



М.ЭРГАШОВ

**МАТЕРИАЛЛАР ҚАРШИЛИГИ
ҲИСОБЛАШ-ЛОЙИҲАЛАШ
ИШЛАРИ**



ТОШКЕНТ - “МОЛИЯ” - 2003

620.1
9-74

М. ЭРГАШОВ

МАТЕРИАЛЛАР ҚАРШИЛИГИ ҲИСОБЛАШ-ЛОЙИҲАЛАШ ИШЛАРИ

*Олий ўқув юртлариаро илмий-услубий бирлашмалар фаолиятини
Мувофиқлаштирувчи Кенгаш томонидан олий ўқув юртлари
учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этилган*

БИБЛИОТЕКА
Бух. ТНП и ЛП
№ 42770

ТОШКЕНТ — «МОЛИЯ» — 2003

42770

М. Эргашов. Материаллар қаршилиги ҳисоблаш-лойиҳалаш ишлари. —Т.: «Молия», 2003 й., 196-бет.

Қўлланма олий техника ўқув юртларининг кундузги ва сиртқи бўлим талабаларига мўлжалланган бўлиб, унда материаллар қаршилиги фанининг ҳамма бўлимларига оид ҳисоблаш-лойиҳалаш ишлари масалалари ва уларни бажариш намуналари келтирилган. Қўлланмадаги масалалардан олий техника ва ўрта махсус, касб-ҳунар таълим муассасаларида ўқитиладиган амалий механика ва техникавий механика фанларининг айрим бўлимлари бўйича амалиёт дарслари ўтиш ва талабаларга мустақил ишлар беришда ҳам фойдаланиш мумкин.

Тақризчилар: т.ф.д. проф. Т. Мавлонов
т.ф.д. проф. А. А. Абдусатторов
т.ф.д. проф. А. Жураев

© Ўзбекистон Республикаси
Банк-молия академияси
«Молия» нашриёти. 2003 й.
© Тошкент тўқимачилик ва
енгил саноат институти, 2003 й.

КИРИШ

Маълумки, материаллар қаршилиги фани техника олий ўқув юртларининг талабаларига турли конструкциялар, машиналар деталлари ва иншоотларни мустаҳкамлиги, чидамлилиги ва ҳолатларининг устуворлиги ҳамда мустаҳкамлик, чидамlilik ва устуворлик шартлари бажарилиши учун конструкциялар материалларининг сифати, кундаланг кесимларининг юзалари, шакллари ва ҳолатлари қандай бўлиши кераклигини ҳисоблаш ва тажрибада синашни ургатувчи умуммуҳандис фанлар қаторига киради. Шунинг учун материаллар қаршилиги фанининг намунавий дастурида маъруза ва амалиёт дарслари билан бир қаторда ҳисоблаш-лойиҳалаш ва лаборатория ишларини бажариш назарда тутилган. Техника олий ўқув юртларида олтитадан ун иккитагача ҳисоблаш-лойиҳалаш ишлари бажарилади.

Қўлланма техника олий ўқув юртларининг кундузги ва сиртқи бўлим талабаларига мулжалланган бўлиб, унда материаллар қаршилиги фанида утиладиган ҳамма бўлимларга оид уттизта вариантли бир нечта ҳисоблаш-лойиҳалаш ишлари тўпламлари ва уларни ечиш намуналари келтирилган.

Сиртқи бўлим талабаларига бериладиган ҳисоблаш-лойиҳалаш ишлари (назорат топшириқлари) юлдузча белгиси билан белгиланган бўлиб, уларни намунавий дастурга асосан қуйидаги кетма-кетликда бажариш тавсия этилади: 1.8, 1.9, 1.10, 2.4, 4.3, 5.4, 5.6, 6.2, 7.2, 9.2, 9.3, 11.3, 12.2, 13.1, 14.1, 15.1, 15.2, 16.1, 17.1, 18.1, 19.1.

Қўпчилик ишларни бажариш намуналарининг мавжудлиги талабаларга фан бўйича чуқур билим олиш ва назорат ишларини тез ва тўғри бажаришда қўл келади.

Техника олий ўқув юртларининг айрим йуналишларида ўқитиладиган амалии механика ва техникавий механика фанларига материаллар қаршилиги фанининг асосий тушунчалари киритилган ва бу фанларнинг намунавий дастурларида ҳам ҳисоблаш-лойиҳалаш ишларини бажариш режалаштирилган. Қўлланмадаги қўпчилик ҳисоблаш-лойиҳалаш ишлари амалий механика ва техникавий механика фанларининг намунавий дастурларидаги ҳисоблаш-лойиҳалаш ишларига қўйилган талабларга мос келади.

1. Чузилиш ва сиқилиш

1.1-масала. Уzunликлари a, b, c ва кўндаланг кесимларининг юзалари F ва $2F$ га тенг поғонали стерженга P_1 ва P_2 ташқи кучлар қўйилган. Стерженни кўндаланг кесимларидаги бўйлама куч, нормал кучланиш ва кучиш эпюраларини қуриш. Мустаҳкамлик шартини текширинг. Керакли маълумотлар 1.1-жадвалда келтирилган ($E = 2 \cdot 10^{11} \frac{H}{M^2}$, $[\sigma] = 1.6 \cdot 10^8 \frac{H}{M^2}$).

1.1-масалани ечиш намуналари.

Берилган: 1.1-шакл, $F = 1.6 \cdot 10^{-3} M^2$, $a = 0.55 M$, $b = 0.65 M$, $c = 0.75 M$, $P_1 = 6 \cdot 10^4 H$, $P_2 = 6.5 \cdot 10^4 H$, $P_3 = 6.6 \cdot 10^4 H$, $E = 2 \cdot 10^{11} \frac{H}{M^2}$.

Ечиш.

1) Стержен кесимларини A, B, C, D ҳарфлари билан белгилаб 1.1-шаклни ҳосил қиламиз.

2) Поғоналардаги бўйлама куч, нормал кучланиш, абсолют узайиш ва кўндаланг кесимларнинг кучишлари қуйидагича ифодаланади:

- AB поғонада ($0 \leq x_1 \leq a$)

$$N_{AB} = -P_2 + P_1 + P_3, \quad \sigma_{AB} = \frac{N_{AB}}{F_{AB}} = \frac{-P_2 + P_1 + P_3}{2F},$$

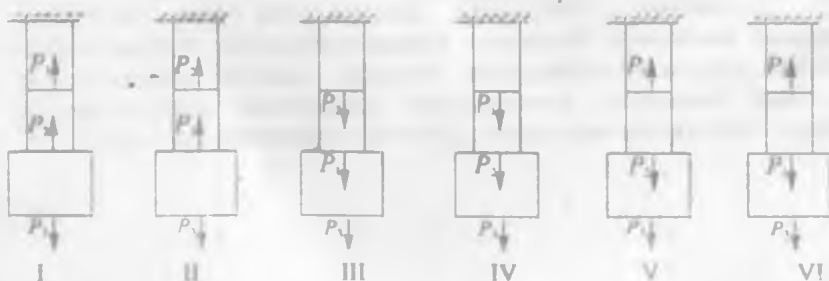
$$\Delta l_{AB} = \frac{N_{AB} AB}{EF_{AB}} = \frac{(-P_2 + P_1 + P_3)a}{2EF},$$

$$\delta_1 = \delta_A + \Delta l_{AB} = 0 + \frac{(-P_2 + P_1 + P_3)a}{2EF} = \frac{(-P_2 + P_1 + P_3)a}{2EF},$$

- BC поғонада ($a \leq x_1 \leq a+b$)

$$N_{BC} = P_1 + P_3, \quad \sigma_{BC} = \frac{N_{BC}}{F_{BC}} = \frac{P_1 + P_3}{2F}, \quad \Delta l_{BC} = \frac{N_{BC} BC}{EF_{BC}} = \frac{(P_1 + P_3)c}{2EF},$$

1.1-масаланинг шакллари





VII



VIII



IX



X



XI



XII



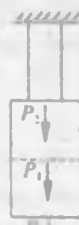
XIII



XIV



XV



XVI



XVII



XVIII



XIX



XX



XXI



XXII



XXIII



XXIV



XXV



XXVI



XXVII



XXVIII



XXIX



XXX

№	a	b	c	$10^4 F$	$10^4 P_1$	$10^4 P_2$
	м			м ²	Н	
1	0.10	0.15	0.16	11	1.0	1.5
2	0.20	0.25	0.26	12	2.0	2.5
3	0.30	0.35	0.36	13	3.0	3.5
4	0.40	0.45	0.46	14	4.0	4.5
5	0.50	0.55	0.56	15	5.0	5.5
6	0.60	0.65	0.66	16	6.0	6.5
7	0.70	0.75	0.76	17	7.0	7.5
8	0.80	0.85	0.86	18	8.0	8.5
9	0.90	0.95	0.96	19	9.0	9.5
10	0.25	0.15	0.10	11	1.0	1.5
11	0.35	0.25	0.20	12	2.0	2.5
12	0.45	0.35	0.30	13	3.0	3.5
13	0.55	0.45	0.46	14	4.0	4.5
14	0.65	0.55	0.56	15	5.0	5.5
15	0.75	0.65	0.66	16	6.0	6.5
16	0.85	0.75	0.76	17	7.0	7.5
17	0.95	0.85	0.86	18	8.0	8.5
18	0.10	0.15	0.10	19	9.0	9.5
19	0.20	0.25	0.20	18	8.0	8.5
20	0.30	0.35	0.30	17	7.0	7.5
21	0.40	0.45	0.40	16	6.0	6.5
22	0.50	0.55	0.50	15	5.0	5.5
23	0.60	0.65	0.60	14	4.0	4.5
24	0.70	0.75	0.70	13	3.0	3.5
25	0.80	0.85	0.80	12	2.0	2.5
26	0.15	0.25	0.35	12	2.0	2.5
27	0.25	0.35	0.45	13	3.0	3.5
28	0.35	0.45	0.55	14	4.0	4.5
29	0.45	0.55	0.65	15	5.0	5.5
30	0.55	0.65	0.75	16	6.0	6.5

$$\delta_c = \delta_B + \Delta l_{BC} = \Delta l_{AB} + \Delta l_{BC} = \frac{(-P_2 + P_1 + P_0)a}{2EF} + \frac{(P_1 + P_2)b}{2EF};$$

- CD поғонада ($a + b \leq x_1 \leq a + b + c$)

$$N_{CD} = P_1, \quad \sigma_{CD} = \frac{N_{CD}}{F_{CD}} = \frac{P_1}{F}, \quad \Delta l_{CD} = \frac{N_{CD}CD}{EF_{CD}} = \frac{P_1c}{EF},$$

$$\delta_D = \delta_C + \Delta l_{CD} = \Delta l_{AB} + \Delta l_{BC} + \Delta l_{CD} = \frac{(-P_2 + P_1 + P_0)a}{2EF} + \frac{(P_1 + P_2)b}{2EF} + \frac{P_1c}{EF}.$$

3) Мустваҳкамлик шарти

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{F} \leq [\sigma]$$

тенгсизлик орқали текширилади.

Жавоб: $\delta_A = 0$, $\delta_B = 0.61 \cdot 10^{-4}$ м, $\delta_C = 1.94 \cdot 10^{-4}$ м, $\delta_D = 3.48 \cdot 10^{-4}$ м.

1.2-масала. Узунликлари AB , BC , CD ва кўндаланг кесимларининг юзалари F ва $2F$ га тенг поғоналардан ясалган стерженни қуйи ва юқори чегаралари қўзғалмас қилиб маҳкамлаган. Стерженга P_1 ва P_2 ташқи кучлар қўйилган. Кўндаланг кесимлардаги бўйлама куч, нормал кучланиш ва қўчиш энжураларини қўринг. Керакли маълумотлар

1.2-жадвалдан олинади
($E = 2 \cdot 10^{11} \frac{H}{M^2}$, $[\sigma] = 1.6 \cdot 10^8 \frac{H}{M^2}$).

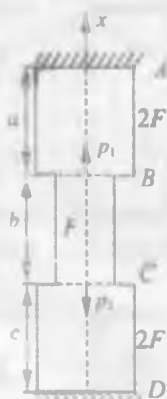
1.2-масалани ечишга оид кўрсатмалар.

Берилган: 1.2 — шакл; $F = 20 \text{ см}^2$; $a = 1.0 \text{ м}$; $b = 0.5 \text{ м}$; $c = 2.0 \text{ м}$;

$P_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ Н}$; $P_2 = 6 \cdot 10^4 \text{ Н}$; $P_3 = 4 \cdot 10^4 \text{ Н}$.

Ечиш.

1) Масала бир марга статик аниқмас, чунки ҳамма актив ва реактив кучлар стерженнинг марказий ўқи бўйлаб таъсир этади. Шунинг учун статиканинг битга мувозанат тенгламасига қўшимча қўчиш тенгламаси тузиш зарур. Бунинг учун аввал қўидаги усул бўйича ҳисоб схемаси тузамиз:



1.2-шакл

— стержен қуйи чегарасидаги қўзғалмас боғланиш олиб ташланади;

— олиб ташланган боғланишнинг таъсири номаълум реактив куч R_D билан алмаштирилади, натижада 1.3 — шакл ҳосил бўлади.

2) Статиканинг мувозанат тенгламасини тузамиз

$$\sum X = 0, \quad R_A + P_1 - P_2 - R_D = 0 \quad (a)$$

Ҳосил бўлган тенгламада R_A ва R_D реактив кучлари номаълум.

