{\bar{M}_i M_P}{EI} dx \quad (18.5)$$

2. Ferma sterjenlarida faqat bo‘ylama kuchlar hosil bo‘lganligi uchun, eguvchi moment va kesuvchi kuchlarni hisobga olmasa ham bo‘ladi. Bu holda (18.4) formula quyidagi ko‘rinishni oladi.

$$\Delta_{iP} = \sum \int_0^{\ell} \frac{\bar{N}_i N_P}{EF} dx = \frac{\bar{N}_i N_P}{EF} \ell_i \quad (18.6)$$



18.2-rasm

3. Arkalardagi ko‘chishlarni aniqlashda ko‘ndalang kuchlardan hosil bo‘ladigan ko‘chishlarni hisobga olmasa ham bo‘ladi, (18.4) formula bu holda quyidagicha yoziladi.

$$\Delta_{iP} = \sum \int_0^{\ell} \frac{\bar{M}_i M_P}{EI} dx + \sum \int_0^{\ell} \frac{\bar{N}_i N_P}{EF} dx \quad (18.7)$$

Elastik sistemalarda ikki kesimning o‘zaro ko‘chishlarini universal (18.4) formula yordamida aniqlash mumkin. Masalan, S va D nuqtalarning q kuch ta‘siridan o‘zaro gorizontal ko‘chishlarini (Δ) aniqlash uchun S va D nuqtalarga qarama-qarshi ikkita birlik gorizontal kuch qo‘yiladi (18.2-rasm, b) va (18.4) formula yordamida bu ko‘chishlar aniqlanadi. Agarda sistemaning S va D nuqtalarining o‘zaro burchakli ko‘chishlarini aniqlash kerak bo‘lsa, u holda II-holatda shu nuqtalarga qarama-qarshi

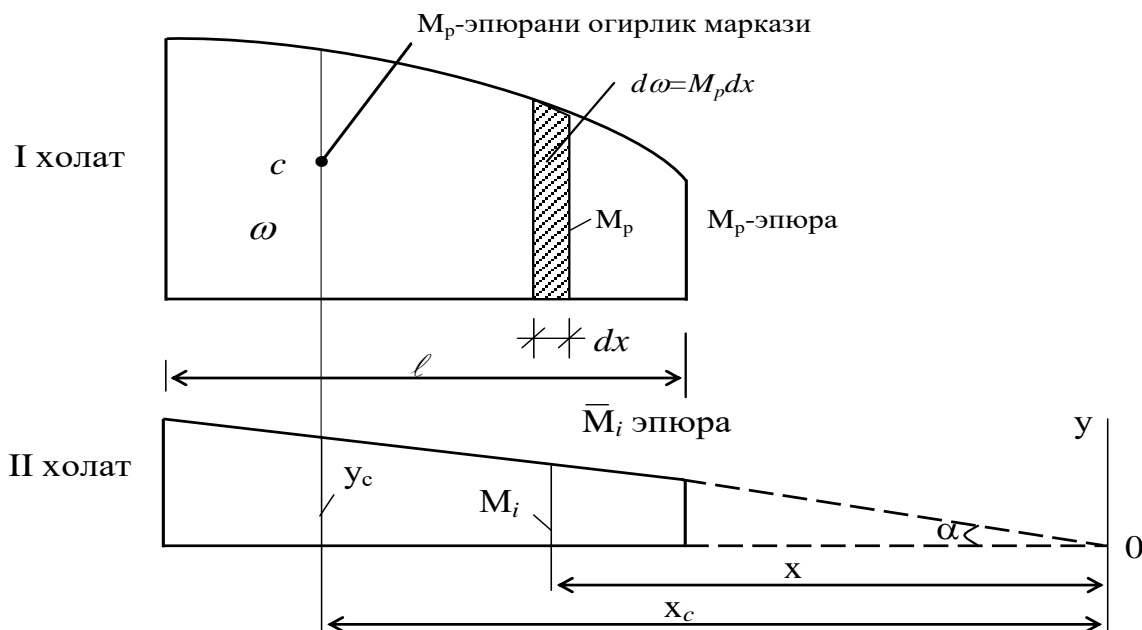
yoʻnalgan birlik momentlar qoʻyiladi (18.2-rasm, g), hamda (18.4) formula yordamida bu nuqtalarning oʻzaro aylanish burchaklari aniqlanadi.

Agar sistema ikki nuqtasining oʻzaro koʻchishi musbat boʻlsa, izlanayotgan koʻchishlarning yoʻnalishi birlik kuchlar yoʻnalishi bilan mos boʻlib, S va D nuqtalar bir-biriga yaqinlashadi. Koʻchish manfiy ishorali boʻlsa, S va D nuqtalar bir-biridan uzoqlashadi

2. Koʻchishlarni aniqlashning A.N.Vereshchagin usuli.

Rama va balkalarda koʻchishlar (18.5) formulaga asosan integrallash yoʻli bilan aniqlanishini qaradik. Koʻchishlarni aniqlashning bu usulini eguvchi momentlar epyuralarini koʻpaytirish usuli bilan almashtirish mumkin. Bu usul koʻchishlarni aniqlashni ancha soddalashtiradi.

Sistemaning bikrligi oʻzgarmas boʻlgan biror qismini koʻraylik. I holatda tashqi yuklardan chizilgan M_R , II holatda esa birlik kuchdan chizilgan \bar{M}_i epyura berilgan boʻlib, M_R epyura egri chiziqli, \bar{M}_i toʻgʻri chiziqli boʻlsin (18.3-rasm).



18.3-rasm

Bu holda $\bar{M}_i = x \operatorname{tg} \alpha$ (18.3-rasm, II holat)

\bar{M}_i ni (18.5) ga qoʻyib,

$$\Delta_{ip} = \frac{1}{EI} \int_0^{\ell} \bar{M}_i M_p dx = \operatorname{tg} \alpha \int_0^{\ell} x \cdot M_p dx = \operatorname{tg} \alpha \int_0^{\ell} x \cdot d\omega,$$

munosabatga ega boʻlamiz. Bu erda $M_p dx = d\omega$. (a)

Integral $\int_0^{\ell} x \cdot d\omega$, M_p eguvchi moment epyurasi yuzasi ω ni Oy oʻqiga nisbatan olingan statik momentga teng boʻladi.

$$\int_0^{\ell} x \cdot d\omega = \omega_p \cdot x_c \quad (b)$$

(b) ni (a) ga qo‘ysak $\Delta_{iP} = tg\alpha \cdot x_C \cdot \omega_p$ bo‘ladi,

$tg\alpha \cdot x_C = y_C$ ekanligini hisobga olsak, quyidagicha bo‘ladi:

$$\Delta_{iP} = \int_0^{\ell} \frac{\overline{M}_i M_P}{EI} dx = \frac{1}{EI} \omega \cdot y_C \quad (18.8)$$

Shunday qilib Mor integralini (18.5) ikki epyuraning o‘zaro ko‘paytmasi orqali almashtirish mumkin. Bunda birinchi epyuraning yuzasi, shu yuza og‘irlik markaziga mos keluvchi ikkinchi epyura ordinatasi y_C ga (y_C to‘g‘ri chiziqli epyuradan olinishi shart) ko‘paytiriladi.

(v) ni sistemaning barcha qismlari uchun yozsak,

$$\Delta_{iP} = \sum_{j=1}^n \int_0^{\ell} \frac{\overline{M}_{ij} M_{Pj}}{EI_j} dx = \sum_{j=1}^n \frac{\omega_{jp} \cdot y_{cj}}{EI_j} \quad (18.8')$$

bu erda $\omega_{jp} - M_P$ eguvchi moment epyurasining yuzasi;

$y_{cj} - M_{Pj}$ eguvchi moment epyurasining og‘irlik markaziga mos keluvchi birlik

\overline{M}_{ij} eguvchi moment epyurasidagi ordinata.

Bu usulni Mor integrallarining (18.4) barchasiga qo‘llash mumkin.

Mor integralini bu xilda hisoblashga A.N.Vereshchagin usuli yoki epyuralarni ko‘paytirish usuli deyiladi. Bu usulni 1925 yilda Moskva temir yo‘l transporti instituti talabasi A.N.Vereshchagin tavsiya qilgan.

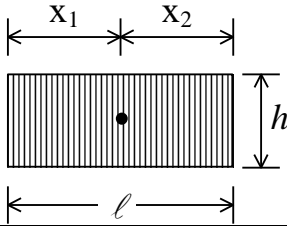
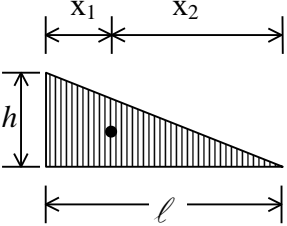

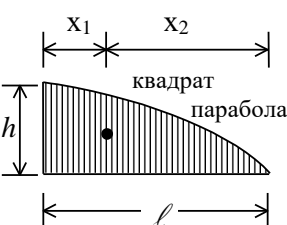
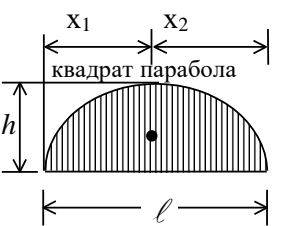
(18.8) formuladan ko‘rinadiki, har ikkala epyura sterjen o‘qining bir tomonida joylashsa ko‘chishning ishorasi musbat, sterjen o‘qining turli tomonlarida joylashgan bo‘lsa, ishora manfiy bo‘ladi. Agar har ikkala epyura to‘g‘ri chiziqli bo‘lsa, u holda ordinataning qaysi epyuradan olinishining farqi yo‘q. Agar epyuralarning biri egri chiziqli bo‘lsa, u holda yuza albatta egri chiziqli epyuradan olinadi.

Ko‘chishni Vereshchagin usulida aniqlaganda turli xil shaklli epyuralarning yuzalari va og‘irlik markazlarini topishga to‘g‘ri keladi. Bunday epyuralarning yuzalari va og‘irlik markazlari 18.1-jadvalda berilgan.

Trapetsiya shaklli ikkita epyurani ko‘paytirish kerak bo‘lsa, ulardan birining og‘irlik markazini topish o‘rniga trapetsiyalardan birini ikkita uchburchakka ajratish qulay hisoblanadi. Bunda ajratilgan uchburchaklardan yuza olinib, ikkinchi trapetsiyadan shu uchburchaklarning og‘irlik markazlariga mos bo‘lgan ordinatalar olinadi (18.4-rasm, a). Bunday epyuralarni ko‘paytirishning formulasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$\omega_1 \cdot y_1 + \omega_2 \cdot y_2 = \frac{\ell}{6} (2ac + 2ed + ad + ec).$$

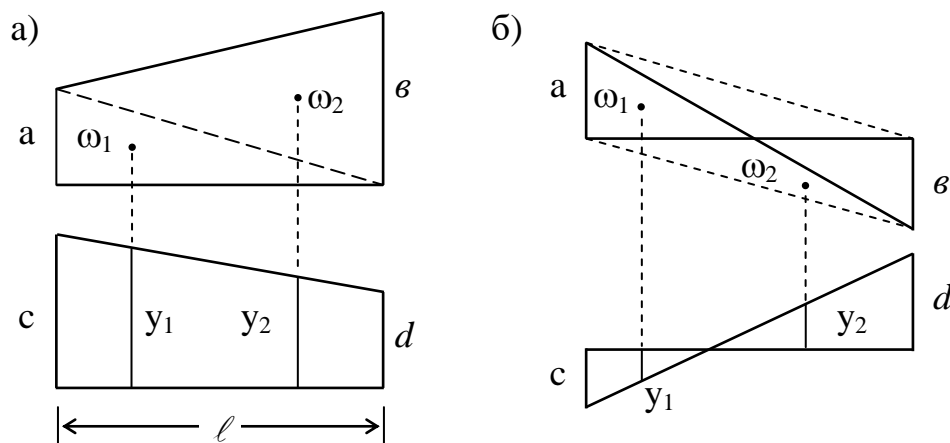
18.1-jadval

Shakl	Yuza ω	Yuza og'irlik markazi absissalari	
		x_1	x_2
	$l \cdot h$	$\frac{l}{2}$	$\frac{l}{2}$
	$\frac{l \cdot h}{2}$	$\frac{l}{3}$	$\frac{2}{3}l$
	$\frac{1}{3}l \cdot h$	$\frac{l}{4}$	$\frac{3}{4}l$
	$\frac{2}{3}l \cdot h$	$\frac{3}{8}l$	$\frac{5}{8}l$
	$\frac{2}{3}l \cdot h$	$\frac{l}{2}$	$\frac{l}{2}$

Agar ko'paytiriladigan epyuralar turli ishorali uchburchaklardan tashkil topgan bo'lsa (18.4-rasm, b), bu epyuralardan biri alohida bir tomondagi uchburchaklarga ajratib to'ldiriladi. Bu hosil bo'lgan uchburchaklar yuzalarining ishoralari hisobga olingan holda ikkinchi epyuradagi ordinatalarga ko'paytiriladi, ya'ni:

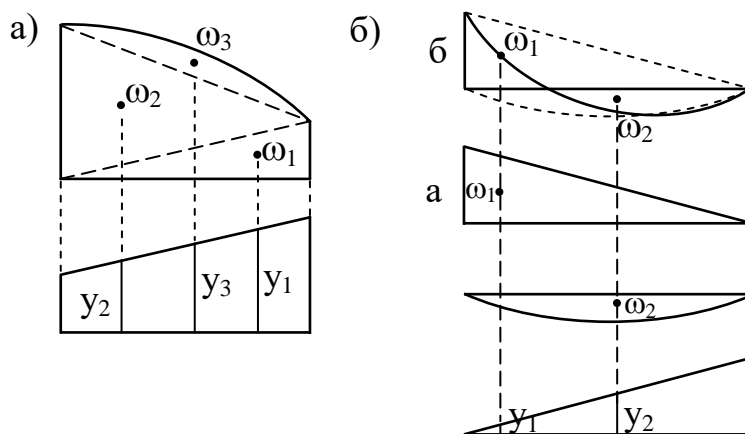
$$-\omega_1 \cdot y_1 - \omega_2 \cdot y_2 = -\frac{l}{6}(2ac + 2bd + ad + bc)$$

Agar tashqi yukning eguvchi moment epyurasi murakkab shaklli bo'lsa, ular oddiy shaklli yuzalarga keltiriladi. Bu esa hisoblash ishlarini ancha yengillashtiradi (18.5-rasm a va b).



18.4-pacm

A.N.Vereshagin usulini bikrligi o'zgaras bo'lgan balka va ramalarda qo'llash qulay hisoblanadi. Bikrligi element uzunligi bo'ylab o'zgaruvchan bo'lgan sistemalarda A.N.Vereshagin formulasidan foydalanib bo'lmaydi. Bunday hollarda ko'chishlarni Mor integrali yordamida hisoblash maqsadga muvofiqdir.



18.5-pacm

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Ko'chishlarni aniqlashning universal formulasini yozing?
2. Universal formulaning xususiy hollarini ayting?
3. Ko'chishlarni aniqlashning A.N.Vereshchagin usulini ayting?
4. A.N.Vereshchagin formulasini yozing?
5. Trapetsiya shaklli ikkita epyurani ko'paytirish formulasini yozing?
6. Qanday hollarda ko'chishlarni Mor integrali yordamida hisoblash maqsadga muvofiq hisoblanadi?

STATIK NOANIQ SISTEMALAR VA ULARNING HUSUSIYATLARI

Reja:

1. Statik noaniq sistemalar to'g'risida tushuncha.
2. Statik noaniq sistemalarni hisoblash usullari.
3. Statik noaniqlik darajasi.

Tayanch iboralar: statik noaniq sistemalar, statik noaniq sistemalarning afzalliklari va kamchiliklari, ichki, tashqi, ham ichki, ham tashqi statik noaniq sistemalar, statik noaniq sistemalarni hisoblash usullari, statik noaniqlik darajasi.

1. Statik noaniq sistemalar to'g'risida tushuncha.

Qurilishda asosan statik noaniq sistemalar ishlatiladi. Statik noaniq sistemalar statik aniq sistemalarga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega:

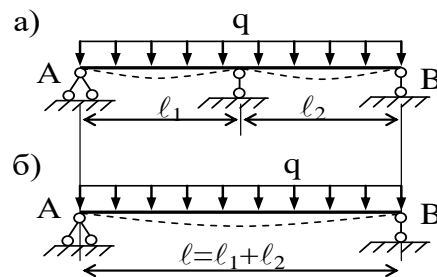
1) Statik noaniq sistemalar o'ziga mos bo'lgan statik aniq sistemalarga nisbatan tejamli hisoblanadi (19.1-rasm a va b).

2) Statik noaniq sistemalarda birorta bog'lanishning ishdan chiqishi inshootning butunlay ishdan chiqishga olib kelmaydi. Bu hol statik aniq sistemalarning butunlay ishdan chiqishga olib keladi (15.1-rasm, a va b);

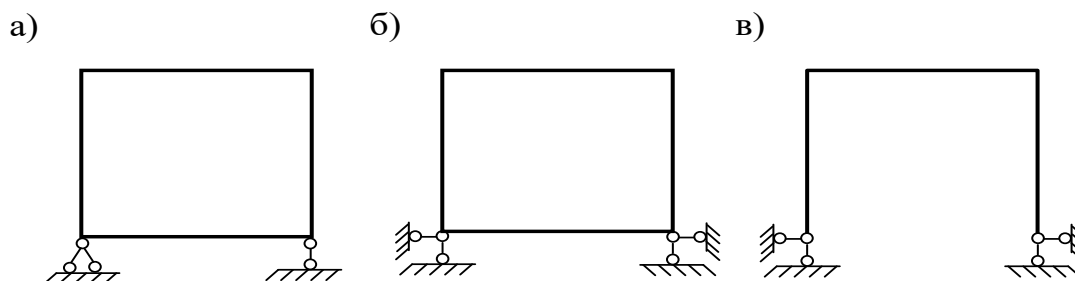
3) Statik noaniq sistemalar tarkibida ortiqcha bog'lanishlarning mavjudligi ularning mustahkamligini oshiradi (19.1-rasm, a).

Statik noaniq sistemalarning asosiy kamchiligi ularning statik noaniqligi hisoblanadi.

Masalan, 19.1-rasmda ko'rsatilgan ikki oraliqli AB balkani shunday uzunlikdagi oddiy AB balka bilan solishtirsak, bu balka statik aniq balkaga nisbatan bitta ortiqcha tayanch bog'lovchiga ega ekanligi ko'rinadi. Bu tayanchlardagi reaksiya kuchlarini statika muvozanat tenglamalari orqali aniqlash mumkin emas. Shuning uchun bu balka statik noaniq balka deyiladi.



19.1-pacm



19.2-pacm

Demak, elementlarida tashqi kuchlardan hosil bo'ladigan zo'riqish va tayanch reaksiya kuchlarini statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlab bo'lmaydigan sistemalar statik noaniq sistemalar deyiladi.

Statik noaniq sistemaning «ortiqcha» bog'lovchilari soni shu sistemaning statik noaniqlik darajasi deyiladi. Masalan: yuqoridagi balka (19.1-rasm, a) bitta «ortiqcha» tayanch bog'lovchisiga ega bo'lgani uchun, bir marta statik noaniqdir.

Statik noaniq sistemalar ichki, tashqi, ham ichki, ham tashqi statik noaniq sistemalarga bo'linadi (19.2-rasm). Ichki statik noaniq sistema deb, uchta tayanch bog'lovchisiga ega bo'lgan (yopiq kontur) statik noaniq sistemaga aytiladi (19.2-rasm, a). Uchtadan ortiq tayanch bog'lovchisiga ega bo'lgan, ochiq sharnirsiz sistemalar tashqi statik noaniq sistemalar deyiladi (19.2-rasm, v). Agar sistema yopiq konturdan iborat bo'lib, uchtadan ortiq tayanch bog'lovchisiga ega bo'lsa, bunday sistemalar ichki ham tashqi statik noaniq sistemalar deyiladi (19.2-rasm, b).

Statik noaniq sistemalarni hisoblash statik aniq sistemalarga nisbatan murakkab hisoblanadi. Statik noaniq sistemalarda temperaturaning o'zgarishi va tayanchlar cho'kishini qo'shimcha zo'riqishlarni paydo qiladi. Sistema elementlarining uzunliklari va ko'ndalang kesimlari hisoblashdan oldin belgilangan va aniq bo'lishi kerak. Bu o'lchamlardagi farqlar va elementlarini yig'ishida yo'l qo'yilgan ba'zi noaniqliklar ham sistemada qo'shimcha zo'riqishlar hosil qiladi.

2. Statik noaniq sistemalarni hisoblash usullari.

Statik noaniq sistemalarni hisoblash uchun statika muvozanat tenglamalaridan tashqari, qo'shimcha ravishda statik noaniqlik darajasiga teng bo'lgan deformatsiya tenglamalari tuziladi. Sistemalarda hosil bo'ladigan deformatsiyalardan foydalanib tuziladigan tenglamalar deformatsiya tenglamalari deyiladi.

Statik noaniq sistemalar qo'yidagi usullar yordamida hisoblanadi:

1. **Kuchlar usuli.** Bu usulda sistemaning ortiqcha bog'lanishlarida hosil bo'ladigan zo'riqishlar noma'lum zo'riqishlar deyiladi va ular noma'lum kuchlar bilan almashtiriladi. SHuning uchun ham bu usul kuchlar usuli deyiladi.

2. **Ko'chishlar usuli.** Ushbu usulda statik noaniq sistema tugunlaridagi chiziqli va burchakli ko'chishlar noma'lumlar deb qabul qilinadi. Noma'lumlar ko'chishlar bo'lganligi sababli bu usul ko'chishlar usuli deb yuritiladi.

3. **Aralash va kombinatsiyalash usuli.** Bu usulda sistemaning ortiqcha bog'lanishlari bir qismida zo'riqish kuchlari, qolgan qismida esa sistema tugunlarining ko'chishlari noma'lum deb qabul qilinadi. Kuchlar va ko'chishlar usulining bir vaqtda qo'llanilishi sababli ushbu usul aralash usuli deyiladi.

4. **Ketma-ket yaqinlashish usullari.** Ushbu usullar ko'chishlar usulining takomillashgan taqribiy usullari hisoblanadi.

5. **Matritsalar usuli.** Bu usul matritsalar yordamida EHM lar bilan hisoblashga asoslangan.

Statik noaniq sistemalarni bu usullar yordamida hisoblash bilan ramalarni hisoblash orqali tanishib chiqamiz.

3. Statik noaniqlik darajasi.

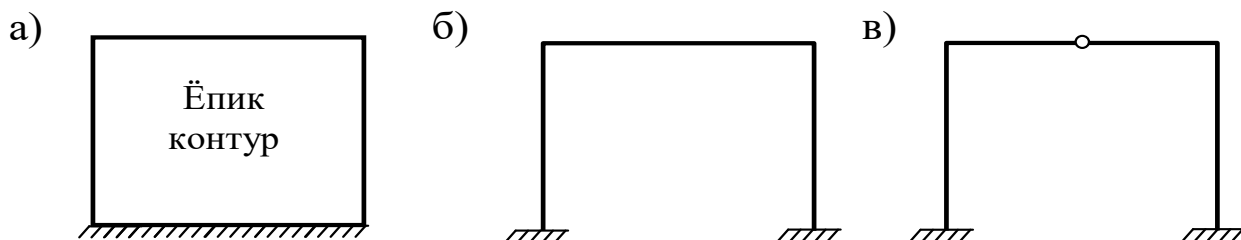
Kuchlar usulining asosiy bosqichlaridan biri sistemaning statik noaniqlik darajasini aniqlashdir. Sistemaning statik noaniqlik darajasi uni hisoblash qay darajada murakkab yoki murakkab emasligini belgilaydi.

Statik noaniq sistemalardagi ortiqcha bog‘lovchilar soni n quyidagi Chebishev formulasiga asosan aniqlanadi:

$$n = -W = 2SH + S_T - 3D \quad (19.1)$$

Tashqi statik noaniq sistemalarni ortiqcha bog‘lanishlari sonini (19.1) formula bilan aniqlasa bo‘ladi. Lekin yopiq konturli ichki statik noaniq sistemalarning ortiqcha bog‘lanishlari sonini bu formula orqali doimo aniqlab bo‘lmaydi.

Masalan, to‘g‘ri to‘rtburchakli yopiq konturli rama uch marta statik noaniq hisoblanadi (19.3 - rasm, a)



19.3-рasm

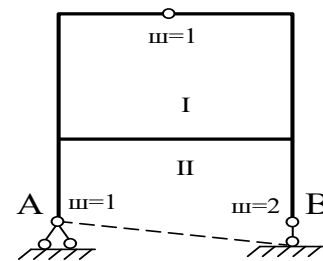
Sharnirsiz ramaga yopiq kontur deyiladi (19.3-rasm, b).

Agarda yopiq konturning elementlaridan biriga sharnir kiritilsa, u holda ramaning statik noaniqlik darajasi bittaga kamayadi (19.3-rasm, v). Demak, yopiq konturli ramalarning statik noaniqlik darajasi n quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$n = 3K - SH \quad (19.2)$$

bunda K - yopiq konturlar soni; SH - oddiy sharnirlar soni.

SHarnirli qo‘zg‘almas va sharnirli qo‘zg‘aluvchan tayanchi bor sistemalarda yopiq konturlar hosil qilishda, sharnirli qo‘zg‘almas tayanchning ustki sharniri qo‘zg‘aluvchan tayanchning pastki sharniri bilan fikran tutashtiriladi (19.4-rasm). Yopiq konturli sistemalarda oddiy sharnirlar sonini hisoblashda esa sharnirli qo‘zg‘almas tayanchlarda bitta oddiy sharnir, sharnirli qo‘zg‘aluvchan tayanchlarda ikkita oddiy sharnir bor deb hisoblanadi (19.4-rasm).



19.4-рasm

Misol. 19.4-rasmda ko‘rsatilgan ramaning statik noaniqlik darajasi aniqlansin.

Echish. Ramada yopiq kontur sonini aniqlashda A va B tayanchlar fikran tutashtiriladi. U holda yopiq konturlar soni $K=2$.

Oddiy sharnirlar sonini belgilashda sharnirli qo‘zg‘almas tayanchda $SH=1$ deb, sharnirli qo‘zg‘aluvchan tayanchda esa $SH=2$ deb olinadi.

$$n=3 \cdot 2 - 4 = 2.$$

Demak, rama ikki marta statik noaniq bo‘lib, 2 ta ortiqcha bog‘lanishga ega. Ramani ortiqcha bog‘lanishlarini (19.1) formula orqali ham hisoblaymiz

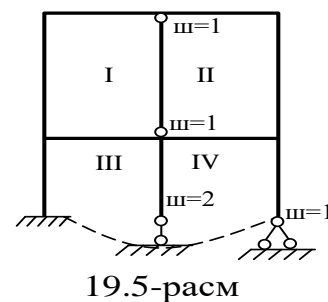
$$n = -W = 2SH + S_T - 3D = 2 \cdot 1 + 3 - 3 \cdot 1 = 2.$$

Misol. 19.5-rasmda berilgan ramaning statik noaniqlik darajasi aniqlansin.

Echish: Yopiq konturlar soni $K=4$; oddiy sharnirlar soni $S_H=5$. $S_A = 3 \cdot 4 - 5 = 7$

Demak, bu rama etti marta statik noaniq bo'lib, 7 ta ortiqcha bog'lanishlarga ega. Ushbu ramadagi ortiqcha bog'lanishlar sonini (19.1) formula orqali hisoblasak, $n = 2 \cdot 2 + 6 - 3 \cdot 2 = 4$ chiqdi. 19.5-rasmdan ko'rinib turibdiki, berilgan ramaning statik noaniqlik darajasi 4 ga emas, 7 ga teng.

Shunday qilib, yopiq konturli sistemalardagi ortiqcha bog'lanishlar soni Chebishev formulasi (19.1)dan emas, (19.2) formula orqali aniqlanishi kerak.



Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Statik noaniq sistemalar deb nimaga aytiladi?
2. Statik noaniq sistemalarning statik aniq sistemalarga nisbatan qanday afzalliklari va kamchiliklarini ayting?
3. Statik noaniq sistemalarni qanday turlarini bilasiz?
4. Statik noaniq sistemalarni hisoblash usullarini ayting?
5. Sistemaning statik noaniqlik darajasini qanday aniqlashni ayting?
6. Sistemaning statik noaniqlik darajasini qanday formula bilan aniklanadi?

11-12-MAVZU. STATIK NOANIQ RAMALARNI HISOBLASHNING KUCHLAR USULI.

Reja:

1. Kuchlar usulining mohiyati va noma'lumlari.
2. Kuchlar usulining asosiy sistemasi.
3. Kuchlar usulining kanonik tenglamalari.
4. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash .
5. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini tekshirish.
6. Natijaviy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlash
7. Statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash tartibi

Tayanch iboralar: berilgan sistema, asosiy sistema, statik noaniq rama, kuchlar usuli, ortiqcha bog'lanishlar, statik aniq sistema, geometrik o'zgarmas sistema, noma'lum kuchlar, tayanch bog'lanishlari, maqbul asosiy sistema, qo'shimcha deformatsiya tenglamalari, kanonik tenglamalar sistemasi, bosh koeffitsientlar, ikkinchi darajali koeffitsientlar, ozod hadlar, birlik koeffitsientlarni universal tekshirish, ozod hadlarni yalpi tekshirish.

1. Kuchlar usulining mohiyati va noma'lumlari

Kuchlar usulida noma'lumlar sifatida statik noaniq sistemalarning ortiqcha bog'lanishlaridagi *zo'riqishlar* (tayanch reaksiyalari va ichki kuchlar) qabul qilinadi. Agar sistema tashqi statik noaniq sistema bo'lsa noma'lumlar tayanch reaksiyalardan, ichki statik noaniq bo'lsa sistema elementlarida tashqi kuchlardan vujudga keladigan ichki kuchlardan tashkil topadi. Agar sistema tashqi ham ichki statik noaniq bo'lsa no'malumlar kuchlar tayanch reaksiyalari va ichki kuchlardan tashkil topadi.

2. Kuchlar usulining asosiy sistemasi

Qurilishda eng ko'p ishlatiladigan konstruksiyalar sifatida statik noaniq ramalar qo'llaniladi. Shu sababli statik noaniq ramalarni kuchlar usuli bilan hisoblashni ko'rib chiqamiz.

Statik noaniq ramalarni kuchlar usuli bilan hisoblash uning statik noaniqlik darajasini aniqlashdan boshlanadi, ya'ni ortiqcha bog'lanishlar soni hisoblanadi. Shundan so'ng asosiy sistema tanlanadi. Asosiy sistema ortiqcha bog'lanishlarni tashlab yuborish yo'li bilan hosil qilinadi.

Asosiy sistema deb, statik noaniq sistemadagi ortiqcha bog'lanishlar noma'lum kuchlar bilan almashtirilgan, statik aniq va geometrik o'zgarmas qilib tanlangan sistemaga aytiladi.

Statik noaniq sistema uchun asosiy sistema bir necha xil ko'rinishda tanlash mumkin (20.1-rasm, b, v, g, d).

Shunday qilib, kuchlar usulining asosiy sistemasi quyidagi usullar bilan tanlanishi mumkin ekan:

1. Ortiqcha deb qabul qilingan tayanchlar yoki tayanch bog‘lanishlari tashlab yuboriladi (20.1-rasm, b va v);

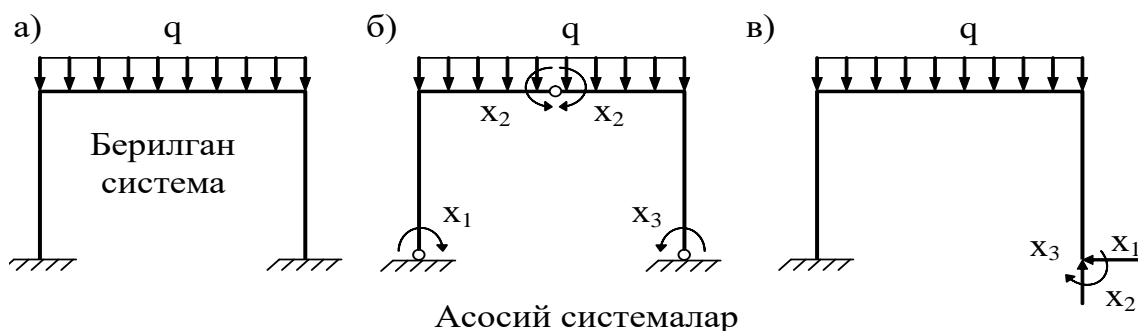
2. Berilgan sistemaga sharnirlar kiritiladi (20.1-rasm, g);

3. Berilgan sistemaning biror kesimi qir qilishi mumkin (20.1-rasm, d).

20.1-rasmda uch noma‘lumli rama uchun to‘rt xil asosiy sistema ko‘rsatilgan. Bu to‘rtala asosiy sistema ham geometrik o‘zgarmas, statik aniqdir.

20.1-rasmdagi to‘rtala asosiy sistemani hisoblash natijalari bir xil bo‘ladi. Lekin bu asosiy sistemalardan bittasi eng maqbuli (ratsionali) tanlab olinadi. Maqbul asosiy sistema 20.1-rasm, d hisoblanadi. Bu asosiy sistemada noma‘lumlar simmetrik va nosimmetrik bo‘lib, ularning eguvchi moment epyuralari ham simmetrik va nosimmetrik bo‘ladi.

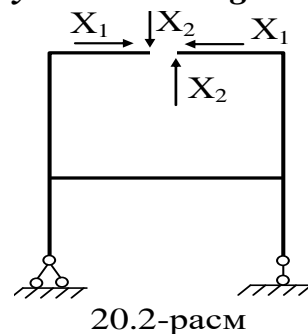
Chunki, bunday sistemaning eguvchi moment epyurasini chizish oson bo‘lib, ko‘chishlarini aniqlash soddalashadi, ba‘zi ko‘chishlar nolga teng bo‘ladi. Bunga ramalarni hisoblashda ishonch hosil qilamiz.



20.1-рasm

Misol. 20.2-rasmda berilgan statik noaniq ramani asosiy sistemasining maqbuli tanlansin.

Echish: 20.2-rasmda ko‘rsatilgan statik noaniq ramaning asosiy sistemalarini tanlashda eng maqbuli sharnirni qir qish orqali tanlangan asosiy sistema hisoblanadi (20.2-rasm). Bu asosiy sistemada ramani simmetrikligi hisobga olingan bo‘lib, noma‘lumlar simmetrik va nosimmetrik hisoblanadi.



20.2-рasm

3. Kuchlar usulining kanonik tenglamalari

Asosiy sistemalarda ortiqcha bog‘lanishlar noma‘lum kuchlar bilan almashtirilishini ko‘rib o‘tdik. Endigi vazifa ana shu noma‘lum kuchlarni aniqlashdan iborat. Buning uchun statika tenglamalariga qo‘shimcha ravishda *kanonik* deb ataluvchi tenglamalar tuzamiz. Kanonik tenglamalarni tuzish tartibini ikki noma‘lumli rama misolida ko‘rib o‘tamiz. Berilgan ramaning (20.3-rasm, *a*) asosiy sistemasini sinig konsol ko‘rinishida (20.3- rasm, *b*) tanlaymiz.

Tashlab yuborilgan tayanch o‘rniga noma‘lum kuchlar qo‘yamiz, so‘ngra kuch usulining kanonik tenglamalarini tuzamiz.



20.3-rasm

Berilgan ramada sharnirli qo‘zg‘almas tayanchning markazi C vertikal va gorizontal yo‘nalishlarda qo‘zg‘almasdir, ya‘ni uning shu yo‘nalishlardagi ko‘chishlari nolga tengdir.

Bunday shart asosiy sistemada, ham saqlanib qolishi lozim, ya‘ni C nuqtasining vertikal va gorizontal ko‘chishlari nolga teng bo‘lishi zarur. Bu shartni qisqa ko‘rinishda quyidagicha ifodalash, mumkin:

$$\Delta_{x_1} = 0; \Delta_{x_2} = 0; \quad (20.1)$$

bu erda Δ_{x_1} -sterjen uchi C ning X_1 kuch yo‘nalishidagi ko‘chishi;

Δ_{x_2} -shu nuqtaning X_2 kuchi yo‘nalishidagi ko‘chishi.

Har ikkala ko‘chish X_1 va X_2 kuchlari hamda tashqi yuklar ta‘sirida vujudga keladi. Kuchlar ta‘sirining mustaqilligi qoidasidan foydalanib, (20.1)ni alohida ko‘chishlar yig‘indisi sifatida ifodalaymiz.

$$\begin{aligned} \Delta_{x_1 x_1} + \Delta_{x_1 x_2} + \Delta_{x_1 P} &= 0; \\ \Delta_{x_2 x_1} + \Delta_{x_2 x_2} + \Delta_{x_2 P} &= 0. \end{aligned} \quad (20.2)$$

Bu erda ko‘chishlarga qo‘yilgan birinchi indekslar ko‘chishning yo‘nalishini, ikkinchi indekslar esa shu ko‘chishni yuzaga keltiruvchi sababni bildiradi.

Endi X_1 va X_2 kuchlari ta‘sirida hosil bo‘lgan ko‘chishlarni Guk qonuniga asosan birlik ko‘chishlar orqali ifoda etamiz.

$$\Delta_{x_1 x_1} = x_1 \delta_{11}; \Delta_{x_1 x_2} = x_2 \delta_{12}; \Delta_{x_2 x_1} = x_1 \delta_{21}; \Delta_{x_2 x_2} = x_2 \delta_{22}$$

Bularni (20.2) tenglamaga qo‘ysak, ikki noma‘lumli sistema uchun kuchlar usulining kanonik tenglamalari kelib chiqadi;

$$\begin{aligned} x_1 \delta_{11} + x_2 \delta_{12} + \Delta_{1P} &= 0; \\ x_1 \delta_{21} + x_2 \delta_{22} + \Delta_{2P} &= 0; \end{aligned} \quad (20.3)$$

Bu erda $\delta_{11} - x_1$ kuchi qo'yilgan nuqtaning shu kuch yo'nalishida $X_1=1$ kuchi ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishi;

$\delta_{12} - X_1$ kuchi qo'yilgan nuqtaning shu kuch yo'nalishida $X_1=1$ kuchi ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishi;

$\Delta_{1P} - X_1$ kuchi yo'nalishida, $\Delta_{2P} - X_2$ kuchi yo'nalishida tashqi kuchlar ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishlar.

Agar (20.3) da ifodalangan kanonik tenglamalarning tuzilishiga jiddiy e'tibor bersak, uning yozilishida ma'lum qonuniyat borligini payqash qiyin emas. Shu qonuniyatdan foydalanib sistemaning statik noaniqlik darajasiga qarab, kanonik tenglamalarni keragicha tuza olamiz. Binobarin, sistema (masalan, rama) necha noma'lumli bo'lsa, tenglamalar soni o'shancha bo'ladi. Masalan, n noma'lumli rama uchun kanonik tenglamalar quyidagi ko'rinishga ega:

$$\begin{cases} \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_{21} + \dots + \delta_{1n} X_n + \Delta_{1P} = 0 \\ \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_{21} + \dots + \delta_{2n} X_n + \Delta_{2P} = 0 \\ \dots \\ \delta_{n1} X_1 + \delta_{n2} X_{21} + \dots + \delta_{nn} X_n + \Delta_{nP} = 0 \end{cases} \quad (20.4)$$

(20.3) va (20.4) da ifodalangan kanonik tenglamalarda noma'lum sifatida kuchlar (X_1, X_2, X_3, \dots) turibdi. Mazkur usulning «kuchlar» usuli deb atalishining sababi ham aynan ana shunda. Ushbu tenglamalardagi birlik ko'chishlar (δ_{ik}) — koeffitsient, tashqi kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishlar (Δ_{iP}) esa ozod had vazifasini o'taydi. Ko'chishlarning o'zaro munosabati haqidagi Maksvel teoremasiga binoan $\delta_{ik} = \delta_{ki}$ bo'ladi.

Bir xil indeksli birlik ko'chishlar (δ_{11}, δ_{22}) ning ishoralari hamisha musbat bo'ladi. SHu sababli ular hech qachon nolga aylanmaydi va hamma vaqt tenglama tarkibida ishtirok etadi. SHu sababli ular *bosh ko'chishlar* deb ataladi.

Turli indeksli ko'chishlar ($\delta_{12}, \delta_{13}, \dots$) esa musbat va manfiy ishoralarga ega bo'lishi va demak, nol bo'lishi ham mumkin. Shuning uchun bular *ikkinchi darajali ko'chishlar* deb ataladi.

4. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash

Agarda sistema n marta statik noaniq bo'lsa, kanonik tenglamadagi tenglamalar soni ham n ta bo'ladi:

$$\begin{cases} \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_{21} + \dots + \delta_{1n} X_n + \Delta_{1P} = 0 \\ \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_{21} + \dots + \delta_{2n} X_n + \Delta_{2P} = 0 \\ \dots \\ \delta_{n1} X_1 + \delta_{n2} X_{21} + \dots + \delta_{nn} X_n + \Delta_{nP} = 0 \end{cases} \quad (20.4)$$

Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari Mor formulasi yordamida aniqlanadi.

$$\begin{aligned} \delta_{ii} &= \sum \int \frac{\bar{M}_i^2}{EI} dx; & \delta_{ij} &= \sum \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_j}{EI} dx; \\ \Delta_{iP} &= \sum \int \frac{\bar{M}_i M_P}{EI} dx. \end{aligned} \quad (20.5)$$

5. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini tekshirish.

Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari aniqlangandan so‘ng, ularning to‘g‘ri aniqlanganligi tekshiriladi.

a) Kanonik tenglama koeffitsientlarining to‘g‘ri aniqlanganligini tekshirish uchun universal tekshirish o‘tkaziladi.

$$\delta_{ss} = \sum \int \frac{\overline{M}_s^2}{EI} dx = \sum \delta, \quad (20.6)$$

bu erda \overline{M}_s -birlik eguvchi moment epyuralari yig‘indisi bo‘lib, $\overline{M}_s = \overline{M}_1 + \overline{M}_2 + \dots + \overline{M}_n$ formula yordamida chiziladi.

$$\sum \delta = \delta_{11} + \delta_{22} + \dots + \delta_{nn} + 2(\delta_{12} + \delta_{13} + \dots + \delta_{n-1,n})$$

$\sum \delta$ - jami birlik ko‘chishlar yig‘indisi.

Agar universal tekshirish bajarilmasa, u holda kanonik tenglamaning koeffitsientlarini qatorlab tekshirish mumkin

$$\sum \delta_1 = \delta_{11} + \delta_{12} + \dots + \delta_{1n} = \sum \int \frac{\overline{M}_1 \overline{M}_s}{EI} dx,$$

$$\sum \delta_2 = \delta_{21} + \delta_{22} + \dots + \delta_{2n} = \sum \int \frac{\overline{M}_2 \overline{M}_s}{EI} dx, \quad (20.7)$$

..... ,

$$\sum \delta_n = \delta_{n1} + \delta_{n2} + \dots + \delta_{nn} = \sum \int \frac{\overline{M}_n \overline{M}_s}{EI} dx.$$

b) Kanonik tenglama ozod hadlarini tekshirish uchun ustun tekshirish o‘tkaziladi.

$$\Delta_{sp} = \Delta_{1p} + \Delta_{2p} + \dots + \Delta_{np} = \sum \int \frac{\overline{M}_s M_p}{EI} dx \quad (20.8)$$

Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari tekshirilgandan so‘ng, ularni kanonik tenglamaga qo‘yib echiladi va noma’lum zo‘riqishlar topiladi.

6. Natijaviy eguvchi moment, ko‘ndalang va bo‘ylama kuchlarni aniqlash

Natijaviy eguvchi momentni aniqlash va epyurasini chizish.

Noma’lum kuchlar aniqlangandan so‘ng, yakuniy (xotima) eguvchi moment epyurasi quyidagi formula yordamida quriladi.

$$M_x = \overline{M}_1 X_1 + \overline{M}_2 X_2 + \dots + \overline{M}_n X_n + M_p \quad (20.9)$$

Bu erda $\overline{M}_1 X_1, \overline{M}_2 X_2, \dots, \overline{M}_n X_n$ tuzatilgan moment epyuralari deyiladi. Tuzatilgan moment epyuralarining ordinatalarini tashqi yuk eguvchi moment epyurasi mos ordinatalariga qo‘shish orqali hosil qilingan epyuraga yakuniy yoki xotima eguvchi moment epyurasi deb ataladi. M_x epyura statik noaniq ramaning doimo cho‘zilgan tolalari tomoniga chiziladi.

Natijaviy eguvchi moment epyurasini tekshirish.

a) Statik tekshirish. Ramaning har bir tuguni eguvchi momentlar ta'sirida muvozanatda bo'lishi kerak. Ramadan tugunlar qirqib olinib, ularga qolgan qismining ta'sirini tegishli eguvchi moment zo'riqlari bilan almash-tiriladi va tugunning muvozanat shartlari yoziladi. Bu tekshirish zaruriy bo'lib, etarli bo'la olmaydi. SHuning uchun deformatsion tekshirish o'tkaziladi.

b) Deformatsion tekshirish. Agar rama uchun eguvchi momentning M_x epyurasi to'g'ri chizilgan bo'lsa, u holda har bir noma'lum zo'riqlash yo'nalishi bo'yicha ko'chish nolga teng bo'lishi shart, ya'ni:

$$\sum \int \frac{M_x \overline{M}_s}{EI} dx \approx 0 \quad (20.10)$$

Bu tekshirish bajarilsa, M_x epyura to'g'ri hisoblanib, qurilgan bo'ladi.

Ko'ndalang kuchlarni aniqlash.

Ko'ndalang kuch epyurasi Q_x yakuniy eguvchi moment epyurasi M_x asosida chiziladi. Q_x epyurani chizishda ramaning har bir sterjeni alohida statik aniq oddiy balka deb qaraladi. Sterjenga ta'sir qilayotgan tashqi yuklar bo'lsa, ular ham balkaga qo'yiladi. M_x epyurasidagi rama sterjenlarining boshi va oxiriga to'g'ri keluvchi eguvchi momentlar tayanch momentlari sifatida qaraladi. Shundan so'ng ko'ndalang kuch qiymatlari qo'yidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Q_x = Q_x^0 + \frac{M^{yhz} - M^{uan}}{\ell} \quad (20.11)$$

bu erda Q_x^0 – oddiy balkadagi tashqi yukdan hosil bo'lgan balka ixtiyoriy kesimidagi ko'ndalang kuch ;

M^{yhz} – balkaning o'ng tayanchiga qo'yilgan eguvchi moment;

M^{uan} – balkaning chap tayanchiga qo'yilgan eguvchi moment;

ℓ – balkaning uzunligi.

Agar balkaga tekis yoyilgan tashqi yuk qo'yilgan bo'lsa $Q_x^0 = \frac{q\ell}{2} - qx$; tashqi yuk qo'yilgan bo'lmasa $Q_x^0 = 0$ bo'ladi.

Agar rama sterjeniga R to'plangan kuch ta'sir qilayotgan bo'lsa, bu sterjenni R kuch qo'yilgan nuqtadan ikki bo'lakka ajratish qulay hisoblanadi. Chunki bu holda oddiy balkadagi ko'ndalang kuch $Q_x^0 = 0$ bo'ladi. Q_x epyura statik aniq ramalarda ko'ndalang kuchlar epyurasini chizish qoidasiga o'xshab chiziladi.

Bo'ylama kuchlarni aniqlash.

Bo'ylama kuch epyurasi N_x ko'ndalang kuch epyurasi Q_x dan foydalanib chiziladi. Bunda to'singa qo'yilgan ko'ndalang kuchlar ustun uchun bo'ylama kuch, ustunga qo'yilgan ko'ndalang kuchlar to'singa qo'yilgan bo'ylama kuch bo'ladi. Bo'ylama kuchlar qiymatini aniqlash uchun, Q_x epyurasi qurilgan ramani tugunlari alohida qirqib olinadi va tugunning muvozanat shartlari $\sum X = 0$; $\sum Y = 0$ dan topiladi. N_x epyura ham statik aniq ramalarni bo'ylama kuch epyurasiga o'xshab chiziladi.

Shunday kilib, statik noaniq ramalar tashqi yuklar ta'siriga kuchlar usuli yordamida quyidagi tartibda hisoblanadi.

1. Ramalarning statik noaniqlik darajasi, ya'ni «ortiqcha» bog'lanishlar soni (19.1) yoki (19.2) formulalarga asosan topiladi.

2. Ramadagi «ortiqcha» bog'lanishlar, noma'lum zo'riqishlar bilan almashtirilib, asosiy sistema tanlanadi.

3. Asosiy sistemadagi «ortiqcha» noma'lumlarning yo'nalishi bo'yicha tashqi yuklardan va noma'lumlar ta'siridan hosil bo'ladigan ko'chishlar yig'indisining nolga teng ekanligini ifodalovchi kuchlar usulining kanonik tenglamalari sistemasi (20.4) tuziladi.

4. Kanonik tenglamalar sistemasida noma'lumlar oldidagi koeffitsientlar (birlik ko'chishlar) va ozod hadlar aniqlanadi. Buning uchun Mor formulasidan yoki Vereshchagin usulidan foydalaniladi.

5. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari to'g'ri topilganligi tekshiriladi.

a) Kanonik tenglama koeffitsientlarining to'g'ri aniqlanganligini tekshirish uchun universal tekshirish (20.6) o'tkaziladi.

b) Kanonik tenglama ozod hadlarini tekshirish uchun ustun tekshirish (20.8) o'tkaziladi.

6. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari tekshirilib, to'g'ri ekanligiga ishonch hosil qilgandan so'ng, ular kanonik tenglamaga qo'yilib echiladi va noma'lum X_1, X_2, \dots, X_n zo'riqishlarning qiymati aniqlanadi.

7. Ramaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment M_X (20.1) formula yordamida chiziladi.

8. Chizilgan yakuniy eguvchi moment epyurasi tekshiriladi.

9. Ko'ndalang kuch epyurasi Q_x yakuniy eguvchi moment epyurasi M_x asosida chiziladi.

10. Bo'ylama kuch epyurasi N_x ko'ndalang kuch epyurasi Q_x dan foydalanib chiziladi.

11. Ramani umumiy statik tekshirish.

Bu tekshirishda ramaning barcha tayanch reaksiyalari M_x , Q_x va N_x epyuralardan aniqlanib qo'yiladi va statika muvozanat shartlari orqali tekshiriladi.

$$\sum X = 0; \sum Y = 0; \sum M_i = 0.$$

Tekshirish bajarilsa rama to'g'ri hisoblanib, ichki zo'riqish epyuralari to'g'ri qurilgan bo'ladi.

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar

1. Kuchlar usulining asosiy sistemasi qanday tanlanadi?
2. Kuchlar usulining kanonik tenglamalari qanday tuziladi?
3. Kuchlar usulining asosiy sistemasi deb nimaga aytiladi?
4. Kuchlar usulining kanonik tenglamalarini tuzish tartibi nimaga asoslangan?