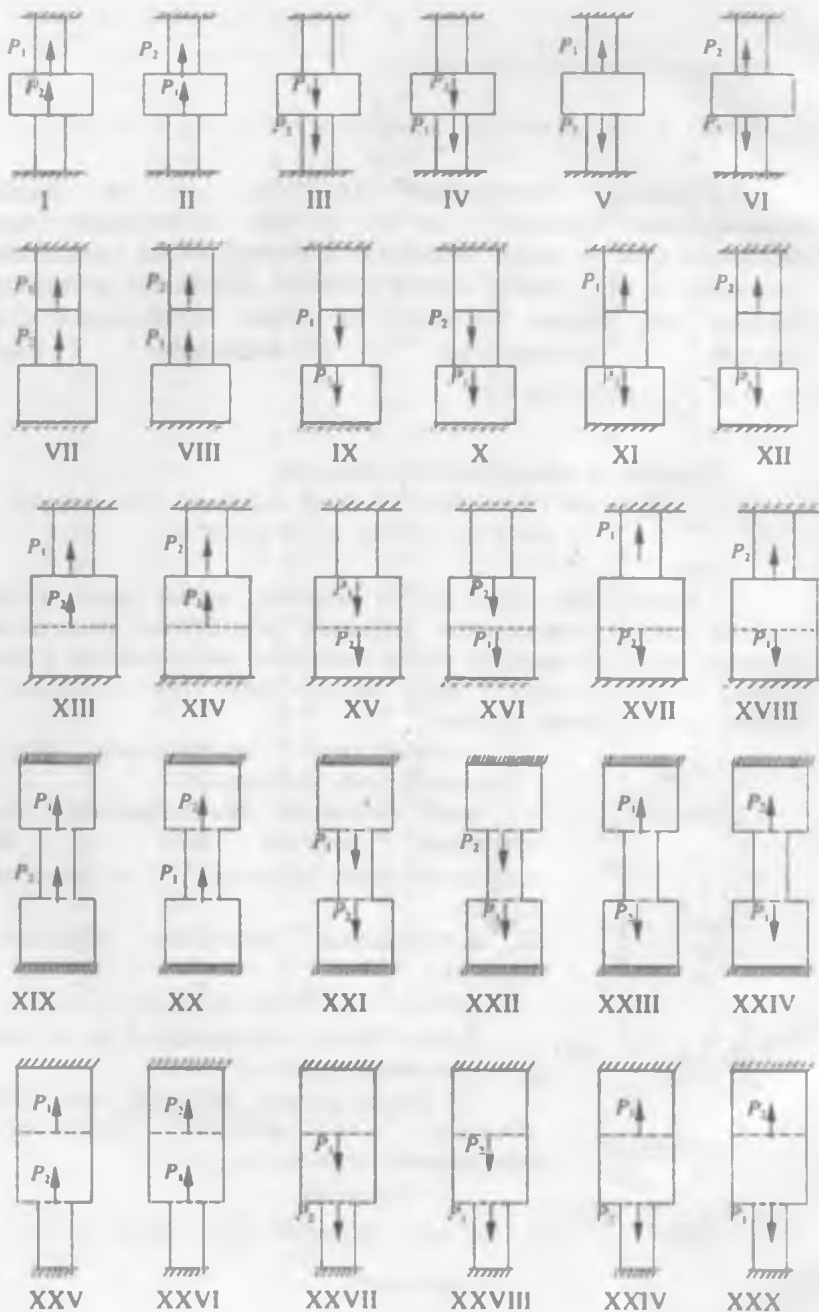
3) Кесимлардаги бўйлама куч, нормал кучланиш ва абсолют узайишларнинг ифодаларини езамиз:

— CD поғонада

$$N_{CD} = R_D, \quad \sigma_{CD} = \frac{N_{CD}}{F_{CD}} = \frac{R_D}{2F}, \quad \Delta l_{CD} = \frac{N_{CD} \cdot CD}{EF_{CD}} \quad (6)$$

— BC поғонада

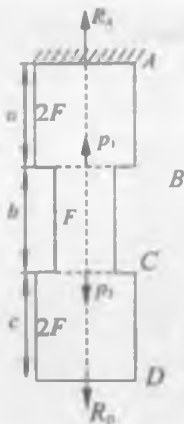
1.2-масаланинг шакллари



№	a	b	c	$10^4 F$	$10^4 P_1$	$10^4 P_2$
	M			M ²	H	
1	1.10	1.15	1.16	21	1.0	1.5
2	1.20	1.25	1.26	22	2.0	2.5
3	1.30	1.35	1.36	23	3.0	3.5
4	1.40	1.45	1.46	24	4.0	4.5
5	1.50	1.55	1.56	25	5.0	5.5
6	1.60	1.65	1.66	26	6.0	6.5
7	1.70	1.75	1.76	27	7.0	7.5
8	1.80	1.85	1.86	28	8.0	8.5
9	1.90	1.95	1.96	29	9.0	9.5
10	1.25	1.15	1.10	21	1.0	1.5
11	1.35	1.25	1.20	22	2.0	2.5
12	1.45	1.35	1.30	23	3.0	3.5
13	1.55	1.45	1.46	24	4.0	4.5
14	1.65	1.55	1.56	25	5.0	5.5
15	1.75	1.65	1.66	26	6.0	6.5
16	1.85	1.75	1.76	27	7.0	7.5
17	1.95	1.85	1.86	28	8.0	8.5
18	2.10	2.15	2.10	39	9.0	9.5
19	2.20	2.25	2.20	38	8.0	8.5
20	2.30	2.35	2.30	37	7.0	7.5
21	2.40	2.45	2.40	36	6.0	6.5
22	2.50	2.55	2.50	35	5.0	5.5
23	2.60	2.65	2.60	34	4.0	4.5
24	2.70	2.75	2.70	33	3.0	3.5
25	2.80	2.85	2.80	32	2.0	2.5
26	2.15	2.25	2.35	42	2.0	2.5
27	2.25	2.35	2.45	43	3.0	3.5
28	2.35	2.45	2.55	44	4.0	4.5
29	2.45	2.55	2.65	45	5.0	5.5
30	2.55	2.65	2.75	46	6.0	6.5

$$N_{BC} = P_2 + R_D, \quad \sigma_{BC} = \frac{N_{BC}}{F_{BC}} = \frac{R_2 + R_D}{F}, \quad \Delta l_{BC} = \frac{N_{BC} \cdot BC}{EF_{BC}}; \quad (B)$$

AB поғонада



1.3-шакл

$$N_{AB} = -P_1 + P_2 + R_n, \quad \sigma_{AB} = \frac{N_{AB}}{F_{AB}} = \frac{-P_1 + P_2 + R_n}{2F},$$

$$\Delta l_{AB} = \frac{N_{AB} AB}{EF_{AB}}, \quad (\text{г})$$

4) Стерженнинг А, В, С, D кесимлари кўчишлари қуйидагича ифодаланади:

- А кесим маҳкамланган бўлгани учун унинг кўчиши нолга тенг, яъни: $\delta_A = 0$ бўлади;

- В кесимнинг кўчиши

$$\delta_B = \delta_A + \Delta l_{AB} = \delta_A + \frac{N_{AB} \cdot AB}{EF_{AB}} = \delta_A + \frac{(-P_1 + P_2 + R_n)a}{2EF} = \frac{(-P_1 + P_2 + R_n)a}{2EF}$$

- С кесимнинг кўчиши

$$\delta_C = \delta_B + \Delta l_{BC} = \delta_C + \frac{N_{BC} DC}{EF_{BC}} = \delta_C + \frac{(P_2 + R_n)b}{2EF};$$

- D кесимнинг кўчиши

$$\delta_D = \delta_C + \frac{(P_2 + R_n)c}{2EF} = \frac{(-P_1 + P_2 + R_n)a}{3EF} + \frac{(P_2 + R_n)b}{EF} + \frac{(P_2 + R_n)c}{EF} = 0. \quad (\text{д})$$

Ҳосил бўлган (д) ифода стерженни D кесимнинг кўчиши ифодасидир. Масаланинг шартига кўра D кесим кўзгалмас қилиб маҳкамланган, яъни бу кесимнинг кўчиши нолга тенг

$$\delta_D = \delta_C + \frac{(P_2 + R_n)c}{2EF} = \frac{(-P_1 + P_2 + R_n)a}{2EF} + \frac{(P_2 + R_n)b}{EF} + \frac{R_n c}{2EF} = 0.$$

Охириги тенгламани қуйидагича ёзамиз

$$a(P_2 - P_1) + R_n a + 2bP_2 + 2R_n b + R_n c = 0$$

ёки

$$R_n(a + 2b + c) = -a(P_2 - P_1) - 2bP_2 = 0.$$

Демак

$$R_n = -\frac{a(P_2 - P_1) + 2bP_2}{a + 2b + c}.$$

5) *Текшириш.* Агар юқоридаги амалларнинг ҳаммаси тўғри бажарилса $\delta_D = 0$ бўлади.

Жавоб: $\delta_A = \delta_B = \delta_D = 0$, $\delta_C = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

1.3-масала. Бошланғич ҳолатда стерженнинг қуйи чегараси ва деформацияланмайдиган горизонтал текислик орасида $\Delta = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ масофа мавжуд. Стерженга марказий ўқ бўйлаб йўналган P ташқи куч қўйилса қуйи чегара текисликка тиралиб қолади. Стержен кўндаланг кесимларидаги бўйлама куч, нормал кучланиш ва кучишларнинг эпюраларини қўринг. Мустахкамликни текширинг ($E = 2 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$, $[\sigma] = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$), керакли маълумотлар 1.3-жадвалдан олинадиган).

1.3-масалани ечишга оид услубий кўрсатмалар.

Берилган: 1.4-шакл.

Ечиш

Стерженга P чўзувчи куч қўйилганда унинг қуйи чегараси горизонтал текисликка тиралиб қолади. Натижада 1.5- шаклдаги бир марта статик аниқмас стержен ҳосил бўлади. Масаланинг ҳисоб схемаси 1.6-шаклда келтирилган.

Стерженни AB , BC , CD участкаларидаги бўйлама куч, нормал кучланиш ва абсолют кучишларнинг ифодаларини ёзмамиз:

- CD поғонада

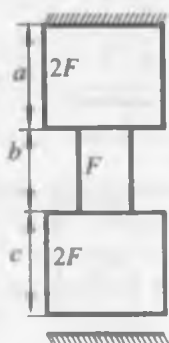
$$N_{CD} = R_D, \quad \sigma_{CD} = \frac{N_{CD}}{F_{CD}} = \frac{R_D}{2F}, \quad \Delta_{CD} = \frac{N_{CD}CD}{EF_{CD}} = \frac{R_{CD}c}{2EF},$$

- BC поғонада

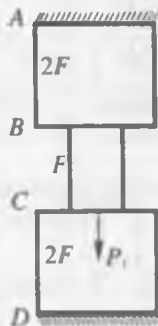
$$N_{BC} = P_1 + R_D, \quad \sigma_{BC} = \frac{N_{BC}}{F_{BC}} = \frac{P_1 + R_D}{F}, \quad \Delta_{BC} = \frac{N_{BC}BC}{EF_{BC}} = \frac{(P_1 + R_D)c}{EF},$$

- AB поғонада

$$N_{AB} = P_1 + R_D, \quad \sigma_{AB} = \frac{N_{AB}}{F_{AB}} = \frac{P_1 + R_D}{2F}, \quad \Delta_{AB} = \frac{N_{AB}AB}{EF_{AB}} = \frac{(P_1 + R_D)a}{2EF}.$$



1.4 шакл

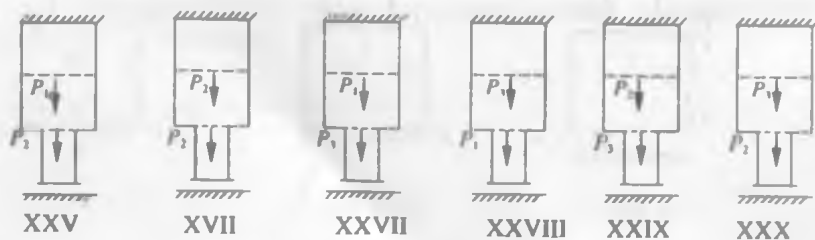
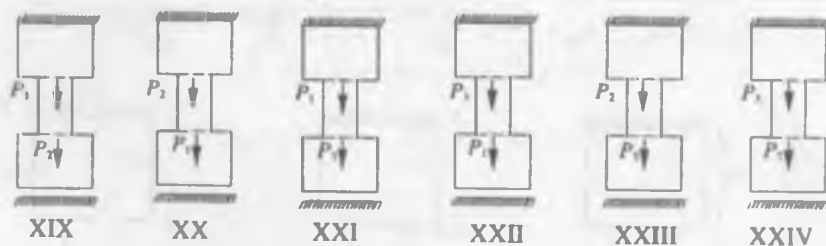
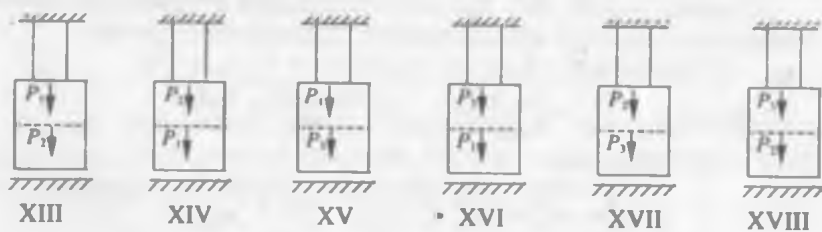
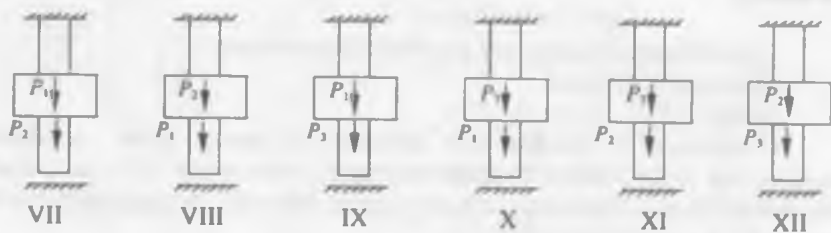
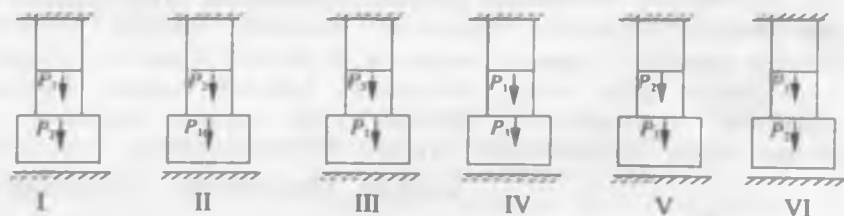


1.5 шакл



1.6 шакл

1.3-масаланинг шакллари



№	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$10^4 F$	$10^4 P_1$	$10^4 P_2$	$10^4 P_3$
	<i>м</i>			<i>м²</i>	<i>Н</i>		
1	1.40	2.15	2.16	21	1.0	1.5	1.6
2	1.50	2.25	2.26	22	2.0	2.5	2.6
3	1.60	2.35	2.36	23	3.0	3.5	3.6
4	1.70	2.45	2.46	24	4.0	4.5	4.6
5	1.80	2.55	2.56	25	5.0	5.5	5.6
6	1.90	2.65	2.66	26	6.0	6.5	6.6
7	1.20	2.75	2.76	27	7.0	7.5	7.6
8	1.30	2.85	2.86	28	8.0	8.5	8.6
9	1.40	2.95	2.96	29	9.0	9.5	9.6
10	1.55	2.15	2.10	21	1.0	1.5	1.6
11	1.65	2.25	2.20	22	2.0	2.5	2.6
12	1.75	2.35	2.30	23	3.0	3.5	3.6
13	1.85	2.45	2.46	24	4.0	4.5	4.6
14	1.95	2.55	2.56	25	5.0	5.5	5.6
15	1.25	2.65	2.66	26	6.0	6.5	6.6
16	1.35	2.75	0.76	27	7.0	7.5	7.6
17	1.45	2.85	0.86	28	8.0	8.5	8.6
18	2.50	1.15	0.10	39	9.0	9.5	9.6
19	2.60	1.25	0.20	38	8.0	8.5	8.6
20	2.70	1.35	0.30	37	7.0	7.5	7.6
21	2.80	1.45	0.40	36	6.0	6.5	6.6
22	2.90	1.55	0.50	35	5.0	5.5	5.6
23	1.60	1.65	0.60	34	4.0	4.5	4.6
24	1.70	1.75	0.70	33	3.0	3.5	3.6
25	1.80	0.85	0.80	32	2.0	2.5	2.6
26	1.15	0.25	0.35	42	2.0	2.5	2.6
27	1.25	0.35	0.45	43	3.0	3.5	3.6
28	1.35	0.45	0.55	44	4.0	4.5	4.6
29	1.45	0.55	0.65	45	5.0	5.5	5.6
3.0	1.55	0.65	0.75	46	6.0	6.5	6.6

Кучиш тенгламасини қуйидаги шартдан фойдаланиб тузамиз. Стержен қуйи чегарасининг кучиши δ_D аввалдан берилган Δ масофага тенг, яъни $\delta_D = \Delta$.

Бу тенгликнинг чап томонидаги δ_D ифодасини ёзамиз

$$\delta_D = \Delta_{AB} + \Delta_{BC} + \Delta_{CD} = \frac{(P_1 + R_D)a}{2EF} + \frac{(P_1 + R_D)b}{EF} + \frac{R_D c}{2EF}.$$

Бу ердан

$$(P_1 + R_D)(a + 2b) + R_D c = 2EFD.$$

Ҳосил бўлган тенглама номаълум реактив кучни аниқлаш учун хизмат қилади.

1.4-масала. Бошланғич ҳолатда стерженнинг қуйи чегараси ва деформацияланмайдиган горизонтал текислик орасида $\Delta = 4 \cdot 10^{-4}$ м масофа мавжуд. Стерженга бир вақтда P марказий куч қўйилса ва ҳарорат $\Delta T = T_1 - T_0$ га оширилса қўндаланг кесимлардаги бўйлама куч, нормал кучланиш ва кўчишлар қандай бўлишини аниқланг ҳамда уларнинг эпюраларини қўринг. Керакли маълумотларни 1.4-жадвалдан олинг.

Эслатма. Стерженга P ташқи куч қўйиш ва ҳаракатни ΔT га ошириш натижасида қуйи чегара горизонтал текисликка тиралиб қолади.

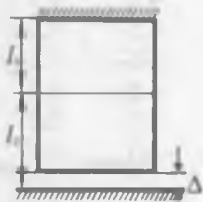
1.4-масалани ечиш намунаси.

Берилган: 1.7-шакл, $P = 10^4$ Н, $l_1 = 14$ м, $l_2 = 4$ м, $F = 1100$ см², $[\sigma] = 130 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$,

$\Delta t^\circ = +50^\circ$ ҳарорат узгариши.

Ечиш.

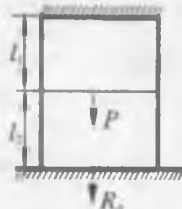
1) Стерженга P ташқи кучни қўйиб, ҳароратни ΔT га оширил-



1.7-шакл



1.8-шакл



1.9-шакл

гандан сўнг масаланинг шакли 1.8-шаклга ўхшаш кўринишга келади.

2) Ҳисоб схемаси 1.9-шаклда келтирилган.

3) Статиканинг мувозанат тенгламасини тузамиз:

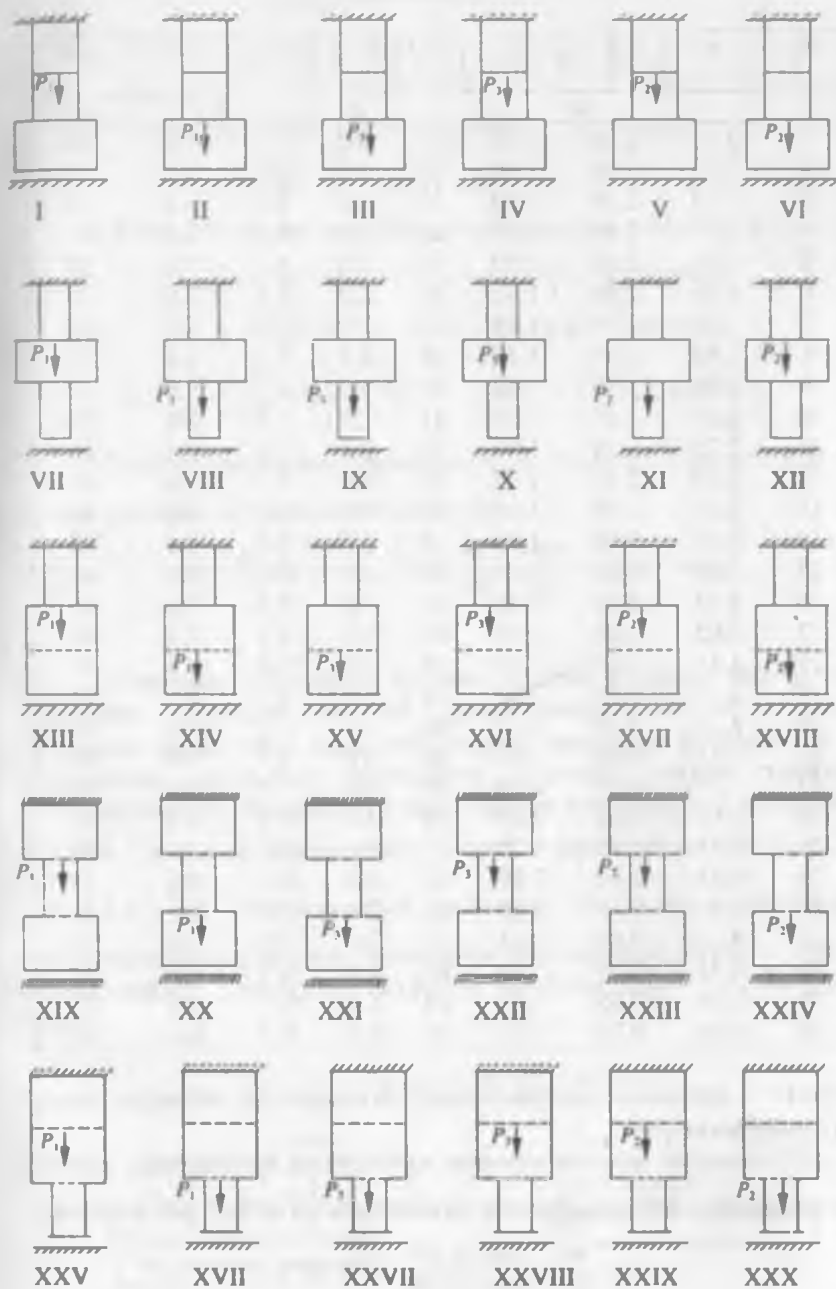
$$\sum X = 0, \quad \text{яъни} \quad R_A - P + R_B = 0. \quad (a)$$

4) Қўшимча деформация тенгламасини қуйидаги шартдан фойдаланиб тузамиз:

$$\Delta l_1 + \Delta l_2 - \Delta l_{R_A} = 0, \quad (б)$$

бу ерда

$$\Delta l_1 = (l_1 + l_2) \Delta \alpha, \quad \Delta l_2 = \frac{Pl_2}{EF}, \quad \Delta l_{R_A} = \frac{Rl_1}{1.5EF} + \frac{Rl_2}{EF},$$



1.4-жадвал

№	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$10^4 F$	$10^{-4} P_1$	$10^{-4} P_2$	$10^{-4} P_3$	ΔT
	<i>M</i>			M^2		<i>H</i>		<i>град</i>
1	2.15	2.16	1.40	21	1.0	1.5	1.6	30
2	2.25	2.26	1.50	22	2.0	2.5	2.6	31
3	2.35	2.36	1.60	23	3.0	3.5	3.6	32
4	2.45	2.46	1.70	24	4.0	4.5	4.6	33
5	2.55	2.56	1.80	25	5.0	5.5	5.6	34
6	2.65	2.66	1.90	26	6.0	6.5	6.6	35
7	2.75	2.76	1.20	27	7.0	7.5	7.6	36
8	2.85	2.86	1.30	28	8.0	8.5	8.6	37
9	2.95	2.96	1.40	29	9.0	9.5	9.6	38
10	2.15	2.10	1.55	21	1.0	1.5	1.6	39
11	2.25	2.20	1.65	22	2.0	2.5	2.6	40
12	2.35	2.30	1.75	23	3.0	3.5	3.6	41
13	2.45	2.46	1.85	24	4.0	4.5	4.6	42
14	2.55	2.56	1.95	25	5.0	5.5	5.6	43
15	2.65	2.66	1.25	26	6.0	6.5	6.6	44
16	2.75	0.76	1.35	27	7.0	7.5	7.6	45
17	2.85	0.86	1.45	28	8.0	8.5	8.6	46
18	1.15	0.10	2.50	39	9.0	9.5	9.6	47
19	1.25	0.20	2.60	38	8.0	8.5	8.6	48
20	1.35	0.30	2.70	37	7.0	7.5	7.6	49
21	1.45	0.40	2.80	36	6.0	6.5	6.6	50
22	1.55	0.50	2.90	35	5.0	5.5	5.6	51
23	1.65	0.60	1.60	34	4.0	4.5	4.6	52
24	1.75	0.70	1.70	33	3.0	3.5	3.6	30
25	0.85	0.80	1.80	32	2.0	2.5	2.6	31
26	0.25	0.35	1.15	42	2.0	2.5	2.6	32
27	0.35	0.45	1.25	43	3.0	3.5	3.6	33
28	0.45	0.55	1.35	44	4.0	4.5	4.6	34
29	0.55	0.65	1.45	45	5.0	5.5	5.6	35
30	0.65	0.75	1.55	46	6.0	6.5	6.6	36

$\alpha = 125 \cdot 10^{-3}$ - стержень материалнинг иссиқликдан чизиқли кенгайиш коэффициенти.

5) Номалум реактив кучнинг қийматини аниқлаймиз. Бунинг учун юқоридаги ифодаларга сон қийматларини қўйиб ҳисоблаймиз:

$$\Delta l_p = \frac{P l_1}{EF} = \frac{1 \cdot 10^4 \cdot 4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3 \cdot 11 \cdot 10^2} = 0.18 \cdot 10^{-4} \text{ м},$$

$$\Delta l = (l_1 + l_2) \alpha = (1400 + 4000) \cdot 50 \cdot 125 \cdot 10^{-7} = 11.25 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\Delta l_2 = \frac{R l_2}{EF} + \frac{R l_1}{1.5 EF}, \quad \Delta l_p + \Delta l_1 = \Delta l_{n_2},$$

$$R_1 = \frac{11.43}{\frac{1}{1.5 EF} + \frac{1}{EF}} = \frac{11.43}{\frac{14 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 1650} + \frac{4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 11}} = 189 \text{ кН}$$

6) Ички кучлар ва нормал кучланишларни аниқлаймиз

$$\sum X_1 = -N_1 + R_1 = 0, \quad N_1 = R_1 = 189 \text{ кН} \quad (\text{сиқувчи}),$$

$$\sum X_2 = -N_2 - P + R_1 = 0, \quad N_2 = R_1 - P = 8.9 \text{ кН} \quad (\text{сиқувчи}),$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_1} = \frac{18900}{1600} = 11.8 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{F_2} = \frac{8900}{1100} = 8.09 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

7) Мустаҳкамликни текширамиз ва кундаланг кесим юзининг рухсат этилган қийматини танлаймиз:

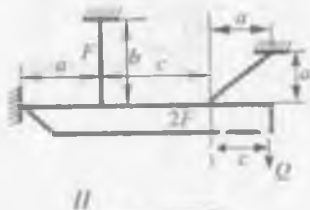
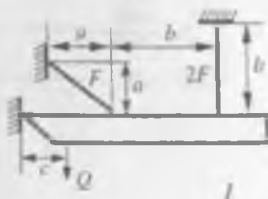
$$\sigma = \frac{N_1}{F} \leq [\sigma], \quad [F] \geq \frac{N_1}{[\sigma]} = \frac{18900}{130} = 145 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

1.5-масала. Шаклдаги абсолют қаттиқ ғуланинг бир нуқтаси қўзғалмас шарнирли таянчга маҳкамланган. Ташқи Q кучни қўйишдан олдин ғула икки нуқталарига шарнирли боғланган пўлат стерженлар ёрдамида горизонтал ҳолатда ушлаб турилади. Стерженлардаги зўриқиш кучлари, нормал кучланишлар ва ғуланинг Q куч қўйилган кесимининг кўчиши аниқлансин ($E = 2 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$).