5. Kuchlar usulining asosiy sistemasi va berilgan sistemasi orasida qanday tafovutlar mavjud?
6. Qo'shimcha deformatsiya tenglamalari nima uchun kanonik tenglamalar deb ataladi?
7. Bosh ko'chishlar deb qanday ko'chishlarga aytiladi?
8. Ikkinchi darajali ko'chishlar deb qanday ko'chishlarga aytiladi?
9. Kanonik tenglamaning ozod hadlari nimani ifodalaydi?
10. Kanonik tenglamaning birlik ko'chishlari qanday xossalarga ega?
11. Kanonik tenglamaning ozod hadlari qanday xossalarga ega?
12. Qo'shimcha deformatsiya tenglamalari soni nimaga teng bo'ladi?
13. Bosh ko'chishlar va ikkinchi darajali ko'chishlari qanday aniqlanadi?
14. Kanonik tenglamaning ozod hadlari qanday aniqlanadi?
15. Kanonik tenglamaning birlik ko'chishlari qaysi usullar yordamida tekshiriladi?
16. Kanonik tenglamaning ozod hadlari qanday tekshiriladi?
17. Ramaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment M_x qanday aniqlanadi?
18. Natijaviy eguvchi moment epyurasi qanday usullar yordamida tekshiriladi?
19. Rama elementlaridagi ko'ndalang kuchlar eguvchi moment yordamida qanday aniqlanadi?
20. Rama elementlaridagi bo'ylama kuchlar ko'ndalang kuchlar yordamida qanday aniqlanadi?
21. Umumiy statik tekshirish nimaga asoslanadi?
22. Statik noaniq ramalarni tashqi yuklar ta'siriga hisoblash tartibini ayting?

13-MAVZU. UZLUKSIZ BALKALARNI QO‘ZG‘ALMAS YUKLAR TA‘SIRIGA HISOBLASH

Reja:

1. Uzlüksiz balkalar to‘g‘risida umumiy tushunchalar.
2. Uzlüksiz balkalarni xisoblashni uch moment tenglamasi.

Tayanch iboralar: uzluksiz balka, statik noaniqlik darajasi , uzluksiz balka to‘g‘risida umumiy tushunchalar, uzluksiz balkalarni hisoblashni uch momentlar tenglamasi.

1. Uzlüksiz balkalar to‘g‘risida umumiy tushunchalar.

Uzlüksiz balkalar qurilish amaliyotida ko‘p uchraydigan inshoot elementlaridan biri hisoblanadi. Ular ko‘priklar, tom osti yopmalarining va boshqa konstruksiyalarning asosiy qismlari sifatida qo‘llaniladi.

Uzlüksiz balka deb, ikkitadan ortiq vertikal tayanchga ega bo‘lgan va tayanchlaridan biri qo‘zg‘almas bo‘lgan uzluksiz balkaga aytiladi.

Uzlüksiz balkalar statik noaniq bo‘lib, ularning statik noaniqlik darajasi quyidagi formulaga asosan aniqlanadi:

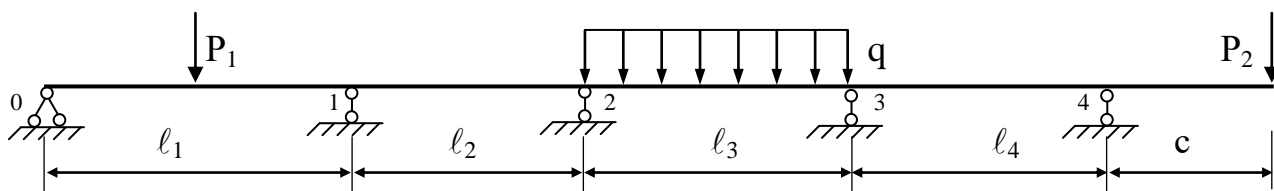
$$n=2SH+S_T-3D. \quad (a)$$

Uzlüksiz balka uzluksiz yaxlit balkadan tashkil topganligi sababli, $D = 1$, $SH = 0$ bo‘ladi. U holda (a) formula quyidagi ko‘rinishga keladi.

$$n= S_t - 3 \quad (13.1)$$

bu erda S_t - tayanch bog‘lanishlar soni.

Uzlüksiz balkalarning tayanch bog‘lanishlari va shu tayanchlarga to‘g‘ri keluvchi tayanch momentlari chapdan o‘ngga qarab 0 dan boshlab 1, 2., deb belgilanadi, oraliqlar esa doimo o‘ng tayanch raqami bilan belgilanadi.



13.1- rasm

Misol uchun 13.1-rasmda berilgan uzluksiz balkani qaraymiz. Balkaning statik noaniqlik darajasi $S_A = S_t - 3 = 6 - 3 = 3$, ga teng, ya‘ni uzluksiz balka 3 marta statik noaniq.

Uzlüksiz balkalarni kuchlar usuli bilan hisoblashni qaraymiz. Uzlüksiz balkalarning statik noaniqlik darajasi kuchlar usulida ulardagi ortiqcha bog‘lanishlar

sonini ifodalaydi. Uzlüksiz balkalarni bu ortiqcha bog‘lanishlardan ozod qilib, asosiy sistemaning ikki xil variantini tanlaymiz. Buning uchun yuqoridagi misolni qaraymiz. (13.1-rasm).

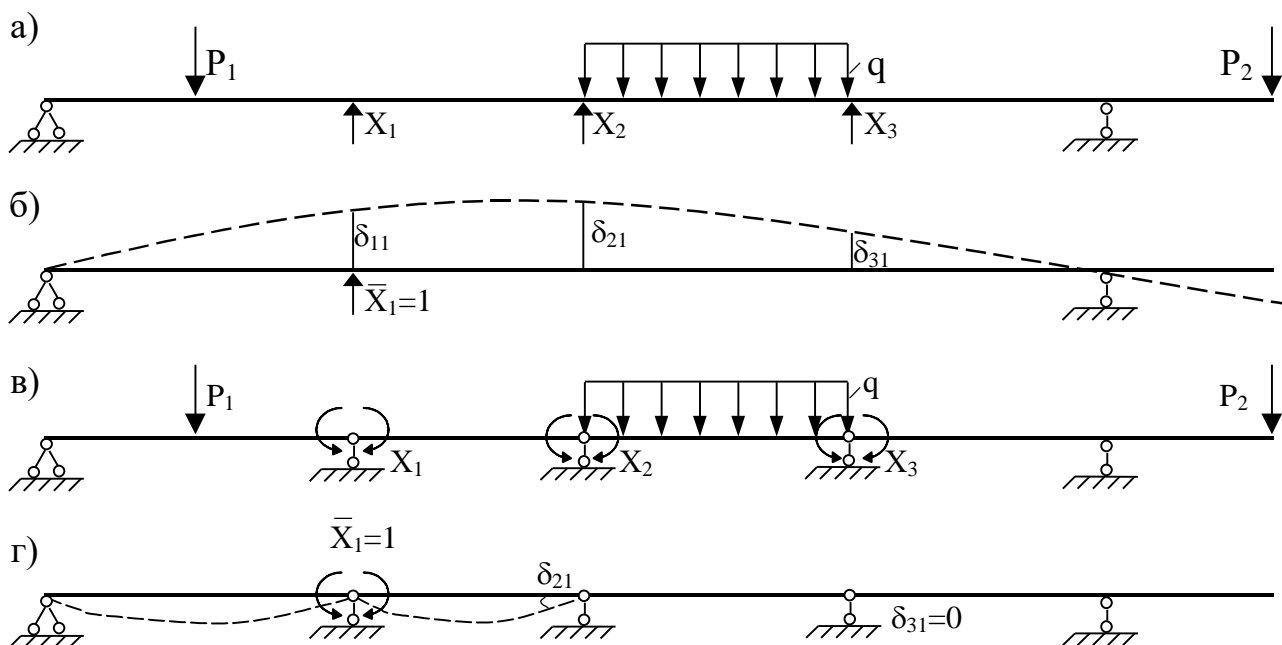
1-variant. Uzlüksiz balkada bo‘lgan ortiqcha tayanch bog‘lanishlarini olib tashlab, ularning ta‘sirini noma‘lum reaksiya kuchlari X_1 , X_2 , X_3 bilan almashtiramiz. (13.2-rasm, a).

2-variant. Uzlüksiz balkaning oraliq tayanch kesimlariga sharnirlar kiritib, ichki bog‘lanishlarning ta‘sirini tegishli noma‘lum tayanch momentlari bilan almashtiramiz. (13.2-rasm, v). Bu holda asosiy sistema oddiy statik aniq balkalardan iborat bo‘ladi.

Kuchlar usulining kanonik tenglamasini tuzamiz.

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1p} &= 0, \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2p} &= 0, \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3p} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Kanonik tenglamalarning har biri, asosiy sistemadagi noma‘lumlar yo‘nalishi bo‘yicha hosil bo‘lgan ko‘chishlarning yig‘indisi nolga tengligini ifodalaydi.



13.2-rasm

Birinchi variantda ko‘rsatilgan asosiy sistemadagi birlik ko‘chishlarning δ_{ij} birortasi ham nolga teng bo‘lmaydi (13.2-rasm, b). Ikkinchi variantdagi asosiy sistema uchun kanonik tenglamaning har biri, noma‘lum tayanch momentlari yunalishi bo‘yicha o‘zaro burchak ko‘chishlarning yig‘indisi nolga tengligini ifodalaydi. Bu asosiy sistema uchun ayrim yordamchi ko‘chishlar nolga teng bo‘ladi. Masalan: $\delta_{31}=\delta_{13}=0$ (13.2-rasm, g).

Demak, uzlüksiz balkalarni hisoblashni osonlashtirish uchun ortiqcha noma‘lumlar sifatida tayanch momentlarini qabul qilish qulaydir.

2. Uzlüksiz balkalarni hisoblashni uch moment tenglamasi.

Uzlüksiz balkalarda ortiqcha noma'lumlar sifatida tayanch momentlari qabul qilinib asosiy sistema tanlansa, u holda asosiy sistema oddiy balkalardan iborat bo'ladi. Har bir oddiy balka o'ziga qo'yilgan yuk va tayanch momentlari bilan yuklangan bo'ladi. (13.3-rasm, a).

Asosiy sistemaning n tayanchidan chapda ℓ_n va o'ngda ℓ_{n+1} oraliqlarni qarasa, bu oraliqlar faqat o'ziga qo'yilgan yukdan va noma'lum (X_{n-1} , X_n , X_{n+1}) M_{n-1} , M_n , M_{n+1} tayanch momentlaridan deformatsiyalanadi. U vaqtda shu tayanch uchun kanonik tenglama tuzsak, bu tenglama 3 noma'lumli bo'ladi.

$$\delta_{n,n-1}M_{n-1} + \delta_{n,n}M_n + \delta_{n,n+1}M_{n+1} + \Delta_{np} = 0 \quad (13.2)$$

Birlik momentlardan va tashqi yukdan qurilgan epyuralarni (13.3-rasm, b, v, g va d) Vereshchagin usuli yordamida ko'paytirib, $\delta_{n,n-1}$; δ_{nn} ; $\delta_{n,n+1}$; Δ_{np} larni aniqlab (13.2) tenglamaga qo'yamiz. Ozod hadni o'ng tomonga o'tkazib, $6EI_0$ ga ko'paytirib, quyidagi tenglamani olamiz.

$$M_{n-1}\ell_n^1 + 2M_n(\ell_n^1 + \ell_{n+1}^1) + M_{n+1}\ell_{n+1}^1 = -6\left(\frac{I_0}{I_n}B_n^c + \frac{I_0}{I_{n+1}}A_n^c\right), \quad (13.3)$$

bu erda $\ell_n^1 = \frac{I_0}{I_n}\ell_n$; $\ell_{n+1}^1 = \frac{I_0}{I_{n+1}}\ell_{n+1}$; $-\text{oraliqlarning keltirilgan uzunligi}$;

$B_n^c = \omega_n \frac{a_n}{\ell_n}$ ℓ_n - oraliqdagi tashqi yukdan qurilgan epyura yuzasi soxta (fektiv)

yuk ω_n dan hosil bo'lgan o'ng tayanchdagi soxta reaksiya kuchi;

$A_{n+1}^c = \omega_{n+1} \frac{e_{n+1}}{\ell_{n+1}} - \ell_{n+1}$ - oraliqdagi tashqi yukdan qurilgan epyura yuzasi soxta yuk

ω_{n+1} dan hosil bo'lgan chap tayanchdagi soxta reaksiya kuchi;

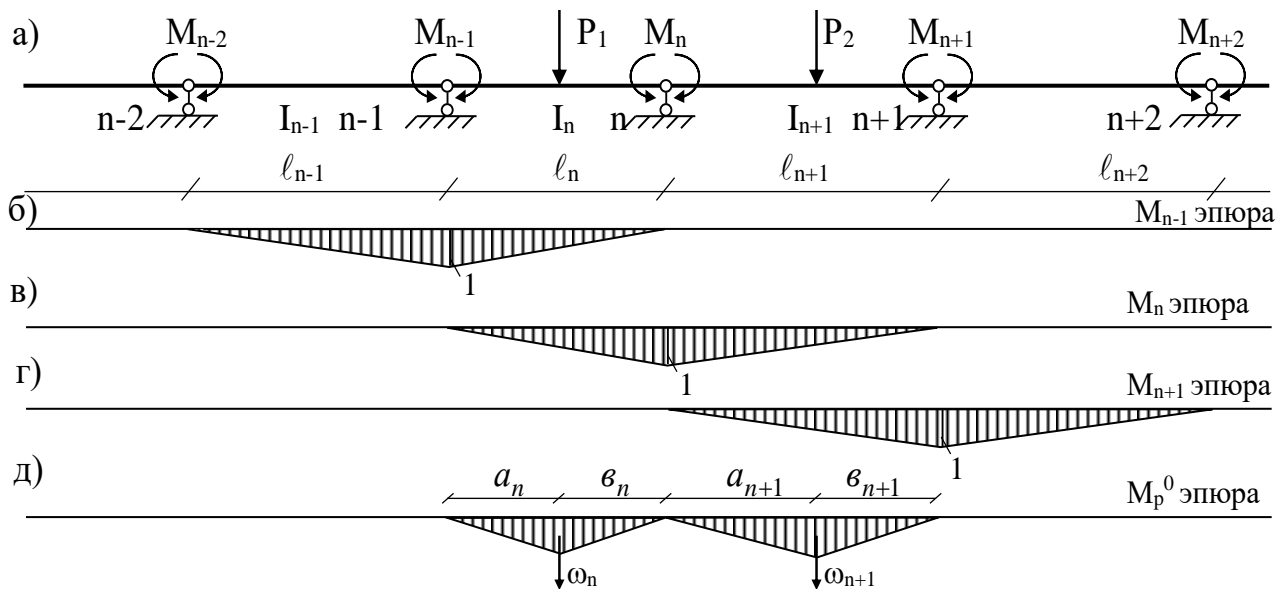
$a_n - \ell_n$ - oraliqdagi M_p^0 epyura og'irlik markazidan (soxta yukdan) (n-1) - tayanchgacha bo'lgan masofa;

$e_{n+1} - \ell_{n+1}$ - oraliqdagi M_p^0 epyura og'irlik markazidan (ω_{n+1} soxta yukdan) (n+1) - tayanchgacha bo'lgan masofa;

I_0 - oraliqlarning keltirilgan inersiya momenti.

Agarda $EI_{n-1}=EI_n=EI_{n+1}=EI_0= \text{const}$ bo'lsa, u vaqtda (13.3)

$$M_{n-1}\ell_n + 2M_n(\ell_n + \ell_{n+1}) + M_{n+1}\ell_{n+1} = -6(B_n^c + A_{n+1}^c). \quad (13.4)$$



13.3-расм

(13.3) va (13.4) tenglamada uchta qo‘shni tayanch momentlarining o‘zaro bog‘langanligi sababli, bu tenglama **uch moment tenglamasi** deb ataladi.

Uzluksiz balkada qancha oraliq tayanchlar bo‘lsa, shuncha uch moment tenglamalari tuziladi. Demak, uch momentlar tenglamalarining soni tutash balkaning statik noaniqlik darajasiga teng ekan. Uch moment tenglamasini yozishda quyidagi hollarni hisobga olish kerak.

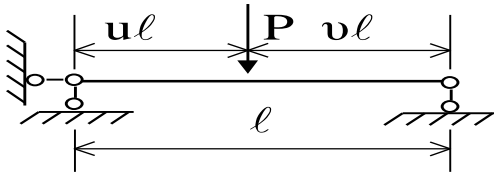
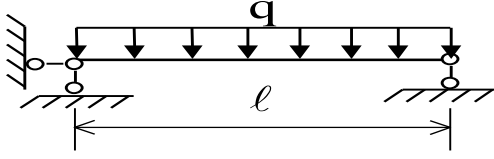
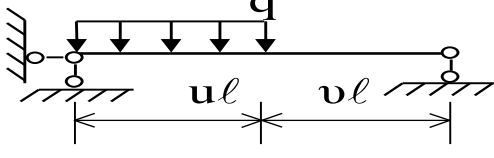
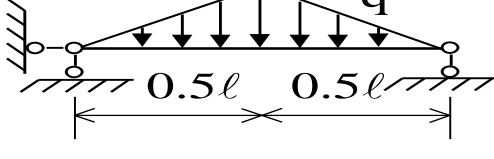
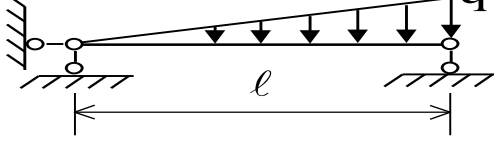
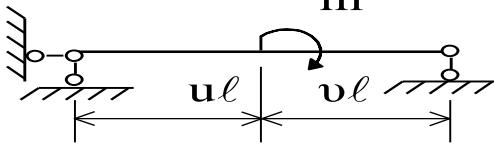
1. Uzluksiz balkaning bir uchi konsolli bo‘lsa, bu konsoldagi tashqi yukdan hosil bo‘lgan tayanch momenti ma‘lum deb, asosiy sistemaga qo‘yiladi. (13.4-rasm, b).

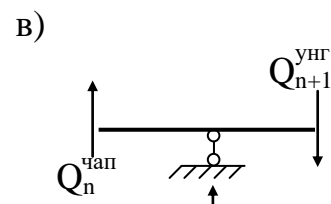
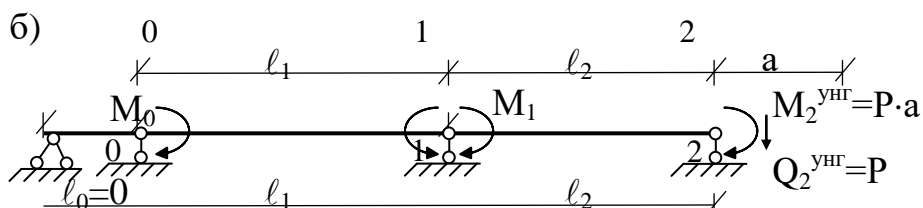
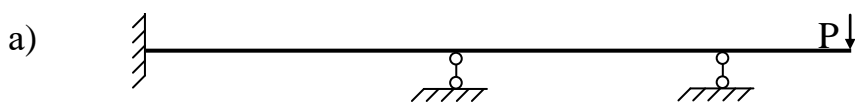
2. Uzluksiz balkaning biror uchi qistirib mahkamlangan bo‘lsa, asosiy sistema tanlashda balkaning qistirilgan uchini fikran davom ettirib, yana bir oraliq qo‘shiladi. Bu oraliqning uzunligini tenglama tuzilgandan so‘ng 0 ga teng deb olinadi va bu oraliqning birligi cheksiz deb hisoblanadi. (13.4-rasm, b).

Uch moment tenglamalari sistemasini birgalikda echib, noma‘lum tayanch momentlari aniqlangandan so‘ng uzluksiz balkalar uchun eguvchi moment va ko‘ndalang kuch epyuralari quyidagi formulalar yordamida quriladi.

Uzluksiz balkalar oraliqlarining har xil yuklanishlari uchun, 6 ga ko‘paytirilgan holda soxta tayanch reaksiyalarining qiymatlari 13.1-jadvalda berilgan.

13.1 – jadval

Yuklanish turlari	$6 A^S$	$6 V^S$
1	2	3
	$pl^2u\vartheta(1+\vartheta)$ $u=\vartheta = \frac{3}{8}\rho l^2$	$pl^2u\vartheta(1+u)$ 0,5 bo'lsa $\frac{3}{8}\rho l^2$
	$\frac{ql^3}{4}$	$\frac{ql^3}{4}$
	$\frac{ql^3u^2(2-u^2)}{4}$	$\frac{ql^3u^2(2-u^2)}{4}$
	$\frac{5}{32}ql^3$	$\frac{5}{32}ql^3$
	$\frac{7}{60}ql^3$	$\frac{2}{15}ql^3$
	$-ml(1-3\vartheta^2)$ $u=\vartheta =$ $-\frac{ml}{4}$	$ml(1-3u^2)$ 0,5 bo'lsa $\frac{ml}{4}$



$$M_x = M_p^0 + M_{n-1} \frac{\ell_n - x}{\ell_n} + M_n \frac{x}{\ell_n}; \quad (13.5)$$

$$Q_x = Q_p^0 + \frac{M_n - M_{n-1}}{\ell_n}. \quad (13.6)$$

Bu yerda M_p^0 va Q_p^0 – oddiy balkadagi tashki yukdan hosil bo‘lgan eguvchi moment va ko‘ndalang kuch.

Balkaning eguvchi moment epyurasi qurilgandan so‘ng deformatsion tekshirish o‘tkaziladi.

$$\sum \int \frac{M_x \cdot \overline{M}_i}{EJ} dx \approx 0 \quad (13.7)$$

Ko‘ndalang kuch epyurasi yordamida tayanch reaksiyalari quyidagi formula yordamida aniqlanadi. (29.4-rasm, v).

$$R_n = Q_{n+1}^{yH2} - Q_n^{uan} \quad (13.8)$$

Ma’ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Uzlüksiz balkalar deb nimaga aytiladi?
2. Uzlüksiz balkani statik noaniqlik darajasi qanday aniqlanadi?
3. Uch moment tenglamasini yozing?
4. Uch moment tenglamasini yozishda qanday hollar hisobga olinadi?.
5. Uch momentlar tenglamalarining soni nimaga bogliq?
6. Uzlüksiz balkani soxta tayanch reaksiyalarining qanday aniqlanadi?
7. Uzlüksiz balkaning ixtiyoriy kesimidagi M_x , Q_x va epyuralarini chizishni va ularni tekshirishni ayting?
8. Uzlüksiz balkaning eguvchi moment epyurasi qurilgandan so‘ng deformatsion tekshirish qanday o‘tkaziladi?

14-15 MAVZU. STATIK NOANIQ RAMALARNI KO'CHISHLAR USULIDA HISOBLASH.

Reja:

1. Ko'chishlar usulining mohiyati va noma'lumlari.
2. Ko'chishlar usulining asosiy sistemasi.
3. Ko'chishlar usulining kanonik tenglamalari.
4. Bir oraliqli statik noaniq balka reaksiyalarini aniqlash.
5. Birlik reaksiyalarning o'zaro bog'lanishi haqida teorema.
6. Birlik reaksiya bilan birlik ko'chishning o'zaro bog'lanish teoremasi.
7. Statik noaniq ramalarni tashqi yuklar ta'siriga ko'chishlar usuli bilan hisoblash tartibi.
8. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash va ularni tekshirish.
9. Yakuniy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuch epyuralarin chizish hamda ularni tekshirish.

Tayanch iboralar: ko'chishlar usulining mohiyati va noma'lumlari, ko'chishlar usulining asosiy sistemasi, ko'chishlar usulining kanonik tenglamalari, bir oraliqli statik noaniq balka reaksiyalari, birlik reaksiyalarning o'zaro bog'lanishi haqida teorema, birlik reaksiya bilan birlik ko'chishning o'zaro bog'lanish teoremasi, statik noaniq ramalarni ko'chishlar usuli hisoblash tartibi, statik noaniq ramalarni ko'chishlar usuli hisoblash tartibi, ko'chishlar usulining noma'lumlari, asosiy sistemasi va ko'chishlar usulining kanonik tenglamalari, kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash va ularni tekshirish, yakuniy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuch epyuralarin chizish hamda ularni tekshirish.

1. Ko'chishlar usulining mohiyati va noma'lumlari.

Ma'lumki, statik noaniq sistemalarni kuchlar usuli bilan hisoblashda ortiqcha bog'lanishlarining zo'riqishlari noma'lum deb qabul qilingan edi. Bu zo'riqishlarning qiymatlari aniqlangandan keyin statik noaniq sistemalardagi ko'chishlar hisoblanishi mumkin. Shu sistemalarni boshqacha yo'l bilan ham echish mumkin, buning uchun avval sistema tugunlarida hosil bo'lgan ko'chishlarni hisoblab, so'ngra uning ixtiyoriy kesimidagi ichki zo'riqishlarni hisoblash mumkin.

Masalan, 32.1-rasmda berilgan rama tashqi kuchlar ta'siridan deformatsiyalanib, uning tugunlari burchakli va chizikli ko'chadi. Ramaning 1 tuguni φ_1 ga, 2-tuguni φ_2 burchakka buriladi, shu bilan birga bu tugunlar gorizontal yo'nalishda δ miqdorga ko'chadi.

Ramalarni ko'chishlar usuli bilan hisoblashda noma'lumlar sifatida ularning tugunlaridagi burchakli va chizikli ko'chishlar qabul qilinadi.

Bu ko‘chishlarni hisoblashda:

1. Rama elementlarining faqat egilishi e‘tiborga olinib, ularning siqilishi va cho‘zilishi hisobga olinmaydi.

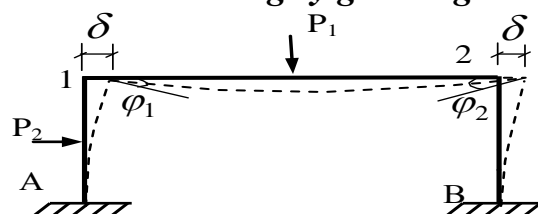
2. Ramalar deformatsiyalanganda, ularning tugunlari orasidagi masofa o‘zgarmaydi, deb qabul qilinadi.

Ramalarini ko‘chishlar usuli bilan hisoblashda umumiy noma‘lumlarni soni n ularning birkir tugunlari burilishi va chiziqli ko‘chishlarining yig‘indisiga teng bo‘ladi:

$$n = n_b + n_{ch} \quad (32.1)$$

bu erda, n_b – burchakli ko‘chishlar soni,

n_{ch} – rama tugunlarining chiziqli ko‘chishlari soni.



32.1-pacm

Umumiy noma‘lumlarni soni n ramaning kinematik noaniqlik darajasi sonini ifodalaydi.

Burchakli ko‘chishlar soni n_b – ramaning birkir tugunlarining soniga teng bo‘ladi. Chiziqli ko‘chishlar sonini aniqlash uchun ramaning har bir birkir tuguniga va birkir tayanchiga sharnir kiritish yo‘li bilan yangi geometrik o‘zgaruvchan sharnirli sxema hosil qilinadi. Bu sharnirli mexanizmning erkinlik darajasi ramaning chiziqli ko‘chishlari soniga teng bo‘ladi.

$$n_{ch} = W = 3D - 2SH - S_T \quad (32.2)$$

Misol. 32.2-rasm, a da berilgan ramaning kinematik noaniqlik darajasi aniqlansin.

Yechish: Ramaning kinematik noaniqlik darajasi (14.1) formulaga asosan aniqlanadi.

$$n = n_b + n_{ch}$$

Ramaning birkir tugunlari soni 6 ga tengligidan, burchakli ko‘chishlar soni $n_b = 6$ bo‘ladi.

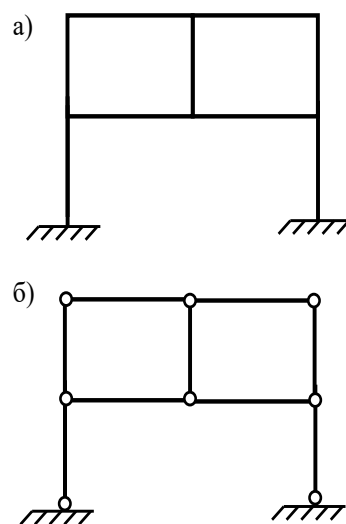
Ramaning chiziqli ko‘chishlari sonini aniqlash uchun, uning birkir tugunlari va tayanchlariga sharnir kiritib, geometrik o‘zgaruvchan sharnirli sxema bilan almashtiramiz (32.2-rasm, b) va bu sharnirli sxemaning erkinlik darajasini (32.2) formula yordamida hisoblaymiz.

$$n_{ch} = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 10 - 4 = 27 - 24 = 3$$

Demak, rama tugunlarining chiziqli siljishlari soni $n_{ch} = 3$ ga teng bo‘lar ekan.

Shunday qilib, ramadagi noma‘lumlarni soni

$$n = 6 + 3 = 9 \quad \text{bo‘ladi.}$$

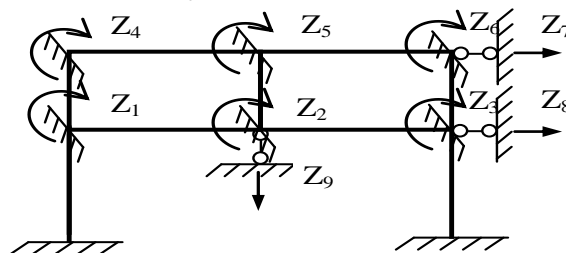


27.2-pacm

2. Ko‘chishlar usulining asosiy sistemasi.

Kuchlar usulida asosiy sistema statik noaniq ramani ortiqcha bog‘lovchilardan ozod qilish yo‘li bilan tanlangan edi. Bu holda asosiy sistema statik aniq va geometrik o‘zgarmas bo‘lishi shart edi.

Ko‘chishlar usulida esa asosiy sistema – berilgan ramaga, tugunlarining burchakli va chiziqli ko‘chishlariga qarshilik ko‘rsatuvchi 2 xil bog‘lovchilar kiritish yo‘li bilan hosil qilinadi. Birinchi xil bog‘lovchilar – biki bog‘lanishlar bo‘lib, faqat tugunlarning burchakli ko‘chishlariga qarshilik ko‘rsatadi. Ikkinchi xil bog‘lovchilar – sterjenlar bo‘lib, tugunlarning chiziqli ko‘chishlariga imkon bermaydi. Demak, ko‘chishlar usulining asosiy sistemasini berilgan rama tugunlarini burchakli va chiziqli ko‘chishlarini cheklash orqali tanlanadi. Bunday asosiy sistema yagona bo‘ladi. Ma‘lumki, kuchlar usulining asosiy sistemasi cheksiz ko‘p bo‘lar edi.



14.3-расм

Misol. 32.2-rasm, a da keltirilgan rama uchun asosiy sistema tanlang.

Yechish. YUqoridagi misoldan ma‘lumki, rama 6 ta burchakli va 3 ta chiziqli ko‘chishga ega. 6 ta burchakli ko‘chishni cheklash uchun biki tugunlarni biki bog‘lanishlar bilan, 3 ta chiziqli ko‘chishlarni cheklash uchun shu ko‘chishlar yo‘nalishi bo‘yicha sterjenlar bilan mahkamlaymiz (32.3-rasm). Hosil bo‘lgan sistema ko‘chishlar usulining asosiy sistemasi deyiladi.

3. Ko‘chishlar usulining kanonik tenglamalari.

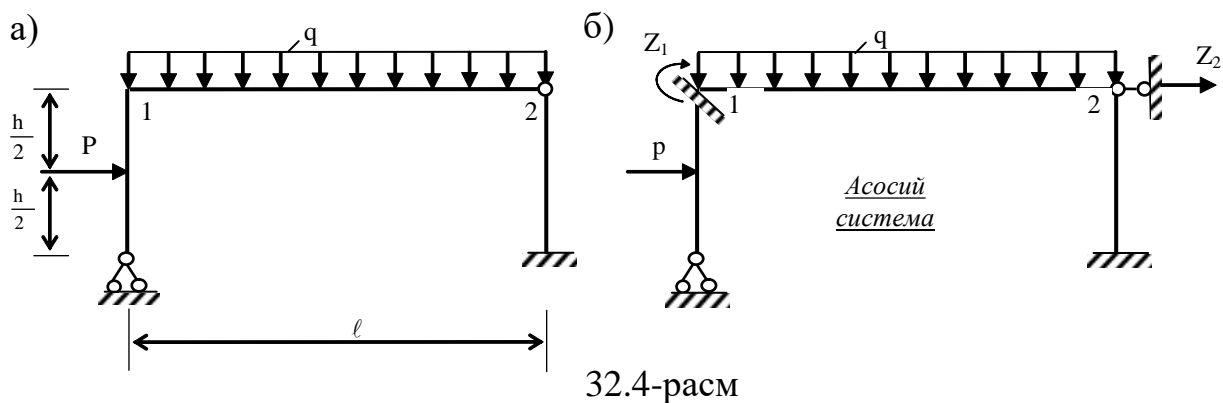
Tashqi kuchlar ta‘sirida bo‘lgan statik noaniq rama tugunlarining chiziqli va burchakli ko‘chishlarini aniqlash uchun kanonik tenglamalar sistemasini tuzishga to‘g‘ri keladi.

Asosiy sistema tugunlariga kiritilgan har bir qo‘shimcha bog‘lanishda hosil bo‘lgan reaksiyalarning yig‘indisi R_i nolga teng bo‘lishi kerak, chunki berilgan rama tugunlarida bu bog‘lanishlarning yo‘qligi va tugunning muvozanatda bo‘lishi shartidan reaktiv zo‘riqishlar nolga teng bo‘ladi, ya‘ni

$$R_1 = 0, \quad R_2 = 0, \quad \dots, \quad R_n = 0 \quad (32.3)$$

Bu shartni qanoatlantiruvchi tenglamalar ko‘chishlar usulining kanonik tenglamalari deyiladi. Kanonik tenglamalar soni berilgan ramaning kinematik noaniqlik darajasiga teng bo‘ladi.

Kanonik tenglamalar sistemasini tuzish tartibini quyidagi misolda qaraylik (32.4-rasm, a). Masalan, 2 marta statik noaniq rama uchun kanonik tenglama tuzaylik.



32.4-расм

Ramani tugunlaridagi noma'lum burchakli va chiziqli ko'chishlarni Z_i bilan belgilaymiz. Asosiy sistema tugunlariga qo'yilgan qo'shimcha bog'lanishlarda tashqi kuchlardan va Z_1, Z_2 ko'chishlardan reaktiv moment va zo'riqish kuchlari hosil bo'ladi (32.4-rasm, b), (32.3) ga asosan:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_{1z_1} + R_{1z_2} + R_{1p} = 0, \\ R_2 &= R_{2z_1} + R_{2z_2} + R_{2p} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (32.3 a)$$

Bu erda birinchi indeks asosiy sistema hosil qilish uchun kiritilgan bog'lanishlarning nomerini, ikkinchi indeks shu bog'lanishlarda hosil bo'layotgan reaksiyani, hosil bo'lish sababini ko'rsatadi.

Masalan, R_{1p} - asosiy sistema 1 - bog'lanishidagi tashqi yukdan hosil bo'lgan reaktiv moment; R_{1z_1} va R_{1z_2} - asosiy sistemani birinchi bog'lanishida Z_1 burchakli, va Z_2 chiziqli ko'chishdan hosil bo'lgan reaktiv momentlar.

Agarda $R_{kzi} = r_{ki}Z_i$ deb ifodalasak, bu erda r_{ki} - asosiy sistemani k bog'lanishdagi $Z_i=1$ birlik ko'chishdan hosil bo'lgan reaksiya; Z_i - noma'lum ko'chish.

U vaqtda (32.3 a) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + R_{1p} &= 0, \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + R_{2p} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (32.4)$$

Agarda rama n marta statik noaniq bo'lsa (32.4) ga asosan kanonik tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + \dots + r_{1n}Z_n + R_{1p} &= 0, \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + \dots + r_{2n}Z_n + R_{2p} &= 0, \\ \dots & \\ r_{n1}Z_1 + r_{n2}Z_2 + \dots + r_{nn}Z_n + R_{np} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (32.5)$$

(32.5) tenglamalarga ko'chishlar usulining kanonik tenglamalari deyiladi.

Kanonik tenglamalar sistemasining (14.5) bosh diagonali bo'yicha joylashgan birlik reaksiyalarni bosh reaksiyalar yoki bosh koeffitsientlar deyiladi. Bosh koeffitsientlardan tashqarida joylashgan koeffitsientlarni yordamchi reaksiyalar deyiladi. Birlik reaksiyalarning o'zaro bog'lanish teoremasiga asosan, bosh diagonalga nisbatan simmetrik bo'lgan koeffitsientlar bir-biriga teng bo'ladi: $r_{ik} = r_{ki}$.

$R_{1p}, R_{2p} \dots R_{np}$ lar ozod hadlar yoki tashqi yuk reaksiyalari deyiladi.

4. Bir oraliqli statik noaniq balka reaksiyalarini aniqlash.

Ko'chishlar usulining kanonik tenglamasini tuzish uchun r_{ik} va R_{ip} reaksiyalarni aniqlashga to'g'ri keladi. Buning uchun asosiy sistemaning har bir sterjenini bir oraliqli statik noaniq balka deb, ularda tashqi yuklardan va balka uchlaridagi birlik ko'chishlardan hosil bo'layotgan eguvchi moment epyuralarini chizishga to'g'ri keladi.

Misol uchun avvalo, bir uchi qistirib mahkamlangan, ikkinchi uchi sharnirli mahkamlangan sterjenni qaraylik (32.5-rasm, a). Qistirib mahkamlangan tomolni $\bar{Z} = 1$ burchakka buramiz va bu burilishdan, biki tayanchda hosil bo'lgan reaktiv momentni aniqlaylik. Bu masala 1 marta statik noaniq balka bo'lib, uni kuchlar usuli bilan echamiz. Kuchlar usulining asosiy sistemasi 32.5-rasm, b da ko'rsatilgan. Birlik eguvchi moment epyurasi \bar{M} 32.1-rasm, v da va balkaning biki tayanchi burchak burilishi 32.5-rasm, g da ko'rsatilgan.

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0,$$

$$\text{bu erdan } X_1 = -\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}}$$

δ_{11} va Δ_{1p} birlik va tashqi yuk ko'chishlarini aniqlaymiz:

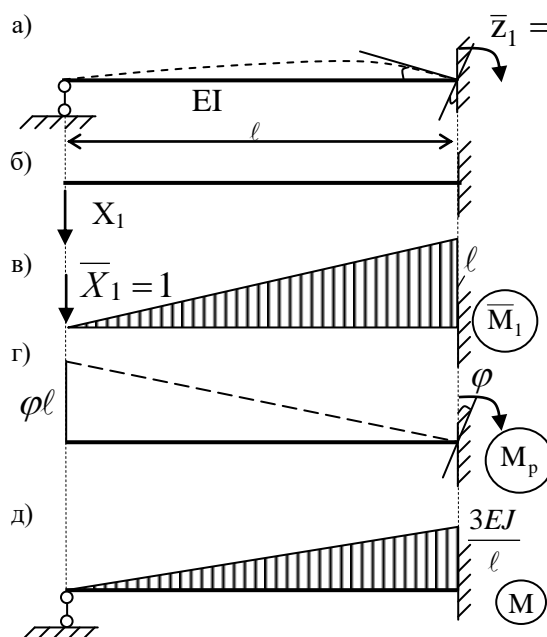
$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1^2}{EI} dx = \frac{\ell \cdot \ell}{2EI} \cdot \frac{2}{3} \cdot \ell = \frac{\ell^3}{3EI};$$

$$\Delta_{1p} = -\varphi \ell;$$

U holda noma'lum reaksiya kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$X_1 = \frac{\varphi \ell}{\ell^3} \cdot 3EI = \frac{3EI \cdot \varphi}{\ell^2}$$

$$\text{agar } \varphi = 1; \quad X_1 = 3EI / \ell^2$$



32.5-rasm

Yakuniy eguvchi moment epyurani quyidagi formula yordamida quramiz (32.5-rasm, d).

$$M = \bar{M}_1 X_1$$

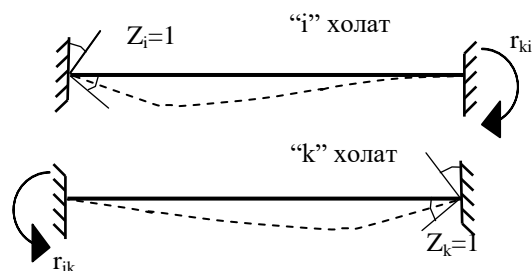
Shu tartibda boshqa hollar uchun ham birlik ko'chishlar va tashqi yuklardan epyuralar quramiz. 32.1-jadvalda bir oraliqli balkalar uchun birlik, burchakli, chiziqli ko'chishlar va har xil yuklanishlar uchun reaksiyalar hisoblangan tayyor natijalar berilgan.

5. Birlik reaksiyalarning o'zaro bog'lanishi haqida teorema.

Asosiy sistemaning i va k birlik holatlari uchun bajarilishi mumkin bo'lgan ishlarning o'zaro bog'lanishi teoremasini yozamiz (32.6-rasm).

$$A_{ki} = A_{ik}$$

Ya'ni i holat reaksiya kuchlarining k



32.6-rasm

holatdagi ko'chishda bajargan ishi k holat reaksiya kuchlarining i holatdagi ko'chishlarida bajargan ishiga tengdir.

$$r_{ik}Z_i = r_{ki}Z_k, \quad Z_i = Z_k = 1 \text{ tengligidan } r_{ik} = r_{ki} \text{ bo'ladi.}$$

Bu tenglik reaksiyalarning o'zaro bog'lanish teoremasi deyiladi.

3. Birlik reaksiya bilan birlik ko'chishning o'zaro bog'lanish teoremasi.

Asosiy sistema ixtiyoriy elementining ikki holatini tekshiramiz. 1-holatda elementga tashqi R kuch qo'yilgan bo'lsin (32.7-rasm, a). 2-holatda esa tayanch bog'lanishi $Z_i = 1$ ga burilgan bo'lsin (32.7-rasm, b). Bu ikki holat uchun ishlarning o'zaro bog'lanish teoremasini yozamiz:

$$A_{pi} = A_{ip}$$

$$\text{Bunda} \quad A_{pi} = R_{ip} \cdot 1 + P \cdot \delta_{pi}; \quad A_{ip} = 0.$$

U holda

$$R_{ip} + P \cdot \delta_{pi} = 0,$$

$$R_{ip} = -P \delta_{pi}. \quad (32.6)$$

Agarda tashqi yuk $\bar{P} = 1$ bo'lsa,

$$R_{ip} = -\delta_{pi}. \quad (32.7)$$

Demak, asosiy sistemada $\bar{P} = 1$ dan i bog'lanishida hosil bo'lgan reaksiya kuchi bilan uning i bog'lanishining birlik ko'chishidan R kuch yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan ko'chish miqdorlari o'zaro teng bo'lib, ishoralari teskari bo'ladi. Bunga birlik reaksiya bilan birlik ko'chishning o'zaro bog'lanish teoremasi deyiladi.

Agar δ_{pi} ko'chish Mor formula-siga asosan aniqlansa birinchi R holat sifatida statik aniq sistema olish tavsiya qilinadi (32.7-rasm, v).

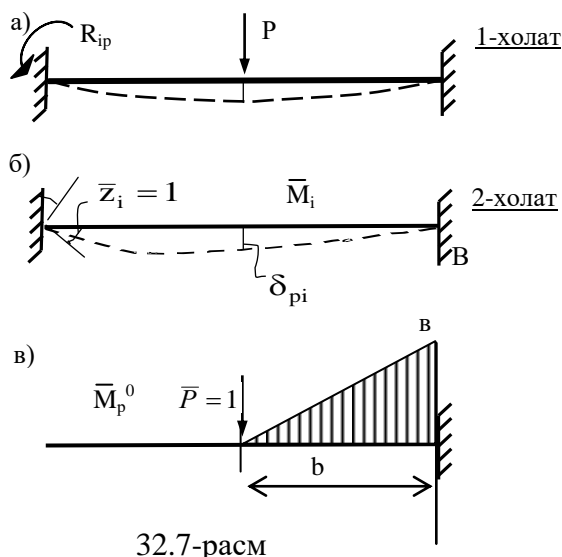
$$\delta_{pi} = \sum \int \frac{M_p^0 \cdot M_i}{EI} dx \quad (a)$$

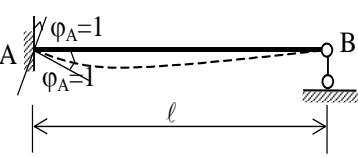
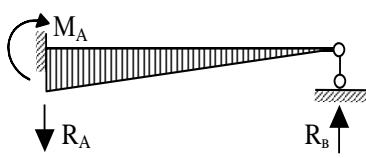
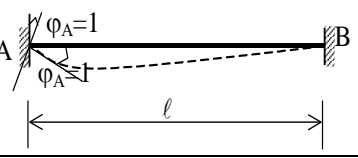
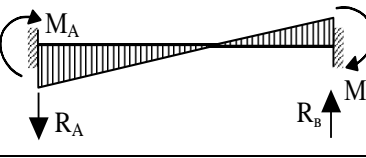
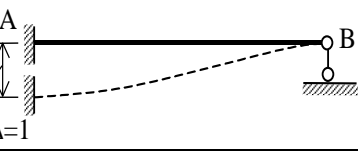
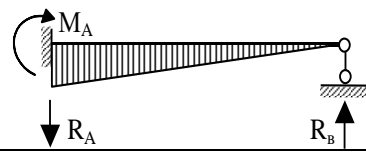
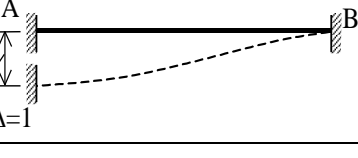
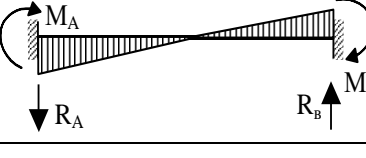
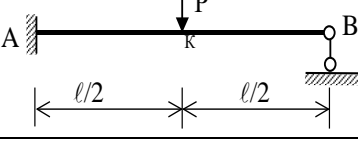
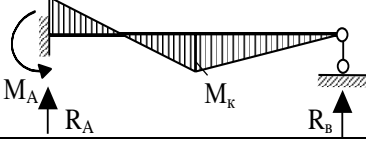
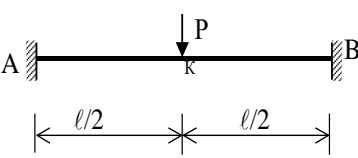
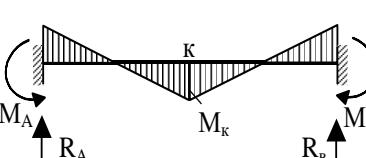
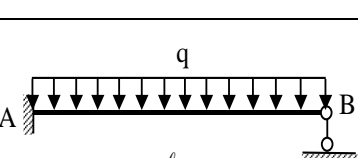
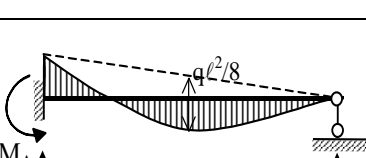
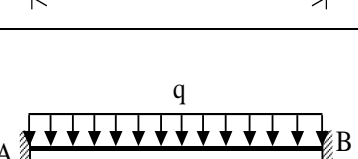
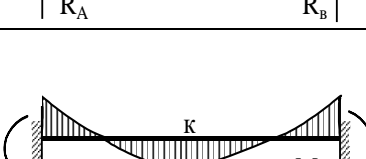
(32.6) va (a) ga asosan kanonik tenglamalarning ozod hadlarini hisoblaymiz.

$$R_{ip} = -P \cdot \delta_{pi} = -P \sum \int \frac{M_p^0 M_i}{EI} dx,$$

$$M_p^0 = P M_p^0 \quad \text{deb belgilasak, u holda} \quad R_{ip} = -\sum \int \frac{M_p^0 M_i}{EI} dx, \quad (32.8)$$

bu yerda M_p^0 - tashqi kuchdan statik aniq sistemada hosil bo'lgan eguvchi moment epyurasi. Demak, asosiy sistemaning bog'lanishida tashqi kuchlardan hosil bo'lgan reaksiyani (32.7) formulaga asosan aniqlash mumkin.



t/n	Balkalarning sxemalari va uning yuklanishlari	Eguvchi moment epyurasi va reaksiyalar	Moment va reaksiya qiymatlari
1.			$R_A = -R_B = -3EI/l^2$ $M_A = 3EI/l$
2.			$R_A = -R_B = -6EI/l^2$; $M_A = 4EI/l$; $M_B = 2EI/l$.
3.			$R_A = -R_B = -3EI/l^3$; $M_A = 3EI/l^2$.
4.			$R_A = -R_B = 12EI/l^3$; $M_A = M_B = 6EI/l^2$.
5.			$R_A = \frac{11P}{16}$; $R_B = \frac{5P}{16}$; $M_A = 3p\ell/16$; $M_K = 5p\ell/32$.
6.			$M_B = M_K = \frac{P\ell}{8}$; $M_A = -\frac{P\ell}{8}$; $R_A = R_B = \frac{P}{2}$
7.			$M_A = -\frac{ql^2}{8}$; $R_A = \frac{5}{8}ql$; $R_B = \frac{3}{8}ql$.
8.			$M_A = -M_B = -\frac{ql^2}{12}$; $R_A = R_B = \frac{ql}{2}$; $M_K = \frac{ql^2}{24}$.

7. Kanonik tenglama koefitsientlari va ozod hadlarini aniqlash va ularni tekshirish.

Kanonik tenglamalarning koefitsientlari va ozod hadlari aniqlanadi. Buning uchun rama asosiy sistemasida birlik ko'chishlar va tashqi yuklar ta'siridan hosil bo'ladigan moment epyuralari quriladi. Bu moment epyuralari 32.1 jadvaldagi yakka sterjenlarning tayyor moment epyuralaridan foydalanib chiziladi. So'ngra kanonik tenglama koefitsientlari va ozod hadlari kinematik yoki statik usullardan foydalanib topiladi. Kinematik usul moment epyuralarini ko'paytirishga asoslangan bo'lib, Vereshchagin qoidasiga binoan aniqlanadi, ya'ni kanonik tenglama koefitsientlari:

$$r_{ik} = \sum \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_k}{EI} dx \quad (32.9) \quad \text{formula yordamida aniqlansa, ozod hadlari } R_{ip} = -\sum \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_p^0}{EI} dx$$

formulaga asosan topiladi.

Statik usulda kanonik tenglama koefitsientlari va ozod hadlarini aniqlash asosiy sistemaga qurilgan moment epyurasidan har bir bog'lanishlarni kesib olib, uning uchun statika muvozanat tenglamalarini tuzishga asoslangan. Ushbu usul hisoblashni ancha osonlashtiradi.

Kanonik tenglama koefitsientlari va ozod hadlari to'g'ri topilganligi tekshiriladi.

a) Kanonik tenglama koefitsientlarini tekshirish uchun universal tekshirish

o'tkaziladi.
$$r_{ss} = \sum \int \frac{\bar{M}_s^2}{EI} dx = \sum r, \quad (32.10)$$

bu erda \bar{M}_s birlik moment epyuralarining yig'indisi: $\bar{M}_s = \bar{M}_1 + \bar{M}_2 + \dots + \bar{M}_n$

$\sum r$ - birlik reaksiyalarning yig'indisi:

$$\sum r = r_{11} + r_{22} + \dots + r_{nn} + 2(r_{12} + r_{13} + \dots + r_{n-1,n})$$

Agar ushbu tekshirish bajarilmasa, u holda kanonik tenglamaning koefitsientlarini qatorlab tekshirish mumkin.

$$\begin{aligned} \sum r_1 &= r_{11} + r_{12} + \dots + r_{1n} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_s}{EI} dx, \\ \sum r_2 &= r_{21} + r_{22} + \dots + r_{2n} = \sum \int \frac{\bar{M}_2 \bar{M}_s}{EI} dx, \\ &\dots \\ \sum r_n &= r_{n1} + r_{n2} + \dots + r_{nn} = \sum \int \frac{\bar{M}_n \bar{M}_s}{EI} dx. \end{aligned} \quad (32.11)$$

Qatorlab tekshirishni statik usul yordamida o'tkazish hisoblashni osonlashtirishi mumkin. Ushbu holda kanonik tenglamaning birinchi qatoridagi koefitsientlarning yig'indisi $\sum r_1$ birlik moment epyuralari yig'indisi \bar{M}_s epyuraning birinchi bog'lanishidagi momentlarning yig'indisiga teng bo'lib, shu tugun muvozanatidan aniqlanadi. Shu tartibda kanonik tenglamaning qolgan qatorlaridagi koefitsientlar tekshiriladi.

b) *kanonik tenglama ozod hadlarini tekshirish maqsadida ustun tekshirish*

o'tkaziladi
$$R_{sp} = R_{1p} + R_{2p} + \dots + R_{np} = -\sum \int \frac{\bar{M}_s \bar{M}_p^0}{EI} dx, \quad (32.12)$$

bu erda M_p^0 – statik aniq ramaga tashqi yukdan qurilgan moment epyurasi.

Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari to‘g‘ri ekanligi tekshirilgandan so‘ng, ular kanonik tenglamaga qo‘yilib echiladi va noma‘lum Z_1, Z_2, \dots, Z_n ko‘chishlar miqdori aniqlanadi.

8. Yakuniy eguvchi moment, ko‘ndalang va bo‘ylama kuch epyuralarin chizish hamda ularni tekshirish.

Ramaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment quyidagi formula orqali aniqlanadi $M_x = M_p + \bar{M}_1 Z_1 + \bar{M}_2 Z_2 + \dots + \bar{M}_n Z_n$, (32.13)

bu erda $\bar{M}_1 Z_1, \bar{M}_2 Z_2, \dots, \bar{M}_n Z_n$ epyuralar tuzatilgan moment epyuralari deyiladi. Demak, ramada yakuniy eguvchi moment epyurasi tuzatilgan moment epyuralarining xarakterli kesimlari ordinatalarini tashqi yuk moment epyurasi shu kesimlariga mos keluvchi ordinatalariga qo‘shish orqali chiziladi. Moment epyuralar ramaning cho‘zilgan tolalari tomonida quriladi.

Yakuniy M_x eguvchi moment epyurasini tekshirish uchun statik tekshirish o‘tkaziladi. Ushbu tekshirishda ramaning tugunlari qirqib olinadi va ularga qolgan qismining ta‘sirini tegishli moment zo‘riqlari bilan almashtiriladi. Har bir tugun uchun muvozanat shartlari yoziladi. Chunki ramaning har bir tuguni muvozanatda bo‘lishi shart. Ko‘chishlar usulida ramaning eguvchi moment epyurasini statik tekshirish zaruriy bo‘lishi bilan birgalikda etarli bo‘la oladi. Bu usulda deformatsion tekshirish o‘tkazish shart emas.

Ramaning ko‘ndalang va bo‘ylama kuch epyuralarini chizish hamda uni umumiy statik tekshirish kuchlar usulidagidek bajariladi.

9. Statik noaniq ramalarni tashqi yuklar ta‘siriga ko‘chishlar usuli bilan hisoblash tartibi.

Tashqi yuklar ta‘siriga statik noaniq ramalarni ko‘chishlar usuli bilan hisoblash quyidagi tartibda bajariladi.

1. Berilgan ramaning kinematik noaniqlik darajasi aniqlanadi.
2. Rama uchun ko‘chishlar usuli asosiy sistemasi tanlanadi.
3. Ko‘chishlar usuli kanonik tenglamasi tuziladi.
4. Birlik va tashqi yuk eguvchi moment epyuralari quriladi.
5. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari aniqlanadi.
6. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari tekshiriladi.
7. Kanonik tenglama echilib, kiritilgan bog‘lanishlardagi noma‘lum ko‘chishlar topiladi va tuzatilgan eguvchi moment epyuralari quriladi.
8. Yakuniy eguvchi moment M_x epyurasi chiziladi va tekshiriladi.
9. Ko‘ndalang kuch Q_x epyurasi quriladi.
10. Bo‘ylama kuch N_x epyurasi quriladi.
11. Umumiy statik tekshirish o‘tkaziladi.

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Ko'chishlar usuli mohiyatni ayting?
2. Ko'chishlar usulining noma'lumlari qanday aniqlanadi?
3. Ramani burchakli va chiziqli ko'chishlari qanday aniqlanadi?
4. Ko'chishlar usulining asosiy sistemasi qanday tanlanadi?
5. Ko'chishlar usulining asosiy sistemasi deb nimaga aytiladi?
6. Ko'chishlar usulining kanonik tenglamasi deb nimaga aytiladi?
7. Ko'chishlar usulining kanonik tenglamasini yozing?
8. Kanonik tenglama koeffitsientlariva ozod hadlari nimani ifodalaydi?
9. Bir oraliqli statik noaniq balka reaksiyalarini qanday aniqlanadi?
10. Birlik reaksiyalarning o'zaro bog'lanishi haqida teoremani ayting?
11. Birlik reaksiyalarning o'zaro bog'lanishi haqida teoremani yozing?
12. Birlik reaksiya bilan birlik ko'chishning o'zaro bog'lanish teoremasini ayting?
13. Birlik reaksiya bilan birlik ko'chishning o'zaro bog'lanish teoremasini yozing?
14. Bir uchi qistirib mahkamlangan, ikkinchi uchi sharnirli mahkamlangan sterjenni reaksiyalari qanday aniqlanadi?
15. Ikkala uchi ham qistirib mahkamlangan sterjenni reaksiyalari qanday aniqlanadi?
16. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari qanday aniqlanadi?
17. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari qanday tekshiriladi?
18. Ramani ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment qanday aniqlanadi?
19. Yakuniy eguvchi moment moment epyurasi qanday tekshiriladi?

STATIK NOANIQ RAMANI ARALASH USULDA HISOBLASH.

REJA

1. Kuchlar va ko‘chishlar usulining o‘xshashliklari va farqlari.
2. Aralash usulning noma'lumlarini aniqlash.
3. Statik aniqmas ramalarni hisoblashning aralash usuli.

Tayanch iboralar: kuchlar va ko‘chishlar usulini o‘xshashliklari va farqlari, statik aniqmas ramalarni hisoblashning aralash usuli, aralash usulning noma'lumlari, asosiy sistemasi, kanonik tenglamalari, kanonik tenglama koeffitsientlari.

1. Kuchlar va ko‘chishlar usullarini taqqoslash.

Kuchlar va ko‘chishlar usullari bilan statik noaniq ramalarni hisoblash tartiblarida qo‘yidagicha o‘xshashliklar va farqlar borligini ko‘ramiz:

1. Bu ikkala usul bo‘yicha ramalarni hisoblash, avvalo noma'lumlar sonini aniqlashdan boshlanadi. Kuchlar usulida ramadagi ortiqcha bog‘lanishlar soni, ya‘ni ramaning statik aniqmaslik darajasi topiladi. Ko‘chishlar usulida rama tugunlarining mumkin bo‘lgan ko‘chishlari soni, ya‘ni ramaning kinematik aniqmaslik darajasi aniqlanadi.

2. Ikkala usulda ham ramalarni hisoblashda asosiy sistema tanlanadi. Lekin asosiy sistemalar bir-biridan farq qiladi. Kuchlar usulida asosiy sistemani tanlash uchun berilgan rama ortiqcha bog‘lanishlardan ozod qilinsa, ko‘chishlar usulida berilgan rama tugunlariga qo‘shimcha bog‘lanishlar kiritiladi. Kuchlar usulining asosiy sistemasi har xil ko‘rinishda bo‘lishi mumkin, ko‘chishlar usulini yagona bo‘ladi.

3. Kuchlar usulining asosiy sistemasi sifatida ortiqcha bog‘lanishlardagi zo‘riqishlar noma'lum kuchlar bilan almashtirilib, statik aniq sistema tanlansa, ko‘chishlar usulining asosiy sistemasida rama tugunlariga kiritilgan qo‘shimcha bog‘lanishlar yo‘nalishi bo‘yicha tugunlarning ko‘chishlari noma'lum deb qaraladi. SHunday qilib, birinchi usulda kuchlar noma'lum deb qabul qilinsa, ikkinchi usulda ko‘chishlar noma'lum sifatida qabul qilinadi. Shu sababli bu usullardan birinchi kuchlar usuli deyilsa, ikkinchisi ko‘chishlar usuli deyiladi.

4. Ushbu ikkala usulda ham noma'lumlar soniga teng bo‘lgan kanonik tenglamalar tuziladi. Kanonik tenglamalar sistemasining umumiy ko‘rinishi o‘xshash bo‘lsa ham, mazmunan bir-biridan katta farq qiladi. Kuchlar usuli kanonik tenglamalari har bir noma'lum zo‘riqish yo‘nalishi bo‘yicha tashqi yuk va barcha noma'lum zo‘riqishlardan asosiy sistemada hosil bo‘lgan ko‘chishlar yig‘indisi nolga tengligini ifodalaydi, chunki aslida berilgan ramada bu noma'lumlar yo‘nalishida ko‘chishlar hosil bo‘lmaydi. Ko‘chishlar usulining kanonik tenglamalari esa, asosiy sistemaga kiritilgan har bir qo‘shimcha bog‘lanishida tashqi yuk va noma'lum ko‘chishlardan hosil bo‘lgan reaksiyalar va ularning yig‘indisi nolga tengligini ifodalaydi, chunki berilgan rama tugunlarida bu bog‘lanishlar aslida yo‘q bo‘lib, tugunlar doimo muvozanatda bo‘lishi shart.

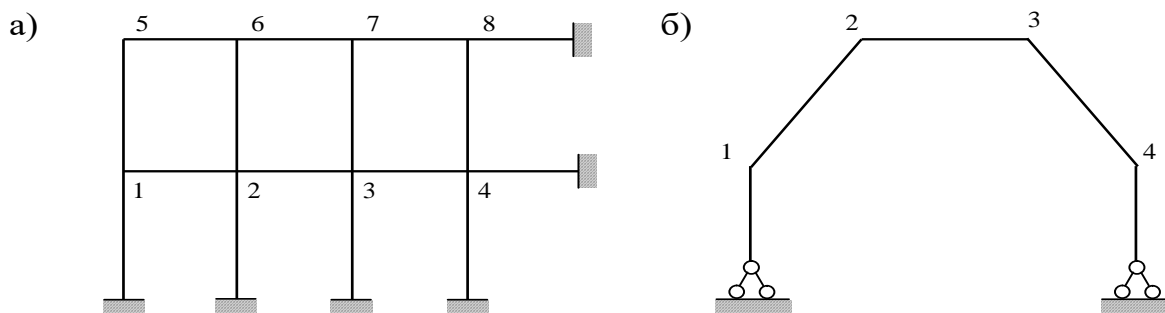
5. Ikkala usul kanonik tenglamalari koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash uchun birlik va tashqi yuk eguvchi moment epyuralaridan foydalaniladi. Kuchlar usulida asosiy sistemaga birlik noma'lum zo‘riqishlar va tashqi yuk ta‘siridan hosil bo‘lgan eguvchi moment epyuralari qurilsa, ko‘chishlar usulida esa, asosiy sistemaga

birlik ko‘chishlardan va tashqi yuklar ta’siridan eguvchi moment epyuralari quriladi. Ko‘chishlar usulida moment epyuralarini qurish ancha oson bo‘lib, ularni qurishda alohida sterjenlar uchun chizilgan moment epyuralarining tayyor maxsus jadval qiymatlaridan foydalaniladi. Kuchlar usulida kanonik tenglama koeffitsientlarini va ozod hadlarini aniqlash faqat epyuralarini o‘zaro ko‘paytirish, ya’ni kinematik usul orqali bajarilsa, ko‘chishlar usulida kinematik usuldan tashqari statik usul orqali ham aniqlash mumkin. Bunda statik usul kinematik usulga nisbatan oson va qulaydir. Ammo og‘ma ustunli ramalarda tenglama koeffitsientlarini hisoblashda kinematik usulni qo‘llash maqsadga muvofiq hisoblanadi.

6. Kuchlar usulida ham, ko‘chishlar usulida ham, ramaning xotima, (yakuniy) eguvchi moment, ko‘ndalang va bo‘ylama kuch epyuralari bir xil qoidaga asosan hisoblanadi.

Kuchlar va ko‘chishlar usulini taqqoslash natijasida quyidagi xulosaga kelish mumkin:

1. Ramalarni ko‘chishlar usuli bilan hisoblash kuchlar usuliga nisbatan ancha qulayliklar tug‘diradi, chunki ko‘chishlar usulining asosiy sistemasi bitta (yagona) bo‘lsa, kuchlar usulining asosiy sistemasi juda ko‘p variantda bo‘lishi mumkin; ko‘chishlar usulining asosiy sistemasi uchun tashqi yuk va birlik ko‘chishlardan chiziladigan eguvchi moment epyuralarini qurish sodda bo‘lib, standart epyuralardan foydalanilsa, kuchlar usulida bu epyuralar murakkab ko‘rinishda bo‘ladi; ko‘chishlar usulida kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash sodda bo‘lib, rama tugunlarining muvozanat shartidan topilsa, kuchlar usulida epyuralarni o‘zaro ko‘paytirish orqali aniqlanadi, bu esa hisoblash ishlarini ancha ko‘paytiradi.



36.1-рasm

2. Vertikal ustunli ramalarni ko‘chishlar usuli bilan hisoblash kuchlar usuliga nisbatan ancha qulay bo‘lsa, og‘ma va qiyshiq ustunli ramalarni kuchlar usuli bilan hisoblash ko‘chishlar usuliga nisbatan osonroq bo‘lishi mumkin. Ko‘chishlar usulining bu qulayliklari hamma ramalar uchun ham to‘g‘ri bo‘lmaydi. Masalan, 36.1-rasm, a da tasvirlangan rama ko‘chishlar usuli bilan hisoblansa, u 8 marta kinematik aniqmas, kuchlar usuli bo‘yicha esa 21 marta statik aniqmasdir. Demak, bu ramani ko‘chishlar usuli bilan hisoblash qulay.

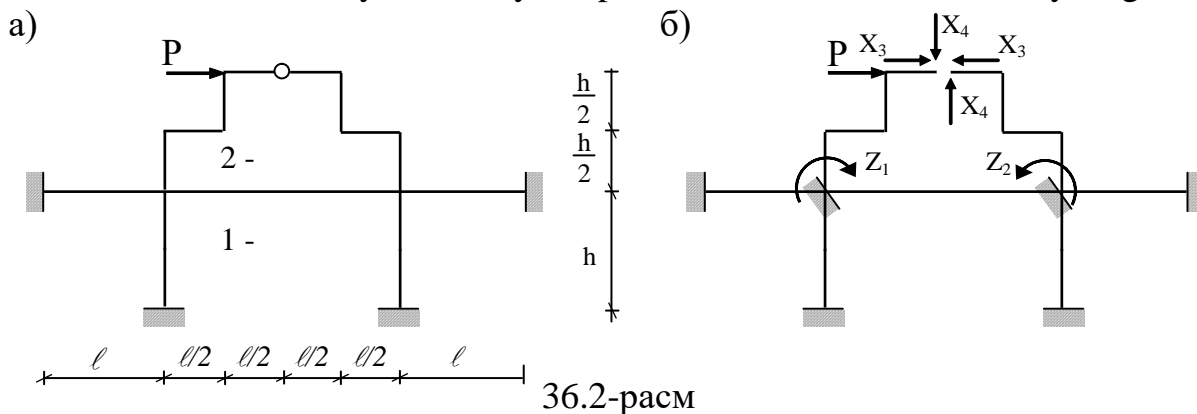
36.1-rasm, b da ko‘rsatilgan ramani hisoblashda kuchlar usulini tadbiq qilsak, uning statik aniqmaslik darajasi birga teng. Ko‘chishlar usuli bo‘yicha esa bu rama 6 marta kinematik aniqmas. Demak, bu ramani kuchlar usuli bilan hisoblash qulay ekan.

2. Ramalarni hisoblashning aralash usuli

Qurilishda ba'zan shunday ramalarni hisoblashga to'g'ri keladiki, ularni kuchlar va ko'chishlar usuli bilan har qancha soddalashtirib hisoblaganda ham murakkabligicha qolaveradi. Bunday ramalarni hisoblashni soddalashtirish maqsadida uning bir qismiga kuchlar usulini, qolgan qismiga ko'chishlar usulini qo'llash tavsiya etiladi.

Demak, statik aniqmas ramalarning bir qismini kuchlar usuli bilan, qolgan qismini ko'chishlar usuli bilan hisoblash usuli aralash usul deyiladi.

Aralash usulni 1927 yilda rossiyalik professor A.A.Gvozdeev tavsiya etgan.



Ramalarni hisoblashning aralash usulini 36.2-rasm, a da ko'rsatilgan rama hisobida ko'rib chiqamiz. Bu rama kuchlar usuli bilan hisoblansa, uning statik aniqmaslik darajasi 11 ga teng bo'ladi. Bu erda I qavat 9 marta, II qavat esa 2 marta statik aniqmasdir.

Agar bu ramani ko'chishlar usuli bilan hisoblansa, uning kinematik aniqmaslik darajasi 14 ga teng bo'ladi. Uning I qavatini 2 marta, II qavatini 12 marta kinematik aniqmas bo'ladi. Kuchlar, ko'chishlar va aralash usullarni taqqoslash maqsadida, bu ramaning noma'lumlari soni 36.1-jadvalda keltirilgan:

36.1. jadval

Qavatlar	Kuchlar usuli bo'yicha statik aniqmaslik darajasi	Ko'chishlar usuli bo'yicha kinematik aniqmaslik darajasi	Aralash usuli	
			Qabul qilingan usul	Noma'lumlar soni
I	9	2	Ko'chish	2
II	2	12	Kuchlar	2
Jami	11	14	Aralash	4

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, agar ramaning I qavatini ko'chishlar usuli bilan hisoblasak, unda ramaning 2 ta tuguni ko'chishi noma'lum bo'ladi. II qavat uchun kuchlar usulini qo'llab, ramani sharnirdan qirqsak, 2 ta noma'lum zo'riqishlar hosil bo'ladi. Demak, ramani aralash usul bilan hisoblasak, noma'lumlar soni 4 ga teng bo'ladi, ya'ni birinchi qavatning ikkita tugunlarining Z_1 va Z_2 ko'chishlari va ikkinchi qavatning sharniridagi X_3 va X_4 zo'riqishlar noma'lum bo'ladi. Aralash usulning asosiy sistemasi 36.2-rasm, b da ko'rsatilgan.

Berilgan rama uchun aralash usulning kanonik tenglamalar sistemasini yozamiz. Kanonik tenglamalar sistemasining 1-tenglamasi asosiy sistemadagi birinchi bog‘lanishida tashqi yuk va noma‘lumlardan hosil bo‘lgan reaksiyalarning yig‘indisi nolga tengligini ifodalaydi. Shunga o‘xshash 2-tenglama ramaning ikkinchi tugunida tashqi yuk va noma‘lumlardan hosil bo‘lgan reaksiyalar yig‘indisi nolga tengligini ifodalaydi. 3-tenglama va 4-tenglamalar esa asosiy sistemada tashqi yuk va noma‘lumlardan hosil bo‘lgan X_3 va X_4 yo‘nalishi bo‘yicha ko‘chishlar yig‘indisi nolga tengligini ifodalaydi.

$$\left. \begin{aligned} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + r_{13}X_3 + r_{14}X_4 + R_{1p} &= 0, \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + r_{23}X_3 + r_{24}X_4 + R_{1p} &= 0, \\ \delta_{31}^1 Z_1 + \delta_{32}^1 Z_2 + \delta_{33} X_3 + \delta_{34} X_4 + \Delta_{3p} &= 0, \\ \delta_{41}^1 Z_1 + \delta_{42}^1 Z_2 + \delta_{43} X_3 + \delta_{44} X_4 + \Delta_{4p} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (36.1)$$

Demak, aralash usulning kanonik tenglamalar sistemasining bir qismi ko‘chishlar usuliga tegishli shartni, ikkinchi qismi esa kuchlar usuliga tegishli shartlarni ifodalaydi.

Har bir tenglamada ikki xil noma‘lumlar ishtirok etar ekan.

Aralash usulning kanonik tenglamalar sistemasidagi koeffitsientlar to‘rt toifaga bo‘linadi:

1. Asosiy sistemada birlik ko‘chishlar $\bar{Z}_1 = 1$, $\bar{Z}_2 = 1$ lardan hosil bo‘lgan reaksiyalarni ifodalovchi koeffitsientlar (36.3-rasm, a, b).

$$r_{11}; r_{12}=r_{21}; r_{22}.$$

2. Asosiy sistemaning qo‘shimcha bog‘lanishida birlik zo‘riqishlar $\bar{X}_3 = 1$, $\bar{X}_4 = 1$ dan hosil bo‘lgan reaksiyalarni ifodalovchi koeffitsientlar (36.3-rasm, v, g).

$$r_{13}; r_{14}; r_{23}; r_{24}.$$

3. Asosiy sistemada noma‘lum zo‘riqishlar yo‘nalishi bo‘yicha birlik ko‘chishlardan hosil bo‘lgan ko‘chishlarni ifodalovchi koeffitsientlar (36.3-rasm, a, b).

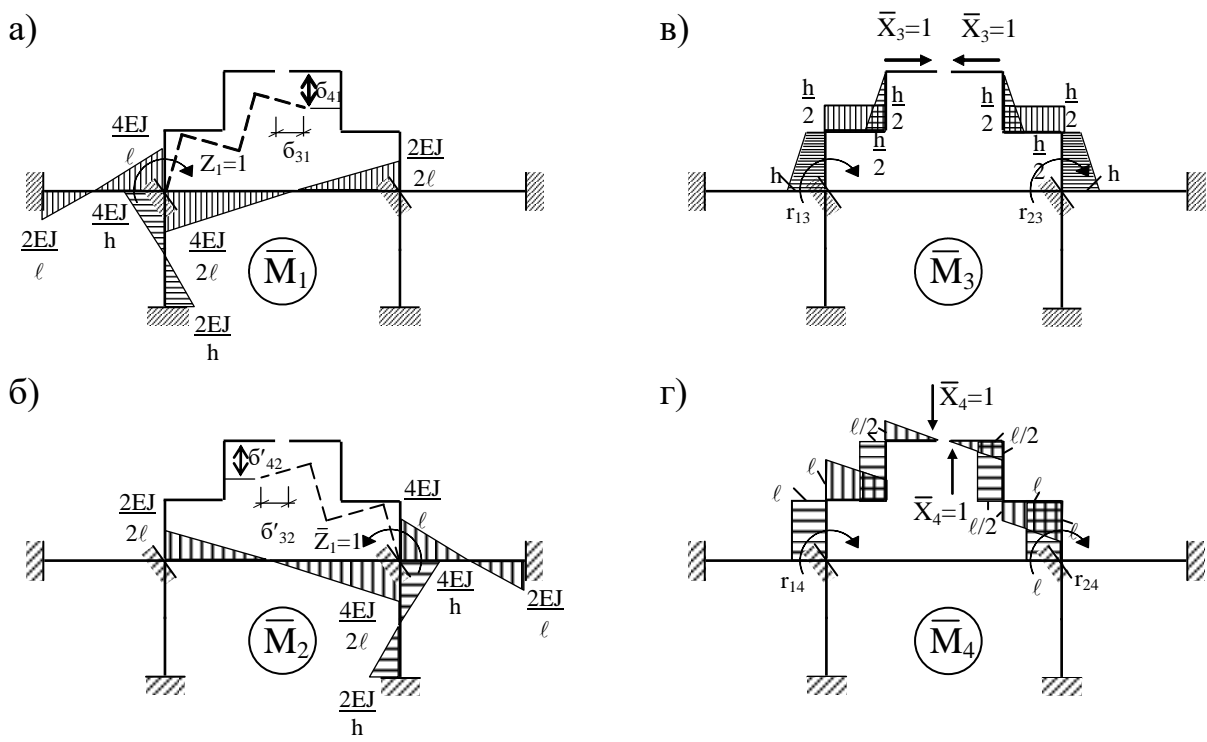
$$\delta_{31}^1; \delta_{32}^1; \delta_{41}^1; \delta_{42}^1.$$

4. Asosiy sistemada noma‘lum zo‘riqishlar yo‘nalishi bo‘yicha birlik zo‘riqishlardan hosil bo‘lgan ko‘chishlar:

$$\delta_{33}; \delta_{34} = \delta_{43}; \delta_{44}.$$

Bu koeffitsientlar kuchlar va ko‘chishlar usullaridagi qoidalarga asosan aniqlanadi.

Birlik ko‘chishlar bilan birlik reaksiyani o‘zaro bog‘lovchi teorema asosan $r_{13} = -\delta_{13}^1$ va $r_{14} = -\delta_{14}^1$ bo‘ladi.



36.3-расм

Kanonik tenglamaning ozod hadlari ham kuchlar va ko'chishlar usullarida ko'rsatilganidek aniqlanadi. Aralash usulning kanonik tenglamalar sistemasini echib, noma'lumlar Z_1, Z_2, X_3 va X_4 lar aniqlanadi.

Rama eguvchi momentlarining umumiy epyurasi qo'yidagi formula orqali quriladi.

$$M_X = M_P + \bar{M}_1 Z_1 + \bar{M}_2 Z_2 + \bar{M}_3 X_3 + \bar{M}_4 X_4 \quad (36.2)$$

Ma'ruzani mustahkamlash uchun savollar.

1. Aralash usulining noma'lumlari qanday aniqlanadi?
2. Aralash usulining asosiy sistemasini qanday tanlanadi?
3. Aralash usulining kanonik tenglamasi qanday tuziladi?
4. Aralash tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari qanday aniqlanadi?
5. Aralash usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari qanday toifalargabo'linadi?
6. Aralash usulda ramani yakuniy eguvchi moment qanday quriladi?
7. Kuchlar va ko'chishlar usullari bilan statik noaniq ramalarni hisoblash tartiblarida qanday o'xshashliklar va farqlar bor?
8. Aralash usulining mohiyatini ayting?

1 – амалий машғулот
Nosimetrik kesimlarning o'q inertsiya momentlarini aniqlash.

Зўриқишлар кўндаланг кесим бўйича нотекис тақсимланадиган ҳолларда (буралиш, эгилиш, номарказий чўзилиш-сиқилиш ва бошқа мураккаб деформацияларда) стерженни мустаҳкамликка, биқирликка ҳисоблаш учун носимметрик кесимларнинг мураккаброк геометрик характеристикалари, масалан, статик момент, инерция моменти (Экваториал моментлар, кутб инерция моментлари), қаршилиқ моменти қабул қилинади.

Айни ишни бажаришга киришишдан олдин материаллар қаршилиги курсига оид дарсликлардан бири бўйича “Текис кесим юзаларнинг геометрик характеристикалари” бўлимини ўрганиб чиқиш лозим. Ушбу бўлимга оид асосий қоидаларни келтираамиз.

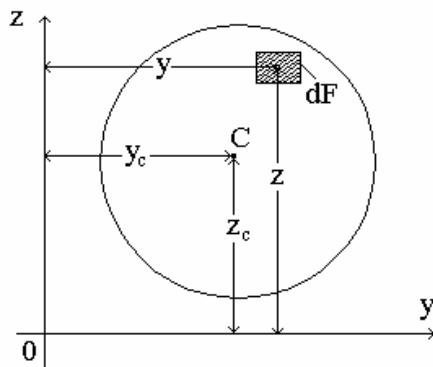
Бирор ўқ (y, z) қа нисбатан кесимнинг статик моменти деб, унинг бутун юзаси F бўйича олинган элементар юзаларнинг шу ўққача масофасига кўпайтмаси йиғиндисига айтилади, яъни (1.1-шакл.)

$$\left. \begin{aligned} S_y &= \int_F z \, dF \\ S_z &= \int_F y \, dF \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

Юзанинг статик моменти учинчи даражали узунлик бирлигида ўлчанади $/мм^3, см^3, м^3/$. У мусбат, манфий, шунингдек нолга тенг бўлиши мумкин.

Агар кесим оғирлик марказининг координаталари (y_s, z_s) маълум бўлса, статик моментларни қуйидаги формуладан аниқлаш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} S_y &= F z_s \\ S_z &= F y_s \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$



1.1-шакл.

Ясси шаклнинг ўз оғирлик марказидан ўтувчи ўққа нисбатан статик моменти нолга тенг, чунки

$$Z_s=0; Y_s=0$$

Мураккаб шаклнинг статик моменти айрим қисмлари статик моментларининг йиғиндисига тенг, яъни

$$\left. \begin{aligned} S_y &= F_1 z_1 + F_2 z_2 + \dots + F_n z_n = \sum_{i=1}^n F_i z_i \\ S_z &= F_1 y_1 + F_2 y_2 + \dots + F_n y_n = \sum_{i=1}^n F_i y_i \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

Юқоридаги (1.2) ва (1.3) формулалардан фойдаланиб, ясси шаклнинг оғирлик маркази координаталарини қуйидаги формулалардан аниқлаш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} Y_s &= \frac{S_z}{\sum F} = \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2 + \dots + F_n y_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i y_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \\ Z_s &= \frac{S_y}{\sum F} = \frac{F_1 z_1 + F_2 z_2 + \dots + F_n z_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i z_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

Бунда: F_1, F_2, \dots, F_n – мураккаб шакл айрим қисмларининг юзаси;

y_1, y_2, \dots, y_n
 z_1, z_2, \dots, z_n } - кесим қисмларининг z ва y ўқларига нисбатан оғирлик марказлари

координаталари.

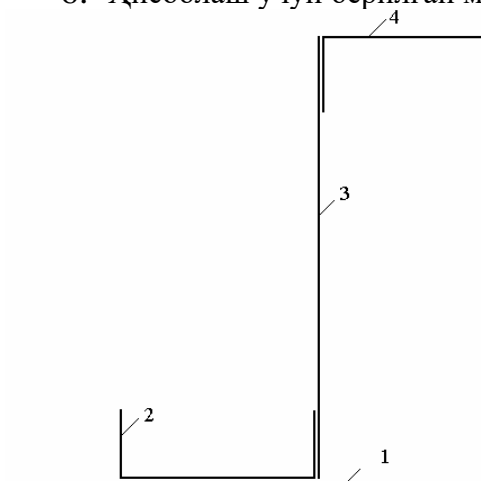
Агар кесимнинг симметрик ўқи мавжуд бўлса, у ҳолда оғирлик маркази шу ўқда ётади ва унинг вазияти битта координата билан белгиланади.

Икки ёки кўп симметрия ўқи мавжуд бўлган кесимнинг оғирлик маркази шу ўқлар кесишган нуқтада ётади. Икки қисмдан иборат кесимнинг оғирлик маркази шу қисмларнинг оғирлик марказларини туташтирувчи тўғри чизикда ётади.

Носимметрик кесимларнинг инерция моментлари

Ишни бажариш тартиби:

1. Берилган носимметрик текис кесим 1:2 ёки 1:4 масштабда чизилсин.
2. Кесим оғирлик марказининг ҳолати аниқлансин ва ҳисобларнинг тўғрилиги текширилсин.
3. Марказий X_s ва Y_s ўқларга нисбатан кесим инерция моментларининг қийматлари аниқлансин.
4. Кесим бош инерция ўқларининг вазияти ва бош инерция моментларининг қийматлари аниқлансин.
5. Кесим учун инерция эллипси қурилсин.
6. Ҳисоблаш учун берилган маълумотлар (1.2-шакл):

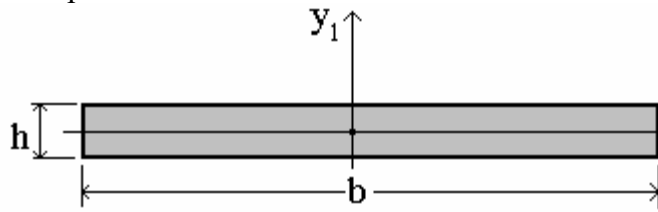


- | | |
|---------------------------|--------------|
| 1. Горизонтал лист | 400x20 мм |
| 2. Швеллер | № 22а |
| 3. Вертикал лист | 600x10 мм |
| 4. Тенг ёнлимас бурчаклик | 125x80x12 мм |

1.2-шакл

Ечиш: Ҳисоблаш ишларни бажаришдан олдин кесимни ташкил этувчи ҳар бир элементнинг геометрик ўлчамлари ва ўз марказий ўқларига нисбатан инерция моментлари аниқлаб олинади.

1. Горизонтал лист



$$b = 400 \text{ мм}; h = 20 \text{ мм}$$

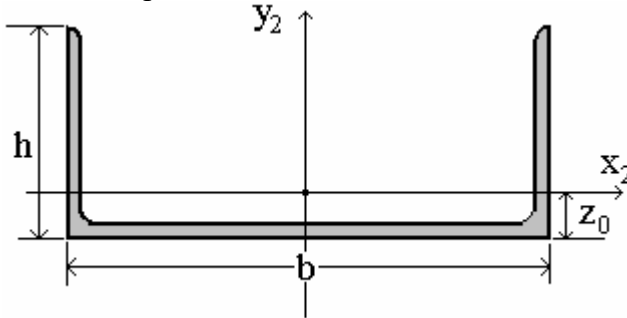
$$F_1 = b \cdot h = 40 \times 2 = 80 \text{ см}^2$$

$$I_{x_1} = \frac{bh^3}{12} = 26,667 \text{ см}^4$$

$$I_{y_1} = \frac{b^3h}{12} = 10666,667 \text{ см}^4$$

$$I_{x_1y_1} = 0$$

2. Швеллер №22а



$$h = 87 \text{ мм}$$

$$b = 220 \text{ мм}$$

$$z_0 = 2,46 \text{ см}$$

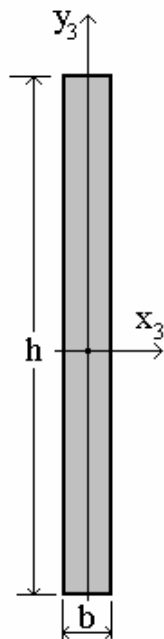
$$F_2 = 28,8 \text{ см}^2$$

$$I_{x_2} = I_{y_2} = 187 \text{ см}^4$$

$$I_{y_2} = I_{x_2} = 2330 \text{ см}^4$$

$$I_{x_2y_2} = 0$$

3. Вертикал лист



$$b = 10 \text{ мм}$$

$$h = 600 \text{ мм}$$

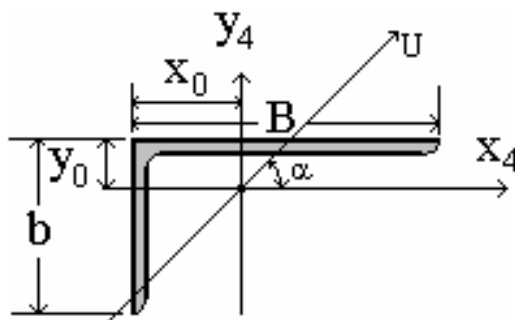
$$F_3 = 1 \cdot 60 = 60 \text{ см}^2$$

$$I_{x_3} = \frac{1 \cdot 60^3}{12} = 18000 \text{ см}^4$$

$$I_{y_3} = \frac{1^3 \cdot 60}{12} = 5 \text{ см}^4$$

$$I_{x_3y_3} = 0$$

4. Тенг ёнли бўлмаган бурчаклик



$$B = 125 \text{ мм};$$

$$b = 80 \text{ мм};$$

$$d = 12 \text{ мм};$$

$$F_4 = 23,4 \text{ см}^2;$$

$$y_0 = 2 \text{ см}; x_0 = 4,22 \text{ см};$$

$$I_{x_4} = I_{y_4} = 117 \text{ см}^4;$$

$$I_{y_4} = I_{x_4} = 365 \text{ см}^4;$$

$$I_{u, \min} = 69,5 \text{ см}^4;$$

$$\text{tg} \alpha = 0,4$$

1. Tekis kesimning og'irlik markazi holatini aniqlash

Кесимнинг оғирлик маркази координаталарини қуйидаги формула-лардан фойдаланиб аниқланади:

$$Y_s = \frac{S_{iz}}{\sum F_i} = \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2 + F_3 y_3 + F_4 y_4}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4}$$

$$X_s = \frac{S_{ix}}{\sum F_i} = \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2 + F_3 x_3 + F_4 x_4}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4}$$

Текис кесимнинг оғирлик маркази координаталарини аниқлаш учун ёрдамчи ўқлардан фойдаланамиз. Ёрдамчи ўқлардан ҳар бир шаклнинг оғирлик марказларига бўлган координаталарни аниқлаймиз (1.3-шакл).

$$x_1 = \frac{b^{g.l}}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ sm};$$

$$x_2 = \frac{3}{4} b^{g.l} - \frac{b^{v.l}}{2} - \frac{b^{shv}}{2} = \frac{3}{4} 40 - \frac{1}{2} - \frac{22}{2} = 30 - 0,5 - 11 = 18,5 \text{ sm};$$

$$x_3 = \frac{3b^{g.l}}{4} = \frac{3 \cdot 40}{4} = 30 \text{ sm};$$

$$x_4 = \frac{3}{4} b^{g.l} + \frac{b^{v.l}}{2} + x_0^{bur} = 30 + \frac{1}{2} + 4,22 = 34,72 \text{ sm};$$

$$y_1 = \frac{h^{g.l}}{2} = \frac{2}{2} = 1,0 \text{ sm};$$

$$y_2 = h^{g.l} + z_0^{shv} = 2,0 + 2,46 = 4,46 \text{ sm};$$

$$y_3 = h^{g.l} + \frac{h^{v.l}}{2} = 2,0 + \frac{60}{2} = 2,0 + 30 = 32,0 \text{ sm};$$

$$y_4 = b^{g.l} + h^{v.l} - y_0^{bur} = 2,0 + 60 - 2,0 = 60,0 \text{ sm}.$$

Аниқланган қийматларни юқоридаги формулага қўямиз ва умумий оғирлик маркази координаталарини аниқлаймиз:

$$Y_s = \frac{80 \cdot 1 + 28,8 \cdot 4,46 + 60 \cdot 32 + 23,4 \cdot 60}{28,8 + 80 + 60 + 23,4} = \frac{3532,448}{192,2} = 18,38 \text{ sm};$$

$$X_s = \frac{80 \cdot 20 + 28,8 \cdot 18,5 + 60 \cdot 30 + 23,4 \cdot 34,72}{28,8 + 80 + 60 + 23,4} = \frac{4745,248}{192,2} = 24,69 \text{ sm}.$$

Аниқланган қийматларни ёрдамчи ўқларга нисбатан қўйиб, оғирлик маркази ҳолати аниқланади. Умумий оғирлик марказдан ўтган марказий ўқлардан ҳар бир шаклнинг оғирлик марказларига бўлган масофаларни аниқлаймиз (1.3-шакл).

$$a_1 = Y_1 - Y_s = 1 - 18,38 = -17,38 \text{ sm};$$

$$a_2 = Y_2 - Y_s = 4,46 - 18,38 = -13,92 \text{ sm};$$

$$a_3 = Y_3 - Y_s = 32 - 18,38 = 13,62 \text{ sm};$$

$$a_4 = Y_4 - Y_s = 60 - 18,38 = 41,62 \text{ sm}.$$

$$b_1 = X_1 - X_s = 20 - 24,69 = -4,69 \text{ sm};$$

$$b_2 = X_2 - X_s = 18,5 - 24,69 = -6,19 \text{ sm};$$

$$b_3 = X_3 - X_s = 30 - 24,69 = 5,31 \text{ sm};$$

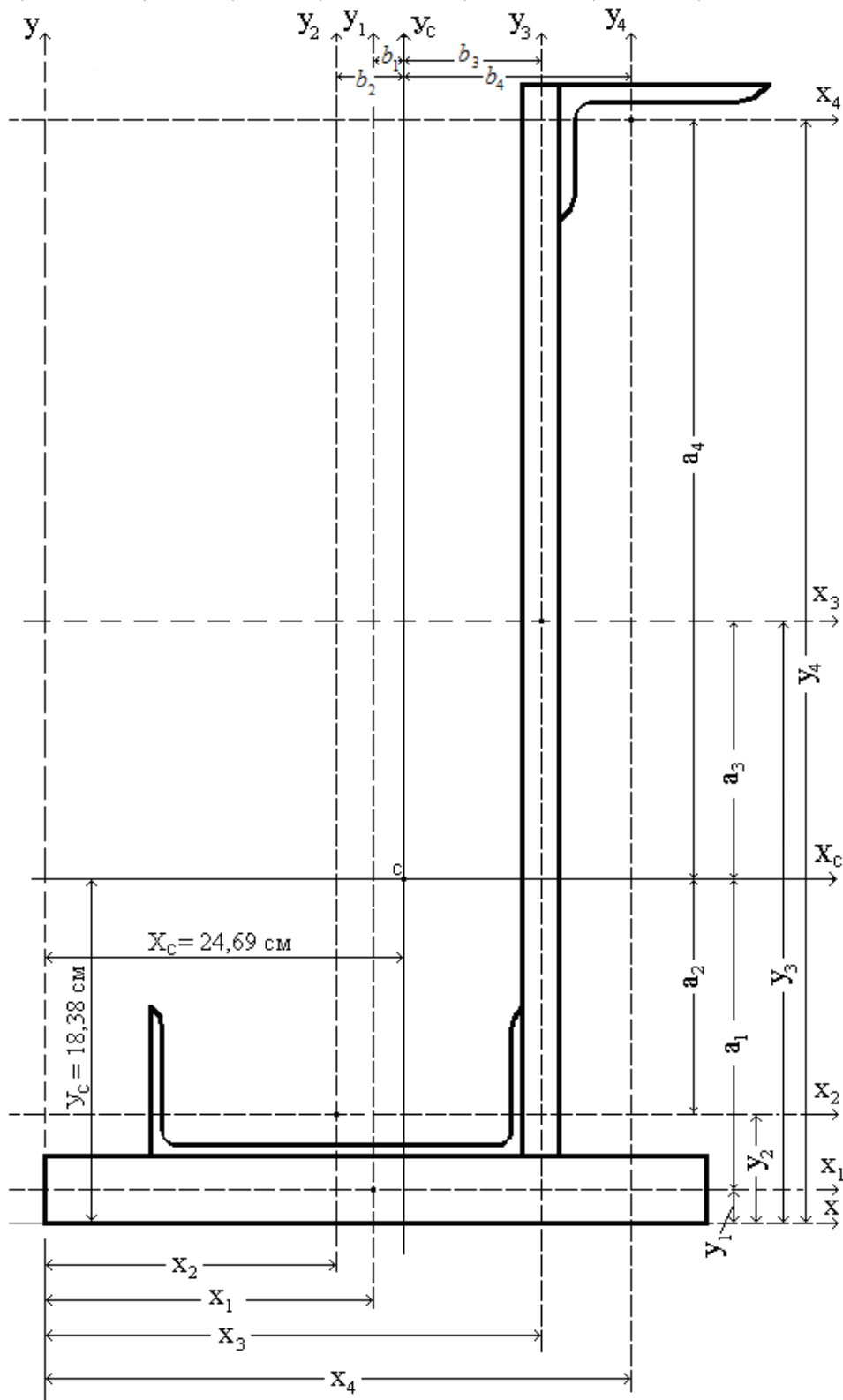
$$b_4 = X_4 - X_s = 34,72 - 24,69 = 10,03 \text{ sm}.$$

Ҳисобларнинг тўғрилигини статик текшириш. Кесимнинг марказий ўқларга нисбатан статик моментлари йиғиндиси нолга тенг бўлиши зарур, яъни

$$S_{x_s} = 0; \quad S_{y_s} = 0$$

$$S_{y_s} = F_1 b_1 + F_2 b_2 + F_3 b_3 + F_4 b_4 = 80 \cdot (-4,69) + 28,8 \cdot (-6,19) + 60 \cdot 5,31 + 23,4 \cdot 10,03 = -553,472 + 553,302 = -0,17 \approx 0$$

$$S_{x_s} = F_1 a_1 + F_2 a_2 + F_3 a_3 + F_4 a_4 = 80 \cdot (-17,38) + 28,8 \cdot (-13,92) + 60 \cdot 13,62 + 23,4 \cdot 41,62 = -400,896 - 1390,4 + 817,2 + 973,908 = -1791,296 + 1791,108 = -0,188 \approx 0$$



1.3 – шакл

2 – амалий машғулот

Бош ўқлар вазияти ва бош инерция моментларини аниқлаш.

Бирор ўқ (y, z) қа нисбатан кесимнинг ўқ (Экваториал) инерсия моменти деб, бутун юза F бўйича олинган элементар юзачалар dF нинг шу ўққача бўлган масофаси квадрати кўпайтмаси йиғиндисига айтилади, яъни (2.1-шакл)

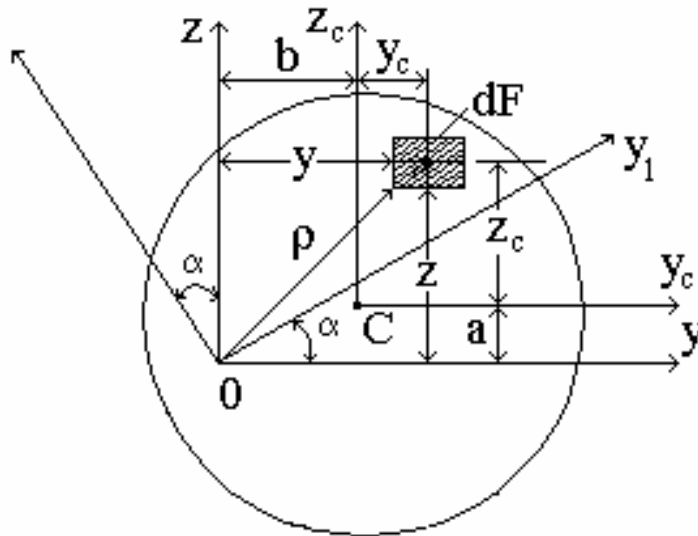
$$\left. \begin{aligned} I_y &= \int_F z^2 dF \\ I_z &= \int_F y^2 dF \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Элементар юзаларнинг координаталар боши ρ гача масофа квадрати кўпайтмасининг йиғиндиси кесимнинг қутб инерция моменти дейилади

$$I_y = \int_F \rho^2 dF \quad (2.2)$$

Икки ўзаро перпендикуляр ўқларга нисбатан кесимнинг марказдан қочирма инерция моменти деб, бутун юза F бўйича олинган элементар юзачалар dF нинг шу ўқларгача бўлган масофалар кўпайтмаси йиғиндисига айтилади, яъни

$$I_{yz} = \int_F yz dF \quad (2.3)$$



2.1-шакл.

Инерция моментлари тўртинчи даражали узунлик бирликларида ўлчанади $мм^4, см^4, м^4$.

Ўқ ва қутб инерция моментлари ҳамма вақт мусбат бўлиб, нолга тенг бўлмайди. Марказдан қочирма инерсия моменти эса мусбат, манфий ва нолга тенг бўлиши мумкин.

Инерция моментларнинг асосий хоссалари.

1. Мураккаб шакл юзасининг бирор ўққа нисбатан инерция моменти қисмларининг ўша ўққа нисбатан ясовчилар инерция моментларининг алгебраик йиғиндисига тенг, яъни

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^n I_i \quad (2.4)$$

2. Кесимнинг икки ўзаро перпендикуляр ўққа нисбатан ўқ инерция моментлари йиғиндиси шу кесимнинг ўша ўқларнинг кесишиш нуқтасига нисбатан кутб инерция моментига тенг, яъни

$$I_p = I_y + I_z \quad (2.5)$$

3. Шаклнинг ихтиёрий ўққа нисбатан инерция momenti унга параллел ва оғирлик маркази орқали ўтадиган ўққа нисбатан инерция momenti билан шакл юзасининг икки ўқ орасидаги масофа квадрати купайтмасига тенг, яъни

$$\left. \begin{aligned} I_y &= I_{y_c} + a^2 F \\ I_z &= I_{z_c} + b^2 F \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Бунда I_{y_s}, I_{z_s} - кесимнинг марказий ўқлар (Y_s, Z_s) га нисбатан инерция моментлари; $a - y_s$ ва $b - z_s$ ваз ўқлар орасидаги масофалар.

4. Марказий ўқларга параллел ихтиёрий ўқларга нисбатан марказдан қочирма инерсия momenti марказий ўқларга нисбатан қочирма инерция momenti билан кесим юзасининг иккала ўқ орасидаги масофага кўпайтмасига тенг, яъни

$$I_{yz} = I_{y_c z_c} + abF \quad (2.7)$$

5. Носимметрик шаклнинг ҳеч бўлмаганда бири симметрик ўқи ҳисобланган икки ўзаро перпендикуляр ўқларга нисбатан марказдан қочирма инерция momenti нолга тенг.

6. Ўқларни “ α ” бурчакка бурилганда, инерция моментлари орасидаги боғлиқлик қуйидаги формулалар билан ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} I_{y_1} &= I_y \cos^2 \alpha + I_z \sin^2 \alpha - I_{yz} \sin 2\alpha \\ I_{z_1} &= I_y \sin^2 \alpha + I_z \cos^2 \alpha + I_{yz} \sin 2\alpha \\ I_{y_1 z_1} &= \frac{I_y - I_z}{2} \sin 2\alpha + I_{yz} \cos 2\alpha \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Бунда $I_{y_1}, I_{z_1}, I_{y_1 z_1}$ - ўқларга нисбатан соат стрелкасига тескари томонга α бурчакка бурилган y, z ўқларга нисбатан инерция моментлари;

I_y, I_z, I_{yz} - дастлабки ўқлар y, z ўқларга нисбатан инерция моментлари.

Бош ўқлар ва бош инерция моментлари. Уларга нисбатан олинган марказдан қочирма инерция momenti нолга тенг бўладиган ўқлар *Бош ўқлар* деб аталади.

Кесимнинг оғирлик маркази орқали ўтадиган бош ўқлар *Бош марказий ўқлар* дейилади.

Бош ўқларга нисбатан олинган инерция моментлари *Бош инерция моментлари* деб аталади.

Ўқлардан бирига нисбатан олинган бош инерсия моментлари энг катта / $I_u = I_{\max}$ / , бошқасига нисбатан олинганлари энг кичик бош инерция моментлари / $I_v = I_{\min}$ / деб аталади ва қуйидаги формуладан аниқланади.

$$I_{\frac{\max}{u}, \frac{\min}{v}} = \frac{1}{2} (I_y + I_z \pm \sqrt{(I_y - I_z)^2 + 4I_{yz}^2}) \quad (2.9)$$

Илдиз олдидаги мусбат белгиси I_{\max} ни аниқлаётганда, манфий белгиси эса I_{\min} ни аниқлаётганда олинади.

Бош ўқларнинг вазияти бош ўқининг y ўқи билан ташкил қилган бурчаги α орқали аниқланади ва қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2I_{yz}}{I_z - I_y} \quad (2.10)$$

Мусбат бурчак – α ўқдан бошлаб соат мили йўналишига тескари, манфий бўлган ҳолда эса соат мили йўналиши бўйлаб қўйилади.

Агар кесимнинг симметрик ўқи мавжуд бўлса, ана шу ўқ бош ўқ деб ҳисобланади. Агар кесимнинг икки симметрия ўқи мавжуд бўлса, бу ўқлар бош марказий ўқлар ҳисобланади.