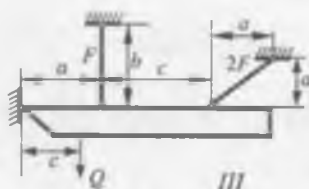
$[\sigma] = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$. Мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб стерженлар

поғоналарининг кундаланг кесимлари юзларининг рухсат этилган қийматларини аниқланг. Керакли маълумотларни 1.5-жадвалдан олинг.

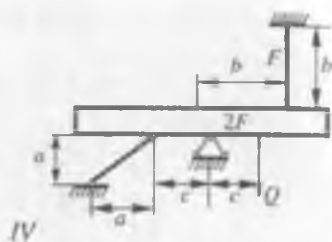
1.5-1.6 - масалаларнинг шакллари



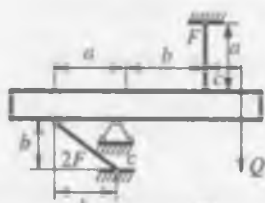
БИБЛИОТЕКА
Бух. ТИП и ЛП
№ 2770



III



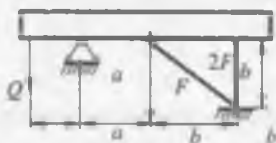
IV



V



VI



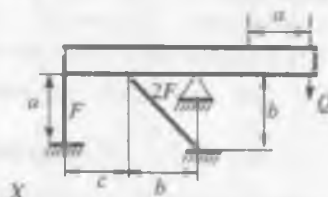
VII



VIII



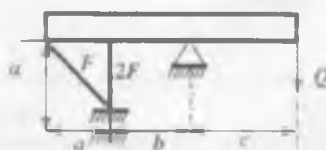
IX



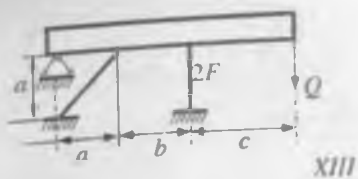
X



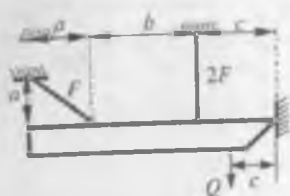
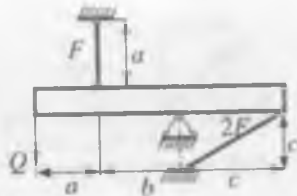
XI



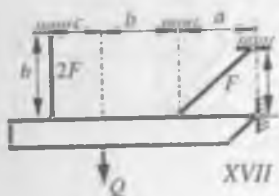
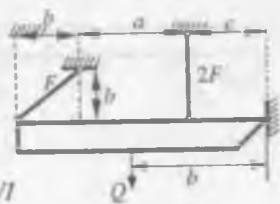
XII



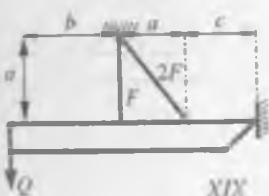
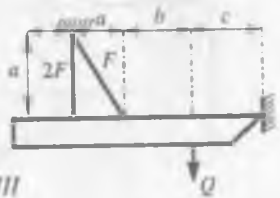
XIV



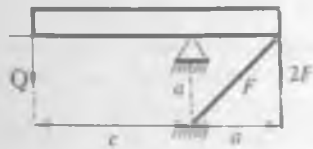
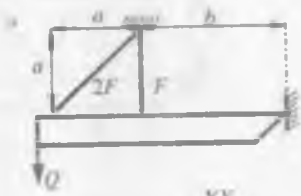
XVI



XVIII

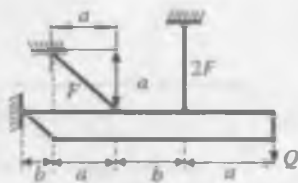


XX

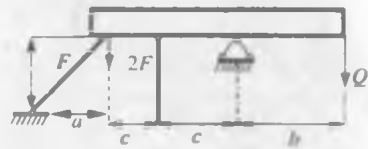


XXII

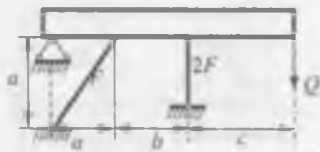




XXIII



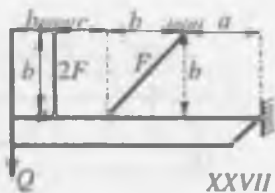
XXIV



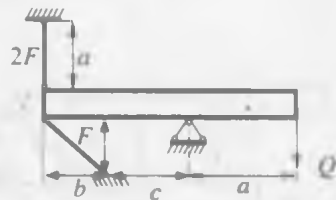
XXV



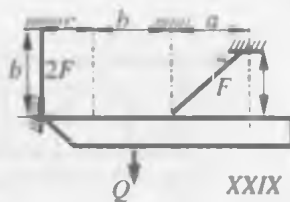
XXVI



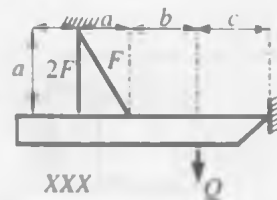
XXVII



XXVIII



XXIX



XXX

1.5-масалани бажариш намуналари.

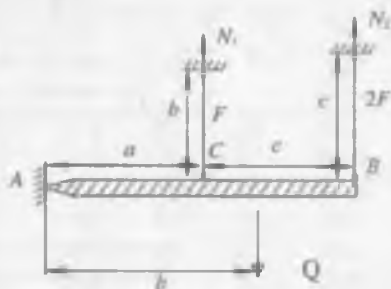
А. Берилган: 1.10-шакл, $Q = 10^4 \text{ Н}$, $F = 5 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $a = 1 \text{ м}$, $b = 2 \text{ м}$,

$$c = 3 \text{ м}, E = 2 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}, [\sigma] = 1.6 \cdot 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

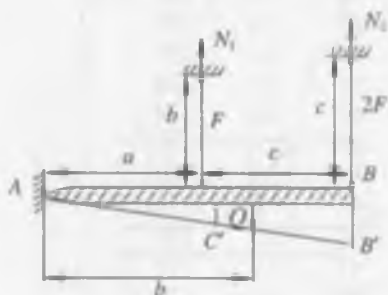
№	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>F</i>	ΔT	<i>Q</i>	<i>P</i>	$10^3 \beta$
	<i>метр</i>			10^{-4} м	<i>град</i>	<i>кН</i>	<i>кН</i>	
1	0.10	0.15	0.16	11	30	1.6	100	5
2	0.20	0.25	0.26	12	31	2.6	110	4
3	0.30	0.35	0.36	13	32	3.6	120	3
4	0.40	0.45	0.46	14	33	4.6	130	2
5	0.50	0.55	0.56	15	34	5.6	140	1
6	0.60	0.65	0.66	16	35	6.6	150	5
7	0.70	0.75	0.76	17	36	7.6	160	4
8	0.80	0.85	0.86	18	37	8.6	170	3
9	0.90	0.95	0.96	19	38	9.6	180	2
10	0.25	0.15	0.10	11	39	1.6	190	1
11	0.35	0.25	0.20	12	40	2.6	200	5
12	0.45	0.35	0.30	13	41	3.6	210	4
13	0.55	0.45	0.46	14	42	4.6	220	3
14	0.65	0.55	0.56	15	43	5.6	230	2
15	0.75	0.65	0.66	16	44	6.6	240	1
16	0.85	0.75	0.76	17	45	7.6	250	5
17	0.95	0.85	0.86	18	46	8.6	100	4
18	0.10	0.15	0.10	19	47	9.6	110	3
19	0.20	0.25	0.20	18	48	8.6	120	2
20	0.30	0.35	0.30	17	49	7.6	130	1
21	0.40	0.45	0.40	16	50	6.6	140	5
22	0.50	0.55	0.50	15	51	5.6	150	4
23	0.60	0.65	0.60	14	52	4.6	160	3
24	0.70	0.75	0.70	13	53	3.6	170	2
25	0.80	0.85	0.80	12	54	2.6	180	1
26	0.15	0.25	0.35	12	55	2.6	190	5
27	0.25	0.35	0.45	13	56	3.6	200	4
28	0.35	0.45	0.55	14	57	4.6	210	3
29	0.45	0.55	0.65	15	58	5.6	220	2
30	0.55	0.65	0.75	16	59	6.6	230	1

Ечиш. АВ ғулага Q куч қўйилганда у A нуқта атрофида бошланғич ҳолатига нисбатан бир оз бурилиб қолади (1.11-шакл). Натижада ғуланинг B учи B' ҳолатга ўтади.

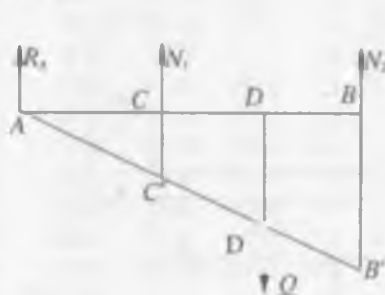
1) Номаялум зуриқиш кучлари N_1 , N_2 ларни ҳисоб схемасига қўямиз (1.11-1.12-шакллар).



1.10-шакл



1.11-шакл



1.12-шакл

2) Статиканинг мувозанат тенгламасини тузамиз

$$\sum M_A = 0, \quad N_1 a - Qb + N_2(a+c) = 0. \quad (1)$$

Бу тенгламада иккита номаълум кучлар N_1 , N_2 қатнашади. Ундан ташқари A нуқтадаги R_A таянч реакция кучи ҳам номаълум. Шундай қилиб номаълум кучларнинг сони 3 та.

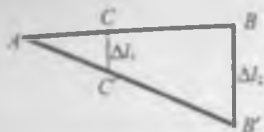
Актив ва реактив кучларнинг ҳаммаси бир текисликда жойлашган ва бир нуқтада кесишмайдиган бўлгани учун масала бир марта статик аниқмас бўлади.

3) Қўшимча деформация тенгламасини тузамиз (1.13-шакл):

$\Delta ACC' \propto \Delta ABB'$ шартдан фойдаланиб қуйидаги пропорцияни оламиз

$$\frac{CC'}{AC} = \frac{BB'}{AB}, \quad (2)$$

бу ерда $CC' = \Delta_1$, $BB' = \Delta_2$, $AC = a$, $AB = a+c$ га тенг.



1.13-шакл

Демак (2) тенглик қуйидаги кўринишга келади

$$\frac{\Delta l_1}{a} = \frac{\Delta l_2}{a+c} \quad (2')$$

Бу тенглик деформация тенгласи дейилади.

4) Ҳосил қилинган деформация тенгласини Гук қонуни $\Delta l = \frac{Nl}{EF}$ ёр-

дамида номатълум зуриқиш кучлари орқали ифодалаймиз

$$\frac{N_1 l_1}{E F_1} = \frac{N_2 l_2}{E F_2},$$

бу ерда $l_1 = b$, $l_2 = c$, $F_1 = F$, $F_2 = 2F$, $E_1 = E_2 = E$ эканлигини ҳисобга олиб, қуйидаги тенгламага эга бўламиз:

$$\frac{N_1 b}{a} = \frac{N_2 c}{2(a+c)}$$

Берилган қийматларни ўрнига қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$2N_1 = \frac{3N_2}{8}, \text{ ёки } N_1 = \frac{3N_2}{16} = 0.18N_2. \quad (3)$$

5) Ҳосил бўлган (1) ва (3) тенгламалар ёпиқ системани ташкил этади

$$\begin{cases} aN_1 - bQ + N_2(a+c) = 0, \\ N_1 = 0.18N_2. \end{cases} \quad (4)$$

$$(4')$$

Бу тенгламалар системасини ечиб $N_1 = 4.8 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $N_2 = 0.9 \cdot 10^4 \text{ Н}$ эканлигини аниқлаймиз.

6) Стерженлардаги кучланишларни аниқлаймиз:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_1} = \frac{900}{5} = 18 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{F_2} = \frac{4800}{10} = 48 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

7) Стерженларнинг абсолют узайишларини ҳисоблаймиз

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{E F_1} = \frac{N_1 b}{E F} = \frac{4.8 \cdot 10^4 \cdot 3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = \frac{0.6}{625} \text{ м},$$

$$\Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{E F_2} = \frac{N_2 c}{2 E F} = \frac{0.9 \cdot 10^4 \cdot 3}{2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = \frac{2.7}{2 \cdot 10^4} \text{ м}.$$

8) Ташқи Q куч қўйилган кесимнинг кўчиши ACC' ва ADD' учбурчакларнинг ўхшашлигидан фойдаланиб топилади. Юқоридаги 1.12-шаклдан

$$\frac{DD'}{AD} = \frac{CC'}{AC},$$

бу ерда $AD = b$, $AC = a$, $CC' = \Delta l_1$.

Демак

$$DD' = \frac{AD \cdot CC'}{AC} = \frac{b \cdot \Delta l}{a} = \frac{2 \cdot 0.6}{\frac{625}{1}} = \frac{1.2}{625} = 192 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

9) Стерженлар кундаланг кесимлари юзаларининг рухсат этилган қийматлари

$$F \geq \frac{N_1}{[\sigma]}, \quad F \geq \frac{N_2}{[\sigma]}$$

шартлардан топилади.

В. Берилган: 1.14-шакл, $Q = 12 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $F = 6 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $a = 2.0 \text{ м}$,
 $b = 3.0 \text{ м}$, $c = 1.0 \text{ м}$.

1) AB ва CD стерженлардаги зўриқиш кучларини мос равишда N_1 ва N_2 билан белгилаб, схемада уларнинг йуналишларини кўрсатамиз (1.15-шакл).

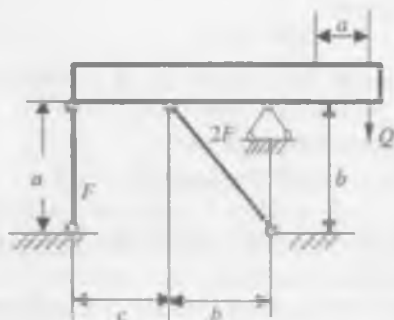
2) Статиканинг мувозанат тенгламасини ёзамиз

$$\sum M_o(P) = -N_1(b+c) - N_2 b \sin 45^\circ + aQ = 0. \quad (1)$$

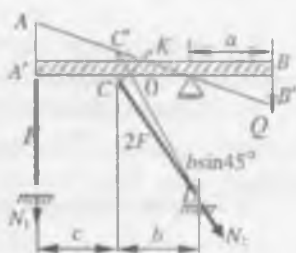
Бу тенгламада иккита номаълум кучлар N_1 , N_2 мавжуд, Масала статик аниқмас.

3) Қўшимча деформация тенгламасини 1.16-шаклдаги AOA' ва COC' учбурчакларнинг ўхшашлигидан фойдаланиб тузамиз:

$$\frac{\Delta l'}{CC'} = \frac{AO}{CO} \quad \text{ёки} \quad \frac{\Delta l'}{CC'} = \frac{b+c}{b}. \quad (2)$$



1.14-шакл



1.15-шакл

4) Гук қонуни ёрдамида деформация тенгламаси (2) ни номаълум зўриқиш кучлари орқали ифодалаймиз:

$$\Delta l_{AK} = \Delta l_1 = \frac{N_1 a}{EF},$$

$$CC_1 = \frac{CK}{\sin 45^\circ} = \frac{\Delta l_{CD}}{\sin 45^\circ} = \frac{N_2 \sqrt{2b^2}}{2EF \sqrt{2}} = \frac{N_2 \sqrt{2}b}{\sqrt{2} FE} = \frac{N_2 b}{EF}.$$

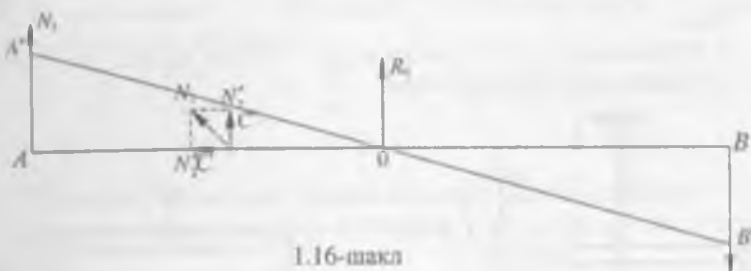
Топилган AA' ва CC' ифодаларидан фойдаланиб (2) тенгламани қуйидагича ёзамиз

$$\frac{N_1 a}{EF} + \frac{N_2 b}{EF} = \frac{b+c}{b} = 1 \frac{1}{3},$$

бундан

$$\frac{N_1 a}{N_2 b} = \frac{4}{3} \quad \text{ёки} \quad \frac{N_1}{N_2} = 2 \quad (3)$$

тенгликка эга бўламиз.



5) Ҳосил бўлган (1) ва (3) тенгламалар ёпиқ системани ташкил этади

$$N_1 = 2N_2, \quad -N_1(b+c) - N_2 b \sin 45^\circ + aQ = 0.$$

Ҳосил бўлган тенгламаларни биргаликда ечиб номаълум зуриқиш кучларини аниқлаймиз:

$$-2N_2(b+c) - N_2 b \sin 45^\circ + aQ = 0$$

бундан

$$N_2 = 2.4 \cdot 10^4 \text{ H}.$$

Юқоридаги (3) тенгламадан эса $N_1 = 4.8 \cdot 10^4 \text{ H}$ эканлигини топамиз.

6) Стерженлардаги кучланишларни қуйидаги формулалардан топамиз

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_1} = \frac{4.8 \cdot 10^4}{6 \cdot 10^{-4}} = 8 \cdot 10^7 \frac{\text{H}}{\text{м}^2}, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{F_2} = \frac{2.4 \cdot 10^4}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-4}} = 2 \cdot 10^7 \frac{\text{H}}{\text{м}^2}.$$

7) Ташқи Q куч қўйилган кесимнинг кўчиши $оАА'$, $оВВ'$ учбурчакларнинг (1.16-шакл) ўхшашлигидан фойдаланиб топилади.

8) Стерженлар қўндаланг кесимлари юзаларининг рухсат этилган қийматлари

$$F_1 \geq \frac{N_1}{[\sigma]}, \quad F_2 \geq \frac{N_2}{[\sigma]}$$

шартлардан аниқланади

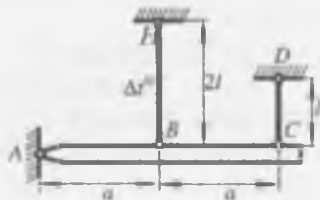
1.6-масала. Деформацияланмайдиган ғұла қўзғалмас шарнирли таянч ва кўндаланг кесимларининг юзалари F ва $2F$ га тенг пўлат стерженлар ёрдамида горизонтал ҳолатда ўрнатилган (1.5-масаланинг шакллариға қаранг). Бошланғич ҳолатда стерженлардағи зўриқишлар нолға тенг. Ғўлаға Q куч қўйилса ва кўндаланг кесимининг юзи $2F$ га тенг бўлган стерженнинг ҳарорати ΔT га оширилса стерженларда қанча зўриқиш пайдо бўлишини аниқланг. Керакли маълумотларни 1.5-жадвалдан олинг.

1.6-масалани ечишға оид кўрсатмалар.

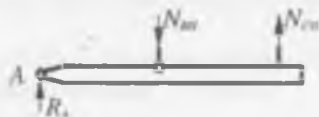
Берилган: 1-17-шакл, $ВН$ стерженнинг ҳарорати $\Delta T = 10^\circ \text{C}$ га оширилган, $d_{ВН} = 0.05 \text{ м}$, $d_{DC} = 0.04 \text{ м}$, $l = 12 \text{ м}$.

Ечиш.

1) Масаланинг ҳисоб схемаси ва ғўланинг кўчиш диаграммаси 1.18-1.19-шаклларда келтирилган.



1.17-шакл



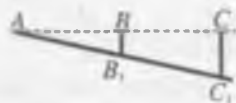
1.18-шакл

2) Статиканинг мувозанат тенгламасини тузамиз

$$N_{ВН}a - N_{CD}2a = 0 \quad \text{ёки} \quad N_{ВН} = 2N_{CD}. \quad (a)$$

Актив ва реактив кучларнинг ҳаммаси бир текисликда жойлашган ва ўзаро параллел йўналган. Шунинг учун статиканинг чизиқли бўлмаган мувозанат тенгламаларининг сони 2 га тенг. Номаялум реактив кучларнинг сони эса 3 га тенг. Демак масала бир марта статик аниқмас.

Қўшимча - кўчиш тенгламасини тузамиз. Кўчиш диаграммасидан (1.19-шакл)



1.19-шакл

$$CC' = 2BB' \quad (б)$$

Гук қонунига кўра:

- C шарнирнинг кўчиши

$$\delta_C = CC' = \Delta l_{CD} = \frac{N_{CD}l}{EF_{CD}};$$

- B шарнирнинг кўчиши $ВВ$

стерженнинг ҳароратини ўзгариши

ва ички зўриқишдан эластик узайишларнинг айирмасига тенг

$$\Delta l_{\text{св}} = \Delta l_{\text{св}} - \Delta l_{\text{св}(T)} - \Delta l_{\text{св}(N)} = \alpha \Delta T - \frac{N_{\text{св}} \Delta l}{EF_{\text{св}}}$$

Бу ифодаларни (б) тенгламага қўямиз

$$\frac{N_{\text{св}} \Delta l}{EF_{\text{св}}} = 2(\alpha \Delta T) - \frac{N_{\text{св}} \Delta l}{EF_{\text{св}}}$$

ёки

$$\frac{N_{\text{св}}}{F_{\text{св}}} + \frac{4N_{\text{св}}}{F_{\text{св}}} = 4\alpha \Delta T.$$

Ҳосил бўлган (а) ва (б) тенгламаларга сон қийматларини қўйиб,

$$N_{\text{св}} = 41 \text{ кН}, \quad N_{\text{св}} = 20.5 \text{ кН}$$

эканлигини аниқлаймиз.

Стерженларнинг кундаланг кесимларидаги нормал кучланишларни ҳисоблаймиз

$$\sigma_{\text{св}} = \frac{N_{\text{св}}}{F_{\text{св}}} = \frac{41 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 50^2} = 20.9 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}, \quad \sigma_{\text{св}} = \frac{N_{\text{св}}}{F_{\text{св}}} = \frac{20.5 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 40^2} = 16.3 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

1.7-масала. Шаклдаги тўлани абсолют қаттиқ дсб олиб:

- стерженлардаги реактив кучларни q ва a ёки M ва a орқали ифодаланг;

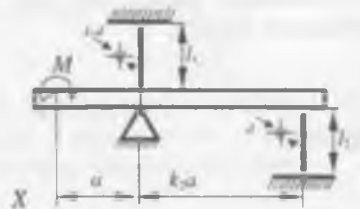
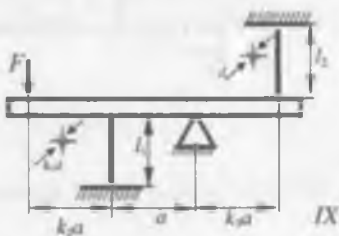
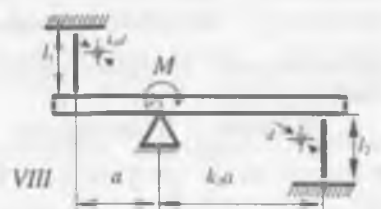
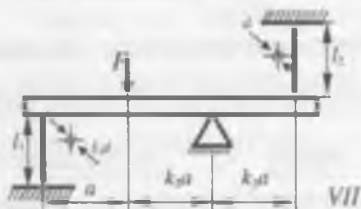
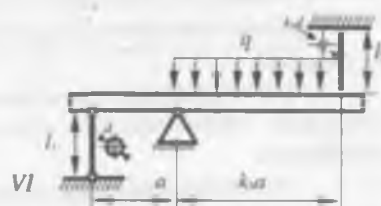
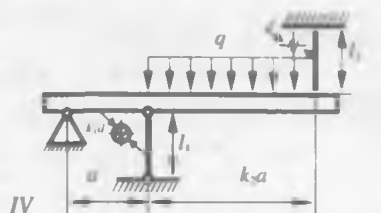
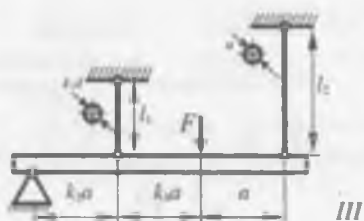
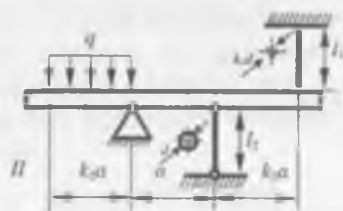
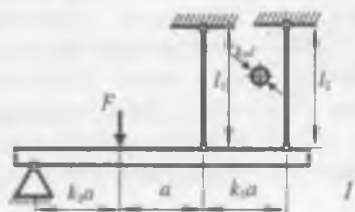
- 1.6-жадвалдаги маълумотлардан фойдаланиб стерженларнинг кундаланг кесимларидаги бўйлама куч ва нормал кучланишларни ҳисобланг;

- мустақкамлик шартидан фойдаланиб нормал кучланишнинг қўзилишга рухсат этилган қиймати $[\sigma_{\perp}] = 160 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$, сиқилишга эса -

$[\sigma_{\parallel}] = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ҳол учун стерженлар диаметрларининг рухсат этилган қийматларини аниқланг. Керакли маълумотларни 1.6-жадвалдан олинг.

Эслатма. Шакллардаги q - ёйилма куч интенсивлиги дейилади ва $\frac{H}{\text{м}}$ да ўлчанади. Ёйилган кучнинг миқдори $Q = q l$ тенг бўлади, бунда l ёйилган куч қўйилган участканинг узунлиги, Q куч q интенсивлик билан бир хил йўналган ва l участканинг ўртасига қўйилган бўлади.

1.7-масаланинг шакллари



Ша- кл	Ва- риант	q_1 кН/м	F , кН	M , кН·м	a	b_1	b_2	k_1	k_2	k_3
					м					
I	I		80		1.2	1.3	1.4	1.1	1.3	1.4
	II		90		1.3	1.5	1.6	1.2	1.4	1.5
	III		100		1.4	1.6	1.7	1.3	1.5	1.6
	IV		110		1.5	1.7	1.8	1.4	1.6	1.7
II	I	30			1.4	0.8	1.8	1.1	1.5	0.5
	II	40			1.6	0.9	1.9	1.2	1.6	0.6
	III	50			1.8	1.0	2.0	1.3	1.7	0.7
	IV	60			2.0	1.1	2.1	1.4	1.8	0.8
III	I		55		1.3	1.2	1.6	1.4	1.5	1.1
	II		60		1.4	1.3	1.7	1.3	1.6	1.2
	III		65		1.5	1.4	1.8	1.2	1.7	1.3
	IV		70		1.6	1.5	1.9	1.1	1.8	1.4
IV	I	60			1.5	1.1	1.3	1.1	2.5	
	II	55			1.6	1.2	1.4	1.2	2.6	
	III	50			1.7	1.3	1.5	1.3	2.7	
	IV	45			1.8	1.4	1.6	1.4	2.8	
V	I		75		1.5	0.9	1.4	1.1	1.2	1.4
	II		80		1.4	1.1	1.6	1.2	1.3	1.5
	III		90		1.3	1.3	1.8	1.3	1.4	1.6
	IV		95		1.2	1.5	2.0	1.4	1.5	1.7
VI	I	20			1.1	1.3	1.6	1.1	2.5	
	II	25			1.2	1.2	1.5	1.2	2.8	
	III	30			1.3	1.1	1.4	1.3	3.2	
	IV	35			1.4	1.0	1.3	1.4	3.4	
VII	I		85		1.6	1.4	1.5	1.4	0.8	1.3
	II		90		1.7	1.5	1.6	1.3	0.9	1.4
	III		95		1.8	1.6	1.7	1.2	1.0	1.5
	IV		100		1.9	1.7	1.8	1.1	1.1	1.6
VIII	I			40	1.2	1.6	1.3	1.1	2.2	
	II			45	1.3	1.7	1.4	1.2	2.4	
	III			50	1.4	1.8	1.5	1.3	2.6	
	IV			55	1.5	1.9	1.6	1.4	2.8	
IX	I		20		1.1	1.1	1.3	1.1	1.4	2.0
	II		25		1.2	1.1	1.4	1.2	1.6	2.1
	III		30		1.3	1.2	1.5	1.3	1.8	2.2
	IV		35		1.4	1.3	1.6	1.4	2.0	2.3
X	I			50	1.2	1.3	1.1	1.1	2.5	
	II			55	1.3	1.4	1.2	1.2	2.6	
	III			60	1.4	1.5	1.3	1.3	2.7	
	IV			65	1.5	1.6	1.3	1.4	2.8	

1.8'-масала. Пулат стерженга P_1, P_2, P_3 ташқи кучлар ва ўзининг хусусий огирлиги таъсир этади. Бўйлама куч, нормал кучланиш ва кўндаланг кесимларнинг кучишлари эпюраларини қуринг. Маълумотларни 1.1-масаланинг шакллари ва 1.1-жадвалдан олинг ($E = 2 \cdot 10^4$ МПа, $\gamma = 78 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$).