Масала (давоми). Марказий ўқлар (X_s , Y_s) га нисбатан кесимнинг ўқ ва марказдан қочирма инерция моментларини аниқлаш

Кесимнинг X_s ўқига нисбатан инерция моментлари қийматларини аниқлаш учун (1.8) формула қуйидаги кўринишга келтирилади:

$$I_{x_c} = I_{x_c}^I + I_{x_c}^{II} + I_{x_c}^{III} + I_{x_c}^{IV}$$

Энди ҳар бир шаклнинг X_s ўқига нисбатан инерция моментини формуладан фойдаланиб аниқлаймиз:

$$I_{x_s} = I_{x_s}^I + I_{x_s}^{II} + I_{x_s}^{III} + I_{x_s}^{IV} = 99740,6 \text{ см}^4$$

$$I_{x_s}^I = I_{x_1} + a_1^2 \cdot F_1 = 26,7 + (-17,38)^2 \cdot 80 = 24191,8 \text{ см}^4 ;$$

$$I_{x_s}^{II} = I_{x_2} + a_2^2 \cdot F_2 = 187 + (-13,92)^2 \cdot 28,8 = 5767,5 \text{ см}^4 ;$$

$$I_{x_s}^{III} = I_{x_3} + a_3^2 \cdot F_3 = 18000 + (13,62)^2 \cdot 60 = 29130,3 \text{ см}^4 ;$$

$$I_{x_s}^{IV} = I_{x_4} + a_4^2 \cdot F_4 = 117 + (41,62)^2 \cdot 23,4 = 40651 \text{ см}^4 .$$

Худди шу тартибда Y_s ўқига нисбатан кесимнинг инерция моментини аниқлаймиз.

$$I_{y_s} = I_{y_s}^I + I_{y_s}^{II} + I_{y_s}^{III} + I_{y_s}^{IV} = 20275,7 \text{ см}^4$$

$$I_{y_s}^I = I_{y_1} + b_1^2 \cdot F_1 = 10666,7 + (-4,69)^2 \cdot 80 = 12426,35 \text{ см}^4$$

$$I_{y_s}^{II} = I_{y_2} + b_2^2 \cdot F_2 = 2330 + (-6,19)^2 \cdot 28,8 = 3433,5 \text{ см}^4$$

$$I_{y_s}^{III} = I_{y_3} + b_3^2 \cdot F_3 = 5 + (5,31)^2 \cdot 60 = 1696,8 \text{ см}^4$$

$$I_{y_s}^{IV} = I_{y_4} + b_4^2 \cdot F_4 = 365 + (10,03)^2 \cdot 23,4 = 2719,05 \text{ см}^4$$

Кесимнинг марказдан қочирма инерция моменти

$$I_{x_s, y_s} = I_{x_s, y_s}^I + I_{x_s, y_s}^{II} + I_{x_s, y_s}^{III} + I_{x_s, y_s}^{IV} = 23228,5 \text{ см}^4$$

$$I_{x_s, y_s}^I = I_{x_1, y_1} + a_1 \cdot b_1 \cdot F_1 = 0 + (-17,38) \cdot (-4,69) \cdot 80 = 6521 \text{ см}^4$$

$$I_{x_s, y_s}^{II} = I_{x_2, y_2} + a_2 \cdot b_2 \cdot F_2 = 0 + (-13,92) \cdot (-6,19) \cdot 28,8 = 2481,6 \text{ см}^4$$

$$I_{x_s, y_s}^{III} = I_{x_3, y_3} + a_3 \cdot b_3 \cdot F_3 = 0 + 13,62 \cdot 5,31 \cdot 60 = 4339,3 \text{ см}^4$$

$$I_{x_s, y_s}^{IV} = I_{x_4, y_4} + a_4 \cdot b_4 \cdot F_4 = 118,3 + 41,62 \cdot 10,03 \cdot 23,4 = 9886,6 \text{ см}^4$$

Кесимнинг бош ўқлар ҳолатини ва бош инерсия моментларини аниқлаш

Кесим учун бош ўқлар ҳолатини формуласидан фойдаланиб аниқлаймиз:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2I_{x_s, y_s}}{I_{y_s} - I_{x_s}} = \frac{2 \cdot 23228,5}{20275,7 - 99740,6} = \frac{46457}{-79464,9} = -0,5846$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = 30^\circ 18,6' ; \quad \alpha = 15^\circ 09,3' .$$

α бурчакнинг ишораси манфий бўлганлиги сабабли, марказий ўқлардан соат мили бўйича қўйилиб, бош ўқлар вазияти аниқланади.

Кесимнинг бош инерция моментларини формуладан аниқлаймиз.

$$I_{\frac{\max}{\min} \frac{u}{v}} = \frac{1}{2} (I_{x_s} + I_{y_s} \pm \sqrt{(I_{x_s} - I_{y_s})^2 + 4I_{x_s, y_s}^2})$$

$$\begin{aligned} I_{\frac{\max}{\min}, \frac{u}{v}} &= \frac{1}{2} (99740,6 + 20275,7 \pm \sqrt{(99740,6 - 20275,7)^2 + 4(23228,5)^2}) = \\ &= \frac{1}{2} (120016,3 \pm 92048,5) = 60008,15 \pm 46024,25 \end{aligned}$$

Бундан

$$\begin{aligned} I_{\max} &= I_u = 60008,15 + 46024,25 = 106032,4 \text{ см}^4 \\ I_{\min} &= I_v = 60008,15 - 46024,25 = 13983,9 \text{ см}^4 \end{aligned}$$

Ҳисоб ишлари тўғрилигини текшириш. Буни формулага кўра амалга оширамиз.

$$I_{x_c} + I_{y_c} = I_u + I_v$$

$$99740,6 + 20275,7 = 106032,4 + 13983,9$$

$$120016,3 \text{ см}^4 = 120016,3 \text{ см}^4$$

Тўғри ҳисобланганлигини қуйидаги формуладан ҳам текшириш мумкин. Бунда кесимнинг бош ўқларга нисбатан марказдан қочма инерция моменти нолга тенг бўлиши лозим:

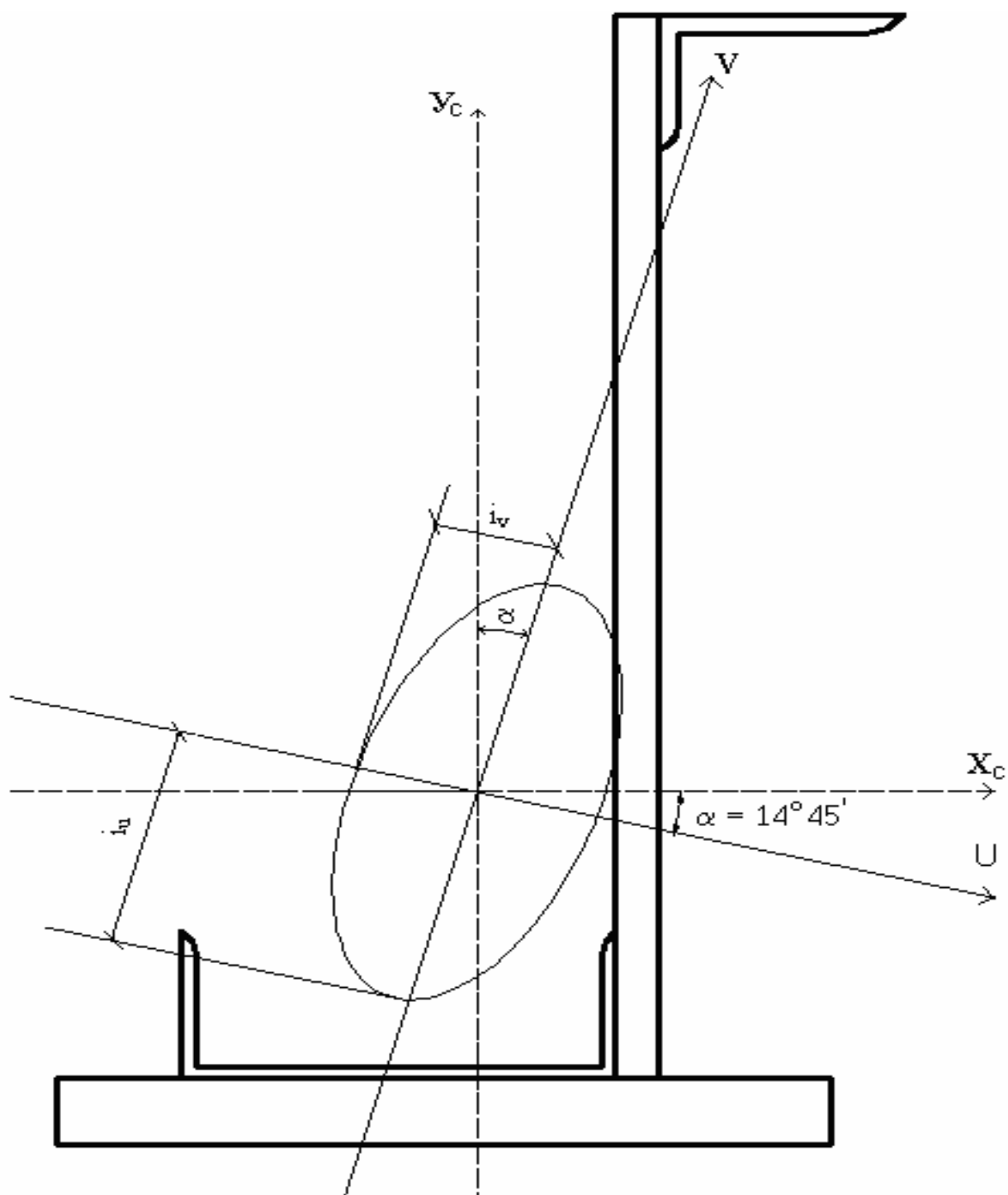
$$I_{uv} = \frac{I_{x_s} - I_{y_s}}{2} \sin 2\alpha + I_{x_s y_s} \cos 2\alpha = \frac{99740,6 - 20275,7}{2} \cdot 0,492 - 23228,5 \cdot 0,87 \approx 0$$

Кесимнинг инерция эллипсини қуриш

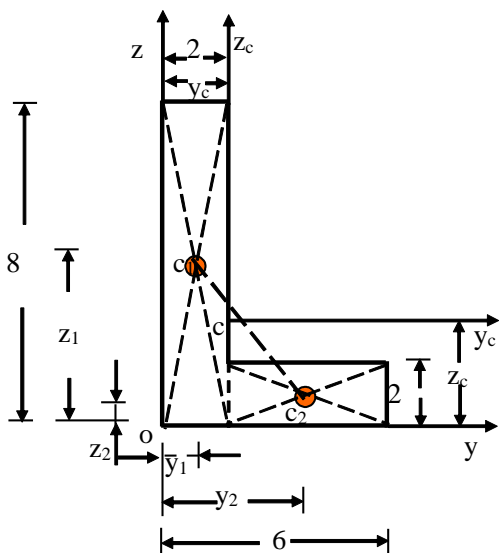
Кесимнинг инерция радиусларини аниқлаймиз. Бунинг учун формуладан фойдаланамиз.

$$\begin{aligned} i_u &= \sqrt{\frac{I_u}{F}} = \sqrt{\frac{106032,4}{192,2}} = 23,49 \text{ см}; \\ i_v &= \sqrt{\frac{I_v}{F}} = \sqrt{\frac{13983,9}{192,2}} = 8,53 \text{ см}. \end{aligned}$$

Топилган i_u ва i_v нинг қийматларига асосланиб, уларни бош ўқларга нисбатан қўйиб инерция эллипси ҳосил қилинади. Бунда i_u нинг қийматини V ўқ бўйича, i_v ни эса U ўқ бўйича қўйиб ясалади. Ясалган инерция эллипси 13.2 - шаклда кўрсатилган.



13.2 – шакл.



13.3 - шакл

1-масала. 13.3 -шаклда кўрсатилган кесимнинг оғирлик марказининг координаталари топилсин.

Ечиш: кесимни иккита оддий тўғри тўртбурчакга ажратамиз. Ёрдамчи z o уўқини ўтказамиз. Бу тўғри тўртбурчакларнинг оғирлик маркази уларнинг диагалларининг кесишган нуқтаси c₁ ва c₂ бўлади.

Кесимнинг оғирлик марказининг координаталари y_c ва z_c ларни топамиз:

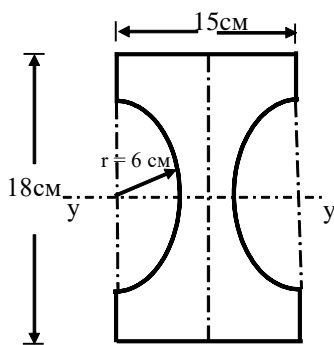
$$y_c = \frac{S_z}{A} = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = \frac{8 \cdot 2 \cdot 1 + 4 \cdot 2 \cdot 4}{8 \cdot 2 + 4 \cdot 2} = 2 \text{ см}$$

$$z_c = \frac{S_y}{A} = \frac{A_1 \cdot z_1 + A_2 \cdot z_2}{A_1 + A_2} = \frac{8 \cdot 2 \cdot 4 + 4 \cdot 2 \cdot 1}{8 \cdot 2 + 4 \cdot 2} = 3 \text{ см}$$

Топилган y_c ва z_c ларнинг қийматини масштаб бў

йичақўйиб C нуқтасини топамиз,

y C₁ ва C₂ нуқталарни туташтирувчи тўғричи зикрда ётади.

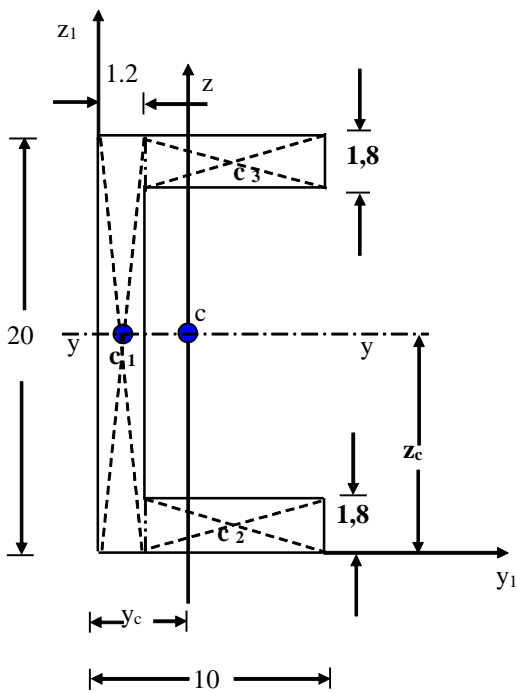


13.4 - шакл

2-масала. 13.4- шаклда кўрсатилган кесимнинг y-уўққа нисбатан инерция моменти топилсин. Ўлчамлар см да берилган.

Ечиш: Кесимнинг инерция моменти тўғри тўрт бурчакнинг инерция моментидан доиранинг инерция моментини айириш йўли билан топилади.

$$J_y = \frac{bh^3}{12} - \frac{\pi d^4}{64} = \frac{15 \cdot 18^3}{12} - \frac{3,14 \cdot 12^4}{64} = 6273 \text{ см}^4$$



13.5 - шакл

3-масала. 13.5- шаклда кўрсатилган швеллернинг марказий экваториал инерция моменти топилсин. Ўлчамлар см да берилган.

Ечиш: Кесимни учта тўртбурчакга ажратамиз. Швеллернинг $y - y$ ўқи оғирлиги марказидан ўтиб, y симметрия ўқи бўлади. z_1 ўқидан оғирлик марказигача бўлган оралиғини топамиз. Бунинг учун z_1 ўқига нисбатан тўрт бурчакларнинг статик моментларини аниқлаймиз

$$S_{z_1}^1 = 20 \cdot 1,2 \cdot 0,6 = 14,4 \text{ см}^3$$

$$S_{z_1}^{11} = (10 - 1,2) \cdot 1,8 \left(\frac{10 - 1,2}{2} + 1,2 \right) = 88,7 \text{ см}^3$$

Швеллернинг кўндаланг кесим юзи

$$A = 20 \cdot 1,2 + 2(10 - 1,2) \cdot 1,8 = 55,68 \text{ см}^2$$

z_1 ўқдан швеллернинг оғирлик марказигача бўлган масофа қуйидагича топилади.

$$y_c = \frac{S_{z_1}^1 + 2S_{z_1}^{11}}{A} = \frac{14 + 2 \cdot 88,7}{55,68} = 3,44 \text{ см}$$

Марказий y ва z ўқларига нисбат тўртбурчакларнинг инерция моментларини топамиз:

$$J_y^1 = \frac{1,2 \cdot 20^3}{12} = 800 \text{ см}^4$$

$$J_z^1 = \frac{20 \cdot 1,2^3}{12} + 20 \cdot 1,2 \left(3,44 - \frac{1,2}{2} \right)^2 = 196,45 \text{ см}^4$$

$$J_z^{11} = \frac{1,8^3 (10 - 1,2)}{12} + (10 - 1,2) \cdot 1,8 \left[\pm \left(\frac{20}{2} - \frac{1,8}{2} \right) \right]^2 = 1316 \text{ см}^4$$

$$J_z^{11} = \frac{1,8(10 - 1,2)^3}{12} + (10 - 1,2) \cdot 1,8 \left(\frac{10 - 1,2}{2} + 1,2 - 3,44 \right)^2 = 176,12 \text{ см}^4$$

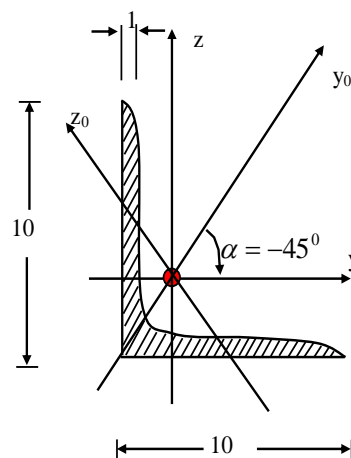
Швеллернинг марказий y ва z ўқларига нисбатан тўла юзасининг инерция моменти қуйидагича бўлади.

$$J_y = J_y^1 + 2J_y^{11} = 800 + 2 \cdot 1316 = 3432 \text{ см}^4$$

$$J_z = J_z^1 + 2J_z^{11} = 196,45 + 2 \cdot 176,12 = 548,7 \text{ см}^4$$

Швеллер кесим юзининг $y - y$ ўқига нисбатан инерция моментини иккита тўрт бурчакнинг инерция моментларининг айирмаси сифатида олинсакулайроқ бўлар эди. Бунда уларнинг бирининг асоси $(10 - 1,2)$ см ва баландлиги $(20 - 2 \cdot 1,8)$ см бўлади:

$$J_y = \frac{10 \cdot 20^3}{12} - \frac{(10 - 1,2)(20 - 2 \cdot 1,8)^3}{12} = 6666,67 - 3234,7 \cong 3432 \text{ см}^4$$



2.6-шакл

4-масала. 13.6-шаклда кўрсатилган 100x100x10 номерли бурчакликнинг марказий y_1 ва z_1 ўқларга нисбатан марказдан қочирма инерция моменти аниқлансин.

Ечиш:Сортамент $J_{y_0} = 284\text{см}^4$, $J_{z_0} = 74,1\text{см}^4$ ларни топиб, хамда y_0 ва z_0 ўқлар бурчакликнинг марказий ўқи эканлигини ($J_{y_0z_0} = 0$) ҳисобга олиб, y_1 ва z_1 ўқларга нисбатан марказдан қочирма инерция моментини ҳисоблаймиз:

$$J_{y_1z_1} = \frac{J_{y_0} - J_{z_0}}{2} \sin 2\alpha + J_{y_0z_0} \cos 2\alpha = \frac{204 - 74,1}{2} (-1) + = -104,95\text{см}^4$$

5-масала. 13.7-шаклда кўрсатилган кесим учун бош марказий инерция моментлари топилсин. Швеллер № 18 ва бурчаклик $\angle 90 \times 90 \times 6$.

Ечиш:Сортамент жадвалидан швеллер ва бурчаклик учун керакли қийматларни оламиз:

1) Швеллер № 18

$$h_1 = 18\text{см}, \quad \epsilon_1 = 7\text{см}, \quad A_1 = 20,7\text{см}^2, \quad J_{y_1} = 1090\text{см}^4, \quad J_{z_1} = 86\text{см}^4, \quad z_0 = 1,94\text{см}.$$

2)Бурчакли 90x90x6

$$\epsilon_2 = 9\text{см}, \quad A_2 = 10,6\text{см}^2, \quad j_{y_2} = J_{z_2} = 82,2\text{см}^4, \quad J_{y_0} = 130\text{см}^4, \quad J_{z_0} = 34,0\text{см}^4, \quad z_{02} = 2,43\text{см}.$$

1). Оғирлик марказининг координаталарини аниқлаш учун y ва z ёрдамчи ўқларини ўтказиб, хар кесим оғирлик марказидан бу ўққача бўлган масофани аниқлаймиз.

$$y_1 = \epsilon_2 + z_{01} = 9 + 1,94 = 10,94\text{см}; \quad y_2 = \epsilon_2 - z_{02} = 9 - 2,43 = 6,57\text{см};$$

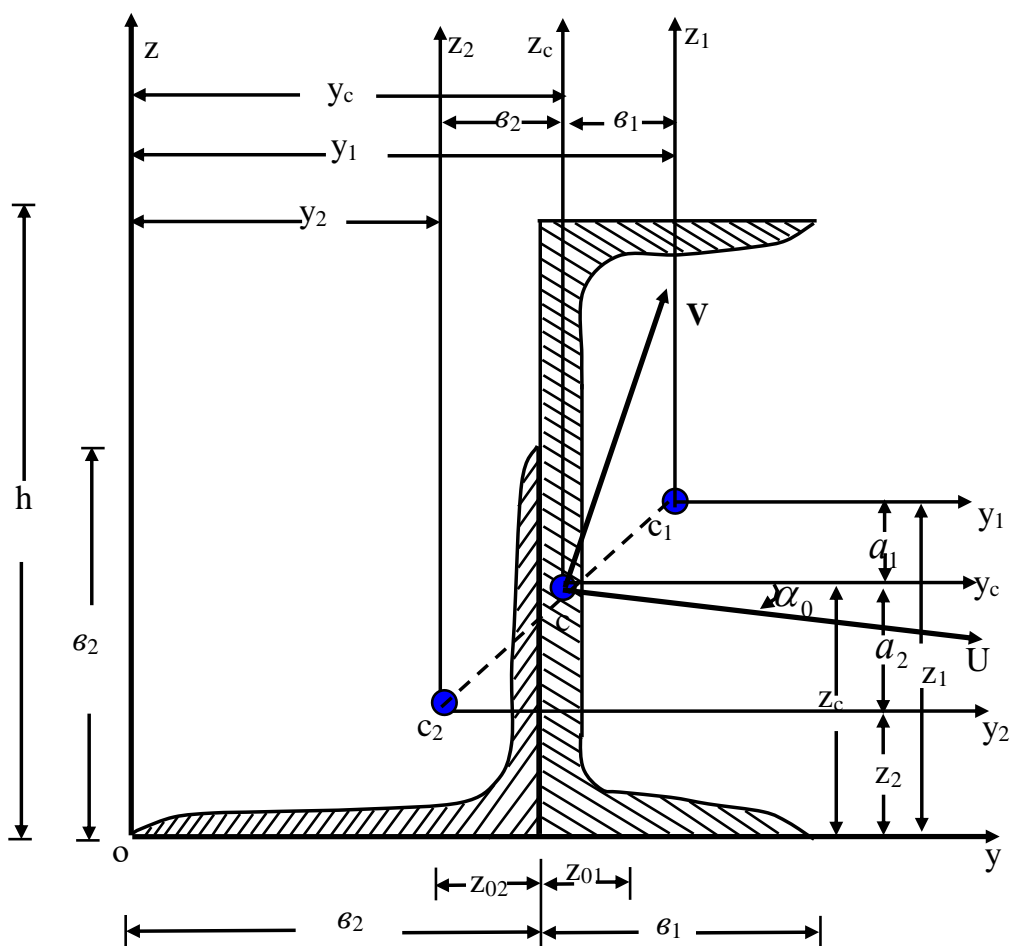
$$z_1 = h_1/2 = \frac{18}{2} = 9\text{см}; \quad z_2 = z_{02} = 2,43\text{см}.$$

Формуладан фойдаланиб оғирлик марказининг координаталарини ҳисоблаймиз.

$$y_c = \frac{S_z}{A} = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = \frac{20,7 \cdot 10,94 + 10,6 \cdot 6,57}{20,7 + 10,6} = 9,46\text{см}$$

$$z_c = \frac{S_y}{A} = \frac{A_1 \cdot z_1}{A_1 + A_2} = \frac{20,7 \cdot 9 + 10,6 \cdot 2,43}{20,7 + 10,6} = 6,77\text{см}$$

Бу қийматларни масштаб бўйича қўйиб с нуктани топамиз, бу икки кесим марказидан ўтувчи тўғри чизик устида ётиши керак.



2.7 -шакл

2) y_c ва z_c ўқларига нисбатан кесимнинг инерция моментини аниқлаймиз. Ўқлар орасидаги масофалар:

$$a_1 = z_1 - z_c = 9 - 6,77 = 2,23 \text{ см}; \quad a_2 = z_2 - z_c = 2,43 - 6,77 = -4,34 \text{ см};$$

$$b_1 = y_1 - y_c = 10,94 - 9,46 = 1,48 \text{ см}; \quad b_2 = y_2 - y_c = 6,57 - 9,46 = -2,89 \text{ см}$$

$$J_{y_c} = J_{y_c} + a_1^2 A + J_{y_2} + a_2^2 A = 1090 + (2,23)^2 \cdot 20,7 + 82,1 + (-4,34)^2 \cdot 10,6 = 1474,7 \text{ см}^4$$

$$J_{z_c} = J_{z_1} + b_1^2 A_1 + J_{z_1} + b_2^2 A_2 = 86 + (1,48)^2 \cdot 20,7 + 82,1 + (-2,89)^2 \cdot 10,6 = 298,25 \text{ см}^4$$

$$J_{y_c z_c} = J_{y_1 z_1} + a_1 b_1 A_1 + \frac{J_{y_0} - J_{z_0}}{2} (-1) + a_2 b_2 A_2 = 0 + 2,23 \cdot 1,48 \cdot 20,7 - \frac{130 - 34}{2} + (-4,34)(-2,89) \cdot 10,6 = 153,27 \text{ см}^4$$

3). Бош ўқнинг ҳолатини аниқлаймиз.

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2J_{y_c z_c}}{J_{z_c} - J_{y_c}} = \frac{2 \cdot 153,27}{298,25 - 1474,7} = -0,2605$$

$$2\alpha_0 = -14^{\circ} 38'; \quad \alpha_0 = -7^{\circ} 19'$$

Бу бурчакни соат стрелкаси бўйича қўйиб, U ва V ўқларининг йўналишини аниқлаймиз.

4) Бош марказий инерция моментлари ҳисоблаймиз.

$$J_{\frac{u}{v}} = J_{\frac{max}{min}} = \frac{1}{2} \left[(J_{y_c} + J_{z_c}) \pm \sqrt{(J_{y_c} - J_{z_c})^2 + 4J_{y_c z_c}^2} \right] = \frac{1}{2} \left[(1474,7 + 298,25) \pm \sqrt{(1474,7 - 298,25)^2 + 4(153,27)^2} \right];$$

бундан $J_u = J_{max} = 1494,33 \text{ см}^4$
 $J_v = J_{min} = 278,61 \text{ см}^4$

$$1) \quad J_u + J_v = J_{y_c} + J_{z_c}$$

Текшириш: $1494,33 + 278,61 = 1474,7 + 298,25$
 $1772,94 = 1772,95$

$$2) \quad J_{u,v} = \frac{J_{y_c} - J_{z_c}}{2} \sin 2\alpha + J_{y_c z_c} \cos 2\alpha = 0$$

$$J_{u,v} = \frac{1474,7 - 298,25}{2} (-0,2526) + 153,27 \cdot 0,9675 = 0;$$

бу ерда : $\sin 2\alpha_0 = -0,2526$; $\cos 2\alpha_0 = +0,9675$

Демак, юқоридаги ҳисоблашлар тўғри экан.

3 – амалий машғулот

Доира кесимли стерженларни мустаҳкамликка ва бикирликка ҳисоблаш.

3.1-мисол. 14.1-расмда тасвирланган трансмиссия вали учун буровчи моментлар эпюраси қурилсин. Айлантирувчи моментлар: $T_1=500 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $T_2=150 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $T_3 = 250 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $T_4=100 \text{ Н}\cdot\text{м}$ га тенг.

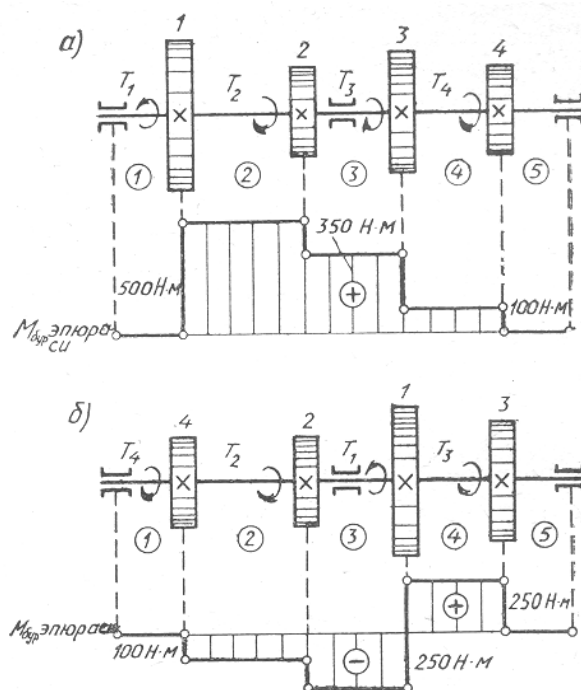
Ечиш. Вални 14.1-расм, а да кўрсатилганидек участкаларга бўламиз. Кесиш методи ва юмшатиш чегаравий шартларни татбиқ қиламиз. Мусбат буровчи моментларни эпюра ўқидан юқорига, манфий буровчи моментларни эпюра ўқидан пастга қўямиз деб шартлашиб оламиз. Буровчи моментлар эпюрасини қурамиз (3.1- расм, а), Биринчи, шунингдек, бешинчи участкаларда буровчи моментлар нолга тенг, чунки бу участкаларда айлантирувчи моментлар йўқ. Шу туфайли эпюранинг ўқи бўйлаб шкив 1 гача горизонтал тўғри чизик ўтказамиз, шкив 1 да эпюра айлантирувчи момент катталиги, яъни $500 \text{ Н}\cdot\text{м}$ га тенг катталиқка “сақрайди”. Сўнгра $150 \text{ Н}\cdot\text{м}$ га тенг айлантирувчи момент қўйилган шкив 2 гача горизонтал тўғри чизик ўтказамиз. Бу ерда эпюра яна пастга “сақрайди” (ишоралар коидасини эсга олайлик). Бошқа участкаларда ҳам буровчи моментлар эпюраси шунга ўхшаш қурилди.

Шуни айтиб ўтиш керакки, буровчи моментлар эпюрасидаги “сақраш” сон жиҳатидан ҳар доим кўрилатган кесимга қўйилган айлантирувчи момент қийматига тенг бўлади. Эпюрандан кўриниб турибдики, энг катта буровчи момент иккинчи участкада бўлади:

$$M_{B_{max}} = M_{B_2} = 500 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Шкивларни рационал жойлаштириш йўли билан $M_{B_{max}}$ қийматини камайтириш мумкин. 3.1- расм, б да шкивларни жойлаштириш схемаси ва унга мос бўлган M_B эпюра тасвирланган, бу схемадан кўриниб турибдики, буровчи моментнинг энг катта қиймати $M_{B_{max}} = M_{B_2} = 250 \text{ Н}\cdot\text{м}$, яъни биринчи ҳолдагига қараганда икки марта кичик. Шкивларни бундай жойлаштириш иқтисодий жиҳатдан фойдалидир, чунки берилган қувватни кичик диаметрли вал ёрдамида узатишга имкон беради.

Шкивлар валда буровчи моментларнинг участкалардаги энг катта мусбат ва энг катта манфий қийматлари мумкин қадар бир хил бўладиган қилиб жойлаштирилса (3.1.-расм, б да M_B эпюрага қаранг), мақсадга мувофиқ бўлади.



3.1-шакл

4 – амалий машғулот

Эгилишга ишлайдиган балка кесимларидаги ички кучларни аниқлаш.

МАСАЛАНИНГ ШАРТЛАРИ.

Кўндаланг кесим шакли ва юкланиш схемаси чизмада кўрсатилган балка учун қуйидагилар талаб қилинади.

1. Эгувчи момент M ва кўндаланг куч Q эпюралари q , ℓ лар орқали ифодаб курилсин.
2. Берилган $\ell = 2\text{м}$ ва ҳисоблаш қаршилиги $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ учун тарқалган куч интенсивлиги аниқлансин.
3. Бош кучланишларга нисбатан хавфли ҳисобланган кесим учун нормал, уринма, бош нормал ва энг катта уринма кучланишлар эпюралари курилсин.
4. Балка мустаҳкамлиги уринма кучланишга нисбатан текшириб кўрилсин. Силжишга нисбатан ҳисоблаш қаршилиги $[\tau] = 0,6 [\sigma]$.
5. Бошланғич параметрлар усули билан “n” ва “к” кесимларнинг айланиш бурчаги ҳамда шу жойлардаги балка ўқининг салқилиги ҳисоблансин.
6. Балка ўқининг эгилиш шакли тасвирлансин.
7. Балка кесими мустаҳкамлик шартига кўра прокат қўштаврдан қайта танлансин. Қўштавр кесим юзи ва бикирлиги берилган кесимнинг юзи ва бикирлиги таққослансин.
8. Берилган ва қўштаврли кесим учун балканинг бикрлик шarti текшириб кўрилсин. Рухсат этилган салқилик $[f] = \ell/300$ деб қабул қилинсин.

Ечиш. Берилган балка схемаси унга қўйилган кучлари билан ва унинг ўнг томонига кесим шакли 1:4 ÷ 1:10 масштабида кичрайтириб чизилади.

1. M ва Q эпюраларини қуриш учун аввал таянчлардаги реакция кучларини аниқланади.

$$\sum M_B = 0; \quad -R_A \cdot 2\ell + q\ell \cdot \frac{3}{2}\ell - q\ell^2 - q\ell \cdot \ell = 0 \quad \text{бундан} \quad R_A = -\frac{1}{4}q\ell$$

$$\sum M_A = 0; \quad R_B \cdot 2\ell - q\ell \cdot \ell - q\ell^2 - q\ell \cdot 3\ell = 0 \quad \text{бундан} \quad R_B = \frac{9}{4}q\ell$$

$$\text{Текшириш. } \sum Z = 0; \quad R_A + q\ell - q\ell + R_B = -\frac{1}{4}q\ell - q\ell - q\ell + \frac{9}{4}q\ell = 0$$

Балкани 3 та қисмга ажратиб, ҳар бир қисм учун эгувчи момент ва кўндаланг куч тенгламаларини тузамиз.

I – қисм. $0 \leq x_1 \leq \ell$

$$M_{x_1} = R_A \cdot x_1 - q \frac{x_1^2}{2} = -\frac{1}{4}q\ell x_1 - \frac{1}{2}qx_1^2;$$

$$Q_{x_1} = R_A - qx_1 = -\frac{1}{4}q\ell - qx_1;$$

$$x_1 = 0; \quad M_{(0)} = 0; \quad Q_{(0)} = -\frac{1}{4}q\ell;$$

$$x_1 = \frac{\ell}{2}; \quad M_{\frac{\ell}{2}} = -\frac{3}{8}q\ell^2; \quad Q_{\left(\frac{\ell}{2}\right)} = -\frac{3}{4}q\ell; \quad x_1 = \ell; \quad M_{(\ell)} = -\frac{3}{4}q\ell^2; \quad Q_{(\ell)} = -\frac{5}{4}q\ell.$$

II – қисм. $0 \leq x_2 \leq \ell$

$$M_{x_2} = -P \cdot x_1 = -q\ell x_1; \quad Q_{x_2} = q\ell;$$

$$x_2 = 0; M_{(0)} = 0; x_2 = \ell; M_{(\ell)} = -q\ell^2.$$

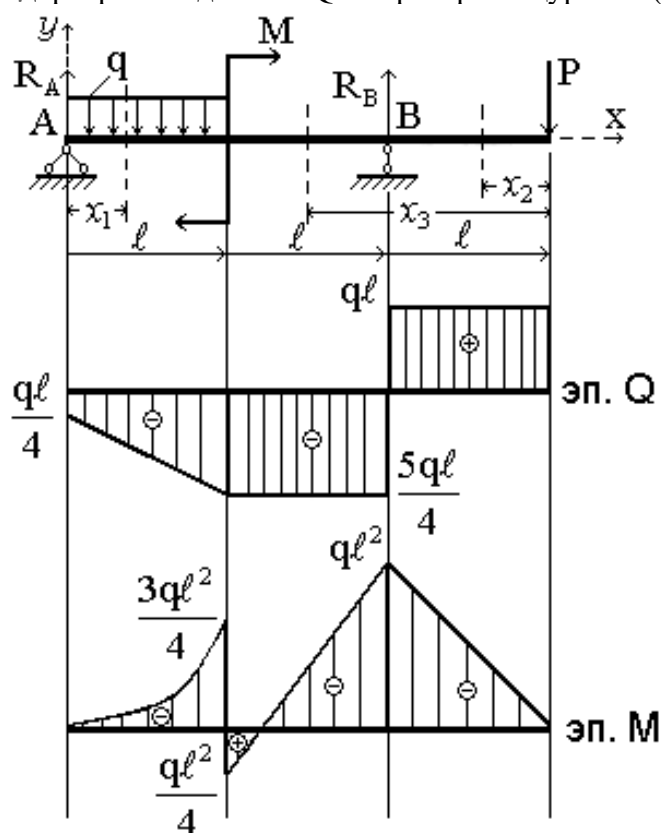
III – қисм. $\ell \leq x_2 \leq 2\ell$

$$M_{x_3} = -P \cdot x_3 + R_B(x_3 - \ell) = -q\ell x_3 + \frac{9}{4}q\ell(x_3 - \ell);$$

$$Q_{x_3} = P - R_B = q\ell - \frac{9}{4}q\ell = -\frac{5}{4}q\ell;$$

$$x_3 = \ell; M_{(\ell)} = -q\ell^2; \quad x_3 = 2\ell; M_{(2\ell)} = \frac{1}{4}q\ell^2.$$

Бу ҳисобланган миқдорлар асосида M ва Q эпюраларини курамиз (16.1-шакл).



16.1- шакл.

2. Берилган $[\sigma] = 160$ МПа, $\ell = 2$ м га кўра балкага қўйилган тарқалган куч нтенсивлигини аниқлаш.

Бунинг учун аввал кесимнинг оғирлик маркази ва қаршилик моментини ҳисоблаймиз. Кесим шакли симметрия ўқида эга бўлгани сабабли оғирлик маркази шу ўқнинг устида жойлашган бўлади. Шунинг учун оғирлик марказини фақат у ўқи бўйича координатасини ҳисоблаймиз. Координата бошини кесим симметрия ўқининг пастки чегарасидаги учида олсак, оғирлик маркази учун формула қуйидаги кўринишда бўлади.

$$y_c = \frac{S_{ix}}{\sum F_i} = \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2 + F_3 y_3}{F_1 + F_2 + F_3}$$

Бу ерда $y_1 = 12 \text{ см}; y_2 = y_3 = 18 \text{ см}; F_1 = 96 \text{ см}^2; F_2 = F_3 = 96 \text{ см}^2$.

$$y_c = \frac{96 \cdot 12 + 24 \cdot 18 + 24 \cdot 18}{96 + 24 + 24} = 14 \text{ см.}$$

Демак оғирлик маркази кесим симметрия ўқининг пастки учидан 14 см юқорида жойлашган нуқтада экан. Шу нуқтадан ўтувчи марказий ўқларни X_c, Y_c билан белгилаймиз. X_c ўқи нейтрал ўқ ҳам бўлганлиги учун шу ўққа нисбатан кесимнинг инерция ва қаршилиқ моментларини ҳисоблаймиз.

$$I_{x_c} = I_{x_c}^I + I_{x_c}^{II} + I_{x_c}^{III} = I_{x_1} + (y_1 - y_c)^2 \cdot F_1 + 2(I_{x_2} + (y_2 - y_c)^2 \cdot F_2) =$$

$$\frac{4 \cdot 24^3}{12} + 2^2 \cdot 96 + 2\left(\frac{6 \cdot 4^3}{12} + 4^2 \cdot 24\right) = 5824 \text{ см}^4$$

Бундан $W_x = \frac{I_{x_c}}{y_{\max}} = \frac{5824 \text{ см}^4}{14 \text{ см}} = 416 \text{ см}^3$ эканлиги келиб чиқади.

Балканинг мустаҳкамлик шартига кўра

$$W_x \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} \quad \text{ёки} \quad M_{\max} \leq W_x \cdot [\sigma]$$

Бундан балкага қўйилиши мумкин бўлган юк миқдорини аниқлаймиз. Эгувчи момент эпюрасидан

$$M_{\max} = q\ell^2; \quad q\ell^2 \leq W_x \cdot [\sigma];$$

$$[q] \leq \frac{W_x \cdot [\sigma]}{\ell^2} = \frac{416 \text{ см}^3 \cdot 160 \text{ МПа}}{(200 \text{ см})^2} = 16,64 \text{ кН/м.}$$

Энди энг катта эгувчи момент ва кўндаланг куч миқдорларини аниқлаймиз.

$$M_{\max} = q\ell^2 = 16,64 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \cdot (2\text{м})^2 = 66,56 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_{\max} = \frac{5}{4} q\ell = \frac{5}{4} \cdot 16,64 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \cdot 2\text{м} = 41,6 \text{ кН.}$$

3. Бош кучланишларга нисбатан хавфли деб эгувчи момент ва кўндаланг куч факторлари энг катта қийматларига эришган В таянчдаги кесимни олсак бўлади. Бу кесимдаги нормал, уринма, бош нормал, энг катта уринма кучланишларни ҳисоблаш учун кўндаланг кесим шаклида кўрсатилгандек 8 та характерли нуқта танлаб (нуқталар сони бошқа кесим шакллари учун ундан ортиқ ёки кам бўлиши мумкин), нейтрал ўқдан шу нуқталаргача бўлган масофа y , кесимнинг шу нуқталар сатҳидаги эни b ни аниқлаймиз.

$$y_1 = 12 \text{ см}; y_2 = y_3 = 6 \text{ см}; y_4 = y_5 = 2 \text{ см}; y_6 = 0; y_7 = -7 \text{ см}; y_8 = -14 \text{ см.}$$

Шаклда 2 билан 3 нуқта, 4 билан 5 нуқталар устма-уст тушган, чунки 2 ва 5 нуқталар кесим деворига, 3 ва 4 нуқталар кесим полкасига тегишли бўлиб, 3 ва 4 нуқталарда кесимнинг эни $b = 16 \text{ см}$, қолган нуқталарда эса $b = 4 \text{ см}$ га тенг. Ҳар бир нуқта учун нейтрал ўққа нисбатан тескари томонда жойлашган юзанинг статик моментини ҳисоблаймиз:

$$S_1 = 0; \quad S_2 = S_3 = 4 \text{ см} \cdot 4 \text{ см} \cdot 8 \text{ см} = 128 \text{ см}^3;$$

$$S_4 = S_5 = S_2 + 16 \text{ см} \cdot 4 \text{ см} \cdot 4 \text{ см} = 384 \text{ см}^3;$$

$$S_6 = S_4 + 2 \text{ см} \cdot 4 \text{ см} \cdot 1 \text{ см} = 392 \text{ см}^3;$$

$$S_7 = 4 \text{ см} \cdot 7 \text{ см} \cdot 10,5 \text{ см} = 294 \text{ см}^3; \quad S_8 = 0.$$

5 – амалий машғулот

Эгилишда балка кўндаланг кесимидаги нормал кучланишларни аниқлаш.

Балка уринма кучланишга пухта қаршилик кўрсатиш учун унда ҳосил бўладиган максимал уринма кучланиш балка материали учун рухсат этилган уринма кучланишдан ортиб кетмаслиги керак.

Баъзи материаллар уринма кучланишга заиф қаршилик кўрсатадилар. Масалан, ёғочдан ясалган балка синашдан олдин нейтрал қават текислиги бўйича ёрилади, бу ҳол ана шу қаватдаги толаларнинг уринма кучланишга бардош беролмаслиги туфайли вужудга келади. Бундай балкаларнинг уринма кучланишига мустаҳкамлигини текшириб кўриш талаб қилинади. Балканинг уринма кучланиш бўйича мустаҳкамлик шарти куйидагича ёзилади:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_{\max}}{bJ_y} \leq [\tau] \quad (17.1)$$

бунда $[\tau]$ – материал учун рухсат этилган кучланиш.

Топилган миқдорларни куйидаги ҳисоблаш формулаларига қўйиб, нормал, уринма, бош нормал, энг катта уринма кучланишлар қийматларини аниқлаймиз:

$$\sigma_i = \frac{M \text{ (кН} \cdot \text{м)} \cdot y_i \text{ (см)}}{I_x \text{ (см}^4\text{)}};$$

$$\tau_i = \frac{Q \text{ (кН)} \cdot S_i \text{ (см}^3\text{)}}{I_x \text{ (см}^4\text{)} \cdot b \text{ (см)}};$$

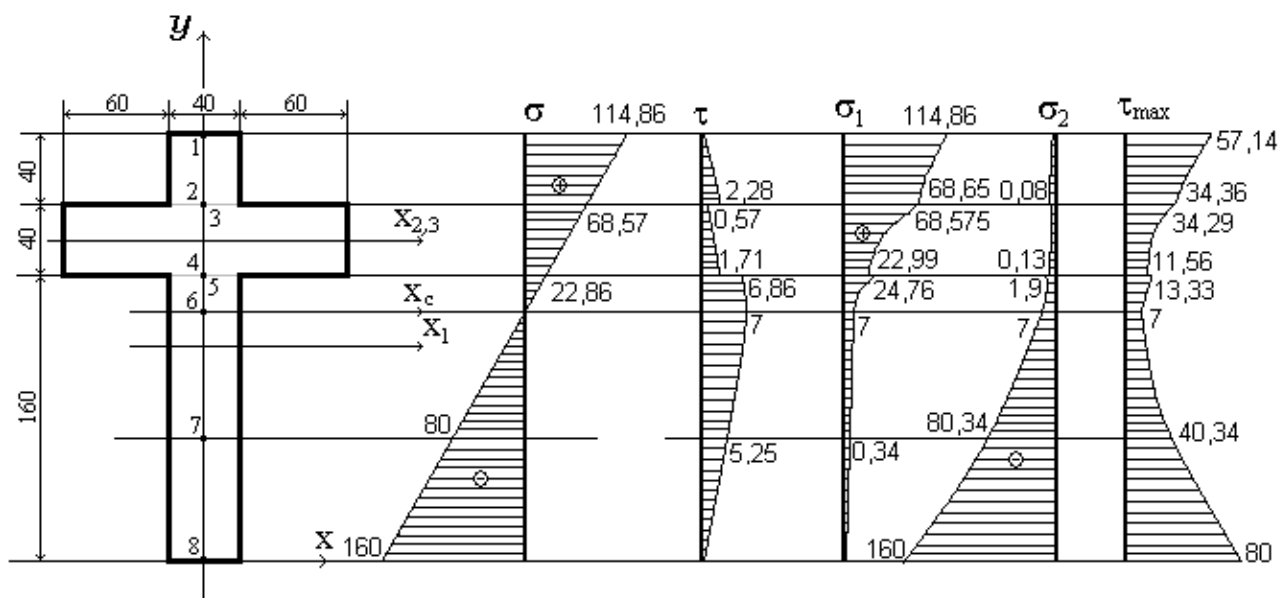
$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2} (\sigma \pm \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2});$$

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}.$$

Олинган натижаларни битта жадвал шаклида ёзиш қулай бўлади.

Нукта номери	y, см	b, см	S см ³	σ	τ	σ ₁	σ ₂	τ _{max}
				МПа				
1	10	4	0	114,86	0	114,86	0	57,14
2	6	4	128	68,57	2,28	68,65	-0,08	34,36
3	6	16	128	68,57	0,57	68,575	-0,005	34,29
4	2	16	384	22,86	1,71	22,99	-0,13	11,56
5	2	4	384	22,86	6,86	24,76	-1,9	13,33
6	0	4	392	0	7	7	-7	7
7	-7	4	294	-80	5,25	0,34	-80,34	40,34
8	-14	4	0	-160	0	0	-160	80

Ҳисобланган қийматлар асосида нормал, уринма, бош нормал, энг катта уринма кучланишлар эпюралари кўндаланг кесим шаклини ўнг томонига қурилади (17.1- шакл).



17.1- шакл.

4. Балка мустаҳкамлиги уринма кучланишларга кўра текшираимиз. Уринма кучланиш учун рухсат этилган кучланиш

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\sigma] = 0,6 \cdot 160 \text{ МПа} = 96 \text{ МПа}$$

Кучланишлар эпюрасига кўра энг катта уринма кучланиш $\tau_{max} = 80 \text{ МПа}$ га тенг бўлиб, $\tau_{max} \leq [\tau]$ шарт бажарилади. Демак балканинг мустаҳкамлиги уринма кучланишларга нисбатан таъминланган.

6-AMALIY MASHG'ULOT

MAVZU: STATIK ANIQ BALKALARDA ICHKI KUCHLARNI MATRITSALAR NAZARIYASINI QO'LLAB ANIQLASH.

1. Balkalarda ichki kuchlar epyuralarini chizish

2. Ramalarda ichki kuchlar epyuralarini chizish

1 – masala. 1-rasmda ko'rsatilgan konsol balka uchun kesuvchi kuch va eguvchi moment epyuralari chizilsin.

Yechish. Balkani oraliqlarga ajratamiz. Biz tekshirayotgan balka ikkita oraliqdan iborat (I, II). Balkaning erkin uchidan x_1 masofada olingan I – I kesim uchun kesuvchi kuch eguvchi moment tenglamalarini tuzamiz:

I – oraliq $0 \leq x_1 \leq \ell$

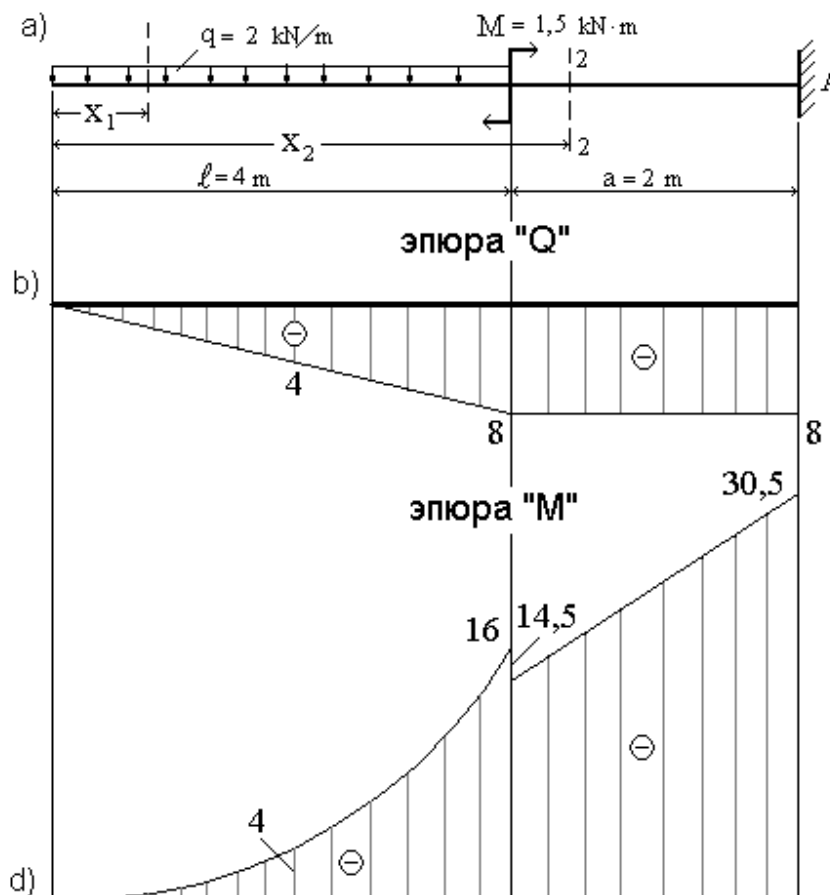
$Q_{z_1} = -qx_1$ - to'g'ri chiziq qonuni bilan o'zgaradi;

$M_{x_1} = -\frac{qx_1^2}{2}$ - parabola qonuni bilan o'zgaradi.