1.9'-масала. Абсолют қаттиқ гуланинг бир нуқтаси қўзғалмас шарнирли таянчга маҳкамланган ва икки нуқталарига шарнирли боғланган пулат стерженларга осиб қўйилган. Қуйдагиларни бажаринг: 1) стерженлардаги ички куч ва кучланишларни аниқланг ва уларни Q орқали ифодаланг; 2) стерженлардаги кучланишлардан каттасини $[\sigma] = 160$ МПа га тенглаштириб Q кучининг рухсат этилган қийматини аниқланг; 3) материалнинг оқувчанлик чегараси $\sigma_{ок} = 240$ МПа ва қўшимча мустаҳкамлик $k = 1.5$ бўлса, шаклдаги қурилма кўтариши мумкин бўлган энг катта кучни ва Q кучининг рухсат этилган қиймати $Q_{рул}$ ларни ҳисобланг; 4) Q кучни кучланишнинг рухсат этилган қиймати (иккинчи банд) ва кучининг рухсат этилган қиймати (учинчи банд) бўйича олинган миқдорларини солиштинг. Маълумотларни 1.5-масаланинг шакллари ва 1.1-жадвалдан олинг.

Эслатма. Стерженлар кўндаланг кесимларида ҳосил бўладиган иккита номаълум кучларни аниқлаш учун статиканинг мувозанат тенгламасини ва кучиш тенгламасини биргаликда ечинг (1.5-масалага қаранг).

Учинчи саволга жавоб топиш учун нормал кучланиш стерженларнинг бирида иккинчисидан кўп. Ташқи куч ортганда битта стержендаги нормал кучланиш оқувчанлик чегарасига олдинроқ етиб боради. Бу ҳолда ўша стержендаги нормал кучланиш маълум пайтгача ортиб боришдан тўхтади, Бу пайтда системага ташқи Q куч ва иккинчи стерженни зўриқиш кучи $N_1 = \sigma_{\text{н}} F_1$ таъсир этади қаралади.

Ташқи куч янада оширилганда иккинчи стержендаги кучланиш ҳам оқувчанлик чегарасига етиб боради ва ундаги зўриқиш $N_2 = \sigma_{\text{н}} F_2$ тенгликни қаноатлантиради. Статиканинг мувозанат тенгламаларига N_1 ва N_2 кучларнинг бу ифодаларини қўйиб стерженлар кўтариши мумкин бўлган энг катта куч $Q_{\text{н}}'$ нинг қийматини аниқлаймиз.

1.10'-масала. Кундаланг кесимларининг юзи F га тенг булган иккита пулат стерженларнинг устига деформацияланмайдиган тусин куйилган. Тусин уртасига учи горизонтал текислик билан $\Delta = \beta c$ кичик буш масофа ташкил қиладиган поғонали стержен маҳкамланган (шаклга қаранг). Куйидагиларни бажаринг: 1) P ташқи кучнинг қандай қийматида стерженнинг куйи чегараси текисликка тегиб қолишини аниқланг; 2) P жадвалда берилган қийматида ўртадаги стержен кундаланг кесимларида ҳосил буладиган реакция кучини аниқланг ва энюрасини қуринг; 3) P жадвалда берилган қийматида тусинни ушлаб турувчи стерженлардаги зўриқишларни қанча бўлишини аниқланг; 4) поғонали стерженни кундаланг кесимларида реакция кучлари нолга тенг бўлиши учун унинг ҳароратини қанчага камайтириш зарурлигини ҳисобланг. Керакли маълумотларни 1.5-жадвалдан олинг.

Эслатма. Стерженларнинг хусусий оғирликлари инобатга олинмайди.

Ҳамма топшириқларни бажариш пайтида система симметрик булгани учун четки стерженлардаги зўриқишлар ҳар доим тенг бўлишини инобатга олинади.

Биринчи саволга жавоб топиш учун ўртадаги стерженни P куч таъсирида кучишини унинг куйи кесими билан горизонтал текислик орасидаги Δ масофага тенглаштиринг. Бу кучиш ўртадаги стерженни кундаланг кесимларида ҳосил буладиган ички кучлар таъсиридаги деформацияси ва четдаги стерженлардан бирининг деформациясининг йиғиндисига тенг (айрим ҳолларда четдаги стерженларнинг деформацияси нолга тенг бўлиши ҳам мумкин, бу P кучнинг миқдорида боғлиқ).

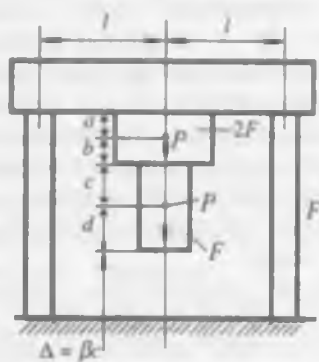
Иккинчи саволга жавоб топиш учун ўртадаги стерженни куйи чегарасини ташқи P ва таянч реакция кучи R таъсирида кучишларининг алгебраик йиғиндисини нолга тенглаштирилади.

Учинчи саволга жавоб топиш учун четлардаги таяниб турган ва ўртадаги осилиб турган стерженлардаги реактив кучлар ҳамда ташқи P кучнинг таъсирлари тусинга узатилишини инобатга олиш зарур.

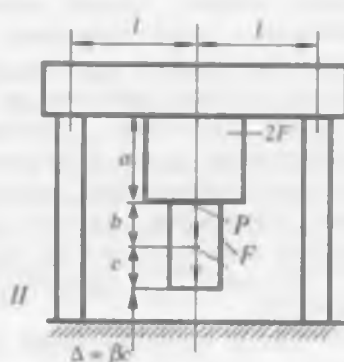
Тўртинчи саволга жавоб топиш учун ўртадаги стерженни куйи чегарасининг P куч таъсирида ва четки стерженлар деформацияланиши натижасида кучишини Δ масофа билан ҳароратнинг кама-йиши натижасида ўртадаги стерженни куйи чегараси кучиши йиғиндисига тенглаштириш зарур, яъни

$$\Delta(P) = \Delta + \Delta_c = \beta c + c \alpha.$$

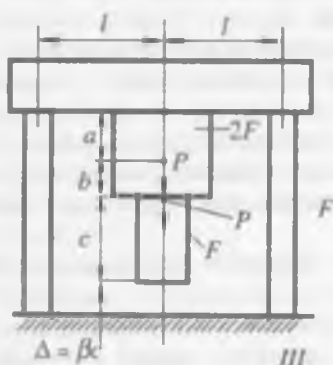
1.10-масаланинг шакллари



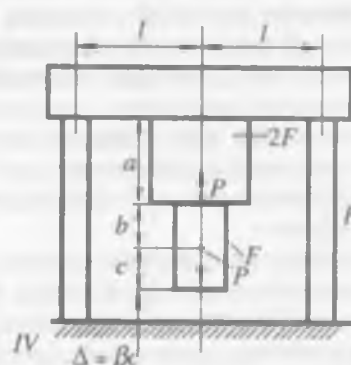
I



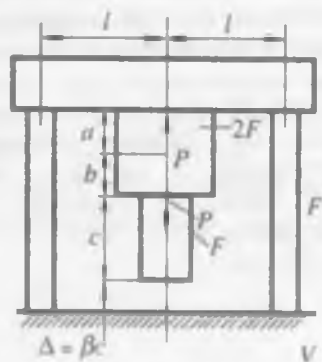
II



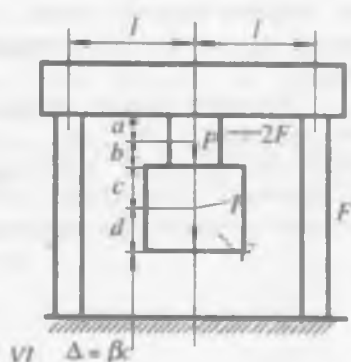
III



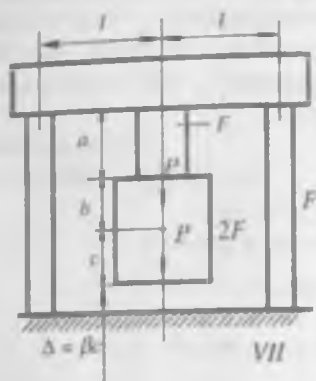
IV



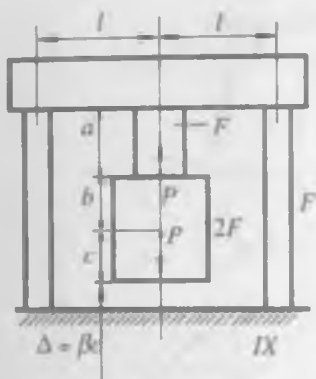
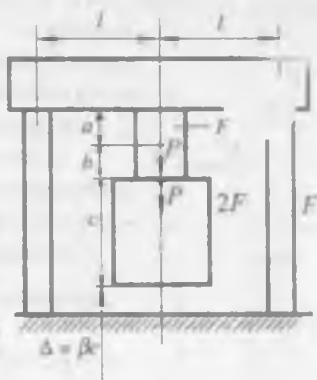
V



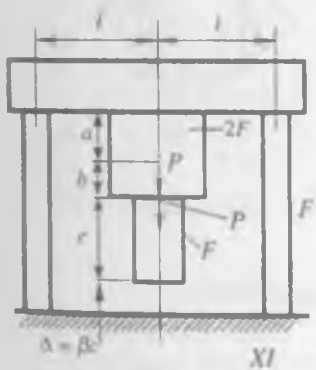
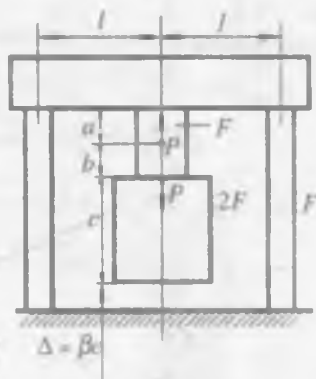
VI



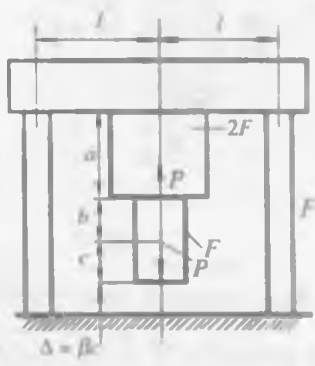
VIII



X

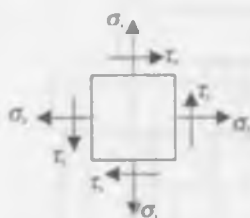


XII



2. Кучланганлик ҳолати назариялари

2.1-масала. 2.1-шаклдаги кучланганлик ҳолати учун нормал ва уринма кучланишларнинг экстремал қийматларини ҳисобланг ва бош юзalar йўналишларини аниқланг. Маълумотларни 2.1-жадвалдан олинг.



2.1-шакл

Эслатма.

2.1-жадвалдаги кучланишларнинг ишоралари берилган шаклга қараб белгиланади.

2.1-масалани ечиш намунаси.

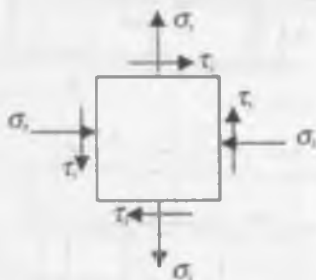
Берилган. 2.1-шакл, $\sigma_x = -525 \cdot 10^5 \frac{H}{м^2}$,

$$\sigma_y = 225 \cdot 10^5 \frac{H}{м^2}, \quad \tau_{xy} = -\tau_{yx} = 650 \cdot 10^5 \frac{H}{м^2}.$$

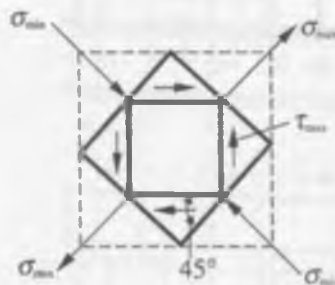
Ечиш.

1) Бош нормал кучланишларни ҳисоблаймиз

$$\begin{aligned} \sigma_{max} = \sigma_1 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} = \frac{-525 + 225}{2} \cdot 10^5 + \\ &+ \frac{1}{2} \sqrt{(525 - 225)^2 + 4 \cdot 650^2} \cdot 10^5 = 6 \cdot 10^7 \frac{H}{м^2}, \\ \sigma_{min} = \sigma_2 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} = \frac{-525 + 225}{2} \cdot 10^5 - \\ &- \frac{1}{2} \sqrt{(525 - 225)^2 + 4 \cdot 650^2} \cdot 10^5 = -7.5 \cdot 10^7 \frac{H}{м^2}. \end{aligned}$$



2.2-шакл



2.3-шакл

2) Бош уринма кучланишларни аниқлаймиз

$$\begin{aligned} \tau_{max} &= \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(-525 - 225)^2 + 4 \cdot 650^2} \cdot 10^5 = 7.5 \cdot 10^7 \frac{H}{м^2}, \\ \tau_{min} &= -\frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} = -\frac{1}{2} \sqrt{(-525 - 225)^2 + 4 \cdot 650^2} \cdot 10^5 = -7.5 \cdot 10^7 \frac{H}{м^2}. \end{aligned}$$

3) α_n бурчакни ҳисоблаймиз

№	2.1 – масала			2.2 – масала			2.3 – масала		
	α	α	τ	σ	σ	τ	σ	σ	τ
	$10^7 \frac{H}{M^2}$			$10^7 \frac{H}{M^2}$			$10^7 \frac{H}{M^2}$		
1	1.1	0.1	0.6	2.1	1.1	1.6	1.6	1.1	1.2
2	1.2	0.2	0.7	2.2	1.2	1.7	1.7	1.2	1.3
3	1.3	0.3	0.8	2.3	1.3	1.8	1.8	1.3	1.4
4	1.4	0.4	0.9	2.4	1.4	1.9	1.9	1.4	1.5
5	1.5	0.5	1.0	2.5	1.5	2.0	2.0	1.5	1.6
6	1.6	0.6	1.1	2.6	1.6	2.1	2.1	1.6	1.7
7	1.7	0.7	1.2	2.7	1.7	2.2	2.2	1.7	1.8
8	1.8	0.8	1.3	2.8	1.8	2.3	2.3	1.8	1.9
9	1.9	0.9	1.4	2.9	1.9	2.4	2.4	1.9	2.0
10	2.0	1.0	1.5	3.0	2.0	2.5	2.5	2.0	2.1
11	2.1	1.1	1.6	3.1	2.1	2.6	2.6	2.1	2.2
12	2.2	1.2	1.7	3.2	2.2	2.6	2.6	2.2	2.3
13	2.3	1.3	1.8	3.3	2.3	2.8	2.8	2.3	2.4
14	2.4	1.4	1.9	3.4	2.4	2.9	2.9	2.4	2.5
15	2.5	1.5	2.0	3.4	2.5	3.0	3.0	2.5	2.6
16	2.6	1.6	2.1	3.6	2.6	3.1	3.1	2.6	2.7
17	2.6	1.7	2.2	3.7	2.6	3.2	3.2	2.6	2.8
18	2.8	1.8	2.3	3.8	2.8	3.3	3.3	2.8	2.9
19	2.9	1.9	2.4	3.9	2.9	3.4	3.4	2.9	3.0
20	3.0	2.0	2.5	4.0	3.0	3.5	3.5	3.0	3.1
21	3.1	2.1	2.6	4.1	3.1	3.6	3.6	3.1	3.2
22	3.2	2.2	2.7	4.2	3.2	3.7	3.7	3.2	3.3
23	3.3	2.3	2.8	4.3	3.3	3.8	3.8	3.3	3.4
24	3.4	2.4	2.9	4.4	3.4	3.9	3.9	3.4	3.5
25	3.5	2.5	3.0	4.5	3.5	4.0	4.0	3.5	3.6
26	3.6	2.6	3.1	4.6	3.6	4.1	4.1	3.6	3.7
27	3.7	2.7	3.2	4.7	3.7	4.2	4.2	3.7	3.8
28	3.8	2.8	3.3	4.8	3.8	4.3	4.3	3.8	3.9
29	3.9	2.9	3.4	4.9	3.9	4.4	4.4	3.9	4.0
30	4.0	3.0	3.5	5.0	4.0	4.5	4.5	4.0	4.1

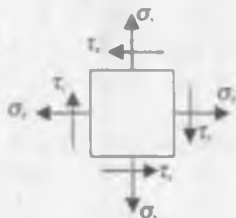
$$\operatorname{tg} \alpha_u = \frac{2\tau_x}{\sigma_x - \sigma_y} = \frac{2 \cdot 650}{-525 - 225} = -1.75 = -\operatorname{tg} 60^\circ$$

Демак $2\alpha_0 = -60^\circ$, $\alpha_0 = -30^\circ$.

4) Бош юзаларнинг йўналишларини қуйидагича аниқлаймиз. Шаклдаги τ , уринма кучланиш параллелепипедни унинг марказига нисбатан соат стрелкаси йўналишига тескари йўналишда айлантиришга ҳаракат қилади. Шунинг эътиборга олиб горизонтал

уқни соат стрелкаси йўналишига тескари йўналишда 30° га бурамыз. Энг катта нормал кучланиш σ_1 бош юзага тик йўналган, энг кичкина нормал кучланиш σ_3 , эса σ_2 нормал кучланишга тик йўналган бўлади (2.3-шакл)

2.2-масала. Кучланиш ҳолати 2.4-шаклда кўрсатилган ҳол учун σ_n нормал кучланишнинг йўналиши билан $\alpha = 30^\circ$ бурчак ҳосил қилган mn қия юзадаги нормал, уринма ва бош кучланишларни ҳисобланг, бош юзаларнинг йўналишларини аниқланг. Керакли маълумотларни 2.1-жадвалдан олинг.



2.4-шакл

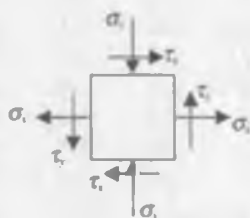
2.2-масалани ечиш намунаси.

Берилган: 2.5-шакл, $\sigma_x = 5 \cdot 10^7 \frac{H}{м^2}$,

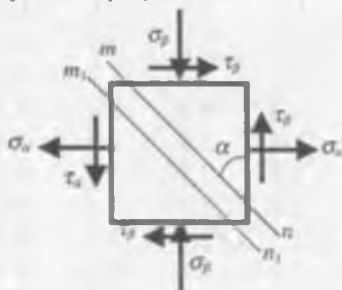
$$\sigma_y = -2.5 \cdot 10^7 \frac{H}{м^2}, \quad \tau_{xy} = -\tau_{yx} = -1.25 \frac{H}{м^2}.$$

Ечиш.

1) Ажратилган параллелепипед чексиз кичик бўлгани учун mn юзага параллел бўлган ҳар қандай юзалардаги кучланишлар аввалги юзалардаги кучланишларга тенг бўлади. Бинобарин, m_1n_1 кесим ёрдамида учбурчакли призма ажратамиз, унинг томонларига 2.6-шаклда кўрсатилганидек кучланишлар таъсир қилади.



2.5-шакл



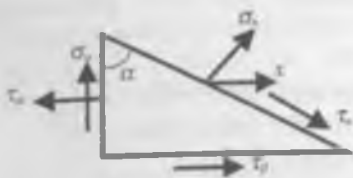
2.6-шакл

2.6-шаклда кўрсатилган элементар призманинг мувозанат тенгламасини ёзамиз. Бунинг учун элементар юзага қўйилган ҳамма кучларнинг нормал σ_n кучланиш билан уринма τ_n кучланиш йўналишида олинган проекцияларнинг йиғиндисини нолга тенглаштирамиз. Призманинг гипотенузасига тўғри келган, яъни ab юзасини F билан белгилаб, қуйидаги тенгламаларни келтириб чиқарамиз (2.7-шакл)

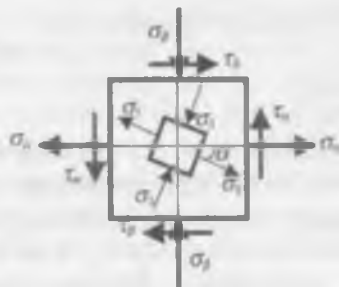
$$\sigma_x F - \sigma_x F \cos^2 \alpha - \sigma_y F \sin^2 \alpha + \tau_{xy} F \sin \alpha \cos \alpha - \tau_{xy} F \sin \alpha \cos \alpha = 0,$$

$$\tau_{xy} F - \sigma_x F \sin \alpha \cos \alpha - \sigma_y F \sin \alpha \cos \alpha - \tau_{xy} F \cos^2 \alpha + \tau_{xy} F \sin^2 \alpha = 0,$$

бу ерда $\cos$ юза $F \cos \alpha$ га, $\sin$ юза эса $F \sin \alpha$ га тенг эканлиги инобатга олинди.



2.7-шакл



2.8-шакл

Бу тенгламалардан қуйидагилар келиб чиқади:

$$\sigma_\alpha = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha - 2\tau_{xy} \sin \alpha \cos \alpha,$$

$$\tau_\alpha = (\sigma_x - \sigma_y) \sin \alpha \cos \alpha + \tau_{xy} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha).$$

Агар

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}, \quad \sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}, \quad \sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

эканлигини эътиборга олсак, юқоридаги формулалар қуйидагича ёзилади:

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_{xy} \sin 2\alpha, \quad \tau_\alpha = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha.$$

Бу формулалардан σ_α ва τ_α ларнинг қийматларини биз текшираётган ҳол учун ҳисоблаймиз

$$\begin{aligned} \sigma_\alpha &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_{xy} \sin 2\alpha = \frac{5+2.5}{2} \cdot 10^7 + \frac{5+2.5}{2} \cdot 10^7 \cos 60^\circ + \\ &+ 1.125 \cdot 10^7 \sin 60^\circ = (125 + 375 \cdot 0.5 + 125 \frac{\sqrt{3}}{2}) \cdot 10^7 = 420.7 \cdot 10^7 \frac{H}{M^2}, \end{aligned}$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha = \frac{5+2.5}{2} \cdot 10^7 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 1.125 \cdot 0.5 \cdot 10^7 = 262.2 \cdot 10^7 \frac{H}{M^2}.$$

Бош кучланишларни ҳисоблаймиз:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} = \frac{5+2.5}{2} \cdot 10^7 \pm \frac{1}{2} \sqrt{(7.5)^2 + 4(-1.125)^2} \cdot 10^7,$$

$$\sigma_1 = 523 \cdot 10^7 \frac{H}{M^2}, \quad \sigma_2 = -273 \cdot 10^7 \frac{H}{M^2}$$

Бош юзанинг йўналишини аниқлаймиз

$$\tan 2\alpha_1 = -\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = -\frac{2 \cdot 1.125}{7.5} = -0.33.$$

Бундан $2\alpha_1 = -18^\circ 15'$, $\alpha_1 = -9^\circ 8'$ эканлиги келиб чиқади. Бош кучланишларнинг йўналишлари 2.8 – шаклда кўрсатилган.

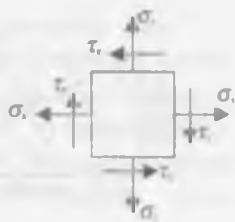
Текшириш. Агар юқоридаги амалларнинг ҳаммаси тўғри бажарилса, $\sigma_a + \sigma_b = \sigma_1 + \sigma_2$ тенглик ўринли бўлади.

Қурилатган мисолда

$$500 - 250 = 523 - 273 = 250$$

бўлади.

2.3-масала. 2.9-шаклдаги кучланганлик ҳолати учун Мор доирасини қуринг, $\alpha = 30^\circ$ юзадаги нормал ва уринма кучланишларнинг қийматларини график усулда ҳисобланг ва бош юзаларнинг йўналишларини аниқланг. Маълумотларни 2.1-жадвалдан олинг.

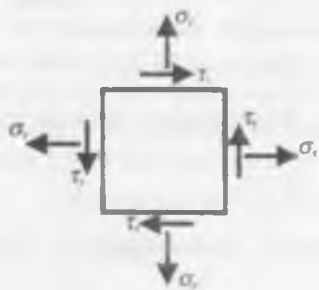


2.9-шакл

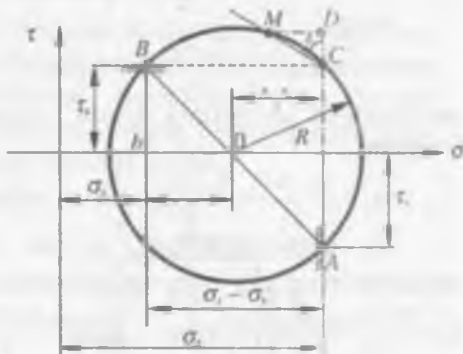
2.3-масалани ечишга оид кўрсатмалар.

Берилган: 2.10-шакл.

Ечиш усули. Мор доираси қуйидаги кетма-кетликда қурилади.



2.10-шакл



2.11-шакл

1) (σ, α) текислигида σ ўқини горизонтал, τ ўқини эса унга тик қилиб ўтказамиз (2.11-шакл).

2) σ_x , σ_y ва τ_x ларнинг қийматларидан келиб чиққан ҳолда масштаб танлаймиз.

3) (σ, α) текислигида абсциссаси σ_x га ва ординатаси τ_x га тенг $A(\sigma_x, \tau_x)$ нуқтани аниқлаймиз. Берилган шаклга қура $\sigma_x > 0$, $\tau_x < 0$, шунинг учун σ_x абсциссанинг мусбат, τ_x эса ординатанинг манфий томонидан ажратилган.

4) Юқоридаги қоидалар бўйича абсциссаси σ_x ва ординатаси τ_x га тенг бўлган $B(\sigma_x, \tau_x)$ нуқтани аниқлаймиз. A нуқта параллелепипеднинг тик жойлашган юзаларидаги, B нуқта эса — горизонтал жойлашган юзалардаги кучланишларни ифодалайди.

5) A ва B нуқталарни туташтириб, абсцисса ўқи билан кесишган O нуқтани белгилаймиз. Ҳосил бўлган OaA ва OvB тўғри бурчакли учбурчаклар ўзаро тенг, чунки уларнинг BOv ва AOa ўткир бурчаклари, ҳамда bB ва aA томонлари ўзаро тенг (уринма кучланишларнинг жуфтлик қоида­сига кўра $\tau_x = -\tau_y$).

Учбурчакларни bo ва ao томонларининг йиғиндиси $\sigma_x - \sigma_y$ га тенг. Шунинг учун уларнинг ҳар бири $\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$ га тенг. Демак O нуқтанинг абсциссаси

$$\sigma_y + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

га, ординатаси эса 0 га тенг, яъни $O(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}, 0)$ ва бу нуқта Мор доирасининг маркази бўлади.

6) O марказ орқали радиуси $OA = OB$ га тенг бўлган доира чизамиз. Ҳосил бўлган доира Мор доираси дейилади, унинг радиуси

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_x^2}$$

га тенг.

7) A ва B нуқталардан ордината ўқларига параллел тўғри чизиқлар ўтказамиз. A нуқтадан ўтказилган тўғри чизиқни айлана билан кесишган C нуқтаси қутб нуқта дейилади (B нуқта ҳам худди шундай).

8) Айланада ихтиёрий M нуқтани олиб C нуқта билан туташтирамиз ва MC тўғри чизиқни ордината ўқи билан ҳосил қилган бурчагини β билан белгилаймиз. M нуқтанинг координаталари σ_x кучланишга тик бўлган юза билан α бурчак ҳосил қилувчи юзадаги σ_n ва τ_n кучланишлар бўлади, яъни $M(\sigma_n, \tau_n)$. Бунда C нуқтанинг координаталари σ_x ва τ_x га тенг бўлади, яъни $C(\sigma_x, \tau_x)$.