Parabolani chizish uchun x ga bir necha qiymat beramiz:

$x_2 = 0$ m da $M_{(0)} = 0$; $Q_{(0)} = 0$;

$x_2 = 4$ m da $M_{(4)} = -2 \cdot 8 = -16$ kNm; $Q_{(4)} = -2 \cdot 4 = -8$ kH.



1.1-rasm.

Bu qiymatlar asosida I – oraliq uchun kesuvchi kuch va eguvchi moment epyurasini ma'lum masshtabda chizamiz (1.1-shakl, b, v).

Endi ikkinchi oraliq uchun 2-2 kesimga nisbatan eguvchi moment va kesuvchi kuch tenglamasini tuzamiz:

$$\text{II – oraliq } \ell = 4 \text{ m} \leq x_2 \leq \ell + a = 6 \text{ m}$$

$$Q_{Z_2} = -q \cdot 4 = -2 \cdot 4 = -8 \text{ kH} \quad - \text{ to'g'ri chiziq qonuni bilan o'zgaradi};$$

$$M_{X_2} = -4q(x_2 - 2) + M \quad - \text{ to'g'ri chiziq qonuni bilan o'zgaradi.}$$

$$x_2 = 4 \text{ m da } M_{(4)} = -4 \cdot 2 \cdot 2 + 1,5 = -16 + 1,5 = -14,5 \text{ kHM};$$

$$x_2 = 6 \text{ m da } M_{(6)} = -4 \cdot 2 \cdot 4 + 1,5 = -32 + 1,5 = -30,5 \text{ kHM}.$$

Topilgan nuqtalarni tegishli masofadagi absissa o'qiga qo'yib, ikkinchi oraliq uchun kesuvchi kuch va eguvchi moment epyuralarini quramiz.

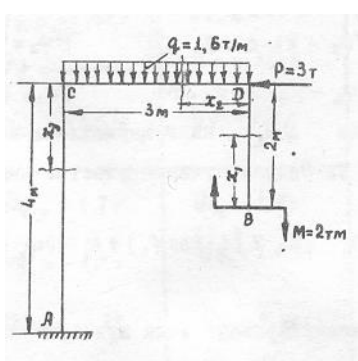
2. Tekis ramalar uchun ichki kuchlar epyuralarini chizish.

Qattiq qilib uchlari bilan mahkamlangan sterjenlar birikmasiga rama deyiladi (1.2-shakl). Bunday konstruksiyalardagi tutash burchaklarning deformatsiyagacha bo'lgan bikirligi deformatsiyadan keyin ham o'zgarmaydi.

Ramaning ichki kuchlarini aniqlash va ularning epyuralarini chizish ham xuddi balkalardagidek bo'ladi, faqat qo'shimcha bo'ylama kuch topiladi va uning epyurasi chiziladi.

Masala. 1.2-shaklda ko'rsatilgan rama(siniq balka) uchun bo'ylama kuch, ko'ndalang kuch va eguvchi moment epyuralari qurilsin.

Yechish. Har qanday konstruksiya uchun ichki kuchlar M , Q , N larni topishda materiallar qarshiligining umumiy usuli bo'lgan kesish usulidan foydalaniladi. Ammo gorizont va vertikal sterjenlar uchun epyuralar chizish usulini shartlashib olish kerak. Rama, siniq balka va egri bruslar uchun M_x epyurasini chizishda uning qiymatlari cho'zilgan tolalar tomoniga qaratib qo'yilishi kerak.



1.2-shakl.

Ramani uchta qism(I, II, III)ga ajratamiz.

I – qism (VD vertikal sterjen)

$$0 \leq x_1 \leq 2 \text{ m}$$

$$N_{X_1} = 0; \quad Q_{Z_1} = 0;$$

$$M_{X_1} = -M = -2 \text{ kH} \cdot \text{m} \quad - \text{ o'zgarmas miqdor.}$$

Bu moment vertikal sterjenni o'ng tomoniga qavartiradi, shuning uchun eguvchi moment epyurasini o'ng tomoniga quramiz(3.16 –shakl, d).

II – qism (DS gorizont sterjen)

$$0 \leq x_2 \leq 3 \text{ m}$$

$$N_{X_2} = -P = -3 \text{ kN} \quad - \text{ o'zgarmas miqdor};$$

$$Q_{Z_2} = qx_2 = 1,6x_2 \quad - \text{ chiziqli bog'lanish};$$

$$M_{X_2} = -M - q \frac{x_2^2}{2} = -2 - 1,6 \frac{x_2^2}{2}$$

III – qism (AS vertikal sterjen) $0 \leq x_3 \leq 4$ m

$$N_{x_3} = -q \cdot 3 = -1,6 \cdot 3 = 4,8 \text{ kN - o'zgarmas miqdor;}$$

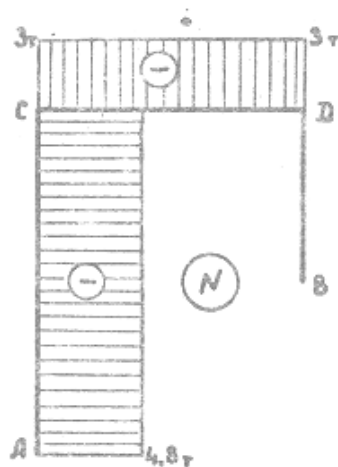
$$Q_{z_3} = -P = -3 \text{ kN - o'zgarmas miqdor;}$$

$$M_{x_2} = -M - q \cdot 3 \cdot 1,5 + P \cdot x_3 - \text{chiziqli bog'lanish.}$$

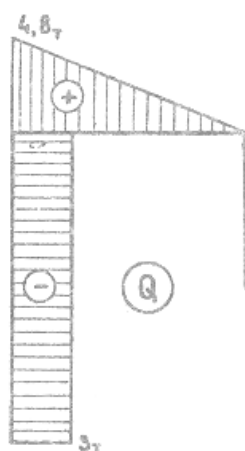
Bundan I, II, III qismlarning ichki kuchlari tenglamalaridagi o'zgaruvchi x_1, x_2, x_3 larning miqdorlarini qo'yib, quyidagi jadvalni to'ldirib, ushbu jadvaldagi qiymatlarga asosan **M, Q, N** epyuralari chiziladi (1.3-shakl).

x (m)	N (kN)	Q (kN)	M (kN·m)
$x_1 = 0$	0	0	-2
$x_1 = 2$	0	0	-2
$x_2 = 0$	-3	0	-2
$x_2 = 1,5$	0	2,4	-3,8
$x_2 = 3$	-3	4,8	-9,2
$x_3 = 0$	-4,8	-3	-9,2
$x_3 = 4$	-4,8	-3	2,8

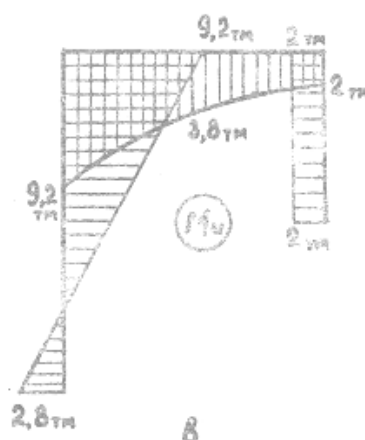
a)



b)



v)



1.3-shakl. Ichki kuchlar epyuralari:

a – bo'ylama kuch; b – ko'ndalang kuch; v – eguvchi moment.

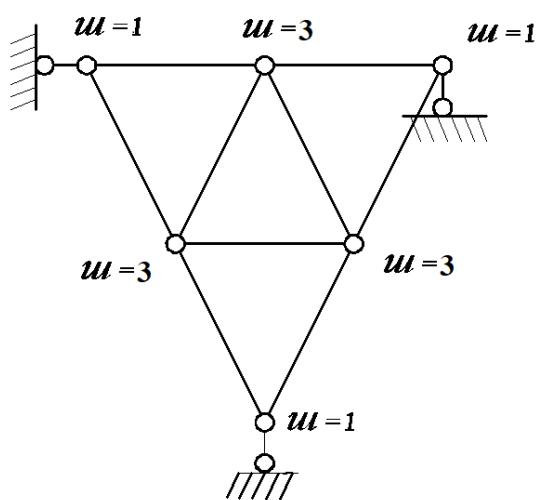
7 – AMALIY MASHG‘ULOT

MAVZU: INSHOOTLAR HISOBLASH SXEMALARINING KINEMATIK ANALIZI

Reja:

1. Inshootlarning erkinlik darajasi aniqlash va ularning statik tahlili.
2. Inshootlar hisoblash tarhlari tuzilishining tahlili.

1-misol. 1.1-rasmda ko‘rsatilgan sterjenli sistemaning erkinlik darajalari soni aniqlansin va geometrik strukturasi analiz qilinsin.



1.1-rasm.

Masalani yechish.

Sistemaning erkinlik darajasi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$W = 3D - 2SH - S_t \quad (1)$$

Formuladagi noma'lumlarni aniqlaymiz

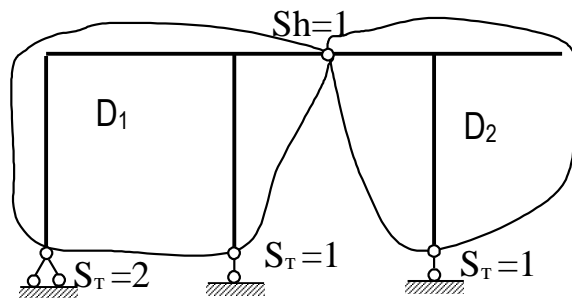
$$D=9; SH=12; C_t = 3.$$

Topilgan qiymatlarni formulaga qo'yamiz.

$$W = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 12 - 3 = 0$$

Xulosa. Demak, sistema statik aniq, ya'ni uni tashkil etuvchi tayanchlar va sterjenlardagi zo'riqishlarni statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlash mumkin. Sistema geometrik o'zgarmas bo'lishi uchun etarli sterjenlar va bog'lanishlarga ega. Sistemada sterjenlar bir to'g'ri chiziqda yotmagan sharnirlar vositasida bog'langanligi uchun geometrik o'zgarmasligi ta'minlangan.

2-Misol. 1.2-rasmda tasvirlangan ramaning erkinlik darajasi aniqlanib, kinematik tahlil qilinsin.



1.2 -rasm

Yechish: 1. Ramaning erkinlik darajasi aniqlash va uning statik tahlili.

1.2-rasmda ko‘rsatilgan ramadagi disklar soni $D=2$, sharnirlar soni $SH=1$, tayanch sterjenlari soni $S_T=4$.

(1) formula yordamida ramaning erkinlik darajasini aniqlaymiz.

$$W = 3D - 2SH - S_T = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 4 = 0$$

Demak, rama geometrik o'zgarmasligining zaruriy sharti bajarildi.

Rama hisoblash tarhi tuzilishining tahlili.

Berilgan rama geometrik o'zgarmasligining etarli sharti bajarilishi uchun, uning geometrik tuzilishi tekshiriladi. D_1 disk asosga uchta tayanch sterjeni yordamida bog'langan. Bu tayanch sterjenlari bir-biriga parallel emas va bir nuqtada kesishmaydi. Inshootlar tuzilishining tahliliga ko'ra D_1 disk asosga geometrik o'zgarmas qilib biriktirilgan. D_1 diskga D_2 disk bitta sharnir va bitta sterjen orqali tutashtirilgan. Bu erda sterjen sharnir markazidan o'tmaydi. Tuzilish tahlilining shartiga ko'ra D_2 disk ham D_1 diskka geometrik o'zgarmas qilib biriktirilgan.

Rama kinematik tuzilishidan maqsad.

Shunday qilib berilgan rama asosga geometrik o'zgarmas biriktirilgan bo'lib, etarli bog'lanishlarga ega ekan.

3-misol. 1.2-rasmda berilgan ramaning erkinlik darajasi aniqlansin va kinematik tahlil qilinsin.

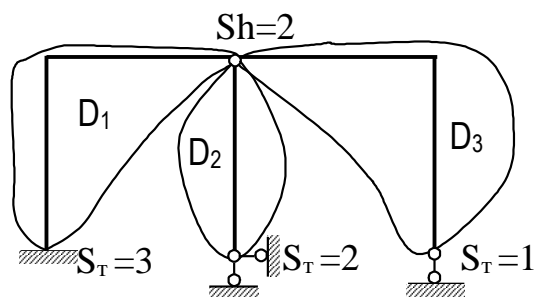
Yechish: 1. Ramaning erkinlik darajasi aniqlash va uning statik tahlili.

1.3-rasmda ko'rsatilgan ramada disklar soni $D=3$, sharnir karrali bo'lib, undagi oddiy sharnirlar soni $SH=D-1=3-1=2$, tayanch sterjenlari soni $S_T=6$. (1) formuladan foydalanib, ramaning erkinlik darajasini aniqlaymiz:

$$W = 3D - 2SH - S_T = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 6 = -1$$

bo'ladi.

Demak, berilgan rama geometrik o'zgarmasligining zaruriy sharti bajarilgan bo'lib, u statik noaniqdir. Ramaning statik noaniqlik darajasi birga teng.



1.3-rasm

Rama hisoblash tarhi tuzilishining tahlili

Endi berilgan rama geometrik o'zgarmasligi bajarilishining etarli shartini tekshiramiz. Buning uchun sistemaning geometrik tuzilishini tahlil etamiz. D_1 disk asosga qo'zg'almas biki tayanch orqali mahkamlanganligi sababli geometrik o'zgarmasdir. D_1 diskka D_3 disk bitta sharnir va bitta sterjen yordamida tutashtirilgan.

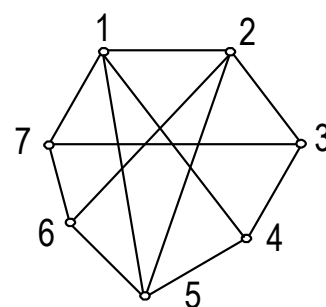
Bu erda sterjen sharnir markazidan o‘tmaganligi sababli, biriktirilish geometrik o‘zgaras hisoblanadi. D_1 diskka D_2 disk bitta sharnir va asosga ikkita sterjen orqali bog‘langandir. Bu erda gorizonta tayanch sterjeni sharnir markazidan o‘tmaganligi sababli u ham sistemaning geometrik o‘zgarasligini taminlaydi. Vertikal tayanch sterjeni esa ortiqcha hisoblanadi.

Shunday qilib, berilgan rama geometrik o‘zgaras bo‘lib, bitta ortiqcha bog‘lanishga ega ekan.

4 - misol. 1.4-rasmda tasvirlangan sharnirlar va sterjenlardan tashkil topgan sistema (ferma) ning erkinlik darajasi aniqlanib, kinematik tahlil qilinsin.

Yechish: 1. Sistemaning erkinlik darajasi aniqlash va uning statik tahlili.

1.4-rasmda sharnirlar va sterjenlardan tashkil topgan sistema (ferma) berilgan. Bu sistemaning sterjenlari soni $S=12$, sharnirli tugunlari soni $T=7$. Rasmdan ko‘rinib turibdiki berilgan sistema tayanch bog‘lanishlariga ega emas. SHu sababli bu sistemaning o‘zgaruvchanligini quyidagi formula yordamida hisoblaymiz:



1.4-rasm

$$U = 2T - S - 3 = 2 \cdot 7 - 12 - 3 = -1.$$

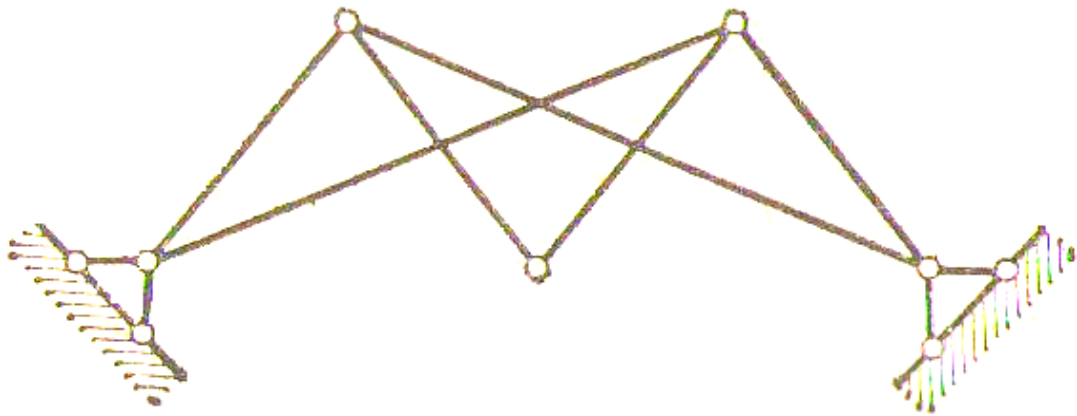
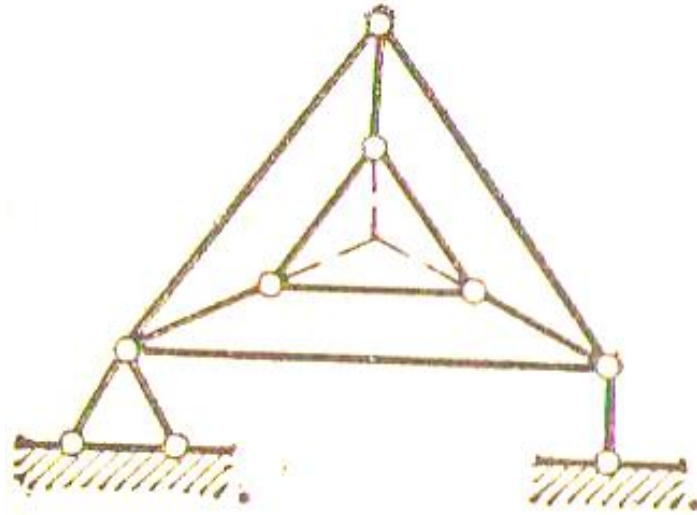
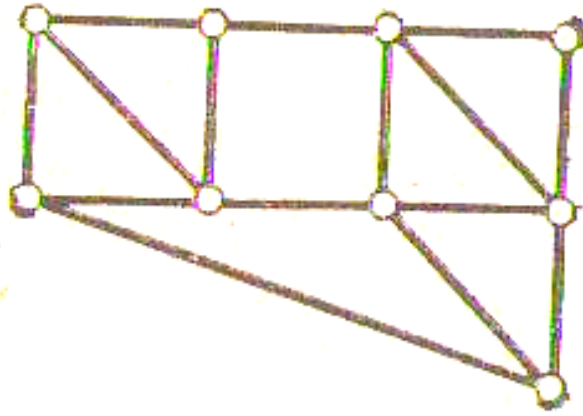
Demak, berilgan sistema geometrik o‘zgaras va bir marta statik noaniq.

Sistema hisoblash tarhi tuzilishining tahlili.

Sistemaning geometrik tuzilishini tahlil qilamiz. Sistemadagi 1-4-5 va 2-6-5 uchburchaklarni tashkil qilgan sterjenlar geometrik o‘zgarasdir. Ularni disk deb qarasak, bu disklar o‘zaro bitta sharnir va bitta (1-2) sterjen orqali tutashtirilgan. Bu erda sterjen sharnir markazidan o‘tmaganligi sababli geometrik o‘zgaras sistemani hosil qiladi. Hosil qilingan geometrik o‘zgaras sistemaga 3 va 7 sharnirlar orqali ikkitadan (3-2, 3-4) va (7-1, 7-6) sterjenlar o‘zaro tutashtirilganligi sababli, sistemaning geometrik o‘zgarasligi ta‘minlanadi. Bu geometrik o‘zgaras sistemaning 3 va 7 sharnirlarini birlashtiruvchi sterjen ortiqcha hisoblanadi.

Talabalar mustaqil ishlashi uchun topshiriqlar

Shart. Shaklda ko‘rsatilgan sterjenli sistemaning erkinlik darajalari soni aniqlansin va geometrik strukturasi analiz qilinsin.



8 – AMALIY MASHG‘ULOTLAR

MAVZU: KO‘P ORALIQLI STATIK ANIQ BALKALARNI QO‘ZG‘ALMAS YUKLAR TA‘SIRIGA HISOBLASH

Reja:

1. Ko‘p oraliqli statik aniq balkani kinematik tahlil qilish.
2. Ko‘p oraliqli balkaning qavatli tarhi tuzish.
3. Balka sterjenlari kesimlaridagi ichki zo‘riqishlarni aniqlash va ularni tekshirish.

Ko‘zg‘almas tashqi yuklar ta‘sirida bo‘lgan ko‘p oraliqli sharnirli balkalarni hisoblashni quyidagi misolda ko‘ramiz.

Misol. 3.1-rasm, a da tasvirlangan qo‘zg‘almas tashqi yuklar ta‘siridagi ko‘p oraliqli sharnirli balka uchun eguvchi moment va ko‘ndalang kuch epyuralari analitik usuda chizilsing.

Yechish:

1. Ko‘p oraliqli statik aniq balkani kinematik tahlil qilish.

Berilgan balkani kinematik tahlil qilish uchun, avvalo quyidagi formula yordamida balkadagi sharnirlar sonini aniqlaymiz:

$$SH = S_T - 3 = 6 - 3 = 3.$$

Ko‘p oraliqli balkada 3 ta sharnir mavjud bo‘lib, ular sharnirlarni joylashtirish qoidasiga muvofiq joylashtirilgan. Demak, ko‘p oraliqli sharnirli balka geometrik o‘zgaras bo‘lib, statik aniq ekan.

2. Ko‘p oraliqli balkaning qavatli tarhi tuzish.

Balka elementlarining o‘zaro bog‘lanishi qavatlar tarhi 4.1-rasm, b da ko‘rsatilgan bo‘lib, unda asosiy, yordamchi va osma balkalar belgilab ko‘rsatilgan.

3. Balka sterjenlari kesimlaridagi ichki zo‘riqishlarni aniqlash va ularni tekshirish.

1) *Yuqorida ko‘rsatib o‘tganimizdek hisoblash osma SH_1SH_2 balkadan boshlanadi.* Avvalo balkaning tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz (3.1-rasm, b).

$$\sum M_{III1} = -R_{III2} \cdot 4 + q \cdot 4 \cdot 2 = 0, \quad \text{bundan} \quad R_{III2} = 4 \text{ kN}.$$

$$\sum M_{III2} = R_{III1} \cdot 4 - q \cdot 4 \cdot 2 = 0, \quad \text{bundan} \quad R_{III1} = 4 \text{ kN}.$$

$$\text{Tekshirish: } \sum Y = R_{III1} + R_{III2} - q \cdot 4 = 4 + 4 - 2 \cdot 4 = 0.$$

Demak, tayanch reaksiyalar to‘g‘ri topilgan. Oddiy kesimlar usulidan foydalanib, M_x , Q_x zo‘riqishlar uchun tenglamalarni tuzamiz (3.1-rasm, v):

$$M_{x_1} = R_{III1} \cdot x_1 - q \frac{x_1^2}{2} = 4 \cdot x_1 - x_1^2; \quad Q_{x_1} = R_{III1} - q \cdot x_1 = 4 - 2 \cdot x_1,$$

$$0 \leq x_1 \leq 4 \text{ m} \quad \text{oraliqda o‘zgaradi}$$

Agar $x_1 = 0$ bo‘lsa, $M_{x_1} = 0$; $Q_{x_1} = 4 \text{ kN}$;

$$x_1 = 2 \text{ m. bo‘lsa, } M_{x_1} = 4 \text{ kNm}; \quad Q_{x_1} = 0;$$

$$x_1 = 4 \text{ m. bo‘lsa, } M_{x_1} = 0; \quad Q_{x_1} = -4 \text{ kN};$$

Bu topilgan ordinatalar asosida M_X va Q_X epyuralari chiziladi. Eguvchi moment epyura parabola qonuni bilan o'zgaradi (4.1-rasm, v).

2) **Yordamchi SH₃E balkani hisoblash.** Balkaning tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

$$\sum M_{III3} = -R_E \cdot 5 + P_2 \cdot 7 + q \cdot 5 \cdot \frac{5}{2} = 0, \quad \text{bundan} \quad R_E = \frac{35 + 12.5}{5} = 9.5 \text{ kN}.$$

$$\sum M_E = R_{III3} \cdot 5 - q \cdot 5 \cdot \frac{5}{2} + P_2 \cdot 2 = 0, \quad \text{bundan} \quad R_{III3} = \frac{12.5 - 10}{5} = 0.5 \text{ kN}.$$

$$\text{Tekshirish: } \sum Y = R_{III3} + R_E - q \cdot 5 - P_2 = 0.5 + 9.5 - 1 \cdot 5 - 5 = 0.$$

Balkani oraliqlarga bo'lib, M_x va Q_x uchun tenglamalar tuzamiz (4.1-rasm, g).

Birinchi oraliq $0 \leq x_1 \leq 5 \text{ m}$:

$$M_{x_1} = R_{III3} \cdot x_1 - q \cdot \frac{x_1^2}{2} = 0.5 \cdot x_1 - \frac{x_1^2}{2}; \quad Q_{x_1} = R_{III3} - q \cdot x_1 = 0.5 - x_1.$$

Agar $x_1 = 0$ bo'lsa, $M_{x_1} = 0$; $Q_{x_1} = 0.5 \text{ kN}$;

$x_1 = 5 \text{ m}$. bo'lsa, $M_{x_1} = -10 \text{ kNm}$; $Q_{x_1} = -4.5 \text{ kN}$.

Eguvchi moment tenglamasi ikkinchi tartibli bo'lganligi sababli, uning epyurasi parabola qonuni bilan o'zgaradi. Maksimal eguvchi momentning qiymatini aniqlash uchun eguvchi moment tenglamasidan x bo'yicha bir marta hosila olamiz va uni, yoki ko'ndalang

kuch tenglamasini nolga tenglaymiz, chunki Juravskiy teoremasiga binoan $Q_{x_1} = \frac{dM_x}{dx}$.

$$Q_{x_1} = 0.5 - x_1 = 0, \quad \text{bundan} \quad x_1 = 0.5 \text{ m}.$$

Demak, maksimal eguvchi momentning qiymati balkaning chap tayanchidan 0.5 m masofadagi kesimda hosil bo'ladi va uning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$M_{\max} = 0.5 \cdot 0.5 - \frac{0.5^2}{2} = 0.25 - 0.125 = 0.125 \text{ kNm}.$$

Ikkinchi oraliq $0 \leq x_2 \leq 2 \text{ m}$:

$$M_{x_2} = -P_2 \cdot x_2 = -5 \cdot x_2; \quad Q_{x_2} = P_2 = 5 \text{ kH}.$$

Agar $x_2 = 0$ bo'lsa, $M_{x_2} = 0$; $x_2 = 2 \text{ m}$ bo'lsa, $M_{x_2} = -10 \text{ kNm}$.

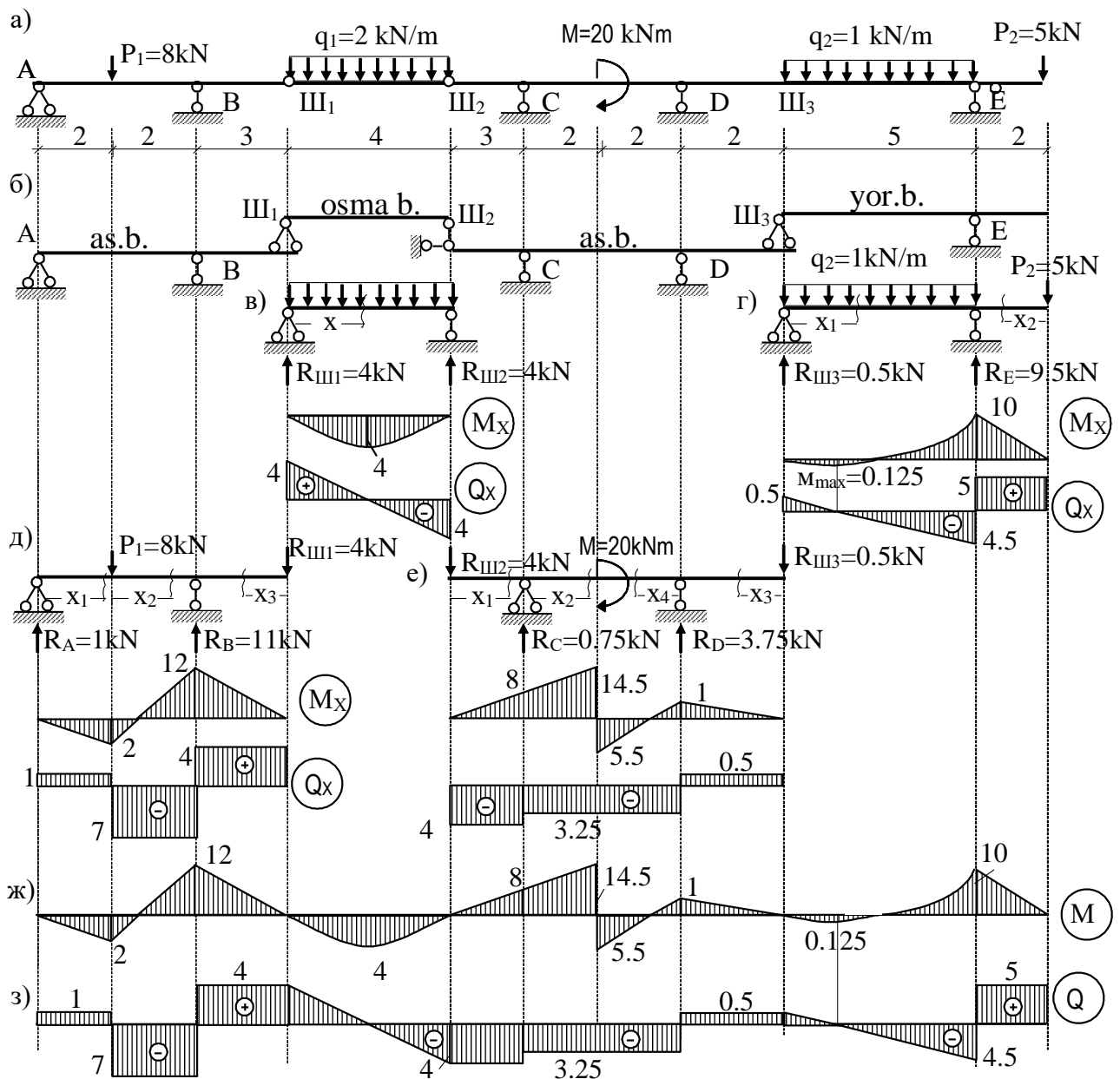
Topilgan qiymatlar asosida M_X va Q_X epyuralarini chizamiz (4.1-rasm, g).

3) **Asosiy ABSH₁ balkani hisoblash.** Bu balka SH₁ sharniriga tayangan SH₁SH₂ osma balkaning ta'sirini R_{SH₁} reaksiya (teskari yo'naltirib) orqali almashtirib, R_A va R_B tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz va M_X va Q_X epyuralarini chizamiz (4.1-rasm, d).

$$\sum M_A = P_1 \cdot 2 + R_{III1} \cdot 7 - R_B \cdot 4 = 0, \quad \text{bundan} \quad R_B = \frac{16 + 28}{4} = 11 \text{ kN}.$$

$$\sum M_B = R_A \cdot 4 - P_1 \cdot 2 + R_{III1} \cdot 3 = 0, \quad \text{bundan} \quad R_A = \frac{16 - 12}{4} = 1 \text{ kN}.$$

$$\text{Tekshirish: } \sum Y = R_A + R_B - P_1 - R_{III1} = 1 + 11 - 8 - 4 = 0.$$



4.1-rasm

Birinchi oraliq ($0 \leq x_1 \leq 2m$) uchun M_X va Q_X uchun tenglamalarini tuzib, ularning ordinatalarini aniqlaymiz:

$$M_{x_1} = R_A \cdot x_1 = 1 \cdot x_1; \quad Q_{x_1} = R_A = 1 \kappa H.$$

Agar $x_1 = 0$ bo'lsa, $M_{x_1} = 0$; $x_1 = 2m$ bo'lsa, $M_{x_1} = 2 \text{ kNm}$.

Ikkinchi oraliq ($0 \leq x_2 \leq 2m$):

$$M_{x_2} = R_A(2 + x_2) - P_1 \cdot x_2 = 2 + x_2 - 8x_2 = 2 - 7x_2.$$

$$Q_{x_2} = R_A - P_1 = 1 - 8 = -7 \kappa H$$

Agar $x_2 = 0$ bo'lsa, $M_{x_2} = 2 \text{ kNm}$; $x_2 = 2m$ bo'lsa, $M_{x_2} = -12 \text{ kNm}$.

Uchinchi oraliq ($0 \leq x_3 \leq 3m$):

$$M_{x_3} = -R_{III1} \cdot x_3 = -4 \cdot x_3; \quad Q_{x_3} = R_{III1} = 4 \kappa H.$$

Agar $x_3 = 0$ bo'lsa, $M_{x_3} = 0$; $x_3 = 3$ m bo'lsa, $M_{x_3} = -12$ kNm.

Topilgan qiymatlar asosida M_x va Q_x epyuralari chiziladi (4.1-rasm, d).

4) Asosiy SH_2CDSH_3 balkani hisoblash. Balka SH_2 sharniriga tayangan SH_1SH_2 osma balkaning ta'sirini R_{SH_2} reaksiya (teskari yo'naltirib) orqali va SH_3 sharniriga tayangan SH_3E yordamchi balkaning ta'sirini R_{SH_3} reaksiya (teskari yo'naltirib) orqali almashtirib, avvalo R_D va R_C tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

$$\sum M_C = R_D \cdot 4 + R_{III3} \cdot 6 + M - R_{III2} \cdot 2 = 0, \quad bundan \quad R_D = \frac{3 + 20 - 8}{4} = 3.75 \text{ kN}.$$

$$\sum M_D = R_C \cdot 4 - R_{III2} \cdot 6 + M + R_{III3} \cdot 2 = 0, \quad bundan \quad R_C = \frac{24 - 20 - 1}{4} = 0.75 \text{ kN}.$$

$$\text{Tekshirish: } \sum Y = R_C + R_D - R_{III2} - R_{III3} = 0.75 + 3.75 - 4 - 0.5 = 0.$$

Balkani oraliqlarga bo'lib, M_x va Q_x uchun tenglamalar tuzamiz (4.1-rasm, e). Birinchi oraliq ($0 \leq x_1 \leq 2$ m):

$$M_{x_1} = -R_{III2} \cdot x_1 = -4 \cdot x_1;$$

$$Q_{x_1} = R_{III2} = -4 \text{ kH}.$$

Agar $x_1 = 0$ bo'lsa, $M_{x_1} = 0$; $x_1 = 2$ m bo'lsa, $M_{x_1} = -8$ kNm.

Ikkinchi oraliq ($0 \leq x_2 \leq 2$ m):

$$M_{x_2} = -R_{III2}(2 + x_2) + R_C \cdot x_2 = -8 - 4x_2 + 0.75x_2 = -8 - 3.25x_2.$$

$$Q_{x_2} = -R_{III2} + R_C = -4 + 0.75 = -3.25 \text{ kH}$$

Agar $x_2 = 0$ bo'lsa, $M_{x_2} = -8$ kNm; $x_2 = 2$ m bo'lsa, $M_{x_2} = -14.5$ kNm.

Uchinchi oraliq ($0 \leq x_3 \leq 2$ m):

$$M_{x_3} = -R_{III3} \cdot x_3 = -0.5 \cdot x_3; \quad Q_{x_3} = R_{III3} = 0.5 \text{ kH}.$$

Agar $x_3 = 0$ bo'lsa, $M_{x_3} = 0$; $x_3 = 2$ m bo'lsa, $M_{x_3} = -1$ kNm.

To'rtinchi oraliq ($0 \leq x_4 \leq 2$ m):

$$M_{x_4} = -R_{III3}(2 + x_4) + R_D \cdot x_4 = -1 - 0.5x_4 + 3.75x_4 = -1 - 3.25x_4.$$

$$Q_{x_4} = R_{III3} - R_D = 0.5 - 3.75 = -3.25 \text{ kH}$$

Agar $x_4 = 0$ bo'lsa, $M_{x_4} = -1$ kNm; $x_4 = 2$ m bo'lsa, $M_{x_4} = 5.5$ kNm.

M_x va Q_x epyuralari 4.10-rasm, e da ko'rsatilgan.

5) Osma, yordamchi va asosiy balkalar uchun chizilgan M_x va Q_x epyuralarni bir koordinatalar sistemasiga keltirib, ko'p oraliqli balkaning eguvchi moment (M) va ko'ndalang kuch (Q) epyuralarini quramiz. Bu epyuralar 4.1-rasm, j va z da ko'rsatilgan.

MAVZU: TA'SIR CHIZIQLARI YORDAMIDA ZO'RIQISHLARNI ANIQLASH.

Reja:

1. Oddiy balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chizig'ini chizish.
2. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimida ko'ndalang kuch Q ta'sir chizig'ini chizish.
3. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimida eguvchi moment M ta'sir chizig'ini chizish.
4. Konsol balka tayanch reaksiyalarini va ichki zo'riqishlarining ta'sir chiziqlarini statik usulda chizish.

1. Oddiy balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chizig'ini chizish

R_A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizish. Buning uchun balka ustida harakatlanuvchi birlik yukni ($\bar{P}=1$) chap tayanchdan x masofada joylashtiramiz va statika muvozanat tenglamasini tuzamiz (5.1-rasm, a):

$$\sum M_B = 0; \quad R_A \cdot 10 - \bar{P}(10-x) = 0, \quad 0 \leq x \leq 10 \text{ m} \quad (5.1)$$

$$R_A = \bar{P} \frac{10-x}{10} = \frac{10-x}{10}$$

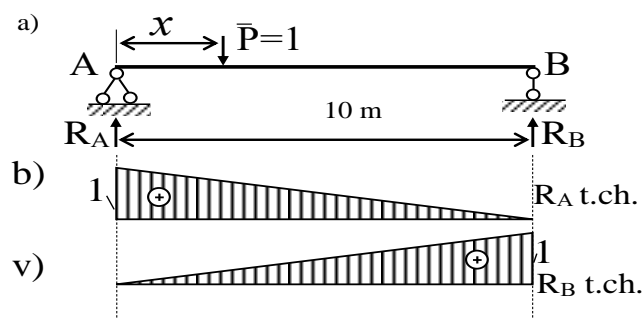
Bu ifoda R_A tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'i tenglamasi deyiladi. Demak, birlik kuch ($\bar{P}=1$) balka bo'ylab harakatlansa, R_A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i to'g'ri chiziq qonuni bo'yicha o'zgarar ekan.

Tayanch reaksiyasi R_A ning ta'sir chizig'ini chizish uchun (5.1) tenglamadagi o'zgaruvchi x ga $0 \leq x \leq 10 \text{ m}$ oraliqda qiymatlar beramiz.

$$x = 0 \text{ bo'lsa } R_A = 1;$$

$$x = 10 \text{ m bo'lsa } R_A = 0 \text{ bo'ladi.}$$

Bu qiymatlarga asosan R_A ning ta'sir chizig'ini ifodalovchi grafikni chizamiz (5.1-rasm, b). Uni qisqacha (R_A t.ch.) deb belgilaymiz.



5.1-rasm

R_B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizish. Buning uchun balka ustida

harakatlanuvchi birlik yukni ($\bar{P}=1$) chap tayanchdan x masofada joylashtiramiz va statika muvozanat tenglamasini tuzamiz (5.1-rasm, a).

$$\sum M_A = 0; \quad R_B \cdot 10 - \bar{P} \cdot x = 0, \quad 0 \leq x \leq 10 \text{ m} \quad (5.2)$$

$$R_B = \bar{P} \frac{x}{10} = \frac{x}{10}$$

Bu tenglik R_B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i tenglamasidir, bunda $0 \leq x \leq 10 \text{ m}$, bo'lib $x = 0$ bo'lsa $R_B = 0$; $x = 10 \text{ m}$ bo'lsa $R_B = 1$ bo'ladi (5.1-rasm, v).

(5.1) va (5.2) ifodalarga ko'ra, R_A va R_B tayanch reaksiyalari ta'sir chiziqlarining ordinatalari musbat ishorali bo'lib, o'lchamsiz miqdorlardan iboratdir.

Demak, qurilgan har bir ta'sir chiziq faqat ta'sir chizig'i qurilgan zo'riqishning $\bar{P} = 1$ kuchning holatiga qarab o'zgarishini ifodalovchi grafik-dir. Masalan, R_A ta'sir chizig'i faqat R_A tayanch reaksiyasini $\bar{P} = 1$ kuchning holatiga qarab o'zgarishini ko'rsatadi. Bu erdan harakatdagi tashqi yukning qanday holatida R_A tayanch reaksiyasi maksimal qiymatga ega bo'lishini aniqlash mumkin.

2. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimida ko'ndalang kuch Q ta'sir chizig'ini chizish

Balkaning berilgan ixtiyoriy C kesimidagi kesuvchi kuch Q_C ning ta'sir chizig'ini chizish uchun $R=1$ kuchning ikki holatini tekshirish kerak (5.2-rasm, a).

1-holat. Birlik kuch ($R=1$) C kesimdan chap tomonda harakat qiladi, ya'ni $0 \leq x \leq 4M$. Balka o'ng tomonining muvozanatini ko'rib, Q_C ni aniqlaymiz:

$$\sum Y = 0, \quad Q_C^{uan} = -R_B = -\frac{x}{10}, \quad (5.3)$$

Agar $x = 0$ bo'lsa $Q_C^{uan} = 0$; $x = 4M$ bo'lsa $Q_C^{uan} = -\frac{4}{10} = -0,4$ bo'ladi.

Demak, Q_C^{uan} chiziq ordinatalari balkaning B tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ining teskari ishora bilan olingan chap tayanchdan C kesimgacha bo'lgan ordinatalar qiymatiga teng bo'lar ekan.

2-holat. Birlik kuch C kesimdan o'ng tomonda harakat qilsin. Unda $4 \leq x \leq 10M$, (5.2-rasm, b). Balka chap qismining muvozanatini tekshiramiz:

$$\sum Y = 0, \quad Q_C^{yhz} = R_A = \frac{10-x}{10} \quad (5.4)$$

Agar $x = 4M$ bo'lsa $Q_C^{yhz} = \frac{10-4}{10} = \frac{6}{10} = 0,6$; $x = 10M$ bo'lsa $Q_C^{yhz} = 0$ bo'ladi

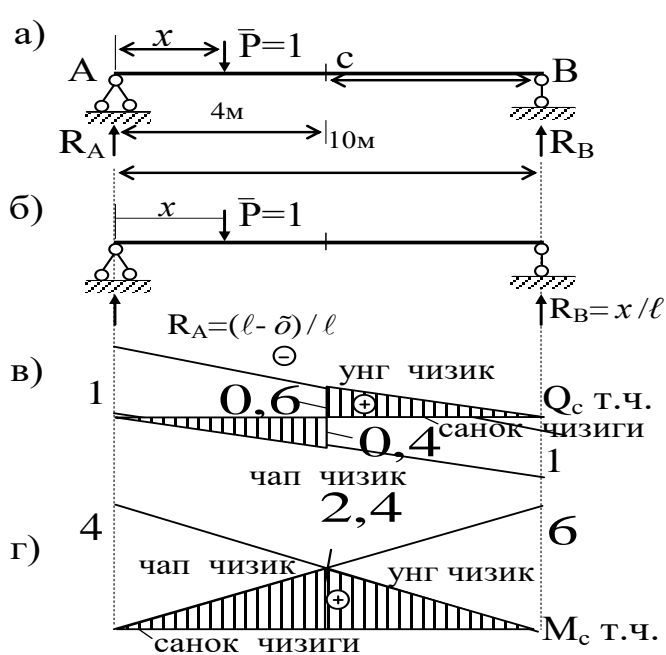
Q_C^{yhz} chiziq ordinatalari esa A tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ining C kesimdan balkaning oxirigacha bo'lgan qismiga mos tushadi.

(5.3) va (5.4) ga asosan: Q_C^{uan} va

Q_C^{yhz} chiziqlarni chizamiz. Q_C^{uan} va Q_C^{yhz} chiziqlar bir-biriga parallel bo'ladi. Chap chiziq balkaning chap tayanchidan C kesimgacha, o'ng chiziq esa C kesimdan o'ng R_A tayanchgacha Q_C ning o'zgarishini ifodalaydi. (5.2-rasm, v dagi shtrix chiziq).

Balkaning zo'riqishlari nol bo'lgan o'qiga sanoq chizig'i deyiladi.

Shunday qilib, balkaning ixtiyoriy



5.2-расм

S kesimidagi ko'ndalang kuch Q_C ta'sir chizig'ini chizish uchun sanoq chizig'iga chap tayanch ostida birlik musbat ordinatani o'lchab qo'yib, uni o'ng tayanch sanoq chizig'ining nol nuqtasi bilan tutashtiramiz, so'ngra sanoq chizig'iga o'ng tayanch ostiga birlik manfiy ordinatani o'lchab qo'yib, uni chap tayanch ostidagi nol nuqtasi bilan tutashtiramiz. Natijada bir-biriga parallel bo'lgan chap va o'ng to'g'ri chiziqlarni hosil qilamiz. Chap to'g'ri chiziq chap tayanchdan C kesimgacha, o'ng to'g'ri chiziq esa C kesimdan o'ng tayanchgacha bo'lgan oraliqlarda Q_C ning o'zgarishini ifodalaydi (5.2-rasm, v).

Ko'ndalang kuchning ta'sir chiziqlari tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari kabi o'lchamsiz bo'ladi.

3. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimida eguvchi moment M ta'sir chizig'ini chizish

Balkaning C kesimida hosil bo'ladigan eguvchi momentning ta'sir chizig'ini chizish uchun ham birlik kuchning ikki holatini tekshiramiz (5.2-rasm, a, b).

1-holat $R=1$ kuch C kesimdan chap tomonda harakatlansin ($0 \leq x \leq 4.M$) deb faraz qilib, M_c^{uan} eguvchi moment tenglamasini balkaning o'ng tomoni muvozanatiga asosan yozamiz: $M_c^{uan} = R_B(10-4) = \frac{x}{\ell} \cdot 6 = \frac{x}{10} \cdot 6 = 0,6x$ (5.5)

Bu tenglama chap chiziq tenglamasi bo'lib, uni chizish uchun sanoq chizig'ida B tayanch ostiga 0,6 ga teng o'zgarimas ordinata qo'yib, A tayanch ostidagi nol ordinata bilan birlashtiramiz.

2-holat. $R=1$ kuch C kesimdan o'ng tomonda ($4 \leq x \leq 10.M$) harakat qiladi deb, M_c^{yhz} ni aniqlaymiz. Balka chap tomonining muvozanatini tekshiramiz:

$$M_c^{yhz} = R_A \cdot 0,4 = \frac{10-x}{10} \cdot 0,4 \quad (5.6)$$

Demak, M_c^{yhz} chiziq, R_A tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'i ordinatalarini o'zgarimas 0,4 ga ko'paytirib chizilganiga to'g'ri keladi. Bu chiziq o'ng chiziq bo'ladi va (5.6) o'ng chiziq tenglamasi deyiladi.

Doimo chap va o'ng chiziqlar kesimdan tushirilgan ordinata chizig'i ustida kesishadi (5.2-rasm, g).

Eguvchi moment ta'sir chizig'ining ordinatalari uzunlik o'lchamida, ya'ni metr (m) da o'lchanadi.

3. Konsol balka tayanch reaksiyolari va ichki zo'riqishlarining ta'sir chiziqlarini statik usulda chizish.

Konsol balkaning vertikal tayanch reaksiyasi R_A ta'sir chizig'ini chizish uchun y o'qiga proyeksiya olamiz.

$$\sum Y = 0, \quad R_A - \bar{P} = 0; \quad R_A = \bar{P} = 1$$

Demak, $\bar{P} = 1$ kuchning har qanday holatida $R_A = 1$ (5.3-rasm, b).

Konsol balka ixtiyoriy C kesimidagi eguvchi moment M_C ta'sir chizig'ini chizish uchun $\bar{P} = 1$ kuch ikki holatini qaraymiz.

1-holat. $\bar{P} = 1$ kesimdan chap tomonda harakatlansin: $5 \leq x \leq 10\text{m}$

$$M_c^{yH2} = 0.$$

2-holat. $\bar{P} = 1$ kesimdan o'ng tomonda harakatlansin: $0 \leq x \leq 5\text{m}$

$$M_c^{yH2} = -\bar{P} \cdot x = -x$$

Demak, konsolning ixtiyoriy C kesimidagi eguvchi moment M_C ta'sir chizig'ini chizish uchun, konsol uchidan C kesimgacha bo'lgan masofani o'lchab, sanoq chizig'ida konsol uchiga manfiy ordinata qilib sanoq qo'yib, uni kesim tagidagi nol nuqtasi bilan birlashtirish kerak. (5.3-rasm, v).

Agarda C kesimni A tayanchda deb qarasaq, u holda M_A tayanch reaksiyaning ta'sir chizig'i hosil bo'ladi (5.3-rasm, g).

Konsol balka ixtiyoriy C kesimidagi ko'ndalang kuch Q_C ta'sir chizig'ini chizish uchun ham $\bar{P} = 1$ kuch ikki holati qaraladi.

1-holat. $\bar{P} = 1$ kuch kesimdan o'ng tomondagi harakatini qaraymiz: $0 \leq x \leq 5\text{m}$

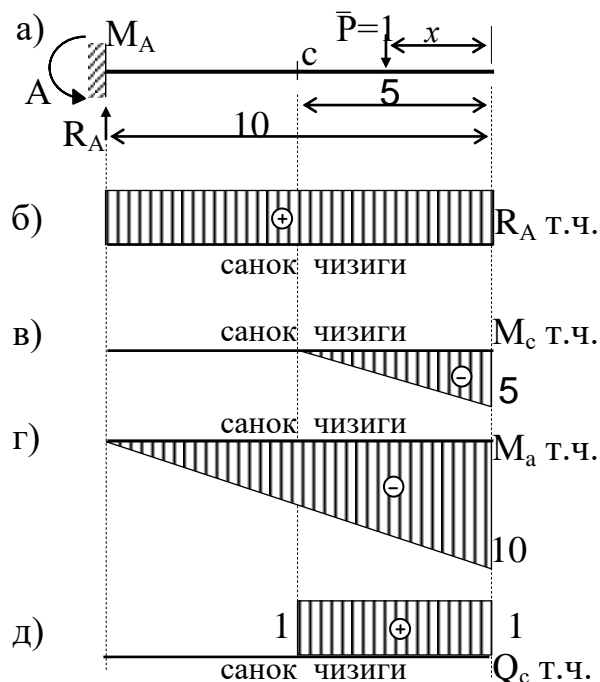
$$Q_c^{yH2} = 1$$

2-holat. $\bar{P} = 1$ kuch kesimdan chap tomonda harakatlansin $5 \leq x \leq 10\text{m}$.

$$Q_c^{yH2} = 0$$

Q_C ning ta'sir chizig'i 5.3-rasm d da ko'rsatilgan

Demak, o'ng konsolli balka ixtiyoriy C kesimidagi ko'ndalang kuch Q_C ning ta'sir chizig'ini chizish uchun konsol uchidan kesimgacha bo'lgan masofaga birlik musbat ordinatani joylashtiramiz.



5.3-расм

MAVZU: KO'P ORALIQLI STATIK ANIQ BALKALARNI HARAKATLANUVCHI YUKLAR TA'SIRIGA HISOBLASH.

Reja:

1. Ko'p oraliqli balka zo'riqish kuchlari ta'sir chizig'ini chizish.
2. Ko'p oraliqli balka zo'riqishlarni ta'sir chiziqlar yordamida aniqlash.

Ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqishlarni aniqlashni quyidagi ko'p oraliqli balka misolida ko'ramiz.

Misol. 7.1- rasm, a da ko'rsatilgan ko'p oraliqli balkaning A va D tayanch reaksiyalari va rasmda ko'rsatilgan k_1 , k_2 va k_3 ko'ndalang kesimlar uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch miqdorlari ta'sir chiziqlar yordamida aniqlansin.

Yechish.

1. Ko'p oraliqli balka zo'riqish kuchlarining ta'sir chizig'ini chizish.

1) Ko'p oraliqli balka elementlarining o'zaro bog'lanishi qavatlar tarhi tuziladi. Balkaning qavatlar tarhi 7.1-rasm, b da ko'rsatilgan.

2) Izlanayotgan zo'riqishlarning ta'sir chizig'i chiziladi. Miqdorlari aniqlanishi lozim bo'lgan zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari 7.1-rasm, v da ko'rsatilgan.

2. Zo'riqishlarni ta'sir chiziqlar yordamida aniqlash.

Qurilgan ta'sir chiziqlari hamda quyidagi (7.1) formula yordamida izlanayotgan zo'riqishlarning miqdorlari ishoralar qoidasiga rioya qilingan holda aniqlanadi.

$$S = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega + \sum_{i=1}^n M_i \cdot tg\alpha_i \quad (7.1)$$

$$R_A = P_1 \cdot y_1 + q_1 \cdot \omega_1 = 8 \cdot 0.5 + 2 \left(-\frac{0.75 \cdot 4}{2} \right) = 4 - 3 = 1 \kappa H$$

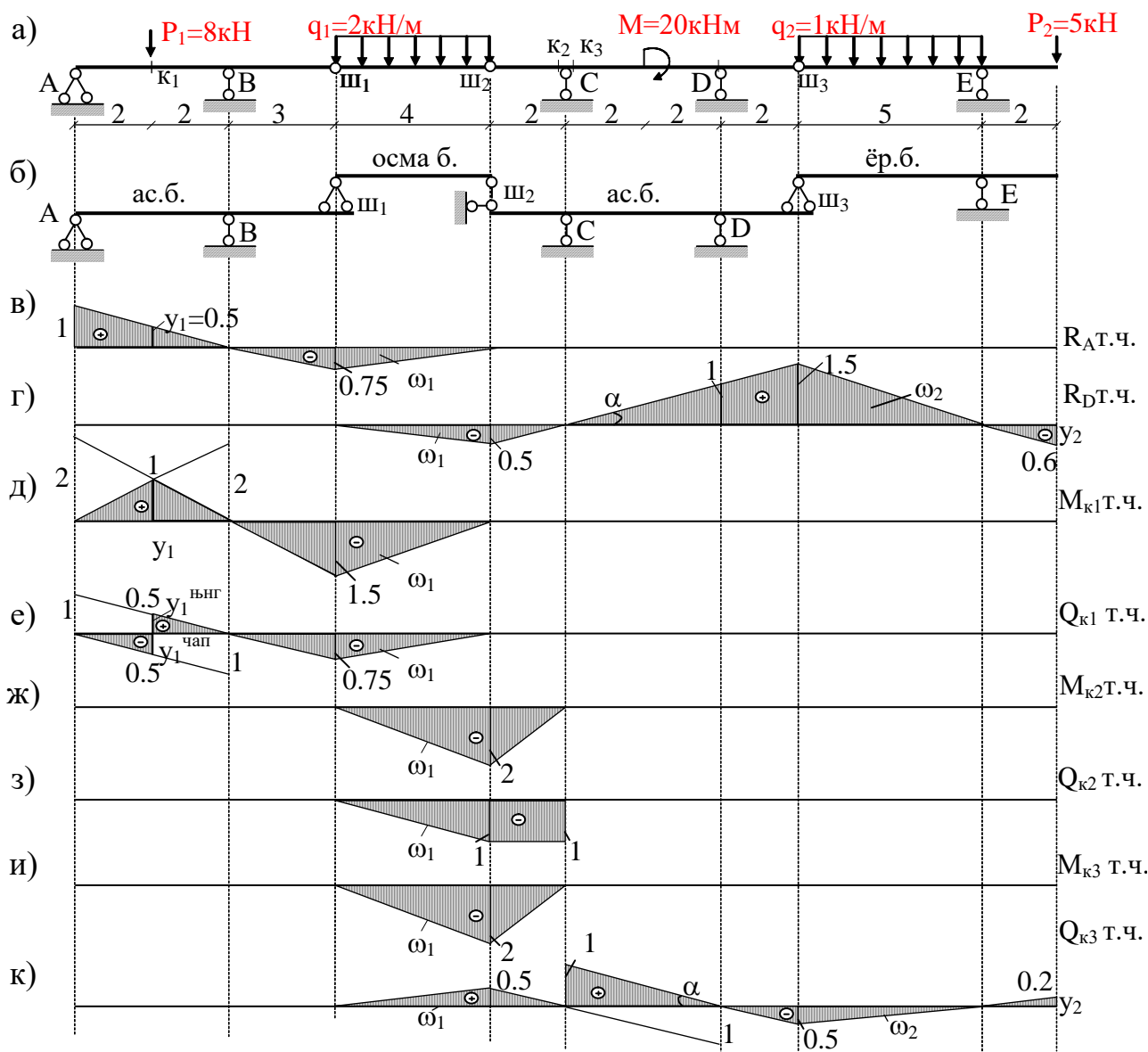
$$R_D = P_2 \cdot y_2 + q_1 \cdot \omega_1 + q_2 \cdot \omega_2 + M \cdot tg\alpha = \\ = 5(-0.6) + 2 \left(-\frac{0.5 \cdot 4}{2} \right) + 1 \left(\frac{1.5 \cdot 5}{2} \right) + 20 \frac{1}{4} = -3 - 2 + 3.75 + 5 = 3.75 \kappa H.$$

$$M_{k_1} = P_1 \cdot y_1 + q_1 \cdot \omega_1 = 8 \cdot 1 + 2 \left(-\frac{1.5 \cdot 4}{2} \right) = 8 - 6 = 2 \kappa Hm.$$

$$Q_{k_1}^{uan} = P_1 \cdot y_1^{uan} + q_1 \cdot \omega_1 = 8 \cdot 0.5 + 2 \left(-\frac{0.75 \cdot 4}{2} \right) = 4 - 3 = 1 \kappa Hm.$$

$$M_{k_2} = q_1 \cdot \omega_1 = 2 \cdot \left(-\frac{2 \cdot 4}{2} \right) = -8 \kappa Hm.$$

$$Q_{k_2} = q_1 \cdot \omega_1 = 2 \cdot \left(-\frac{1 \cdot 4}{2} \right) = -4 \kappa Hm.$$



7.1-расм

Tashqi kuchlar ta'siridan ko'p oraliqli balkada qurilgan M va Q epyuralar yordamida istalgan kesimda hosil bo'lgan zo'riqishlar miqdorini aniqlash mumkin. Ta'sir chizig'i yordamida esa tashqi kuchlar ta'siridan ma'lum kesimdagi bir zo'riqishning qiymati aniqlanadi.

Demak, ko'p oraliqli balkaning biror kesimidagi zo'riqishni aniqlash lozim bo'lsa, uni to'lig'icha analitik hisoblamasdan, shu kesim uchun izlanayotgan zo'riqishning ta'sir chizig'ini chizib, (7.1) formula yordamida zo'riqish miqdorini aniqlash mumkin ekan.

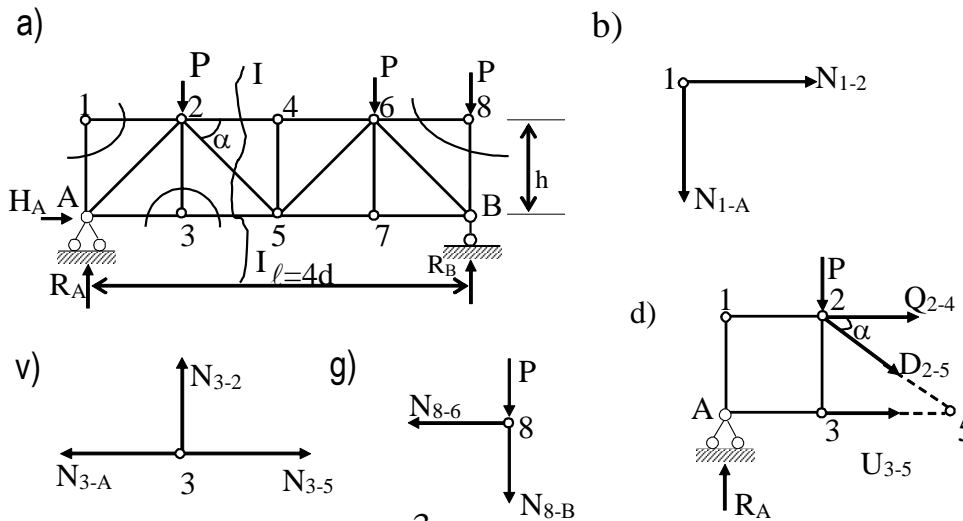
9 – AMALIY MASHG‘ULOT

MAVZU: STATIK ANIQ TEKIS FERMALARNI QO‘ZG‘ALMAS YUKLAR TA‘SIRIGA HISOBLASH.

Reja:

1. Ferma tayanch reaksiyalarini aniqlash.
2. Fermaning nol sterjenlarini aniqlash.
3. Fermaning sterjenlaridagi zo‘riqlarni aniqlash.

Misol. 8.1-rasm, a da berilgan fermaning nol sterjenlari, Q_{2-4} , U_{3-5} va D_{2-5} sterjenlaridagi zo‘riqlar aniqlansin.



7.1-rasm

Echish. 1. Ferma tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

$$\sum X = 0; \quad N_A = 0.$$

$$\sum M_A = 0; \quad P \cdot d + P \cdot 3d + P \cdot 4d - R_B \cdot 4d = 0, \text{ bundan } R_B = \frac{8Pd}{4d} = 2P.$$

$$\sum M_B = 0; \quad R_A \cdot 4d - P \cdot 3d - P \cdot d = 0, \text{ bundan } R_A = \frac{4Pd}{4d} = P.$$

$$\text{Tekshirish: } \sum U = 0; \quad R_A + R_B - 3R = 2P + P - 3R = 0.$$

2. Fermaning nol sterjenlarini aniqlash.

7.1-rasm, a da ko‘rsatilgan fermanan 1-tugunni ajratib, tutashgan sterjenlardagi zo‘riqlarni aniqlaymiz (7.1-rasm, b):

$$\sum X = 0; \quad N_{1-2} = 0; \quad \sum U = 0; \quad N_{1-A} = 0.$$

Fermaning 3-tugunini ajratib, uning uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz (7.1-rasm, v).

$$\sum X = 0; \quad -N_{3-A} + N_{3-5} = 0; \quad \text{bundan} \quad N_{3-5} = N_{3-A} .$$

$$\sum Y = 0; \quad N_{3-2} = 0.$$

Fermaning 8-tugunini qirqib, uning uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz (7.1-rasm, g):

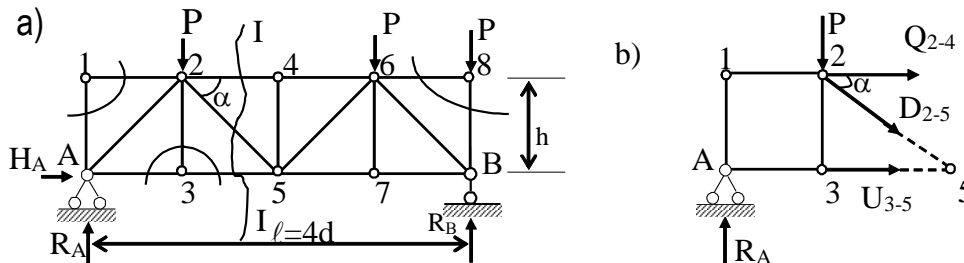
$$\sum X = 0; \quad -N_{8-6} = 0;$$

$$\sum Y = 0; \quad -R - N_{8-V} = 0; \quad N_{8-V} = -R$$

MAVZU: STATIK ANIQ TEKIS FERMALARNI HARAKATLANUVCHI YUKLAR TA'SIRIGA HISOBLASH.

Fermaning Q_{2-4} , U_{3-5} va D_{2-5} sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlash.

Misol. 9.1-rasm, a da berilgan fermaning nol sterjenlari, Q_{2-4} , U_{3-5} va D_{2-5} sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlansin.



9.1-rasm

Izlanayotgan sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlash uchun ularni qirqib o'tuvchi I-I to'liq kesim o'tkazamiz (9.1-rasm, a) va fermaning chap qismini ajratib qaraymiz (9.1-rasm, b). Q_{2-4} zo'riqishni aniqlash uchun 5 nuqtaga nisbatan momentlar tenglamasi tuziladi. Chunki bu nuqtada D_{2-5} va U_{3-5} zo'riqishlarning momentlari nolga teng. 5-nuqta Q_{2-4} sterjenda hosil bo'luvchi zo'riqishni hisoblash uchun moment nuqta deyiladi.

$$\sum M_5^{uan} = 0; \quad R_A \cdot 2d - P \cdot d + Q_{2-4} \cdot h = 0, \quad \text{bundan}$$

$$Q_{2-4} = \frac{Pd - R_A \cdot 2d}{h} = \frac{Pd}{h} \quad \text{bo'ladi.}$$

Shuningdek U_{3-5} zo'riqishini aniqlashda ham moment nuqta usulidan foydalanib, 2 - nuqtaga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_2^{uan} = 0; \quad R_A \cdot d - U_{3-5} \cdot h = 0,$$

bundan
$$U_{3-5} = R_A \frac{d}{h} = \frac{Pd}{h} \quad \text{bo'ladi.}$$

Agar qirqilgan sterjenlardan ikkitasi o'zaro parallel bo'lsa, u holda uchinchi sterjendagi zo'riqish parallel bo'lgan sterjenlarga tik yo'nalgan o'qqa tushirilgan proeksiyalar yig'indisining nolga tengligi shartidan foydalanib aniqlanadi. Masalan, D_{2-5} sterjen zo'riqishini aniqlash uchun $\sum Y = 0$ shartidan foydalaniladi.

$$\sum Y = 0; \quad R_A - P - D_{2-5} \cdot \sin \alpha = 0,$$

bundan
$$D_{2-5} = \frac{R_A - P}{\sin \alpha} \quad \text{bo'ladi.}$$

HARAKATLANUVCHI YUKLAR TA'SIRIDAGI FERMA STERJENLARI ZO'RIQISHLARINING TA'SIR CHIZIQLARINI CHIZISH. TA'SIR CHIZIQLARI YORDAMIDA ZO'RIQISHLARNI ANIQLASH.

1. Fermalarni harakatlanuvchi yuklarga xisoblash to'g'risida tushuncha.

Yassi fermalarni harakatlanuvchi yuklarga xisoblashda ta'sir chiziklar nazariyasidan foydalanib xisoblanadi. Ta'sir chiziklar nazariyasiga binoan fermaga vertikal ta'sir kiluvchi miqdori birga teng bulgan ta'sir kilyapti deb karaladi. Ko'zg'almas tashqi yuklar fermaning sharnirli tugunlariga qo'yiladi deb qaralganligi sababli harakatdagi ko'chma yuk ham fermani sharnirli tugunlariga ketma-ket qo'yib qaraladi. Harakatdagi yuk ta'siridan ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar miqdori o'zgarib boradi. Zo'riqishlarning o'zgarishini tasvirlash uchun ta'sir chiziq-lari quriladi.

Harakatdagi yukning ferma tugunlariga qo'yib qaralishi balkaga yuklarni tugunlar orqali uzatishga aynan o'xshashdir. Shu sababli ferma elementlaridagi zo'riqishlarning ta'sir chiziq-larini chizishda yuklarning tugun orqali asosiy balkaga uzatishdagi ta'sir chiziq-lar chizish qoidalari qo'llaniladi.

Ferma elementlarida ta'sir chizig'ini chizish tartibini quyidagi misolda ko'ramiz.

Misol. 10.1-rasmda tasvirlangan poligonal ferma elementlaridagi zo'riqishlarning ta'sir chizig'ini chizish talab qilinsin. $h = 2\text{ m}$; $d = 1\text{ m}$.

Echish: $R=1$ yuk fermaning pastki belbog'i bo'y-lab harakatlanadi deb karaymiz.

a). Ferma tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziq-larini chizish.

Ferma tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziq-lari oddiy balka tayanch reaksiyalar ta'sir chiziq-lariga aynan o'xshash bo'ladi.

b). Fermaning pastki belbog'i sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish.

Pastki belbog'ning 3-5 elementidagi U_{3-5} zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish uchun fermani I-I kesim bo'y-icha kesib, ko'chma birlik yukning ikki holatini tekshiramiz.

1-holat. Birlik yuk ($R=1$) kesim o'tkazilgan paneldan chap tomonda harakatlanadi, ya'ni $0 \leq x \leq d$.

Fermaning o'ng qismi uchun muvozanat tenglamasini yozib, U_{3-5}^{chap} ni aniqlaymiz.

$$\sum M_6^{\text{o'ng}} = 0; \quad -R_B \cdot 4d + U_{3-5}^{\text{chap}} \cdot h_{5-6} = 0,$$

$$\text{bundan} \quad U_{3-5}^{\text{uan}} = \frac{4d}{h_{5-6}} R_B \quad (a)$$

Demak, U_{3-5}^{chap} ning ta'sir chizig'i R_V tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i kabi bo'lib, R_V ning ordinatalari o'zgar-mas $\frac{4d}{h_{5-6}}$ ga ko'paytirilgan bo'ladi. (a) tenglama U_{3-5}

zo'riqish ta'sir chizig'ining chap chiziq tenglamasi deyiladi va $R=1$ yuk kesimdan chapda harakatlanganida U_{3-5} sterjen zo'riqishining o'zgarishini ifodalaydi.

2-holat. $R=1$ ko'chma yuk kesim o'tkazilgan paneldan o'ng tomonda harakatlanadi ($2d \leq x \leq 6d$). Bu hol uchun ham 6 moment nuqtaga nisbatan fermaning chap qismida yotgan kuchlar momentlarining yig'indisi nolga tengligi shartidan foydalanamiz, ya'ni

$$\sum M_6^{\text{chap}} = 0; \quad R_A \cdot 2d - U_{3-5}^{\text{o'ng}} \cdot h_{5-6} = 0,$$

bundan
$$U_{3-5}^{\text{o'ng}} = \frac{2d}{h_{5-6}} R_A \quad (\text{b})$$

Demak, $R=1$ yuk kesimdan o'ngda harakatlanganida, $U_{3-5}^{\text{o'ng}}$ zo'riqishning ta'sir chizig'i oddiy balka A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i kabi bo'ladi, lekin uning ordinatalari o'zgarimas miqdor $\frac{2d}{h_{5-6}}$ ga ko'paygan bo'ladi. (b) tenglama o'ng chiziq

tenglamasi deyiladi va u $R=1$ yuk kesim o'tkazilgan paneldan o'ng tomonda harakatlanayotganda zo'riqishning o'zgarishini xarakterlaydi. Uning kerakli kismi $2d \leq x \leq 6d$ oraliqda bo'ladi (10.1-rasm, b). $R=1$ yuk kesilgan panelda harakatlanayotganda U_{3-5} zo'riqishning o'zgarish qonunini ifodalovchi uzatish chizig'i 3-5 chap chiziq ustida yotadi. Shunday qilib, U_{3-5} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'i 10.1-rasm, b da tasvirlangandek bo'ladi.

v). Fermaning xovon sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish.

Fermaning xovon D_{3-6} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish uchun fermanni I-I kesim bo'yicha kesib, ko'chma birlik yukning ikki holatini tekshiramiz

1-holat. Ko'chma $R=1$ yuk I-I kesimdan chap tomonda harakatlansin. ($0 \leq x \leq d$)

$$\sum M_k^{\text{o'ng}} = 0; \quad -R_V \cdot (a + \ell) + D_{3-6}^{\text{chap}} \cdot r_1 = 0, \quad D_{3-6}^{\text{yan}} = \frac{a + \ell}{r_1} R_B \quad (\text{v})$$

Bu tenglamaga chap chiziq tenglamasi deyiladi.

2-holat. $R=1$ yuk kesimdan o'ng tomonda harakatlanadi. ($2d \leq x \leq 6d$)

$$\sum M_k^{\text{chap}} = 0; \quad -R_A \cdot a - D_{3-6}^{\text{o'ng}} \cdot r_1 = 0, \quad D_{3-6}^{\text{yhz}} = -\frac{a}{r_1} R_A. \quad (\text{g})$$

Bu tenglamaga o'ng chiziq tenglamasi deyiladi.

Chap chiziq (v) va o'ng chiziq (g) tenglamasi tarkibidagi a va r_1 lar noma'lum bo'lib, ularni aniqlash lozim (10.1-rasm, a). a ni aniqlash uchun quyidagi shartdan foydalanamiz:

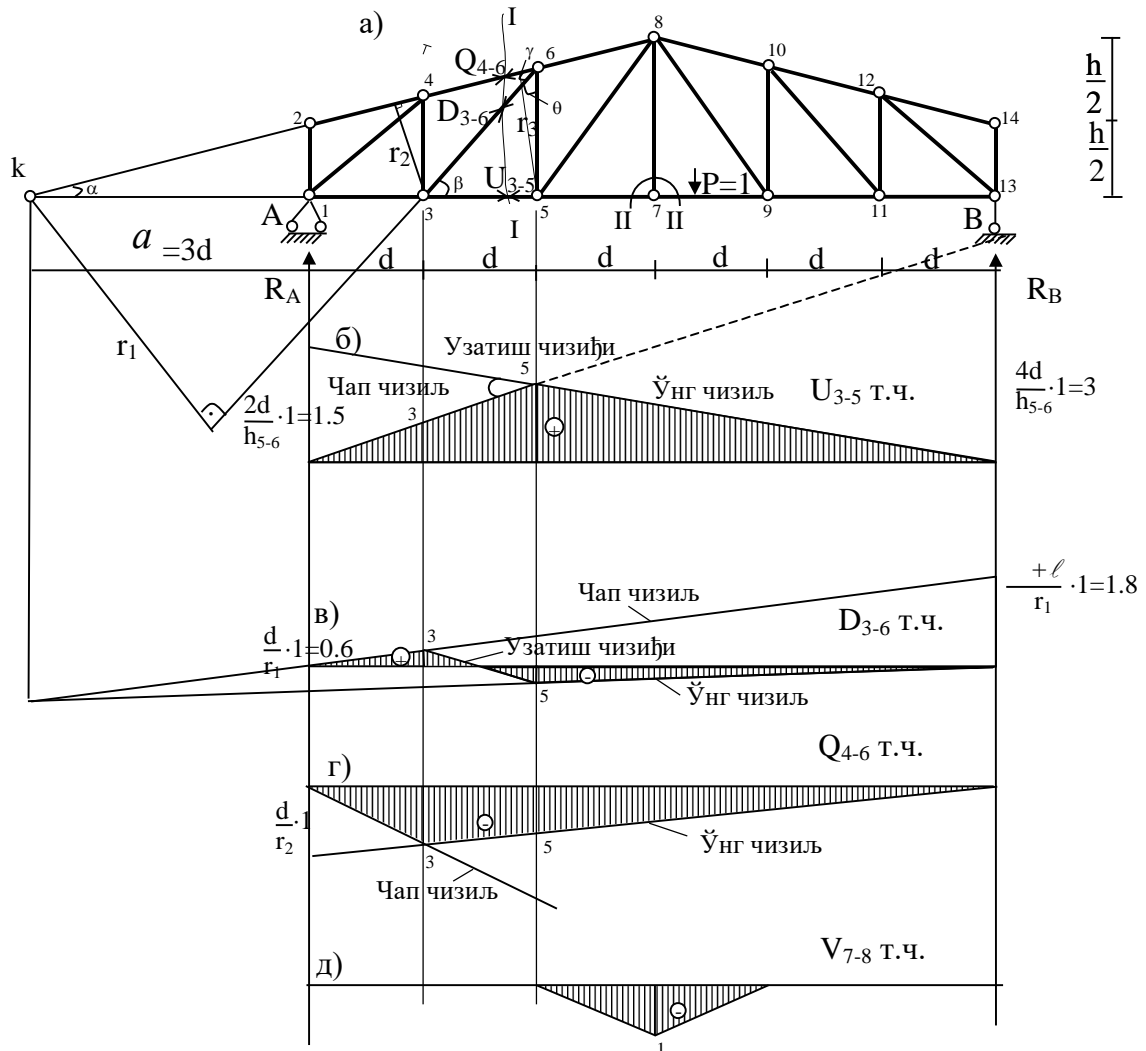
$$\frac{h_{7-8}}{h_{1-2}} = \frac{(3d + a)}{a}; \quad h_{7-8} = h; \quad h_{1-2} = \frac{1}{2} h; \quad ah = \frac{1}{2} h(3d + a);$$

bundan $a = 3d$.

r_1 quyidagi tartibda aniqlanadi:

$$\frac{h_{1-2}}{3d} = \operatorname{tg} \alpha; \quad \frac{h}{6d} = \operatorname{tg} \alpha; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{2M}{6 \cdot 1M} = \frac{1}{3} = 0.3333; \quad \alpha = 18^{\circ} 25'$$

$$\frac{a + 2d}{b_{k-6}} = \cos \alpha; \quad b_{k-6} = \frac{a + 2d}{\cos \alpha} = \frac{5d}{\cos 18^{\circ} 25'} = \frac{5 \cdot 1}{0.947} = 5.32M.$$



10.1-rasm

$$\gamma = 90^{\circ} - \alpha - \theta; \quad \theta = 180^{\circ} - 90^{\circ} - \beta; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{h_{5-6}}{d}; \quad \frac{h_{5-6}}{a + 2d} = \operatorname{tg} \alpha$$

$$h_{5-6} = (a + 2d) \frac{1}{3} = \frac{5d}{3} = 1.6666d; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{1.6666d}{d} = 1.6666. \quad \beta = 59^{\circ}$$

bundan $\theta = 180^{\circ} - 90^{\circ} - 59^{\circ} = 31^{\circ}$

$$\gamma = 90^{\circ} - \alpha - \theta = 90^{\circ} - 18^{\circ} 25' - 31^{\circ} = 40^{\circ} 35'.$$

Demak $\frac{r_1}{b_{k-6}} = \sin \gamma$

$$r_1 = b_{k-6} \cdot \sin \gamma = 5.32M \cdot \sin 40^{\circ}35' = 5.32 \cdot 0.316 = 1.68M$$

Chap va o'ng chiziq tenglamalariga asosan D_{3-6} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'ini quramiz (10.1-rasm, v). $R=1$ yuk kesilgan panelda harakatlanganida ta'sir chizig'i 3-5 uzatish chizig'i orqali ifodalanadi.

g). Fermaning yukori belbog'i sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish.

Fermaning yukori belbog'i Q_{4-6} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish uchun ham fermani I-I kesim bo'yicha kesib, ko'chma birlik yukning ikki holatini tekshiramiz

1-holat. $R=1$ yuk kesimdan chap tomonda $0 \leq x \leq d$ deb, fermaning o'ng qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzib, Q_{4-6}^{chap} ni aniqlaymiz.

$$\sum M_3^{\text{ung}} = 0; \quad -Q_{4-6}^{\text{chap}} \cdot r_2 - R_V \cdot 5 \cdot d = 0, \quad Q_{4-6}^{\text{yan}} = -\frac{5d}{r_2} R_B. \quad (d)$$

Bu tenglamaga chap chiziq tenglamasi deyiladi.

2-holat. $R=1$ yuk kesimdan o'ng tomonda harakatlanadi. ($2d \leq x \leq 6d$) deb, fermaning chap qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$\sum M_3^{\text{chap}} = 0; \quad Q_{4-6}^{\text{o'ng}} \cdot r_2 + R_A \cdot d = 0, \quad Q_{4-6}^{\text{yan}} = -\frac{d}{r_2} R_A. \quad (e)$$

Bu tenglamaga o'ng chiziq tenglamasi deyiladi.

Chap chiziq (d) va o'ng chiziq (e) tenglamalari tarkibidagi r_2 noma'lum quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$\frac{r_2}{a+d} = \sin \alpha = \sin 18^{\circ}25' = 0.316; \quad r_2 = 4d \cdot 0.316 = 1.264M$$

Chap va o'ng chiziq tenglamalariga asosan Q_{4-6} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'ini quramiz. (10.1-rasm, g). Chap va o'ng chiziqlar moment nuqtadan tushirilgan ordinata chizig'i ustida kesishadi.

d). Fermaning ustun sterjeni zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizish.

Fermaning ustun V_{7-8} sterjen zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizishni qaraymiz.

Bunday sterjenlardagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini chizishda tugunlarni kesish usulidan foydalaniladi. Fermaning 7-tugunini kesib, $R=1$ yukning ikki xolatini tekshiramiz.

1-holat. $R=1$ yuk II-II kesimdan tashqarida harakatlansin. Bu holda, $V_{7-8} = 0$ bo'ladi.

2-holat. $R=1$ yuk II-II kesim ichkarisida harakatlanadi, ya'ni 7- tugun ustiga qo'yilgan holni qaraymiz. Bu holda $V_{7-8} = 1$.

Demak, $R=1$ yuk fermaning boshqa tugunlariga qo'yilganda V_{7-8} zo'riqish nolga teng. 7-tugunga qo'yilganda esa $V_{7-8} = 1$ bo'ladi. Hosil bo'lgan V_{7-8} zo'riqishning ta'sir chizig'i 10.1-rasm, d da ko'rsatilgan.

10 – AMALIY MASHG‘ULOT

MAVZU: UCH SHARNIRLI ARKANI QO‘ZG‘ALMAS YUKLAR TA‘SIRIGA HISOBLASH.

Reja:

1. Arkaning tayanch reaksiya kuchlarini aniqlash.
2. Arka kesimlaridagi ichki zo‘riqish kuchlarini aniqlash.

Misol. O‘qi parabola shaklidagi uch sharnirli arkaning k kesimidagi ichki zo‘riqish kuchlari aniqlansin (13.1-rasm).

Yechish: 1. Arkaning tayanch reaksiya kuchlarini aniqlash.

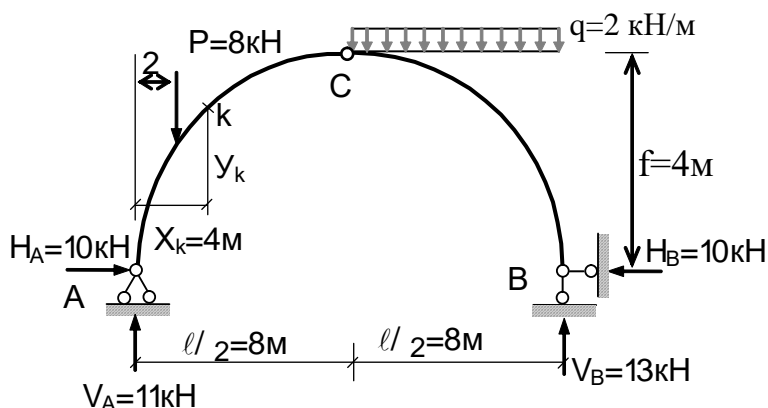
Hisobni arkaning vertikal tayanch reaksiyalarini aniqlashdan boshlaymiz.

$$\sum M_A = -V_B \cdot 16 + q \cdot 8 \cdot 12 + P \cdot 2 = 0,$$

$$\text{bundan } V_B = \frac{192 + 16}{16} = 13 \text{ kH}.$$

$$\sum M_B = V_A \cdot 16 - q \cdot 8 \cdot 4 - P \cdot 14 = 0,$$

$$\text{bundan } V_A = \frac{112 + 64}{16} = 11 \text{ kH}.$$



13.1 - rasmi

Tekshirish:

$$\sum Y = V_A + V_B - P - q \cdot 8 = 13 + 11 - 8 - 16 = 24 - 24 = 0.$$

Horizontall reaksiya kuchini aniqlaymiz.

$$\sum M_C^{\text{chap}} = V_A \cdot 8 - P \cdot 6 - N_A \cdot f = 0,$$

$$\text{bundan } H_A = \frac{88 - 48}{4} = 10 \text{ kH}.$$

Tashqi yuklar vertikal bo‘lganligi uchun $N_A = N_B = N = 10 \text{ kN}$.

2. Arka kesimlaridagi ichki zo‘riqish kuchlarini aniqlash.

Arkaning k ko‘ndalang kesimida hosil bo‘luvchi ichki kuchlarni (12.1), (12.2) va (12.3) formulalar yordamida aniqlaymiz.

Arka o‘qining tenglamasidan foydalanib y_k , $\sin \alpha_k$ va $\cos \alpha_k$ larni topamiz. Arkaning o‘qi parabola ko‘rinishida bo‘lganligidan, parabola tenglamasidan

$$y_k = \frac{4f}{\ell^2} (\ell - x) \cdot x = \frac{4 \cdot 4}{16^2} (16 - 4) \cdot 4 = 3 \text{ m}.$$

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \frac{dy}{dx} = \frac{4f}{\ell^2} (\ell - 2x) = \frac{4 \cdot 4}{16^2} (16 - 2 \cdot 4) = 0.5,$$

bundan

$$\alpha_k = 26^{\circ}36'; \quad \sin \alpha_k = 0,4478; \quad \cos \alpha_k = 0,8942 \quad \text{bo'ladi.}$$

k kesimdagi eguvchi moment.

$$M_k = M_k^0 - N \cdot y_k.$$

bu erda $M_k^0 = V_A \cdot x_k - R(x_k - 2) = 11 \cdot 4 - 8 \cdot 2 = 28 \text{ kNm};$

$$M_k = 28 - 10 \cdot 3 = -2 \text{ kNm.}$$

Ko'ndalang kuch

$$Q_k = Q_k^0 \cdot \cos \alpha_k - N \cdot \sin \alpha_k$$

bu erda $Q_k^0 = V_A - P = 11 - 8 = 3 \text{ kN},$

$$Q_k = 3 \cdot 0,8942 - 10 \cdot 0,4478 = -1,7854 \text{ kN.}$$

Bo'ylama kuch

$$N_k = -(Q_k^0 \cdot \sin \alpha_k + N \cdot \cos \alpha_k) = -(3 \cdot 0,4478 + 10 \cdot 0,8942) = -10,2854 \text{ kN}$$

Misol. 13.2-rasm, a da tasvirlangan uch sharnirli arka uchun eguvchi moment, kesuvchi va bo'ylama kuchlarning epyuralari chizilsin. Arka o'qi parabola tenglamasi bo'yicha o'zgaradi.

Echish: 1. Arkaning tayanch reaksiya kuchlarini aniqlash.

Avvalo arkaning vertikal tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

$$\sum M_B = 0; \quad V_A \cdot 16 - R_1 \cdot 12 - P_2 \cdot 4 = 0,$$

bundan $V_A = \frac{96 + 48}{16} = 9 \text{ kH.}$

$$\sum M_A = 0; \quad -V_B \cdot 16 + R_2 \cdot 12 + P_1 \cdot 4 = 0,$$

bundan $V_B = \frac{144 + 32}{16} = 11 \text{ kH.}$

Tekshirish:

$$\sum Y = 0; \quad V_A + V_B - P_1 - P_2 = 9 + 11 - 8 - 12 = 0.$$

Arkani gorizontal tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz. Arkaga vertikal yuklar ta'sir qilganligi sababli $N_A = N_B = N$ bo'ladi.

$$\sum M_C^{\text{chap}} = 0; \quad -N \cdot f + V_A \cdot 8 - P_1 \cdot 4 = 0,$$

bundan $H = \frac{72 - 32}{4} = 10 \text{ kH.}$

2. Arka kesimlaridagi ichki zo'riqish kuchlarini aniqlash.

Ichki zo'riqish kuchlarining epyuralarini chizish uchun (12.1), (12.2) va (12.3) formulalardan foydalanamiz:

$$\left. \begin{aligned} M_x &= M_x^0 - H \cdot Y_k \\ Q_x &= Q_x^0 \cdot \cos \alpha_x - H \cdot \sin \alpha_x \\ N_x &= -(Q_x^0 \cdot \sin \alpha_x + H \cdot \cos \alpha_x) \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

Arka o'qi $y = \frac{4f}{\ell^2}(\ell - x)x$ parabola tenglamasini qanoatlantirganligi uchun

$$\operatorname{tg} \alpha = y' = \frac{4f}{\ell^2}(\ell - 2x) \text{ bo'ladi.}$$

Bundan $\sin \alpha$ va $\cos \alpha$ larni aniqlash mumkin.

Arkani teng sakkiz qismga bo'lib, (a) formulalarda qatnashuvchi oddiy balkadagi eguvchi moment M_x^0 va ko'ndalang kuch Q_x^0 larning qiymatlarini aniqlaymiz (13.2 – rasm, b).

$$M_A^0 = 0;$$

$$M_1^0 = V_A \cdot 2 = 9 \cdot 2 = 18 \text{ kNm};$$

$$M_2^0 = V_A \cdot 4 = 9 \cdot 4 = 36 \text{ kNm};$$

$$M_3^0 = V_A \cdot 6 - R_1 \cdot 2 = 9 \cdot 6 - 8 \cdot 2 = 38 \text{ kNm};$$

$$M_4^0 = V_A \cdot 8 - R_1 \cdot 4 = 9 \cdot 8 - 8 \cdot 4 = 40 \text{ kNm};$$

$$M_5^0 = V_B \cdot 6 - R_2 \cdot 2 = 11 \cdot 6 - 12 \cdot 2 = 42 \text{ kNm};$$

$$M_6^0 = V_B \cdot 4 = 11 \cdot 4 = 44 \text{ kNm};$$

$$M_7^0 = V_B \cdot 2 = 11 \cdot 2 = 22 \text{ kNm};$$

$$M_P^0 = 0.$$

$$Q_A^0 = Q_1^0 = Q_2^{0 \text{ chap}} = V_A = 9 \text{ kNm};$$

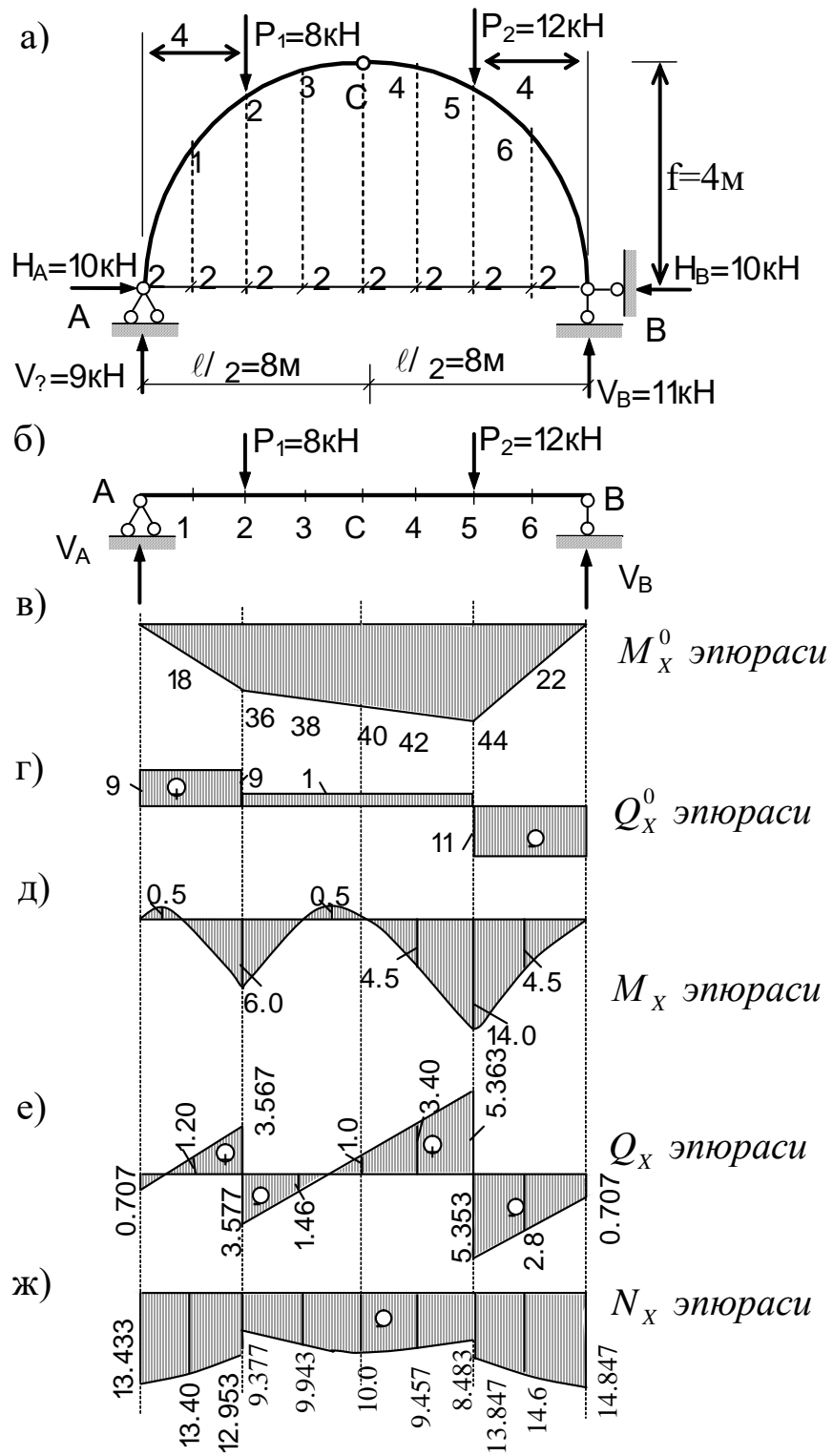
$$Q_2^{0 \text{ o'ng}} = Q_3^0 = Q_4^0 = Q_5^{0 \text{ chap}} = V_A - P_1 = 1 \text{ kNm};$$

$$Q_5^{0 \text{ o'ng}} = Q_6^0 = Q_7^0 = -V_B = -11 \text{ kNm}.$$

Aniqlangan qiymatlar asosida M_x^0 va Q_x^0 epyuralarni quramiz (14.2-rasm, g va d).

Arkaning kesimlaridagi ichki zo'riqishlarni (a) formulalar yordamida 14.1-jadval ko'rinishida hisoblaymiz.

M_x , Q_x va N_x larning jadvaldagi qiymatlari asosida chizilgan epyuralar 14.2-rasm d, e, va j da keltirilgan.



13.2-расм

11-12 – AMALIY MASHG‘ULOTLAR

STATIK NOANIQ RAMALARNI KUCHLAR USULIDA HISOBLASH

Reja:

1. Ramani statik noaniqlik darajasi aniqlanadi.
2. Ramani asosiy sistemasi tanlanadi.
3. Kuchlar usulining kanonik tenglamalar sistemasi yoziladi.
4. Birlik va tashqi yuk eguvchi moment epyuralarini chizish.
5. Kanonik tenglama koeffitsientlarini va ozod hadlarini aniqlash.
6. Kanonik tenglama koeffitsientlarini va ozod hadlarini tekshirish.
7. Kanonik tenglamani echish.
8. Yakuniy eguvchi moment epyurasini chizish.
9. Yakuniy eguvchi moment epyurasini tekshirish.
10. Ko‘ngdalang kuch epyurasini chizish.
11. Bo‘ylama kuch epyurasini chizish.
12. Umumiy statik tekshirish.

Misol. 19.1-rasm, a da berilgan statik noaniq rama tashqi yuklar ta’siriga kuchlar usuli bilan hisoblansin.

Yechish. 1. Ramani statik noaniqlik darajasi aniqlash.

Berilgan ramani statik noaniqlik darajasi (19.1) va (19.2) formulaga asosan aniqlanadi.

$$n = 2III + C_0 - 3D = 2 \cdot 0 + 5 - 3 = 2;$$

$$n = 3K - III = 3 \cdot 2 - 4 = 2.$$

Demak, rama ikki marta statik noaniq, ya’ni u ikkita ortiqcha bog‘lanishga ega.

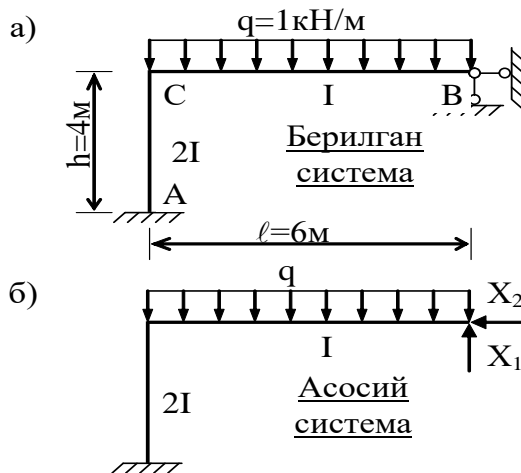
2. Ramani asosiy sistemasi tanlash.

Ramaning 2 ta ortiqcha bog‘lanishini noma’lum zo‘riqishlar X_1 va X_2 bilan belgilab, asosiy sistema tanlaymiz (19.1-rasm, b).

2. Kuchlar usulining kanonik tenglamalar sistemasi yozish.

Kuchlar usuli kanonik tenglamalar sistemasini yozamiz:

$$\begin{cases} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} X_2 + \Delta_{1P} = 0; \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} X_2 + \Delta_{2P} = 0. \end{cases}$$



19.1-rasm

3. Birlilik va tashqi yuk eguvchi moment epyuralarini chizish.

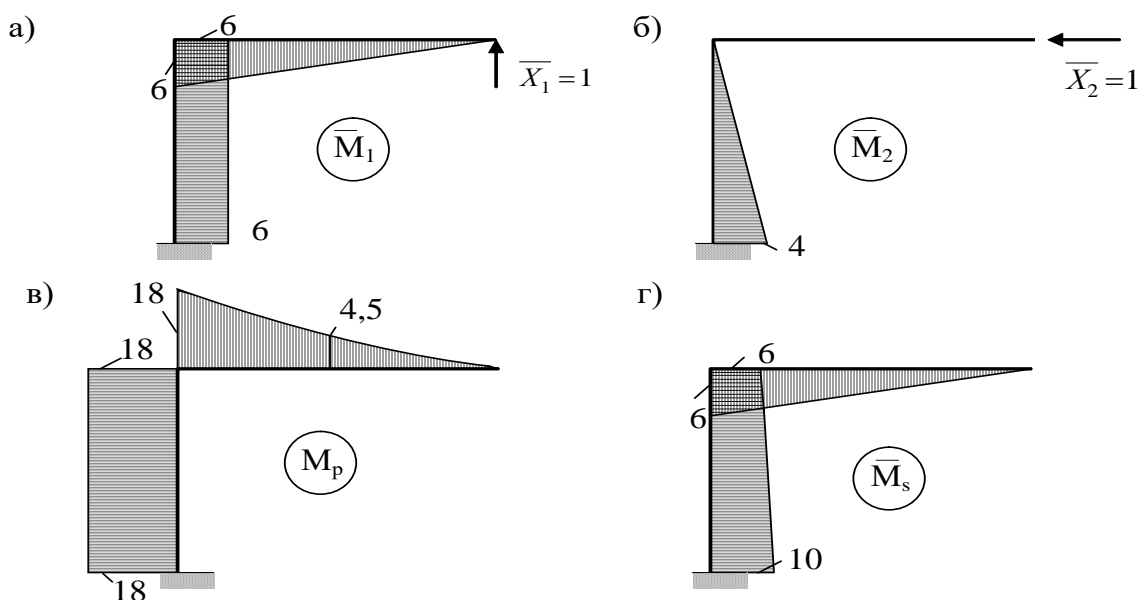
Kanonik tenglama koeffitsientlarini va ozod hadlarini aniqlash uchun alohida-alohida $\bar{X}_1 = 1$ va $\bar{X}_2 = 1$ kuchlardan birlik \bar{M}_1, \bar{M}_2 epyuralarni va tashqi yukdan M_P epyurani chizamiz (19.2-rasm, a, b, v).

4. Kanonik tenglama koeffitsientlarini va ozod hadlarini aniqlash.

Bu epyuralardan foydalanib, tenglamadagi birlik ko'chishlar va ozod hadlarning Vereshchagin usuli yordamida aniqlaymiz.

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1^2}{EI} dx = \frac{1}{EI} \cdot \frac{6 \cdot 6}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 6 + \frac{1}{2EI} \cdot 6 \cdot 4 \cdot 6 = \frac{144}{EI}$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2}{EI} dx = \frac{1}{2EI} \cdot 6 \cdot 4 \cdot 2 = \frac{24}{EI}$$



19.2-rasm

$$\delta_{22} = \sum \int \frac{\bar{M}_2^2}{EI} dx = \frac{1}{2EI} \cdot \frac{4 \cdot 4}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 4 = \frac{32}{3EI};$$

$$\Delta_{1P} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 M_P}{EI} dx = -\frac{1}{EI} \cdot 18 \cdot 6 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot 6 - \frac{1}{2EI} \cdot 18 \cdot 4 \cdot 6 = -\frac{318}{EI};$$

$$\Delta_{2P} = \sum \int \frac{\bar{M}_2 M_P}{EI} dx = -\frac{1}{2EI} \cdot 18 \cdot 4 \cdot 2 = -\frac{12}{EI}.$$

5. Kanonik tenglama koeffitsientlarini va ozod hadlarini tekshirish.

Kanonik tenglama koeffitsientlarini va ozod hadlarini tekshirish uchun, avvalo $\bar{M}_s = \bar{M}_1 + \bar{M}_2$ epyurani quramiz (19.2-rasm, g).

a) universal tekshirish o'tkazamiz:

$$\delta_{ss} = \sum \int \frac{\bar{M}_s^2}{EI} dx = \frac{1}{EI} \frac{6 \cdot 6}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 6 + \frac{4}{6 \cdot 2EI} (6^2 + 4 \cdot 8^2 + 6^2) = \frac{608}{3EI};$$

$$\delta_{ss} = \sum \delta = \delta_{11} + \delta_{22} + 2\delta_{12} = \frac{144}{EI} + \frac{32}{3EI} + \frac{2 \cdot 24}{EI} = \frac{608}{3EI}.$$

Demak, kanonik tenglama koeffitsientlari to'g'ri topilgan.

b) ustun tekshirish o'tkazamiz:

$$\Delta_{sp} = \Delta_{1p} + \Delta_{2p} = -\frac{318}{EI} - \frac{12}{EI} = -\frac{450}{EI};$$

$$\Delta_{sp} = \sum \int \frac{\bar{M}_s M_p}{EI} dx = -\frac{1}{EI} 18 \cdot 6 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot 6 - \frac{1}{2EI} 18 \cdot 4 \cdot 8 = -\frac{450}{EI}$$

Demak, ko'chishlar to'g'ri hisoblangan.

6. Kanonik tenglamani echish.

Topilgan kanonik tenglama koeffitsientlarini va ozod hadlarini kanonik tenglamaga qo'yib,

$$\begin{cases} \frac{144 \cdot X_1}{EI} + \frac{24 \cdot X_2}{EI} - \frac{318}{EI} = 0, \\ \frac{24 \cdot X_1}{EI} + \frac{32 \cdot X_2}{3EI} - \frac{12}{EI} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 144X_1 + 24X_2 - 318 = 0, \\ 12X_1 + 32X_2 - 216 = 0; \end{cases}$$

tenglamani yechib, noma'lum zo'riqish kuchlarini aniqlaymiz.

$$X_1 = 2,4 \kappa H; \quad X_2 = 1,35 \kappa H$$

7. Yakuniy eguvchi moment epyurasini chizish.

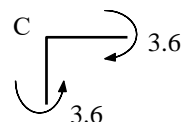
Yakuniy eguvchi moment epyurasini $M_x = \bar{M}_1 X_1 + \bar{M}_2 X_2 + M_p$ formula yordamida quramiz (19.3-rasm). Bu erda $\bar{M}_1 X_1; \bar{M}_2 X_2$ - epyuralarga tuzatilgan moment epyuralari deyiladi. Tuzatilgan moment $\bar{M}_1 X_1$ epyurasini kurish uchun \bar{M}_1 birlik epyura ordinatalarini $X_1 = 2.4$ kuchga kupaytiramiz. SHuningdek, tuzatilgan moment $\bar{M}_2 X_2$ epyurasini kurish uchun \bar{M}_2 birlik epyura ordinatalarini $X_2 = 1.35$ kuchga kupaytiramiz.

8. M_x epyurani tekshirish.

M_x epyurani tekshirish statik va deformatsion tekshirishlardan iborat bo'ladi.

a) statik tekshirish. Bu tekshirishda C tugunni qirqib $\sum M_C = 0$ muvozanat shartini qaraymiz (19.3-rasm, v).

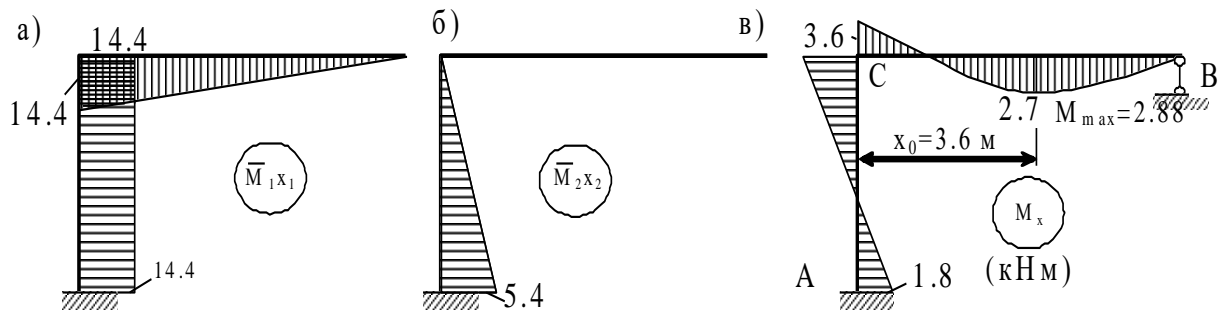
$$\sum M_C = 0; \quad 3,6 - 3,6 = 0.$$



b) deformatsion tekshirish. Bu tekshirishda birlik epyuralar yig'indisi M_s (13.2-rasm, g) yakuniy M_x epyuraga ko'paytiriladi. Natija nolga teng bo'lishi kerak.

$$\Delta_s = \sum \int \frac{\bar{M}_s M_x}{EI} dx = \frac{6}{6EI} (4 \cdot 3 \cdot 2,7 - 3 \cdot 6 \cdot 6) + \frac{4}{6 \cdot 2EI} (-3 \cdot 6 \cdot 6 - 4 \cdot 8 \cdot 0,9 + 10 \cdot 1 \cdot 8) = \frac{10,8}{EI} - \frac{10,8}{EI} = 0.$$

Demak, yakuniy M_x epyura to'g'ri hisoblangan.



19.3-pacm

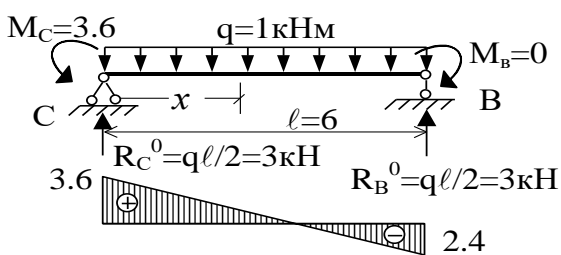
10. Ko'ngdalang kuch epyurasini chizish.

M_x epyuradan foydalanib Q_x epyurani quramiz (19.4-rasm, a). Bu yerda ramaning har bir sterjenini oddiy balka deb qaraymiz. Q_x epyura quyidagi

$$Q_x = Q_x^0 + \frac{M_{yuz} - M_{qan}}{l}$$

formula yordamida hisoblanadi. Bu erda Q_x^0 - oddiy

balkadagi ko'ngdalang kuch; M_{yuz} - oddiy balkaning o'ng uchidagi eguvchi moment; M_{qan} - oddiy balkaning chap uchidagi eguvchi moment; l - oddiy balkaning uzunligi. CB sterjendagi ko'ngdalang kuchni aniklaymiz. Bu erda tashqi yuk ta'siri qilganligi uchun uni hisobga olinadi. M_x epyuradagi C va B kesimlardagi eguvchi momentlarni oddiy balkaning C va B tayanchlariga qo'yamiz.



Ushbu balkada

$$Q_{CB}^0 = \frac{qe}{2} - qx = 3 - x$$

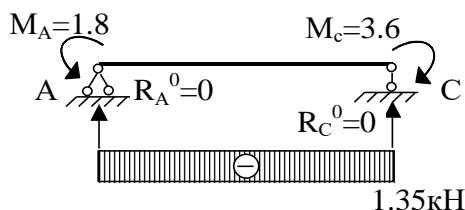
$$Q_{CB} = Q_{CB}^0 + \frac{M_B - M_C}{e} = 3 - x + \frac{0 + 3,6}{6} = 3,6 - x$$

Agar $x=0$ bo'lsa $Q_C=3,6$ kN; $x=6$ bo'lsa $Q_B=-2,4$ kN.

$$Q_{CB}=3,6-x=0; \quad x_0=3,6 \text{ m}$$

$$x_0=3,6 \text{ bo'lganda } M_{\max} = R_6^0 \cdot 2,4 - \frac{q \cdot 2,4^2}{2} = 2,4 \cdot 2,4 - \frac{2,4^2}{2} = 2,88 \text{ kHm}$$

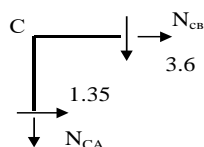
AC sterjenni oddiy balka deb qarash, bu erda tashqi yuk bo‘lmaganligi sababli $Q_{AC}^0 = 0$. M_x epyuradagi A va C kesimlardagi eguvchi momentlarni oddiy balkaning A va C tayanchlariga qo‘yamiz.



$$Q_{AC} = \frac{M^{yuz} - M^{qan}}{e} = \frac{M_C - M_A}{e} = \frac{-3,6 - 1,8}{4} = -1,35 \text{ kH}$$

11. Bo‘ylama kuch epyurasini chizish.

Q_x dan foydalanib N_x epyurani quramiz (13.4-rasm, b). S tugunni Q_x epyuradan qirqib, uning muvozanatidan N_x ni aniqlaymiz.



$$\sum X = 0; N_{CB} + 1,35 = 0; N_{CB} = -1,35 \text{ kH}$$

$$\sum Y = 0; -N_{CA} - 3,6 = 0; N_{CA} = -3,6 \text{ kH}.$$

12. Umumiy statik tekshirish. (19.4 -rasm, v).

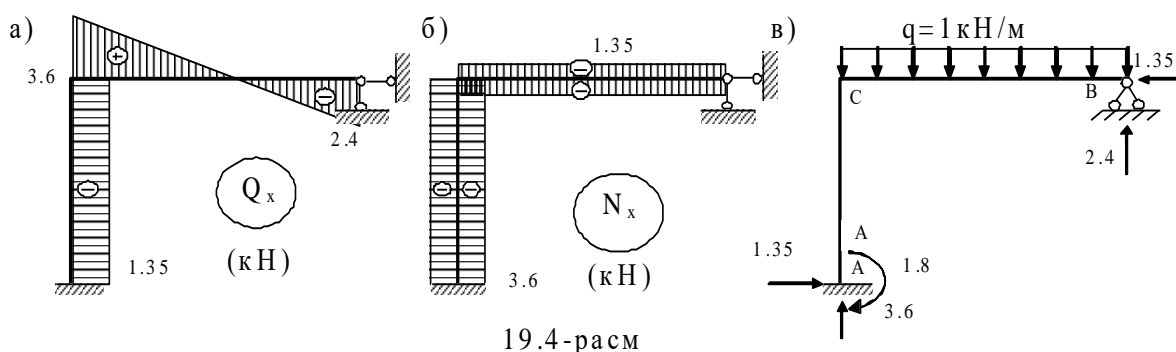
Buning uchun, avvalo ramaning tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz. Tayanchlardagi momentlar M_x , ko‘ndalang reaksiya kuchlari Q_x , bo‘ylama reaksiya kuchlari N_x epyuralardan aniqlanadi. Statika muvozanat shartlariga asosan:

$$\sum X = 0; 1,35 - 1,35 = 0;$$

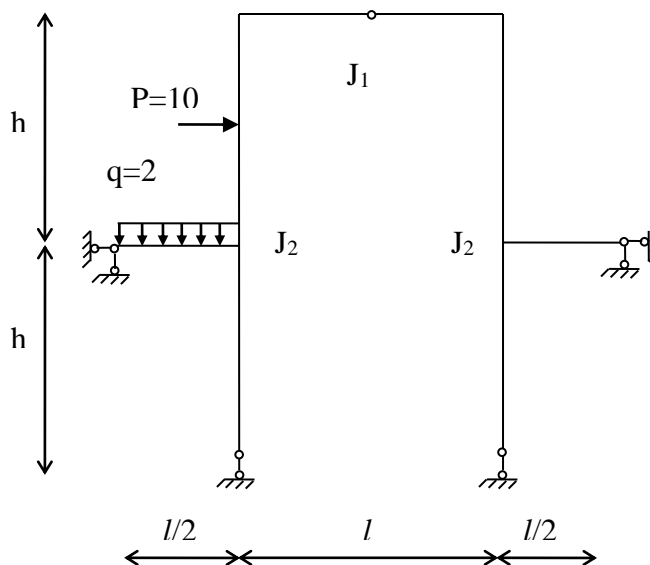
$$\sum Y = 0; 3,6 + 2,4 - 1 \cdot 6 = 6 - 6 = 0,$$

$$\sum M_A = 0; -2,4 \cdot 6 + 1 \cdot 6 \cdot 3 - 1,35 \cdot 4 + 1,8 = 19,8 - 19,8 = 0.$$

Demak, M, Q va N epyuralar to‘g‘ri hisoblanib qurilgan.



Berilgan statik ramani kuchlar usuli bilan hisoblash tartibiga binoan bajaramiz.
Hisoblash.



1. Berilgan ramani statik noaniqlik darajasi aniqlaymiz. Ramani statik noaniqlik darajasini quyidagi formulalar yordamida aniqlaymiz.

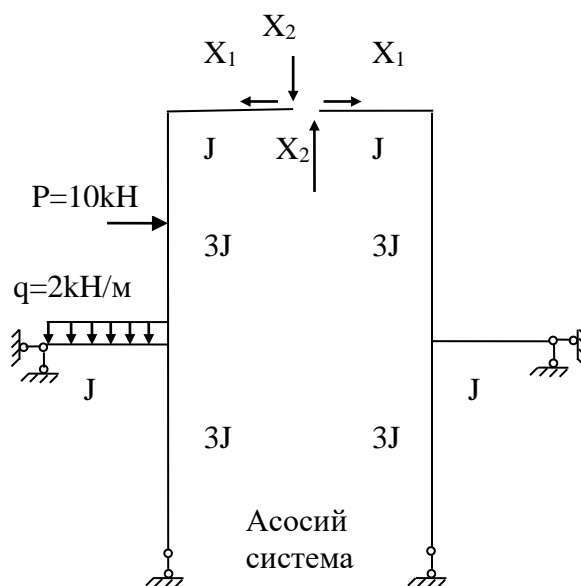
$$n = 2III + C_T - 3D = 2 \cdot 1 + 6 - 3 \cdot 2 = 2$$

$$n = 3K - III = 3 \cdot 3 - 7 = 2$$

Demak, berilgan rama 2 marta statik noaniq bo'lib, 2 ta ortiqcha bog'lanishga ega.

2. Rama uchun kuchlar usuli asosiy sistemasi tanlash.

Buning uchun ramadagi 2 ta ortiqcha bog'lanishni ramani simmetrikligidan foydalanib, noma'lum kuchlar bilan almashtiramiz.



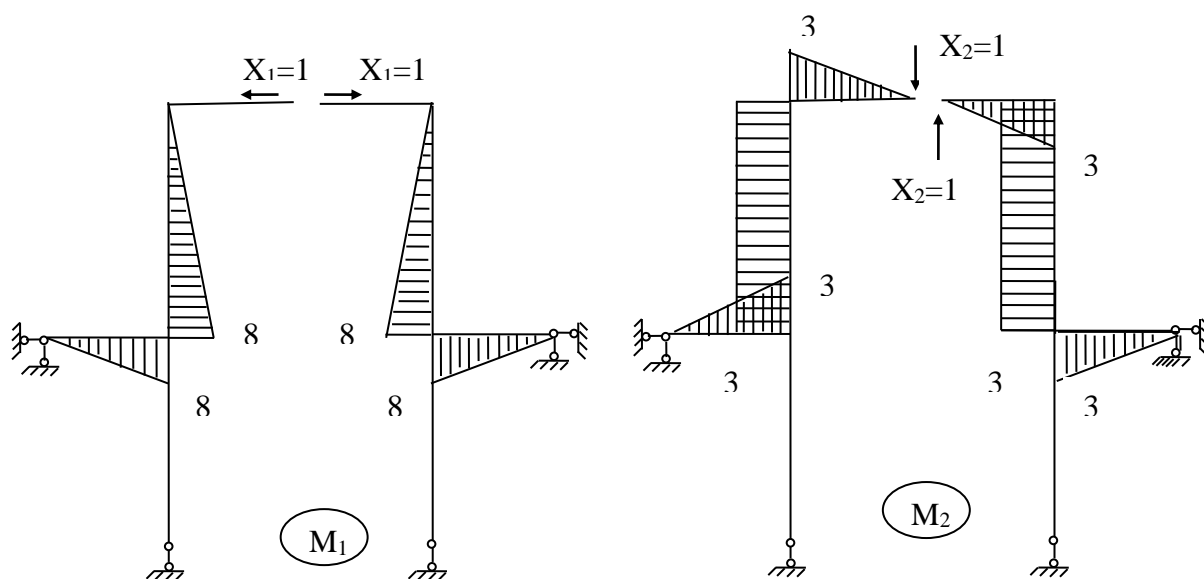
3. Kuchlar usuli kanonik tenglamasi tuzilsin.

Kuchlar usuli kanonik tenglamalarining soni noma'lum kuchlar soniga teng bo'ladi. Noma'lum kuchlar yo'nalishida noma'lum kuchlardan va tashqi yuklardan hosil bo'lgan ko'chishlar yig'indisi nol ekanligidan foydalanib tuzamiz:

$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1P} = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2P} = 0 \end{cases}$$

4. Birlik va tashqi yuk eguvchi moment epyuralari chizish.

Asosiy sistemaga alohida-alohida $\bar{X}_1 = 1$ va $\bar{X}_2 = 1$ birlik kuchlar hamda tashqi yuklar ta'siridan \bar{M}_1 va \bar{M}_2 birlik eguvchi moment hamda M_p tashqi yuk eguvchi moment epyuralarini quramiz.



5. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari aniqlash.

Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari aniqlash uchun Mor integralini Vereshchagin va Simpson-Kornousov formulalari yordamida hisoblaymiz. Avvalo δ_{11} birlik ko'chishni Vereshchagin formulasi bilan hisoblaymiz:

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1^2}{EJ} dx = \sum \frac{\omega_i \cdot y_i}{EJ} = \frac{1}{EJ} \left(\frac{3 \cdot 8}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 8 \right) \cdot 2 + \frac{1}{3EJ} \left(\frac{8 \cdot 8}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 8 \right) \cdot 2 = \frac{128}{EJ} + \frac{113,778}{EJ} = \frac{241,778}{EJ} E$$

ndi δ_{11} birlik ko'chishni Simpson-Kornousov formulasi bilan hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \sum \int \frac{\bar{M}_1^2}{EJ} dx = \sum \frac{\ell_i}{6EJ} (\bar{M}_a^2 + 4\bar{M}_c^2 + \bar{M}_b^2) = \\ &= \frac{3}{6EJ} (0^2 + 4 \cdot 4^2 + 8^2) \cdot 2 + \frac{8}{6 \cdot 3EJ} (8^2 + 4 \cdot 4^2 + 0^2) \cdot 2 = \frac{128}{EJ} + \frac{113,778}{EJ} = \frac{241,778}{EJ} \end{aligned}$$

Simmetrik epyurani nosimmetrik epyuraga ko'paytmasi nol ekanligidan

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_2}{EJ} dx = 0 \text{ aniqlaymiz.}$$

δ_{22} birlik ko'chishni ham Vereshchagin va Simpson-Kornousov formulalari bilan aniqlaymiz:

$$\delta_{22} = \sum \int \frac{\bar{M}_2^2}{EJ} dx = \frac{1}{EJ} \left(\frac{3 \cdot 3}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 \right) \cdot 4 + \frac{1}{3EJ} (3 \cdot 8 \cdot 3) \cdot 2 = \frac{36}{EJ} + \frac{48}{EJ} = \frac{84}{EJ};$$

$$\delta_{22} = \sum \int \frac{\bar{M}_2^2}{EJ} dx = \frac{3}{6EJ} (0^2 + 4 \cdot 1.5^2 + 3^2) \cdot 4 + \frac{8}{6 \cdot 3EJ} (3^2 + 4 \cdot 3^2 + 3^2) \cdot 2 = \frac{36}{EJ} + \frac{48}{EJ} = \frac{84}{EJ}.$$

Δ_{1P} va Δ_{2P} ko'chishlarni ham Vereshchagin va Simpson-Kornousov formulalari bilan aniqlaymiz:

$$\Delta_{1P} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 M_P}{EJ} dx = -\frac{3}{6EJ} (4 \cdot 4 \cdot 1.5 + 8 \cdot 40) - \frac{4}{6 \cdot 3EJ} (8 \cdot 40 + 4 \cdot 6 \cdot 20 + 4 \cdot 0) =$$

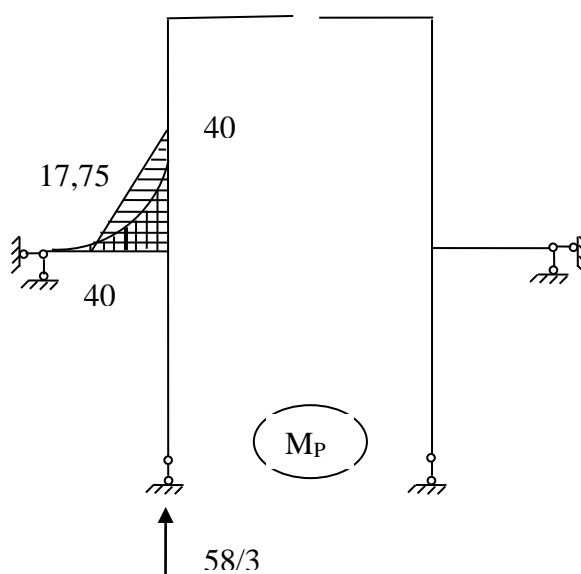
$$= -\frac{1}{EJ} (302 + 177.778) = -\frac{479.778}{EJ}$$

$$\Delta_{2P} = \sum \int \frac{\bar{M}_2 M_P}{EJ} dx = \frac{3}{6EJ} \left(4 \cdot \frac{3}{2} \cdot 15.5 + 3 \cdot 40 \right) + \frac{1}{3EJ} \left(\frac{40 \cdot 4}{2} \cdot 3 \right) =$$

$$= \frac{106.5}{EJ} + \frac{80}{EJ} = \frac{186.5}{EJ}$$

$$\Delta_{2P} = \sum \int \frac{\bar{M}_2 M_P}{EJ} dx = \frac{3}{6EJ} (4 \cdot 1.5 \cdot 15.5 + 3 \cdot 40) + \frac{4}{6 \cdot 3EJ} (40 \cdot 3 + 4 \cdot 3 \cdot 20 + 3 \cdot 0) =$$

$$= \frac{113.25}{EJ} + \frac{80}{EJ} = \frac{193.25}{EJ}$$



6. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini tekshirish.

$$\sum \delta = \delta_{11} + 2\delta_{12} + \delta_{22} = \frac{1}{EJ} (241.778 + 2 \cdot 0 + 84) = \frac{325.778}{EJ}$$

$$\sum \delta = \delta_{ss} = \sum \int \frac{\bar{M}_s^2}{EJ} dx \quad \text{bu yerda } \bar{M}_s = \bar{M}_1 + \bar{M}_2$$

$$\delta_{ss} = \sum \int \frac{\bar{M}_s^2}{EJ} dx = \frac{1}{EJ} \left(\frac{3 \cdot 3}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 2 + \frac{3 \cdot 5}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 5 + \frac{3 \cdot 11}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 11 \right) + \frac{8}{6 \cdot 3EJ} [(3^2 + 4 \cdot 1^2 + 5^2) +$$

$$+ (3^3 + 4 \cdot 7^2 + 11^2)] = \frac{1}{EJ} (18 + 25 + 121) + \frac{8}{18EJ} (38 + 326) = \frac{1}{EJ} (164 + 161.778) = \frac{325,778}{EJ}$$

$$\delta_{ss} = \sum \int \frac{\bar{M}_s^2}{EJ} dx = \frac{3}{6EJ} (5^2 + 4 \cdot 2,5^2) + \frac{3}{6EJ} (3^2 + 4 \cdot 1,5^2) \cdot 2 + \frac{3}{6EJ} (11^2 + 4 \cdot 1,5^2) +$$

$$+ \frac{8}{6 \cdot 3EJ} (5^2 + 4 \cdot 1^2 + 3^2) + \frac{8}{6 \cdot 3EJ} (11^2 + 4 \cdot 7^2 + 3^2) = \frac{25}{EJ} + \frac{18}{EJ} + \frac{121}{EJ} + \frac{16,88}{EJ} +$$

$$+ \frac{144,88}{EJ} = \frac{325,778}{EJ}$$

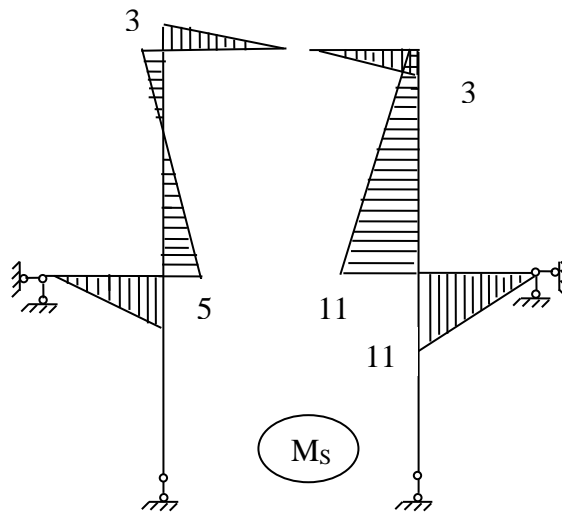
$$\Delta_{SP} = \Delta_{1P} + \Delta_{2P} = \frac{1}{EJ} (-461,778 + 186,5) = -\frac{275,278}{EJ}$$

$$\Delta_{SP} = -\sum \int \frac{\bar{M}_s M_P}{EJ} dx = -\frac{3}{6EJ} (4 \cdot 2,5 \cdot 15,5 + 5 \cdot 40) - \frac{1}{3EJ} \left(\frac{40 \cdot 4}{2} \cdot \frac{11}{3} \right) = -\frac{1}{EJ} (177,5 + 97,778) =$$

$$= -\frac{275,278}{EJ}$$

$$\Delta_{SP} = -\sum \int \frac{\bar{M}_s M_P}{EJ} dx = -\frac{3}{6EJ} (4 \cdot 2,5 \cdot 15,5 + 5 \cdot 40) - \frac{4}{6 \cdot 3EJ} (40 \cdot 5 + 4 \cdot 20 \cdot 3) =$$

$$= -\frac{177,5}{EJ} - \frac{97,778}{EJ} = -\frac{275,278}{EJ}$$



7. Kanonik tenglamani yechib, ortiqcha bog‘lanishlardagi noma‘lum kuchlar topish.

$$\begin{cases} \frac{241,778}{EJ} \cdot X_1 + 0 \cdot X_2 - \frac{461,778}{EJ} = 0 \\ 0 \cdot X_1 + \frac{84}{EJ} \cdot X_2 + \frac{186,5}{EJ} = 0 \end{cases}$$

Tenglamani har bir hadini EJ ko‘paytirib,

ozod hadini tenglamani o‘ng tomoniga o‘tkazib yozsak,

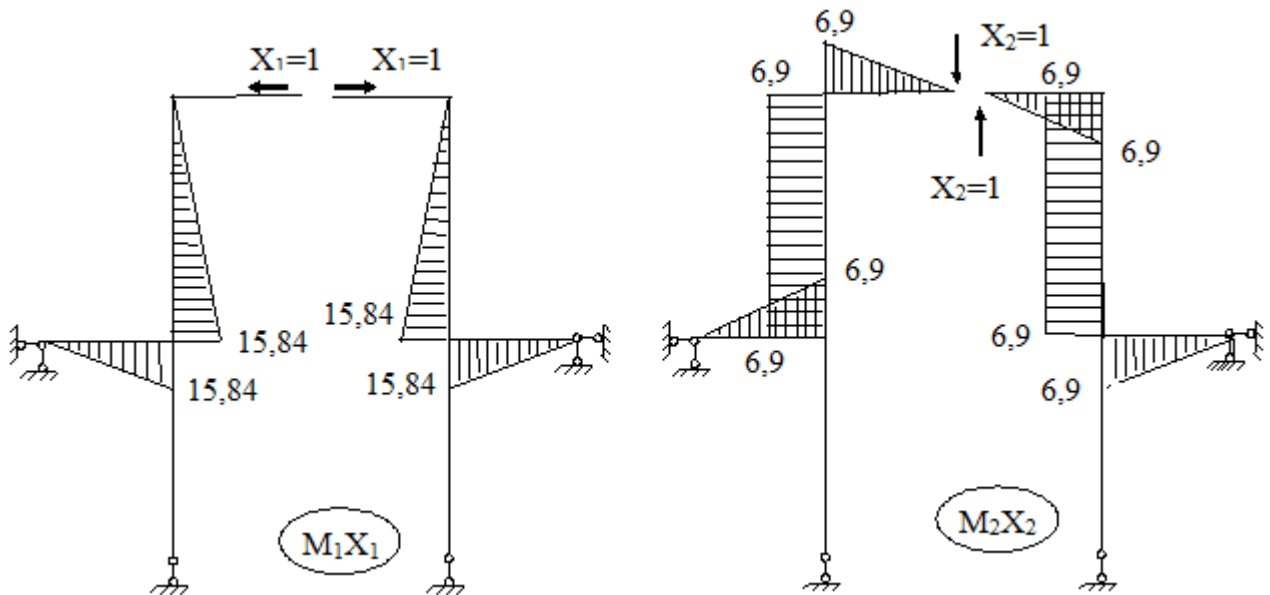
$$\begin{cases} 241,778 \cdot X_1 = 461,778; \\ 84 \cdot X_2 = -186,5. \end{cases} \quad \text{Tenglamani echsak,}$$

$$X_1 = \frac{461,778}{241,778} = 1,98;$$

bo'ladi.

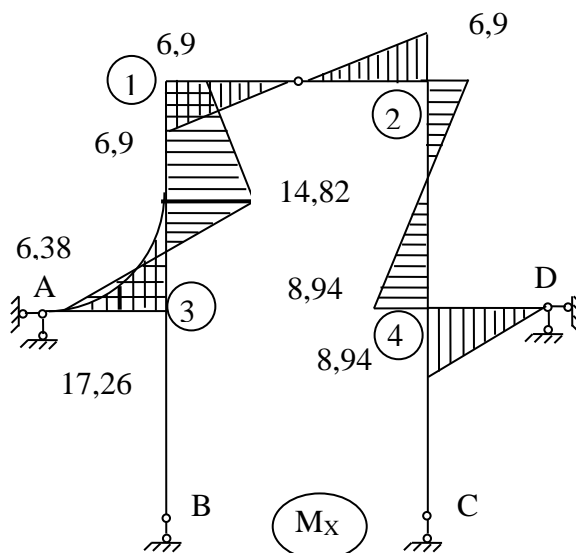
$$X_2 = -\frac{186,5}{84} = -2,3.$$

8. Tuzatilgan eguvchi moment epyuralari chizish.



9. Yakuniy eguvchi moment Mx epyurasi chizish.

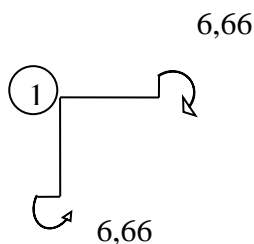
$$M_x = \bar{M}_1 X_1 + \bar{M}_2 X_2 + M_p$$



10. Yakuniy eguvchi moment epyurasi M_x ni tekshirish.

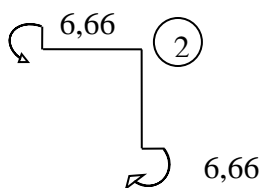
a) statik tekshirish

1-tugun



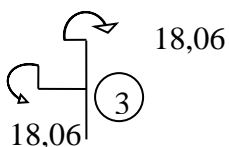
$$\sum M_1 = 6,66 - 6,66 = 0$$

2-tugun



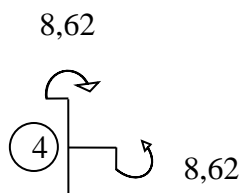
$$\sum M_2 = 6,66 - 6,66 = 0$$

3-tugun



$$\sum M_3 = 18,06 - 18,06 = 0$$

4-tugun



$$\sum M_4 = 8,62 - 8,62 = 0$$

b) deformatsion tekshirish

$$\begin{aligned} \Delta_{SM} &= \sum \int \frac{M_s M_x}{EJ} dx = -\frac{3}{6EJ} (0 \cdot 0 + 4 \cdot 3,45 \cdot 1,5 + 6,9 \cdot 3) \cdot 2 + \frac{8}{6 \cdot 3EJ} ((-6,9) \cdot 3 + 4 \cdot 7 \cdot 1,02 + 8,94 \cdot 11) + \\ &+ \frac{3}{6EJ} (0 \cdot 0 + 4 \cdot 4,47 \cdot 5,5 + 8,94 \cdot 11) - \frac{3}{6EJ} (0 \cdot 0 + 4 \cdot 2,5 \cdot 6,38 + 5 \cdot 17,26) + \\ &+ \frac{4}{6 \cdot 3EJ} [((-3) \cdot 6,9 + 4 \cdot (-1) \cdot 10,86 + 1 \cdot 14,82) + (1 \cdot 14,82 + 4 \cdot 3 \cdot (-1,22) + 5 \cdot (-17,26))] = \\ &= -\frac{41,4}{EJ} + \frac{47,2}{EJ} + \frac{98,34}{EJ} - \frac{75,05}{EJ} - \frac{30,09}{EJ} = -\frac{146,54}{EJ} + \frac{145,54}{EJ} = -\frac{1}{140,98} \cdot 100\% = 0,7\% < 1\% \end{aligned}$$

11. Ko'ndalang kuch Qx epyurasi chizish.

$$Q_{12} = \frac{-6,66 - 6,66}{6} = -2,22$$

$$Q_{1P} = \frac{6,66 - 14,3}{4} = -1,91$$

$$Q_{3D} = \frac{14,3 + 18,06}{4} = 8,09$$

$$Q_{A3} = \frac{ql}{4} - qx + \frac{18,06}{3} = 6,02 - 2x$$

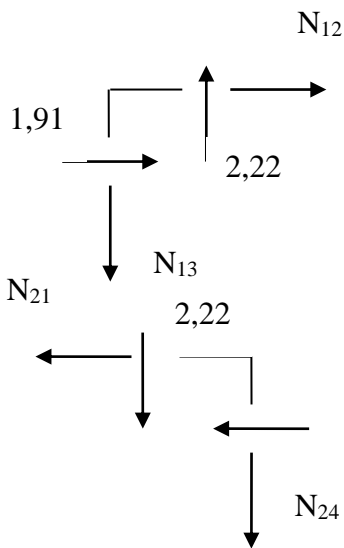
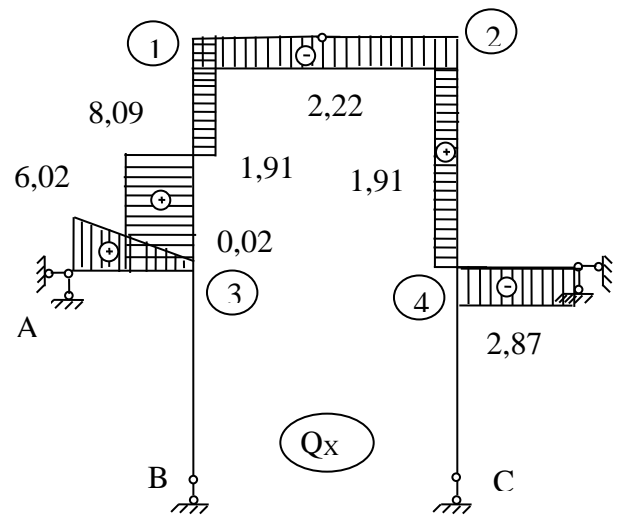
$$x = 0 \quad Q_{A3} = 6,02$$

$$x = 3 \quad Q_{A3} = 0,02$$

$$Q_{42} = \frac{6,66 + 8,62}{8} = 1,91$$

$$Q_{4D} = -\frac{8,62}{3} = -2,87$$

12. Bo'ylama kuch Nx epyurasi chizish.



$$\sum X = 0$$

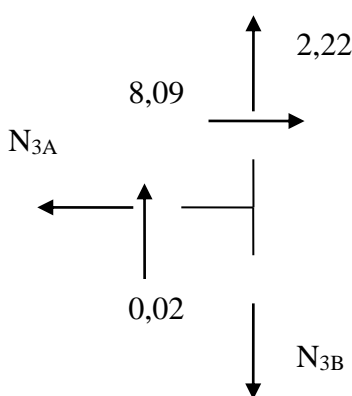
$$N_{12} = -1,91$$

$$\sum Y = 0$$

$$N_{13} = 2,22$$

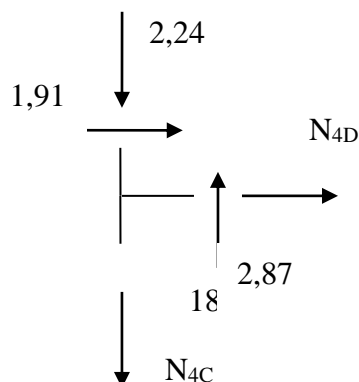
$$\sum X = 0 \quad N_{21} = -1,91$$

$$\sum Y = 0 \quad N_{24} = -2,22$$



$$\sum X = 0 \quad N_{3A} = 8,09$$

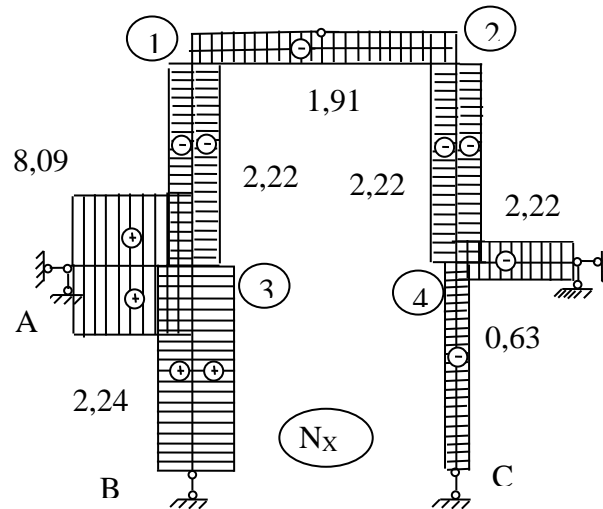
$$\sum Y = 0 \quad N_{3B} = 2,24$$



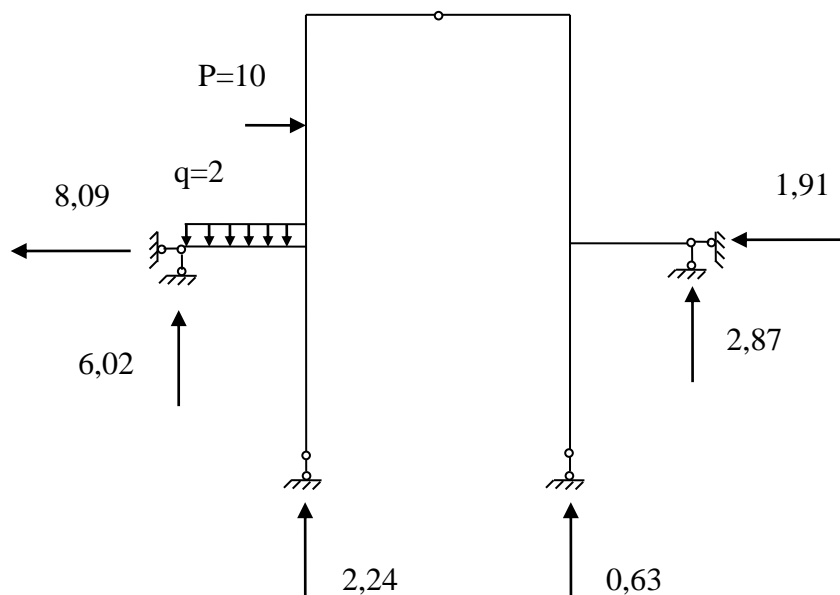
$$\sum X = 0 \quad N_{4D} = -1,91$$

$$\sum Y = 0$$

$$N_{4c} = -2,87 + 2,22 = -0,63$$



13. Umumiy statik tekshirish o'tkazish.



$$\sum X = 0 \quad 10 - 8,09 - 1,91 = 0$$

$$\sum Y = 0 \quad -2 \cdot 3 + 6,09 + 2,87 - 2,24 - 0,63 = -8,87 + 8,87 = 0$$

13 - AMALIY MASHG'ULOTLAR

MAVZU: UZLUKSIZ BALKALARNI QO'ZG'ALMAS YUKLAR TA'SIRIGA

HISOBLASH.

Reja:

1. Balkaning statik noaniqlik darajasini aniqlaymiz va kuchlar usuli asosiy sistema tanlash.
2. Uch momentlar tenglamasini tuzish va uni echish.
3. Uzlüksiz balka eguvchi moment epyurasini chizish.

Misol. Qo'zg'almas tekis tarqalgan yuk ta'sirida bo'lgan va o'ng uchi qistirib mahkamlangan uzluksiz balka uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralari qurilsin (29-rasm, a). Balkaning bikrligi o'zgarmas ($EI=const$) deb olinsin. Yechish.

1. Balkaning statik noaniqlik darajasini aniqlaymiz va kuchlar usuli asosiy sistema tanlash.

Balkaning statik noaniqlik darajasini quyidagi formula yordamida aniqlaymiz.
 $n=S_t-3=5-3=2$

bu erda $S_t=5$ tutash balkadagi tayanch sterjenlari soni.

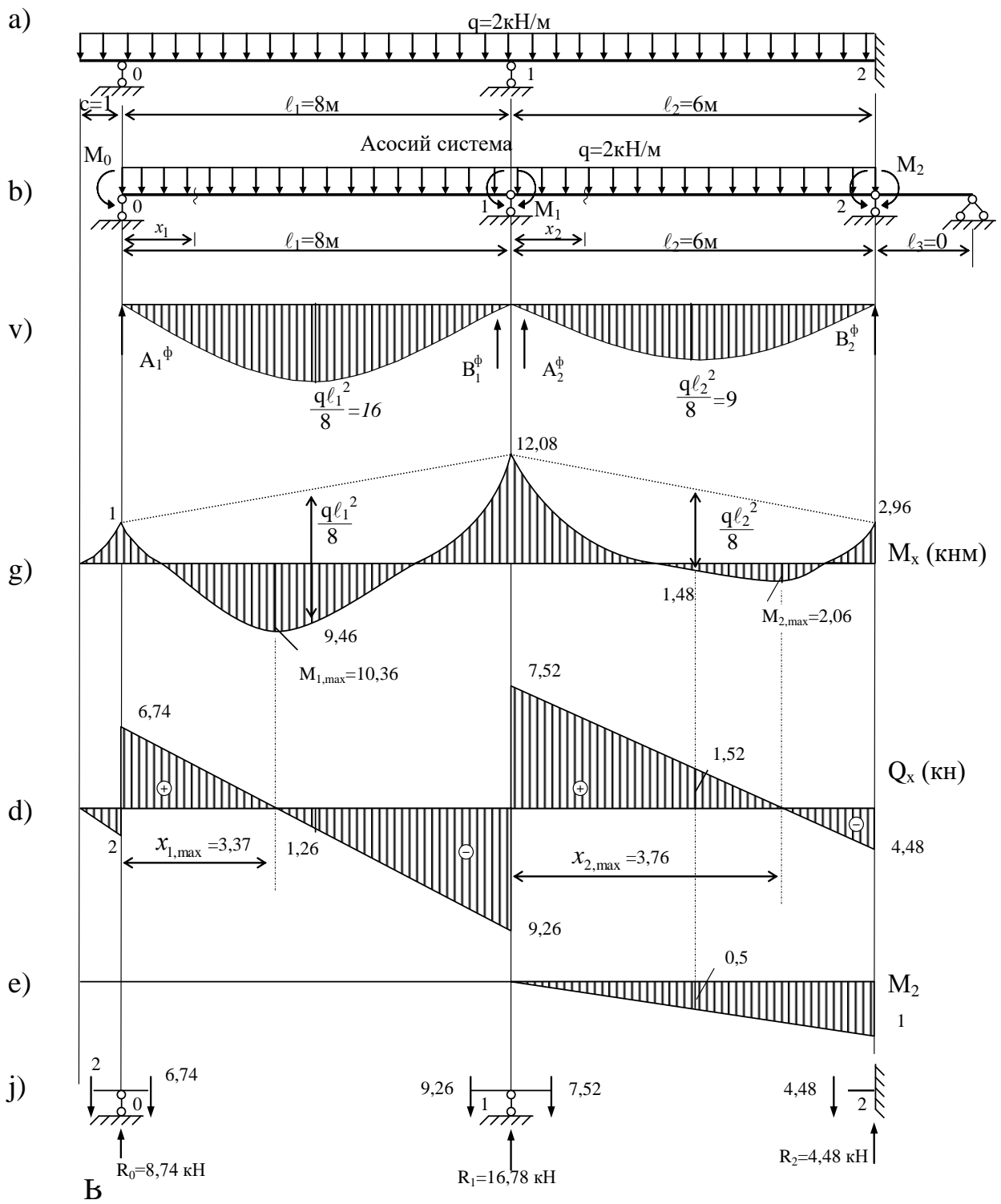
Demak, berilgan tutash balka ikki marta statik noaniq ekan.

Asosiy sistema tanlash. Buning uchun balkaning chap konsolidagi tashqi yuk ta'sirini tayanch momenti bilan almashtirib, balkaning qistirilgan o'ng tayanchi fikran davom ettirilib, yana bir oraliq qo'shiladi va oraliq tayanchlariga sharnirlar kiritiladi. U holda M_1 va M_2 tayanch momentlari noma'lum (33-rasm, b) hisoblanadi.

2. Uch momentlar tenglamasini tuzish va uni echish.

Oraliq sharnirlarning soniga qarab uch momentlar tenglamasini yozamiz.

$$\left. \begin{array}{l} 1 - \text{таянч: } n = 1, M_0 l_1 + 2M_1(l_1 + l_2) + M_2 l_2 = -6(B_1^c + A_2^c) \\ 2 - \text{таянч: } n = 2, M_1 l_2 + 2M_2(l_2 + l_3) + M_3 l_3 = -6(B_2^c + A_3^c) \end{array} \right\} \quad (a)$$



29-расм

B

Bu uch momentlar tenglamalar sistemasida $M_0 = -\frac{qc^2}{2} = -1\text{кНм}$; $M_3 = 0$. Soxta tayanch reaksiyalarni 29.1 jadvalga muvofiq aniqlaymiz.

$$6B_1^c = \frac{q \ell_1^3}{4} = \frac{2 \cdot 8^3}{4} = 256;$$

$$6A_2^c = 6B_2^\Phi = \frac{q \ell_2^3}{4} = \frac{2 \cdot 6^3}{4} = 108; \quad 6A_3^\Phi = 0$$

Aniqlangan ifodalarning qiymatlarini (a) tenglamaga qo'yib, uni qayta yozamiz.

$$\begin{cases} -1 \cdot 8 + 2M_1(8+6) + M_2 \cdot 6 = -256 - 108, \\ -M_1 \cdot 6 + 2M_2(6+0) + 0 = -108. \end{cases} \quad \text{yoki} \quad \begin{cases} 28M_1 + 6M_2 = -356, \\ -6M_1 + 12M_2 = -108. \end{cases}$$

Bu tenglamalar sistemasini yechib, noma'lum tayanch momentlari \bar{M}_1 va \bar{M}_2 ni aniqlaymiz.

$$M_1 = -12,08 \text{ kNm}; \quad M_2 = -2,96 \text{ kNm}.$$

3. Uzlüksiz balka uchun eguvchi moment epyurasini chizish.

Buning uchun balkaning har bir oraliq'ini oddiy balka bilan almashtiramiz. Oddiy balkalarga tashqi yukdan qurilgan M_p^0 eguvchi moment epyura (29-rasm, v) ga tayanch momentlari ta'sirlarini qo'shish orqali, tutash balka uchun eguvchi moment epyurasi M_x chiziladi (29-rasm, g) yoki (29.5) formula yordamida hisoblanadi.

Uzlüksiz balkaning ko'ndalang kuch Q_x epyurasi eguvchi moment epyura yordamida chiziladi. Bunda ham tutash balkaning har bir oraliq'i oddiy balka deb qaraladi va (33.6) formuladan foydalaniladi.

$$1\text{-oralik} \quad 0 \leq x_1 \leq \ell_1 = 8 \text{ m};$$

$$Q_{01} = Q_{01}^0 + \frac{M_1 - M_0}{\ell_1} = \frac{q\ell}{2} - qx_1 + \frac{M_1 - M_0}{\ell_1} = 8 - 2x_1 + \frac{-12,08 + 1}{8} = 6,74 - 2x_1$$

$$\text{Agar } x_1=0 \text{ bo'lsa } Q_0^{yhz} = 6,74 \text{ kH};$$

$$x_1=\ell \text{ bo'lsa } Q_1^{uan} = -9,26 \text{ kH}.$$

$$2\text{-oralik} \quad 0 \leq x_2 \leq \ell_2 = 6 \text{ m}$$

$$Q_{12} = \frac{q\ell}{2} - qx_2 + \frac{M_2 - M_1}{\ell_2} = 6 - 2x_2 + \frac{-2,96 + 12,08}{6} = 7,52 - 2x_2$$

$$x_1=0 \text{ bo'lsa } Q_1^{yhz} = 7,52 \text{ kH};$$

$$x_1=\ell \text{ bo'lsa } Q_2^{uan} = -4,48 \text{ kH}.$$

Ko'ndalang kuch epyurasi 33-rasm, d da ko'rsatilgan.

Maksimal eguvchi moment miqdorini aniqlash. Balkaning ko'ndalang kuchi $Q=0$ bo'lgan kesimlarida eguvchi moment maksimal qiymatga ega bo'lishini Juravskiy teoremasiga asosan bilamiz. U holda $Q=0$ bo'lgan kesimlarni aniqlaymiz.

1-oraliq uchun $Q_{01} = 6.74 - 2x_1 = 0$, bundan $x_1 = 6.74/2 = 3.37$ m

2-oraliq uchun $Q_{12} = 7.52 - 2x_2 = 0$, bundan $x_2 = 7.52/2 = 3.76$ m

Maksimal momentlar qiymatini Juravskiy teoremasiga binoan aniqlasak:

$$M_{n,\max} = \int_0^{x_n} Q dx + M_n^{uan} = \omega_n + M_n^{uan},$$

bu erda ω_n -n oraliqdagi ko'ndalang kuch epyurasining x_n kesimda chap tayanchiga bo'lgan epyurani yuzasi; M_n^{uan} -n oraliqdagi chap tayanch momenti.

$$M_{1\max} = (1/2) \cdot 6.74 \cdot 3.37 - 1 = 11.36 - 1 = 10.36 \text{ kNm.}$$

$$M_{2\max} = (1/2) \cdot 7.52 \cdot 3.76 - 12.08 = 2.06 \text{ kNm.}$$

M_x – eguvchi moment epyurasi to'g'riligini tekshirish maqsadida deformatsion tekshirish o'tkaziladi. Buning uchun tutash balkaning 2-tayanchida burilish burchagi nolga tengligini tekshiramiz, ya'ni:

$$\varphi_2 = \sum \int \frac{M_x \bar{M}_2}{EI} dx = \frac{6}{6EI} (-12.08 \cdot 0 + 4 \cdot 1.48 \cdot 0.5 - 2.96) = \frac{1}{EI} (2.96 - 2.96) = 0.$$

Uzluksiz balkaning tayanch reaksiyalarini aniqlash. Balkaning har bir tayanch reaksiyasining miqdori (33.8) formulaga asosan topiladi (33-rasm, j):

$$R_1 = 6.74 + 2 = 8.74 \text{ kN}; \quad R_1 = 7.52 + 9.26 = 16.78 \text{ kN}; \quad R_2 = 4.48 \text{ kN};$$

Balkaning to'g'ri hisoblanganligini tekshirish maqsadida umumiy statik tekshirish o'tkaziladi:

$$\Sigma Y = 0; R_0 + R_1 + R_2 - q(s + l_1 + l_2) = 8.74 + 16.78 + 4.48 - 2 \cdot 15 = 30 - 30 = 0.$$

$$\Sigma M_2 = 0; R_0 \cdot 14 + R_1 \cdot 6 - q \cdot (15^2/2) - M_2 = 8.74 \cdot 14 + 16.78 \cdot 6 - 15^2 + 2.96 = 226 - 225 = 1.$$

$$\text{Xatolik} \quad \frac{1}{225} \cdot 100\% = 0.44\%$$

14-15 – AMALIY MASHG‘ULOTLAR

MAVZU: STATIK NOANIQ RAMALARNI KO‘CHISHLAR USULIDA HISOBLASH

Reja:

1. Ramaning kinematik noaniqlik darajasi aniqlash.
2. Rama uchun ko‘chishlar usuli asosiy sistemasi tanlash.
3. Ko‘chishlar usuli kanonik tenglamasi tuzish.
4. Birlik va tashqi yuk eguvchi moment epyuralari chizish.
5. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari aniqlash.
6. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari tekshirish.
7. Kanonik tenglama echilib, kiritilgan bog‘lanishlardagi noma’lum ko‘chishlar topish.
8. Tuzatilgan eguvchi moment epyuralari chizish.
9. Yakuniy eguvchi moment M_x epyurasi chizish.
10. Yakuniy eguvchi moment epyurasi M_x tekshirish.
11. Ko‘ndalang kuch Q_x epyurasi chizish.
12. Bo‘ylama kuch N_x epyurasi chizish.
13. Umumiy statik tekshirish o‘tkazish.

Misol. 33.1-rasm, a da ko‘rsatilgan rama ko‘chishlar usuli bilan hisoblansin.

Yechish: 1. Ramaning kinematik noaniqlik darajasi aniqlash.

Berilgan ramaning kinematik noaniqlik darajasini (32.1) formulaga asosan aniqlaymiz:

$$n = n_{\bar{\sigma}} + n_u$$

Berilgan ramaning birkir tugunlari soni bitta bo‘lganligi sababli, burchakli ko‘chishlar soni $n_{\bar{\sigma}} = 1$ (1-tugun, 33.1-rasm, a). Ramadagi chiziqli ko‘chishlar sonini aniqlash uchun ramaning birkir tugunlari va birkir tayanchlariga sharnirlar kiritib, sharnirli sxemani hosil qilamiz (33.1-rasm, b). Bu sharnirli sxemaning erkinlik darajasi ramaning chiziqli ko‘chishlar soniga teng bo‘lib, (32.2) formulaga asosan aniqlanadi:

$$n_{ch} = W_{shar.sns.} = 3D - 2SH - C_T = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 3 - 5 = 1$$

U holda ramaning kinematik noaniqlik darajasi

$$n = 1 + 1 = 2 \text{ ga teng bo‘ladi.}$$

2.Rama uchun ko‘chishlar usuli asosiy sistemasi tanlash.

Ko‘chishlar usulining asosiy sistemasini tanlash uchun ramaning birkir tuguni ko‘chishini birkir bog‘lanish bilan gorizontaal chizikli ko‘chishni gorizontaal sterjenli bog‘lanish kiritish orqali cheklaymiz (33-rasm, v).

3.Ko‘chishlar usuli kanonik tenglamasi tuzish.

Ko‘chishlar usuli kanonik tenglamasini (32.5) ga asosan yozamiz.

$$\left. \begin{aligned} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + R_{1p} &= 0 \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + R_{2p} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

4.Birlik va tashqi yuk eguvchi moment epyuralari chizish.

Kanonik tenglama koeffitsienlarini va ozod hadlarini aniqlash uchun asosiy sistemaga kiritilgan qo‘shimcha bog‘lanishlarni birlik $\bar{Z}_1 = 1$ burchakli burilishidan va birlik $\bar{Z}_2 = 1$ chizikli ko‘chishidan hamda tashqi yuklardan hosil bo‘lgan momentlar \bar{M}_1 , \bar{M}_2 va M_p epyuralarini 32.1 – jadvaldan foydalanib chizamiz (Jadval 120-bet) (33.1 – rasm, g, d va e).

5. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari aniqlash.

a) r_{11} ni kinematik va statik usullari yordamida aniqlashni qaraymiz.

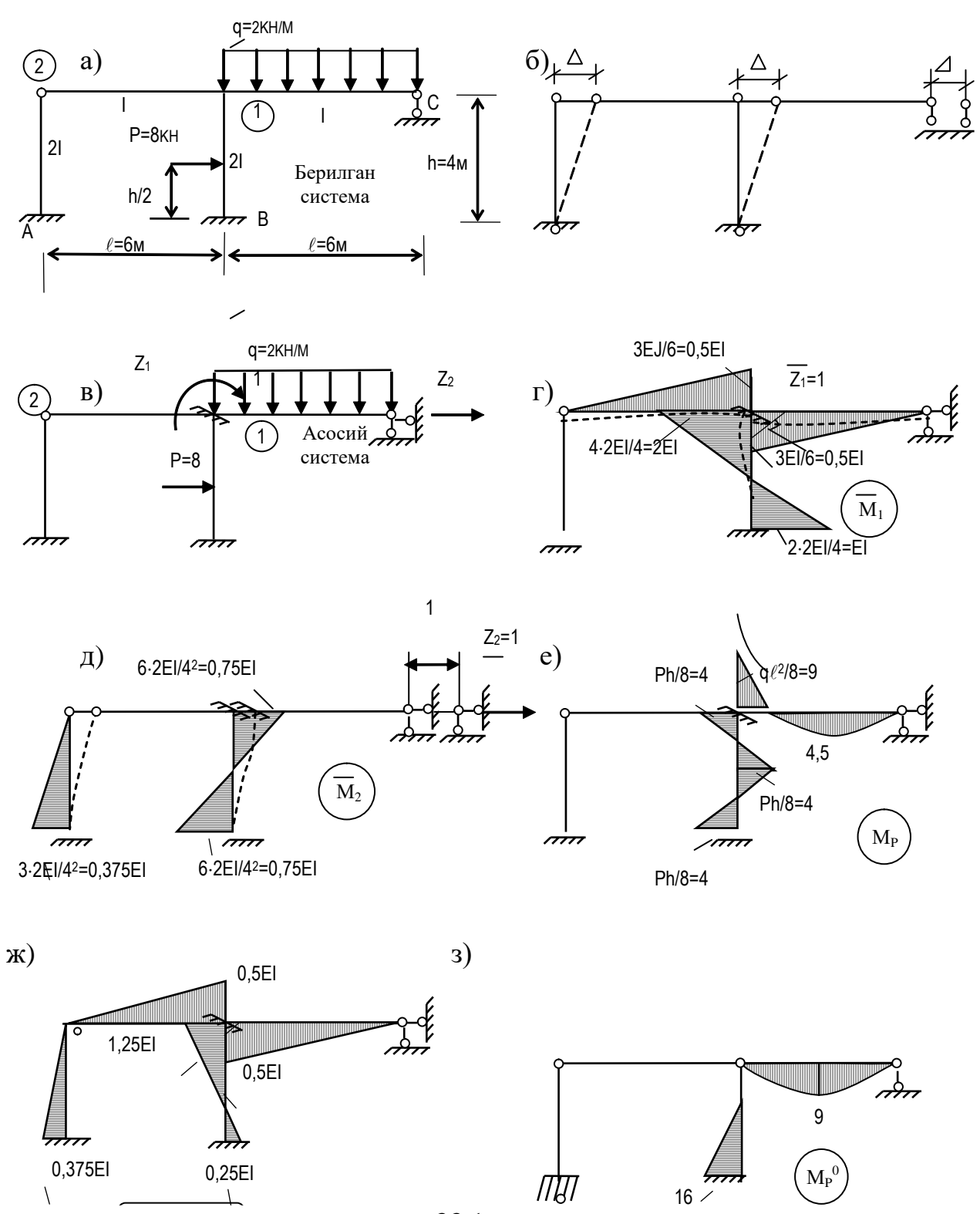
Kinematik usul

$$r_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1^2}{EI} dx = \frac{1}{EI} \left(\frac{0,5 \cdot EI \cdot 6}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot EI \right) \cdot 2 + \frac{4}{6 \cdot 2EI} (1 \cdot 2^2 + 4 \cdot 0,5^2 + 1^2) (EI)^2 = EI(1 + 2) = 3EI$$

Statik usulda r_{11} ni aniqlash uchun birinchi tugunni \bar{M}_1 epyuradan qirqib olib, uning muvozanat shartini yozamiz (33.2-rasm, a):

$$\sum M_{11} = 0, \quad r_{11} - 0,5EI - 2EI - 0,5EI = 0; \quad r_{11} = 3EI.$$

Ushbu hisoblashlardan ko‘rinib turibdiki, statik usul kinematik usulga nisbatan sodda bo‘lib, hisoblashni osonlashtiradi. Kanonik tenglamaning qolgan koeffitsientlari va ozod hadlarini statik usulda aniqlaymiz.



33.1-rasm

$$M_s = M_1 + M_2$$

b) r_{12} va R_{1P} ni aniqlash uchun birinchi tugunni \bar{M}_2 va M_P epyuralardan qirqib, ularning muvozanat shartini yozsak (33.2-rasm , b va v):

$$\sum M_{12} = 0, \quad r_{12} + 0,75EI = 0; \quad r_{12} = -0,75EI;$$

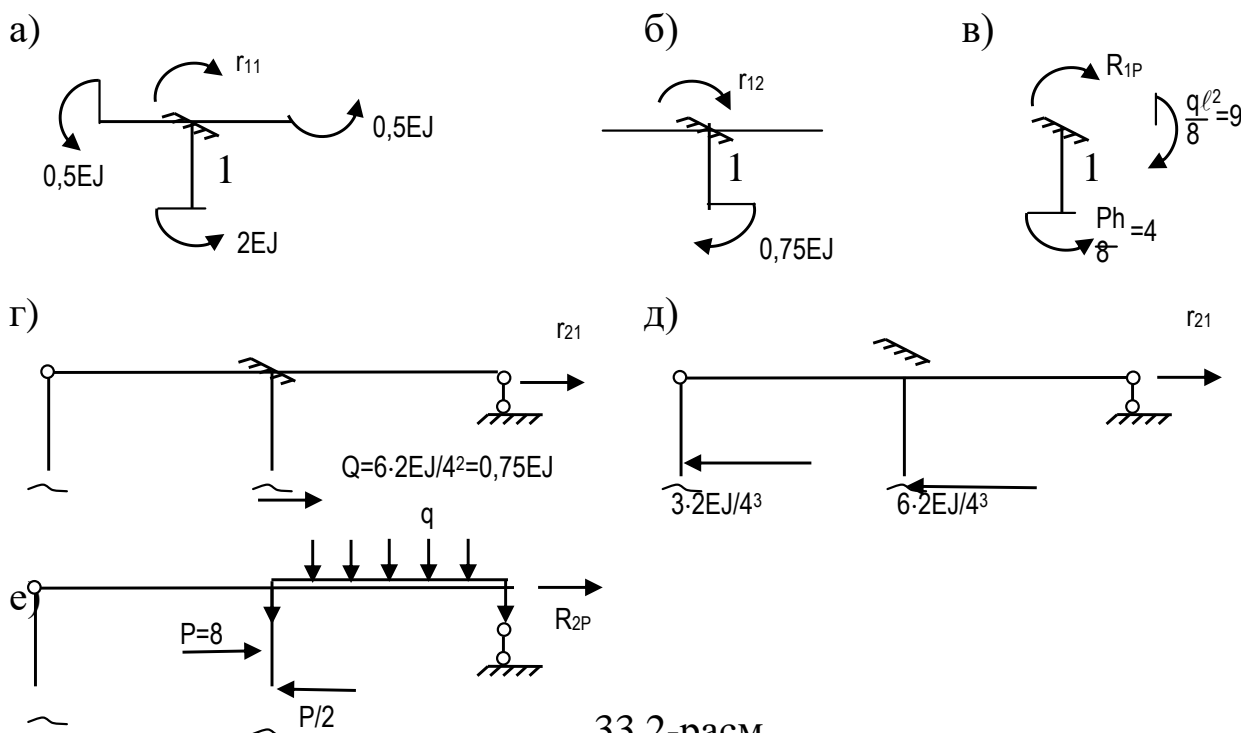
$$\sum M_{1P} = 0, \quad R_{1P} + 9 - 4 = 0; \quad R_{1P} = -5.$$

v) r_{21} , r_{22} va R_{2P} lar Z_2 gorizontal ko‘chish yo‘nalishida hosil bo‘lgan reaktiv kuchlar bo‘lganligi sababli , \bar{M}_1 , \bar{M}_2 va \bar{M}_P epyuralar qurilgan ramalarni gorizontal kontur bo‘yicha qirqamiz va bu epyuralardan asosiy sistemaga gorizontal yo‘nalishda ta’sir qiluvchi kuchlarni aniqlaymiz (33.2–rasm, g, d, va e) va ularning muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum X = 0, \quad r_{21} + 0,75EI = 0; \quad r_{21} = -0,75EI.$$

$$\sum X = 0, \quad r_{22} - \frac{24EI}{4^3} - \frac{6EI}{4^3} = 0; \quad r_{22} = \frac{30EI}{4^3} = 0,469EI.$$

$$\sum X = 0, \quad R_{2P} + p - \frac{P}{2} = 0; \quad R_{2P} = -\frac{P}{2} = -4.$$



6. Kanonik tenglama ko'effitsientlari va ozod hadlari tekshirish.

a) universal tekshirish. Kanonik tenglama ko'effitsientlarini tekshirish uchun, (.2) formulaga asosan universal tekshirish o'tkazamiz. Buning uchun birlik epyuralarni yig'indisi $\bar{M}_s = \bar{M}_1 + \bar{M}_2$ epyurani quramiz (33.2-rasm, j).

$$\sum r = r_{11} + r_{22} + 2r_{12} = 3EI + 0,469EI - 2 \cdot 0,75EI = 1,969EI.$$

$$\begin{aligned} \sum r = r_{SS} &= \sum \int \frac{\bar{M}_s^2}{EI} dx = \frac{1}{EI} \left(\frac{0,5EI \cdot 6}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,5EI \right) \cdot 2 + \\ &+ \frac{1}{2EI} \left(\frac{0,375EI \cdot 4}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,375EI \right) + \frac{4}{6 \cdot 2EI} (1,25^2 + 4 \cdot 0,5^2 + 0,25^2) (EI)^2 = \\ &= EI + 0,094EI + 0,875EI = 1,969EI. \end{aligned}$$

Bu universal tekshirishning bajarilganligini tasdiqlaydi. Demak, kanonik tenglama koefitsientlari to'g'ri aniqlangan.

b) ustun tekshirish. Kanonik tenglama ozod hadlarining to'g'ri aniqlanganini bilish maqsadida (3.3) formulaga binoan ustun tekshirish o'tkaziladi. Buning uchun statik aniq ramaga tashqi yuklardan M_p^0 eguvchi moment epyurasi quriladi. (33.2-rasm, z).

$$R_{sp} = R_{1p} + R_{2p} = -5 - 4 = -9$$

$$R_{sp} = - \sum \int \frac{\bar{M}_s M_p^0}{EI} dx = - \frac{1}{EI} (9 \cdot 6 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{0,5EI}{2}) - \frac{1}{2EI} (\frac{16 \cdot 2}{2} \cdot 0) = -9 - 0 = -9.$$

Ushbu tekshirishning bajarilishi kanonik tenglama ozod hadlari to'g'ri ekanligini tasdiqlaydi.

7. Kanonik tenglama yechilib, kiritilgan bog'lanishlardagi noma'lum ko'chishlar topish.

Kanonik tenglamaga topilgan koefitsient va ozod hadlarni qo'yib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

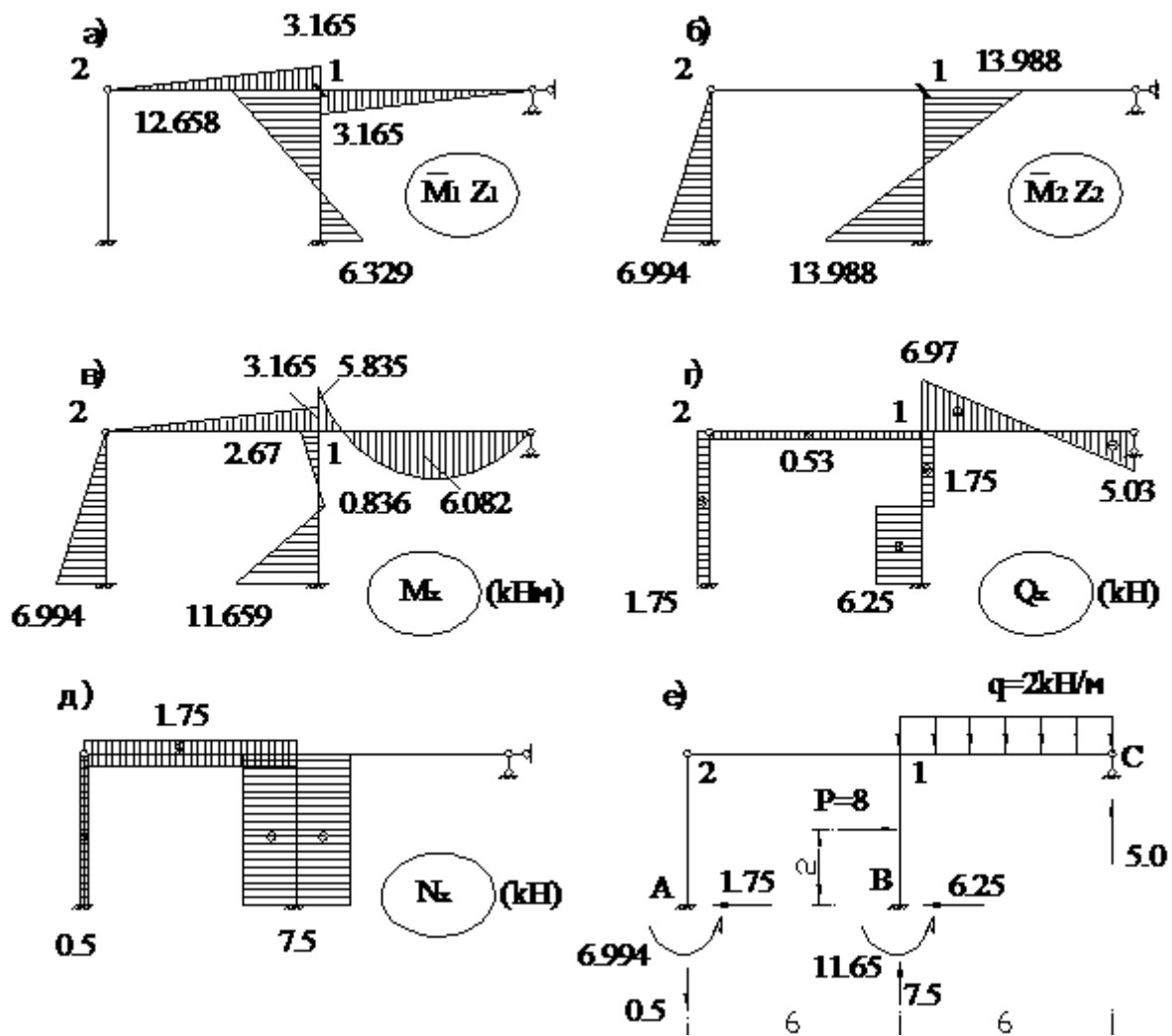
$$\begin{cases} 3EIZ_1 - 0,75EIZ_2 - 5 = 0 \\ -0,75EIZ_1 + 0,469EIZ_2 - 4 = 0 \end{cases}$$

Bu tenglamani yechib, noma'lum ko'chishlarni aniqlaymiz.

$$Z_1 = 6,329 / EI; \quad Z_2 = 18,650 / EI.$$

8. Tuzatilgan eguvchi moment epyuralari chizish.

Tuzatilgan eguvchi moment epyuralarini kurish uchun \bar{M}_1 va \bar{M}_2 birlik epyura ordinatalarini aniqlangan noma'lum ko'chishlarni $Z_1 = 6,329 / EI$; $Z_2 = 18,650 / EI$ kiyamatlariga kupaytiramiz. $\bar{M}_1 Z_1$, $\bar{M}_2 Z_2$ epyuralar 33.3-rasm, a, b larda ko'rsatilgan.



9. Yakuniy eguvchi moment M_x epyurasi chizish.

Yakuniy eguvchi moment epyurasi (32.5) formulaga asosan quriladi:

$$M_x = M_p + \bar{M}_1 Z_1 + \bar{M}_2 Z_2.$$

$\bar{M}_1 Z_1$, $\bar{M}_2 Z_2$ va M_x epyuralar 28.3-rasm, a, b va v larda ko'rsatilgan.

10. Yakuniy eguvchi moment epyurasi M_x tekshirish.

M_x epyurani tekshirish uchun statik tekshirish o'tkazamiz. Buning uchun ramaning 1- tuguni muvozanatini tekshiramiz (23.3 – rasm, v).

The diagram shows a node with three moments acting on it: 3.165 (counter-clockwise), 5.835 (clockwise), and 2.67 (clockwise). The equilibrium equation is:

$$\sum M_1 = 5,835 - 2,67 - 3,165 = 5,835 = 5,835 - 5,835 = 0$$

11. Ko'ndalang kuch Q_x epyurasi chizish.

Ko'ndalang kuch epyurasini yakuniy eguvchi moment epyurasidan foydalanib, kuchlar usulidagilek bajariladi. 23.3-rasm, g da chizilgan.

12. Bo'ylama kuch N_x epyurasi chizish.

Bo'ylama kuch ko'ndalang kuch epyurasidan foydalanib, kuchlar usulidagilek bajariladi. 28.3-rasm, d da chizilgan.

13. Umumiy statik tekshirish o'tkazish.

Ramaning to'g'ri hisoblanganini tekshirish maqsadida umumiy statik tekshirish o'tkazamiz (23.3-rasm, e).

$$\sum X = 0, \quad 8 - 1,75 - 6,25 = 8 - 8 = 0.$$

$$\sum Y = 0, \quad -0,53 + 7,5 + 5,03 - 2 \cdot 6 = 12,53 - 12,53 = 0.$$

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0, \quad & -0,53 \cdot 6 + 8 \cdot 2 + 2 \cdot 6 \cdot 3 - 5,03 \cdot 6 - 6,994 - 11,659 = \\ & = 52 - 52,013 = -0,013. \end{aligned}$$

bu yerda xatolik $\% = \frac{0,013}{52} \cdot 100\% = 0,025\% < 1\%$.

Demak, rama to'g'ri hisoblangan.

MUSTAQIL TA'LIM MASHG'ULOTLARI

3-semestr:

1. Statik aniq va statik aniqmas masalalar. Bir nechta jismdan tashkil topgan sistemaning muvozanati.
2. Tayanchlar va ularning turlari.
3. Teng qarshilikli sterjenlar.
4. Sterjenlarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.
5. Teng qarshilikli balkalar.
6. O'zgaruvchan kesimli sterjenlarning ustivorligi masalasi.
7. Vaqt bo'yicha davriy o'zgaruvchan kuchlanishlarda materiallar mustahkamligi.

4-semestr:

1. Inshootga ta'sir etuvchi yuklar va ularning turlari.
2. Ta'sir chiziqlarini chizishning kinematik usuli.
3. Murakkab fermalarning geometrik o'zgarmasligini tadqiq etish.
4. Fermalarning ratsional shakllarini tanlash.
5. Arka o'qining ratsional shakli.
6. Uch sharnirli arkasimon fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.
7. Statik noaniq sistemalarni temperatura ta'siriga hisoblash.
8. Statik noaniq sistemalarni tayanchlar cho'kishiga hisoblash.
9. Statik noaniq sistemalarni kuchlar usuli bilan matritsalar yordamida hisoblash.
10. Statik noaniq sistemalarni chekli elementlar usuli yordamida hisoblash.

GLOSSARIY

№	Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning mazmuni
1	Материаллар каршилиги	Сопротивление материалов	Strength of materials	Иншоот ва машина элементларини ташқи кучлар таъсирида мустаҳкамлиги, бикрлиги ва устиворлигини ўрганувчи фан.
2	Деформация	Деформация	Deformation	(лотинча deformatio – шакл ўзгартириш) - ташқи кучлар таъсирида жисмнинг ўлчамлари, шакли ва хажмини ўзгаришига айтилади. Деформациянинг асосий турлари тўртта: чўзилиш, соф силжиш, буралиш, эгилиш.
3	Механик кучланиш	Механическое напряжение	Mechanic stress	Ташқи кучлар таъсирида деформацияланувчи қаттиқ жисмда ҳосил бўладиган ички кучлар интенсивлиги СИ системасида кучланиш бирлиги Па (н/м^2).
4	Абсолют деформация	Абсолютная деформация	Absolut deformation	Жисм ўлчамларини ташқи куч таъсирида ўзгариши.
5	Эластик деформация	Упругая деформация	Elastic deformation	Ташқи кучлар таъсири йўқотилганда ўзи ҳам йўқ бўладиган деформация.
6	Пластик деформация	Пластическая деформация	Plastic deformation	Ташқи кучлар таъсири йўқотилганда ҳам сақланадиган деформация.
7	Пластиклик	Пластичность	Plasticity	(plasticity) - қаттиқ жисм ўлчамлари ва шаклини ташқи кучлар таъсирида дарзларсиз ўзгариши. Бу ўлчамлар ва шакл ташқи кучлар таъсиридан кейин ҳам сақланади.

8	Гук қонуни	Закон Гука	Statute of Guk	(Инглиз физиги Р. Гук 1635-1703) – чўзилиш ва сиқилишда ҳосил бўладиган бўйланма кучланишларни нисбий деформация билан боғланишини ифодаловчи қонун.
9	Эластиклик модули	Модуль упругости	Modules of elasticity	(modulus of elasticity, Юнг модули) материални чўзилиш – сиқилишга қаршилик кўрсатиш қобилиятини ифодаловчи коэффициент.
10	Бикрлик	Жесткость	Hardness	(stiffness) – жисмнинг ташқи кучлар таъсирида ўз шаклини сақлаш қобилияти.
11	Чўзилиш ва сиқилиш	Растяжение и сжатие	Straining and pressure	Фақат брус бўйланма ўқи бўйлаб ташқи кучлар таъсирида ҳосил бўладиган кучланганлик – деформация ҳолати.
12	Эгилиш	Изгиб	Bending	Брус бўйланма ўқи эгрилигининг ташқи кучлар таъсирида ўзгариши.
13	Буралиш	Кручение	Torsion	Брус бўйлама ўқидаги кўндаланг кесимларнинг жуфт кучлар таъсирида ҳосил бўладиган ўзаро айланиши билан характерланадиган деформация тури. Буралишга ишловчи брус вал деб аталади.
14	Соф силжиш	Чистый сдвиг	Shear	Брус бўйлама ўқидаги кўндаланг кесимларнинг шаклини ва ўлчамларини ўзгариши билан боғлиқ бўлган деформация тури. Бунда кесимлар орасидаги масофалар ўзгармай қолади.

15	Эластиклик кучи	Упругая сила	Force of elasticity	Деформацияланувчи каттик жисмда жисм заррачалари кўчишига карама-карши йўналишдаги ҳосил бўладиган кучлар.
16	Мураккаб қаршилиқ	Сложное сопротивление	Complexity strength	Деформацияланувчи каттик жисмда бир неча турдаги деформацияларнинг бир вақтнинг ўзида ҳосил бўладиган кучланганлик – деформация ҳолати.
17	Эластик деформацияланувчи каттик жисмнинг потенциал энергияси	Потенциальная энергия деформируемого твердого тела	Potential energy elastic rigid solid	Эластик деформацияланувчи жисмнинг ички кучланишларининг бажарган ишини характерловчи миқдор.
18	Соф эгилиш	Чистый изгиб	Bending	Брус кўндаланг кесимларида фақат эгувчи момент ҳосил бўладиган деформация тури.
19	Қийшиқ эгилиш	Косой изгиб	Oblique bending	Ташқи кучлар таъсир этувчи текислик бруснинг бирорта ҳам бош текислиги билан мос тушмаган ҳолдаги ҳосил бўладиган деформация тури.
20	Кўндаланг эгилиш	Поперечный изгиб	Transverse of bend	Брус кўндаланг кесимларида эгувчи момент ва кўндаланг (кесувчи) куч ҳосил бўладиган деформация тури.
21	Бўйлама - кўндаланг эгилиш	Продольно – поперечные изгиб	Longitudinal – transverse bending	Бир пайтда брус ўқи бўйлаб ва унга перпендикуляр йўналган кучлар таъсирида ҳосил бўладиган кучланганлик - деформация ҳолати.

22	Ички ишқаланиш ҳолати	Внутреннее трение	Inside friction condition	Қаттиқ жисмда зарраларнинг ўзаро ишқаланиши натижасида ички энергиянинг сарфланиши билан боғлиқ бўлган ҳолат.
23	Тензометр	Тензометр	Tenzometr	Материалларнинг физик-механик характеристикаларини ва деформацияларини ўлчайдиган асбоб.
24	Туташмуҳитлармеханикаси	Механика многофазных сред	Mechanic variete medium	Қаттиқ, суяқ ва газсимон жисмларнинг мувозанати ва харакатини, деформация-кучланганлик ҳолатини ўрганувчи механиканинг бир бўлими.
25	Эластиклик назарияси	Теория упругости	Theory of elasticity	Механиканинг бўлими ларидан бири бўлиб, жисмнинг деформация ҳолатини (кўчиш, деформация ва кучланиш) эластиклик чегарасида ўрганади.
26	Эластиклик чегараси	Предел упругости	Limit of elasticity	Гук қонунига амал қиладиган кучланишнинг энг катта қиймати.
27	Пластиклик назарияси	Теория пластичности	Theory of plasticity	(theory of plasticity) - механиканинг жисм деформация ҳолати эластиклик чегарасидан ўтгандан кейин қолдиқ деформация пайдо бўлиши сабаблари ва қонуниятларини ўрганадиган қисми.
28	Балка	Балка	Beam	Тўсин, эгилишга ишлайдиган элемент. Кўприклар, том ёпмалари, машина ўқлари кабилар бунга мисол бўла олади.

29	Рама	Рама	Frame	Устун ва тўсинлар (сарровлар)дан ташкил топган қурилиш конструкцияси (ёки унинг ҳисоблаш схемаси). Рус тилида устунни – колонна ёки стойка, сарровни – ригель дейилади.
30	Ферма	Ферма	Farm	Тўғри чизиқли стерженларни тугунларда бирлаштириш йўли билан ҳосил қилинган қурилиш конструкцияси ферма деб аталади.
31	Стержен	Стержен	Rod	Сиқилиш, чўзилиш, эгилишга ишлайдиган элемент, брус.
32	Арка	Арка	Arc	Эгри ўқли стерженлардан ташкил топган қурилиш конструкцияси. Икки шарнирли, учли ва шарнирсиз аркалар бўлади.
33	Шарнир	Шарнир	Joint	Икки ёки ундан ортиқ элементларни ўзаро бириктириб турувчи унсур бўлиб, элементларни ўзи атрофида айланиш имконини беради.
34	Мустаҳкамлик	Прочность	Durability	Жисмнинг ташқи кучлар таъсирига емирилмасдан қаршилик қилиш қобилияти.
35	Устуворлик	Устойчивость	Stability	Конструкция ва унинг элементларини ташқи кучлар таъсирида ўз шаклини сақлаш қобилияти.
36	Куч	Сила	Force	Жисмларнинг бир-бирларига кўрсатган ўзаро таъсирларининг миқдор ўлчови.

37	Ташқи кучлар	Внешние силы	External force	Ҳисобланаётган конструкция элементида унинг бошқа қисмларидан таъсир қилувчи кучлар
38	Сиртки кучлар	Поверхностные силы	Superficial force	Жисмнинг сиртига қўйилган кучлар
39	Тўпланган кучлар	Сосредоточенные силы	Concentrated force	Жисмнинг ўз ўлчамига нисбатан жуда кичик сиртига таъсир қилувчи куч.
40	Ёйилган куч	Распределенные силы	Distributing force	Жисм сиртининг бирор қисмига тақсимланиб таъсир қилувчи куч.
41	Хажмий кучлар	Объемные силы	Volume force	Жисмнинг барча ички нукталарига таъсир қилувчи куч.
42	Статик куч	Статическая сила	Static force	Ўз миқдори, қўйилган нукталари ёки йўналишларини аста – секин ўзгартирувчи куч.
43	Динамик куч	Динамическая сила	Dynamic force	Ўз миқдори ва қўйилган нукталарини қисқа вақт ичида катта тезлик билан ўзгартирувчи куч.
44	Ички кучлар	Внутренние силы	Inwardly force	Ташқи куч таъсирида деформацияланган жисмнинг ички қисмларида ҳосил бўлган куч.
45	Кесим усули	Метод сечений	Method of section	Деформацияланган жисм қесимларида ҳосил бўладиган ички кучларни ҳисоблаш усули.
46	Нормал кучланиш	Нормальное напряжение	Normal stress	Жисм қесим юзасига перпендикуляр йўналган ички кучлар интенсивлиги.
47	Уринма кучланиш	Касательное напряжение	Tangential stress	Қесим юзасига параллел йўналган ички кучлар интенсивлиги.

48	Асосий оддий турдаги деформациялар	Основные виды простые деформаций	The main common types of deformation	Ташқи кучлар таъсирида конструкция кўндаланг кесимида фақат битта ички куч пайдо бўлади. Улар тўрта: чўзилиш-сиқилиш, соф силжиш, буралиш ва эгилиш.
49	Пуассон коэффициенти	Коэффициент Пуассона	Puasson coefficient	Бўйлама ва кўндаланг деформациялар нисбатини белгиловчи катталиқ.
50	Рухсат этилган кучланиш	Допустимое напряжение	Assumptive stress	Конструкция элементининг мустақкам ишлаши учун мумкин бўлган энг катта кучланиш.
51	Мустақкамлик шарти	Условие прочности	Condition of strong	Конструкция элементида ҳосил бўладиган кучланиш рухсат этилган кучланишдан кичик бўлиши керак.
52	Бош юзалар	Главные площадки	Central area	Уринма кучланишлар нолга тенг юзалар
53	Бош нормал кучланиш	Главное нормальное напряжение	Central normal stress	Бош юзаларга таъсир қилган кучланиш.
54	Текис кесим юзасининг геометрик характеристикалари	Геометрические характеристики плоских сечений	The geometric characteristics of the plane sections	Кесим юзаси, юза оғирлик маркази, статик момент ва ўқларга нисбатан инерция моментлари.
55	Марказий ўқлар	Центральные оси	Central axis	Оғирлик марказидан ўтган ўзаро перпендикуляр ўқлар.
56	Бош ўқлар	Главные оси	The main axis	Ўқларга нисбатан марказдан қочирма инерция моменти нолга тенг.
57	Марказий бош ўқлар	Центральные главные оси	The central axis of the main	Кесимнинг оғирлик марказидан ўтган бош ўқлар.
58	Вал	Вал	Wall	Буралишга ишлайдиган цилиндрик стержен.

59	Эпюра	Эпюра	Curve	Эгувчи момент, кўндаланг ва бўйлама кучларнинг балка ўқи бўйлаб ўзгаришини кўрсатувчи график.
60	Хавфли кесим	Опасное сечение	Dangerous section	Эпюра орқали аниқланадиган кучланишлар максимал қиймат қабул қиладиган кесим.
61	Qurilish mexanikasi	Строительная механика	Construction mechanics	Inshootlarni mustahkamlikka, bikrlikka va ustivorlikka hisoblash haqidagi fan
62	Mustahkamlik	Прочность	Durability	Konstruksiyaning buzilmasdan tashqi yuklar ta'siriga qarshilik qilish
63	Bikrlik	Жесткость	Bikram	Konstruksiyaning deformatsiyaga qarshilik ko'rsatishi
64	Ustivorlik	Устойчивость	Priority	Konstruksiyaning kuchlar ta'sirida o'zining dastlabki holatini saqlab qolishi
65	Loyixalash hisobi	Проектный расчет	Bases of accounting	Ichki kuchlar va deformatsiyalar bo'yicha elementlar o'lchamlarini aniqlash
66	Tekshirish hisobi	Проверочный расчет	Checking account	Elementlarning berilgan (mavjud) o'lchamlari bo'yicha ularning ichki kuchlari va deformatsiyalarini aniqlash
67	Tekis sistema	Плоская система	Flat system	Inshoot elementlari va ularga qo'yilgan yuklar bir tekislikda joylashgan sistema

68	Fazoviy sistema	Пространственная система	Space system	Inshoot elementlari va ularga qo'yilgan yuklar boshqa-boshqa tekisliklarda joylashgan sistema
69	Inshootlarning hisoblash sxemasi	Расчетная схема сооружения	The scheme of calculation of constructions	Inshootlarning ideallashtirilgan va soddallashtirilgan sxemasi
70	Kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipi	Принцип независимости действия сил	The principle of independence of the forces	Inshootga qo'yilgan bir necha (yuklar) kuchlarning birgalikdagi ta'siridan hosil bo'lgan natija har bir kuchning alohida ta'siridan hosil bo'lgan natijalar yig'indisiga teng.
71	Statik aniq sistema	Статически определимая система	Statically determinate system	Noma'lum kuchlar faqat statikaning muvozanat shartlari bilan aniqlaydigan sistema
72	Statik noaniq sistema	Статически неопределимая система	Statically indeterminate system	Noma'lum kuchlar faqat statikaning muvozanat shartlari bilan aniqlab bo'lmaydigan sistema
73	Sterjen	Стержень	Rod	Ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunligiga nisbatan ancha kichik bo'lgan element
74	Sterjenlar sistemasi	Стержневая система	Rod system	Alohida sterjenlarning tugunlarda o'zaro birlashtirish yo'li bilan hosil qilingan sistema
75	Plastina	Пластина	Plate	Qalinligi, uzunligi va eniga nisbatan ancha kichik bo'lgan element

76	Massiv jismlar	Массивное тело	The massive body	O'lchami bir-biriga yaqin bo'lgan element
77	Tekis taqsimlangan yuk	Раномерно распределенная нагрузка	Ranomerno distributed load	YUza eki uzunlik birligiga bir xil intensivlida ta'sir qiladigan tarqalgan yuk
78	To'plangan yuk	Сосредоточенная нагрузка	Concentrated load	Bir nuqtaga to'plangan kuch
79	Doimiy yuk	Постоянная нагрузка	Constant load	Inshootning butun xizmat muddati davomida uzluksiz ta'sir qiladigan yuk
80	Vaqtincha yuk	Временная нагрузка	Temporary load	Vaqt oraliq'ida ta'sir qiladigan yuk
81	Qo'zg'aluvchan yuk	Подвижная нагрузка	Moving load	Inshoot bo'ylab ma'lum yo'nalish va chegarada harakatlanuvchi yuk
82	Statik yuk	Статическая нагрузка	Static load	Vaqt bo'yicha juda sekin qo'yiladigan, o'z miqdori, qo'yilgan nuqtalari yoki yo'nalishlari o'zgarmaydigan yuk
83	Dinamik yuk	Динамическая нагрузка	Dynamic load	Juda qisqa vaqt mobaynida o'z qiymati, yo'nalishi yoki holati o'zgaradigan, natijada inersiya kuchlari hosil bo'ladigan yuk
84	Normativ (me'yoriy) yuk	Нормативная нагрузка	Prescribed load	Inshootdan normal foydalanish shartlariga muvofiq hisoblash normalarida keltirilgan yuk
85	Hisobiy yuk	Расчетная нагрузка	Design load	Normativ (me'yoriy) yukning ishonchlilik koeffitsientiga ko'paytirilgan yuk

86	Kritik yuk	Критическая нагрузка	Critical load	Sistemaning ustivorligini yo'qotadigan eng kichik yuk
87	Ishonchlilik koefitsienti	Коэффициент надежности	Safety factor	Normativ (me'yoriy) yukning o'zgarishini e'tiborga oluvchi koefitsient
88	Tayanch	Опора	Support	Inshootlarni asos bilan biriktiruvchi va ularning ko'chishini cheklovchi qurilmalar
89	Qistirib mahkamlangan (bikr) tayanch	Защемляющая неподвижная опора (заделка)	Pinch the fixed support (sealing)	CHiziqli va burchakli ko'chishlarga qarshilik ko'rsatadigan tayanch
90	Qo'zg'almas sharnirli tayanch	Шарнирно-неподвижная опора	Articulated fixed support	Vertikal va gorizontal yo'nalishlarda ko'chishlarni cheklab, faqat sharnir o'qi atrofida erkin aylanishga imkon beruvchi tayanch
91	Qo'zg'aluvchan sharnirli tayanch	Шарнирно-подвижная опора	Articulated mobil	SHarnir o'qi atrofida erkin aylanishga va gorizontal ko'chishga imkon beradigan tayanch
92	Inshootlar kinematik analizi	Кинематический анализ сооружений	Kinematic analysis of constructionse support	Inshootning geometrik o'zgarmas yoki o'zgaruvchan ekanligini aniqlash usuli
93	Erkinlik darajasi	Степень свободы	Degree of freedom	Sistemaning tekislikda olgan o'rmini to'la aniqlab beruvchi, bir-biriga bog'liq bo'lmagan geometrik parametrlar soni

94	Geometrik o'zgarimas sistema	Геометрически неизменяемая система	Geometrically unchangeable system	O'zining geometrik shaklini elementlarining deformatsiyasi tufayligina o'zgartiradigan sistema
95	Geometrik o'zgaruvchan sistema	Геометрически изменяемая система	Geometrically variable system	Elementlari deformatsiyasiz o'z shaklini o'zgartiradigan sistema
96	Oniy o'zgaruvchan sistema	Мгновенно изменяемая система	Instantly change system	Qo'yilishi bilan oq geometrik o'zgarimas sistemaga aylanadigan sistema
97	Eguvchi moment	Изгибающий момент	Bending moment	Sterjenni bosh tekisliklar bo'yicha egadigan momentlar
98	Burovchi moment	Крутящий момент	Torsion moment	Sterjenni bo'ylama o'qi bo'yicha buraydigan moment
99	Ko'ndalang kuch	Поперечная сила	Transverse force	Sterjen o'qiga nisbatan tik yo'nalgan kuch
100	Bo'ylama kuch	Продольная сила	Longitudinal force	Sterjen o'qi bo'ylab yo'nalgan kuch
101	Ichki kuchlar epyurasi	Эпюра внутренних сил	The diagram of internal forces	Ichki kuchlarning sterjen o'qi bo'ylab o'zgarishini ko'rsatuvchi grafik
102	Ta'sir chizig'i	Линия влияния	Influence line	Birlik kuch inshoot bo'ylab harakat qilganda uning tanch reaksiyalari va zo'riqishlarining o'zgarish qonunini ifodalovchi grafik
103	Balka	Балка	Beam	Asosan egilishga ishlaydigan sterjen

104	Oddiy balka	Простая балка	Simple beam	Bitta tayanchi qo'zg'almas sharnirli, ikkinchisi qo'zg'aluvchan sharnirli bo'lgan bir oraliqli balka
105	Konsol	Консоль	Cantilever	Bir uchi qistirib mahkamlangan balka
106	Konsolli balka	Консольная балка	Cantilever beam	Bitta yoki ikkita konsolli oddiy balka
107	Ko'p oraliqli statik aniq balka	Многопролетная статически определимая балка	Multi-span statically determinate beam	Bir necha oddiy balkalarni bir-biriga sharnirlar vositasida tutashirilgan ko'p oraliqli statik aniq va geometrik o'zgarimas sistema
108	Balka elementlarining o'zaro ta'siri sxemasi	Схема взаимодействия элементов балки	Scheme of interaction of elements of beams	Ko'p oraliqli statik aniq balkaning geometrik o'zgarimas ekanligini bilish hamda ishini tekshirish uchun uning elementlarining o'zaro bog'lanishi va ta'sirini ifodalovchi sxema
109	Asosiy balka	Основная балка	The main beam	Ikkita tayanchda yotgan, o'ziga qo'yilgan yuklardan tashqari ikkinchi darajali va osma balkalarga qo'yilgan yuklarni ham qabul qiladigan ko'p oraliqli statik aniq balkaning elementi

110	Ikkinchi darajali balka	Второстепенная балка	Populations of secondary beam	Bitta tarafi qo'shni balka bilan sharnirlar vositasida tutashgan, ikkinchi tarafi qo'zg'aluvchan sharnirli tayanchda yotuvchi mos ravishda o'ziga va o'ziga nisbatan ikkinchi darajali va osma balkalardagi yuklarni ham qabul qiladigan ko'p oraliqli statik aniq balkaning elementi
111	Osma balka	Подвесная балка	Hanging beam	Tayanch bo'lmagan, ya'ni ikkala tarafidan qo'shni balkalarga sharnirlar vositasida tutashgan va faqat o'ziga qo'yilgan yukga ishlaydigan ko'p oraliqli statik aniq balkaning elementi
112	Ferma	Ферма	Farm	Elementlari sharnirlar vositasida geometrik o'zgarmas qilib tutashtirilishidan hosil bo'lgan sterjenlar sistemasi
113	Bikir tugun	Жесткий узел	Rigid connection device	Barcha sterjenlarnig uchlari bir-biri bilan bikir qilib bog'langan tugun
114	Sharnirli tugun	Шарнирный узел	Flexible joint	Barcha sterjenlarning uchlari bir-biri bilan sharnirli qilib bog'langan tugun

115	Tekis ferma	Плоская ферма	Flat farm	Elementlari va unga qo'yilgan tashqi yuklari bir tekislikda yotuvchi ferma
116	Fazoviy ferma	Пространственная ферма	Space truss	Elementlari va unga qo'yilgan tashqi yuklari boshqa-boshqa tekislikda yotuvchi ferma
117	Ferma belbog'lari	Пояс фермы	Farm belt	Ferma konturining yuqorigi qismini tashkil etuvchi sterjenlari yuqorigi belbog', pastki elementlari birikmasi pastki belbog'ni tashkil etadi
118	Ferma panjarasi	Решетка фермы	lacing	YUqorigi va pastki belbog'larni tutashtiruvchi vertikal va og'ma elementlar
119	Fermaning xovonli panjarasi	Раскосная решетка фермы	Diagonal lattice truss	Ustun va hovondan iborat bo'lgan zigzik shaklidagi ferma panjarasi
120	Fermaning uchburchakli panjarasi	Треугольная решетка фермы	The triangular lattice truss	Faqat hovondan iborat bo'lgan zigzag shakldagi ferma panjarasi
121	Panel	Панель	Panel	Fermaning ikki tuguni orasidagi gorizontal masofa
122	SHprengel	Шпренгель	Sprengel	Ikki tugun orasidagi yordamchi fermacha
123	Balkasimon ferma	Балочная ферма	Girder	Tayanchlari oddiy balka tayanchlari kabi bo'lgan ferma
124	Arkasimon ferma	Арочная ферма	Arched girder	Tuzilishi va ishlash jihatdan arkaga o'xshagan ferma

125	Tugunni kesish usuli	Способ вырезания узлов	A method of cutting units	Istalgan tugunga oid ikkita muvozanat tenglamasi orqali zo'riqishlarni aniqlash usuli
126	Moment nuqtasi	Моментная точка	Moment point	Kesimga tushgan zo'riqishi qidirilayotgan elementdan boshqa ikkita element o'qlarining tutashgan nuqtasi
127	Moment nuqtasi usuli	Способ моментной точки	Method of moment point	Har qaysi elementdagi zo'riqish moment nuqtasiga nisbatan tuzilgan momentlar tenglamasidan foydalanib aniqlanadigan usul
128	Proeksiya usuli	Способ проекции	A method of projection	Uchinchi elementdagi zo'riqish parallel bo'lgan elementlarga tik yo'nalgan o'qqa tushirilgan proeksiyalar yig'indisi orqali aniqlanadigan usul
129	Uch sharnirli sistema	Трехшарнирная система	Trehsharnirna y a system	O'zaro bitta sharnir vositasida ulangan va asosga ikkita qo'zg'almas sharnirli tayanchlar yordamida tayangan ikkita diskdan iborat geometrik o'zgarmas sistema
130	Arka	Арка	Arch	Disklari egri sterjendan iborat sistema

131	Havon	Распор	Spacer	Vertikal yuklar ta'sirida inshoot tayanchlarida hosil bo'ladigan gorizontol reaksiya kuchlari
132	Havonli sistema	Распорная система	Spacer system	Vertikal yuklar ta'sirida inshoot tayanchlarida hosil bo'ladigan gorizontol reaksiya hosil bo'ladigan sistema
133	Havonsiz sistema	Бесраспорная система	Unspacer system	Vertikal yuklar ta'sirida inshoot tayanchlarida faqat vertikal reaksiyalar hosil bo'ladigan sistema
134	Uch sharnirli arka	Трехшарнирная арка	Three-hinged arch	Disklari egri sterjendan iborat bo'lgan uch sharnirli sistema
135	Ikki sharnirli arka	Двухшарнирная арка	Two -hinged arch	SHarnirsiz ikkita qo'zgalmas tayanchga tayangan arka
136	Sharnirsiz arka	Бесшарнирная арка		Ikkita biki tayanchga tayangan sharnirsiz arka
137	Tortqi	Затяжка	Toke	Arkaning havon reaksiyasini o'ziga qabul qiluvchi sterjen
138	Uch sharnirli rama	Трехшарнирная рама		Disklari siniq sterjendan iborat uch sharnirli sistema
139	Uch sharnirli arkaning ratsional o'qi	Рациональная ось трехшарнирной арки		Tekis tarqalgan yukdan arkaning istalgan ko'ndalang kesimida eguvchi momenti nolga teng bo'lgan o'qi

140	Ko'chish	Перемещение	Displacement	Inshoot deforma-siyasi natijasida uning nuqtalari koordinatalari-ning o'zgarishi
141	Mumkin bo'lgan ko'chish	Возможное перемещение	Possible movement	Inshoot nuqtasi-ning, bog'lanishlar imkon beruvchi darajada, juda kichik ko'chishi
142	Tashqi kuchning bajargan ishi	Работа внешних сил	The work of external forces	Tashqi kuchning, uning yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan ko'chishga ko'paytmasining yarmi
143	Ishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi	Теорема о взаимности работ (Бетти)	Theorem on reciprocity works (Betty)	Birinchi holatdagi kuchlarning shu kuchlar yo'nalishida ikkinchi holat kuchlari ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishlarning vujudga kelishida bajargan ishi ikkinchi holatdagi kuchlarning shu kuchlar yo'nalishida birinchi holat kuchlari ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishlarning vujudga kelishida bajargan ishiga teng
144	Ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi	Теорема о взаимности перемещений (Максвелла)	Theorem of reciprocal movement (Maxwell)	Birinchi birlik kuch yo'nalishi bo'yicha ikkinchi birlik kuchdan hosil bo'lgan ko'chish ikkinchi birlik kuch yo'nalishi bo'yicha birinchi birlik kuchdan hosil bo'lgan ko'chishga teng

145	Ko'chishlarni aniqlashning umumiy formulasi	Общая формула перемещений	Total displacement formula	Tashqi kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishlarni shu kuchlar va birlik kuchlardan vujudga kelgan ichki kuchlar orqali aniqlash formulasi
146	Epyuralarni ko'paytirish usuli	Способ (Верещагина) перемножения эпюр	Method (Vereshchagin) multiplying the diagrams	Ko'chishni tashqi kuchdan hosil bo'lgan eguvi moment epyurasi yuzasining shu yuza og'irlik markaziga mos keladigan birlik kuchdan hosil bo'lgan epyuradan olinadigan ordinataga ko'paytmasi orqali aniqlaydigan usul
147	Rama	Рама	Frame	Asosan egilishga ishlaydigan bir-biri bilan bikir yoki sharnirli qilib birlashtirilgan sterjenlar sistemasi
148	Kuch usuli	Метод сил	Work method	Ortiqcha bog'lanishlardagi zo'riqlashlarni noma'lum deb qabul qilingan hisoblash usuli
149	Statik noaniqlik	Статическая неопределенность	Static uncertainty	Statik noaniq sistemadagi ortiqcha bog'lanishlar soni
150	Tashqi statik noaniq sistema	Внешне статически неопределимая система	Externally, the statically indeterminate system	Faqat ortiqcha tashqi bog'lanishlari bo'lgan sistema

151	Ichki statik noaniq sistema	Внутренне статически неопределимая система	Internally statically indeterminate system	Sistemaning qismlarini o'zaro bog'lash uchun kiritilgan ortiqcha bog'lanishli sistema
152	Kuch usulining asosiy sistemasi	Основная система метода сил	The main method of power system	Statik noaniq sistemadan barcha ortiqcha bog'lanishlar olib tashlangan statik aniq va geometriko'zgarmas sistema
153	Ko'chish usuli	Метод перемещений	Displacement method	Tugunlarining chiziqli va burchakli ko'chishlarini noma'lum deb qabul qilingan xisoblash usuli
154	Kinematik noaniqlik	Кинематическая неопределенность	Kinematic uncertainty	Statik noaniq sistema tugunlarining burchakli va chiziqli ko'chishlarining yig'indisi
155	Ko'chish usulining asosiy sistemasi	Основная система метода перемещений	The basic system displacement method	Berilgan statik noaniq sistemaga, uning tugunlarining burchakli va chiziqli ko'chishlariga qarshilik ko'rsatuvchi qo'shimcha bog'lanishlar kiritib hosil qilingan sistema
156	Uzluksiz balka	Неразрезная балка	Continuous beam	Tayanchlari ikkitadan ortiq bo'lgan statik noaniq balka
157	Fokuslar usuli	Метод фокусов	Method tricks	Faqat bitta oralig'i yuklangan uzluksiz balkadagi noma'lum tayanch momentlarni aniqlash usuli

158	Chap fokus nuqtalari	Левые фокусные точки	Left focal point	Momentlar epyurasidagi yuk qo'yilgan oraliqqa nisbatan chap tomonda joylashgan nol nuqtalar
159	O'ng fokus nuqtalari	Правые фокусные точки	Right focal point	Momentlar epyurasidagi yuk qo'yilgan oraliqqa nisbatan o'ng tomonda joylashgan nol nuqtalar
160	Fokus nisbatlari	Фокусные отношения	Focus relations	Uzluksiz balkaning yuklanmagan oralig'idagi tayanch momentlarining absolyut qiymatlari nisbati