9) M ва C нуқталарнинг координаталарини β бурчак орқали ифода­лаймиз

$$\tau_n \beta = \frac{MD}{DC} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{\tau_n - \tau_x} \quad (a)$$

10) σ_n ва τ_n кучланишларни σ_x , σ_y ва τ_x кучланишлар орқали ифода­лаймиз

$$\sigma_n = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + \tau_x \sin 2\alpha,$$

$$\tau_a = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha - \tau_x \cos 2\alpha$$

11) σ_a ва τ_a кучланишларнинг ифодаларини (а) тенгликка қўйсак

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sigma_x (1 - \cos^2 \alpha) - \sigma_y \sin^2 \alpha - \tau_x \sin 2\alpha}{\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha - \tau_x (1 + \cos 2\alpha)}$$

Маълумки $1 - \cos^2 \alpha = \sin^2 \alpha$, $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$, $1 + \cos 2\alpha = 2 \cos^2 \alpha$.

Бу ифодаларни инobatга олсак

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{(\sigma_x - \sigma_y) \sin \alpha - 2\tau_x \cos \alpha \sin \alpha}{(\sigma_x - \sigma_y) \sin \alpha - 2\tau_x \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$$

Шундай қилиб, Мор доирасининг айланасидаги ихтиёрий M нуқтани қутб нуқта билан туташтирувчи MC тўғри чизиқ σ_x нормал кучланиш таъсир этаётган юза билан α бурчак ташкил этади, MC тўғри чизиқ σ_a ва τ_a кучланишлар таъсир этаётган юзага параллел жойлашган.

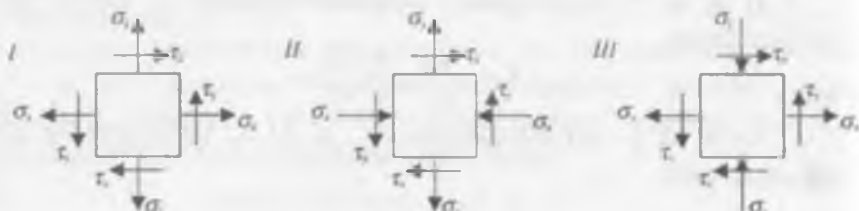
Хулосалар:

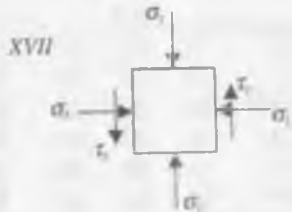
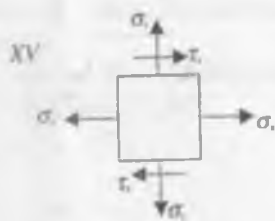
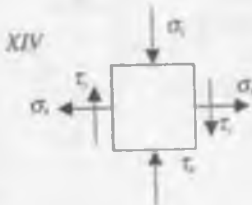
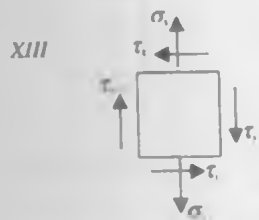
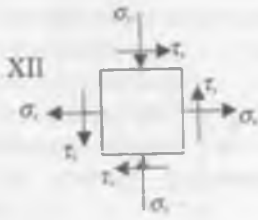
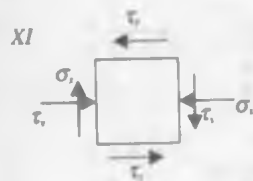
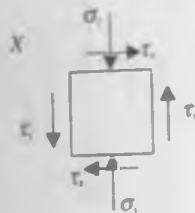
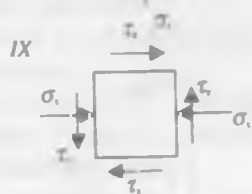
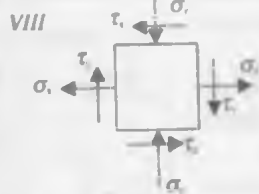
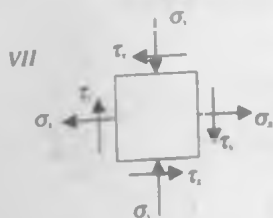
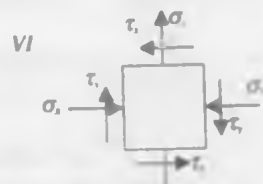
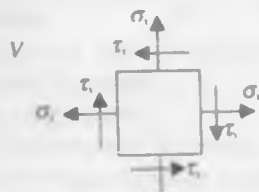
- σ_a ва τ_a кучланишлар таъсир этаётган юзанинг йўналишини аниқлаш учун $M(\sigma_a, \tau_a)$ нуқта C қутб нуқта билан туташтирилади. бунда қидириляётган α юза MC тўғри чизиққа параллел жойлашади;

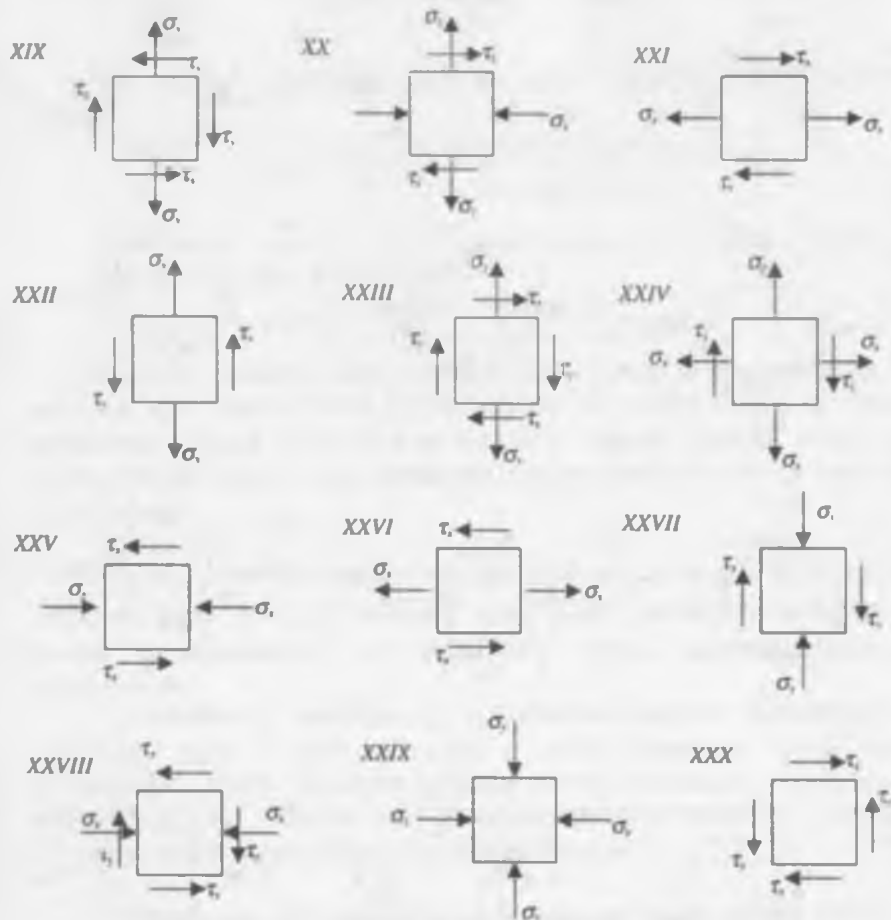
- ихтиёрий α юзадаги σ_a , τ_a кучланишларнинг қийматларини аниқлаш учун C қутб нуқтадан α юзага параллел тўғри чизиқ ўтказилади, тўғри чизиқни айлана билан кесишиш нуқтасининг абсциссаси σ_a нормал кучланишни, ординатаси эса τ_a уринма кучланишнинг масштаб ифодаларини беради.

2.4-масала. Кучланиш ҳолати шаклда кўрсатилган ҳолда σ_1 нормал кучланишнинг йўналиши билан $\alpha = 30^\circ$ бурчак ҳосил қилувчи юзадаги нормал, уринма ва бош кучланишларни ҳисобланг, бош юзаларнинг йўналишларини, ε_1 , ε_2 , ε_3 нисбий деформацияларни, ҳажмнинг нисбий ўзгаришини ва деформациянинг потенциал энергиясини аниқланг. Керакли маълумотларни 2.2-жадвалдан олинг.

2.4-масаланинг шакллари







2.2-жадвал

№	σ_x	σ_y	τ_x	№	σ_x	σ_y	τ_x	№	σ_x	σ_y	τ_x
	МПа				МПа				МПа		
I	10	10	10	XI	10	10	10	XXI	10	10	10
II	20	20	20	XII	20	20	20	XXII	20	20	20
III	30	30	30	XIII	30	30	30	XXIII	30	30	30
IV	40	40	40	XIV	40	40	40	XXIV	40	40	40
V	50	50	50	XV	50	50	50	XXV	50	50	50
VI	60	60	60	XVI	60	60	60	XXVI	60	60	60
VII	70	70	70	XVII	70	70	70	XXVII	70	70	70
VIII	80	80	80	XVIII	80	80	80	XXVIII	80	80	80
IX	90	90	90	XIX	90	90	90	XXIX	90	90	90
X	100	100	100	XX	100	100	100	XXX	100	100	100

2.5-масала. 2.3-жадвалдаги кучланганлик ҳолатлари учун қуйидагиларни ҳисобланг:

- бош йўналишлардаги нисбий деформациялар;
- ҳажмнинг нисбий ўзгариш;
- октаэдр нормал кучланиш;
- ҳажм нисбий ўзгаришининг ўртача қиймати;
- деформациянинг солиштирма потенциал энергияси;
- солиштирма потенциал энергиянинг ҳажм ўзгаришига сарфланадиган қисми;

2.3-жадвал

№	σ_1	σ_2	σ_3
	МПа		
1	1	0.75	0.5
2	2	1.75	1.5
3	3	2.75	2.5
4	4	3.75	3.5
5	5	4.75	4.5
6	6	5.75	5.5
7	7	6.75	6.5
8	8	7.75	7.5
9	9	8.75	8.5
10	10	9.75	9.5
11	11	10.75	10.5
12	12	11.75	11.5
13	13	12.75	12.5
14	14	13.75	13.5
15	15	14.75	14.5
16	-14.5	-14.75	-15
17	-13.5	-13.75	-14
18	-12.5	-12.75	-13
19	-11.5	-11.75	-12
20	-10.5	-10.75	-11
21	-9.5	-9.75	-10
22	-8.5	-8.75	-9
23	-7.5	-7.75	-8
24	-6.5	-6.75	-7
25	-5.5	-5.75	-6
26	-4.5	-4.75	-5
27	-3.5	-3.75	-4
28	-2.5	-2.75	-3
29	-1.5	-1.75	-2
30	-0.5	-0.75	-1

- солиштирма потенциал энергиянинг шакл ўзгаришига сарфланадиган қисми;

- мустаҳкамликнинг биринчи назариясини текшириш;
- мустаҳкамликнинг иккинчи биринчи назариясини текшириш;
- мустаҳкамликнинг учинчи назариясини текшириш;
- мустаҳкамликнинг тўртинчи назариясини текшириш;
- октаэдр уринма кучланишни ҳисоблаш;
- тулиқ кучланишни ҳисоблаш.

2.5-масалани бажаришга оид кўрсатмалар.

1) Бош йўналишлардаги нисбий деформациялар

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E}[\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)],$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E}[\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)],$$

$$\epsilon_3 = \frac{1}{E}[\sigma_3 - \mu(\sigma_1 + \sigma_2)].$$

2) Ҳажмнинг нисбий ўзгариши

$$\theta = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3.$$

3) Октаэдр нормал кучланиш

$$\sigma_{\text{окт}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}.$$

4) Ҳажм нисбий ўзгаришининг ўртача қиймати

$$\theta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3K},$$

бу срада K -ҳажмий деформациянинг модули дейилади ва

$$K = \frac{E}{3(1-2\mu)}$$

формула ёрдамида аниқланади.

5) Бош кучланишлар берилган бўлса ҳажмнинг нисбий ўзгариши қуйидагича аниқланади

$$\theta = \frac{1-2\mu}{E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

6) Деформациянинг солиштирма потенциал энергияси

$$a = \frac{1}{2}(\sigma_1 \epsilon_1 + \sigma_2 \epsilon_2 + \sigma_3 \epsilon_3) = \frac{1}{2E}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_1 \sigma_3)].$$

7) Солиштирма потенциал энергиянинг ҳажм ўзгаришига сарфланадиган қисмини ҳисоблаш

$$a_s = \frac{1-2\mu}{6E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2.$$

8) Солиштирма потенциал энергиянинг шакл ўзгаришига сарфланадиган қисмини ҳисоблаш

$$a_n = \frac{1+\mu}{6E}[(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2].$$

9) Мустаҳкамликнинг биринчи назариясини текшириш

$$\sigma_1 \leq [\sigma].$$

10) Мустаҳкамликнинг иккинчи биринчи назариясини текшириш

$$\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3) \leq [\sigma].$$

11) Мустаҳкамликнинг учинчи назариясини текшириш

$$\sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma].$$

12) Мустаҳкамликнинг тўртинчи назариясини текшириш

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2]} \leq [\sigma].$$

13) Октаэдр уринма кучланишни ҳисоблаш

$$\tau_{\text{окт}} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2}.$$

14) Тўлиқ кучланишни ҳисоблаш

$$\rho_{\text{тўл}} = \sqrt{\rho_{\text{окт}}^2 + \tau_{\text{окт}}^2}.$$

Агар бош кучланишлардан бирортаси, масалан $\sigma_3 = 0$ бўлса, бош йўналишлардаги деформациялар қуйидагича аниқланади:

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \mu\sigma_2), \quad \epsilon_2 = \frac{1}{E}(\sigma_2 - \mu\sigma_1), \quad \epsilon_3 = -\frac{\mu}{E}(\sigma_1 + \sigma_2).$$

Оддий чўзилиш ёки сиқилишда фақат битта бош кучланиш нолдан фарқли бўлади. Бу ҳолда деформациянинг солиштирма потенциал энергиялари қуйидагича аниқланади:

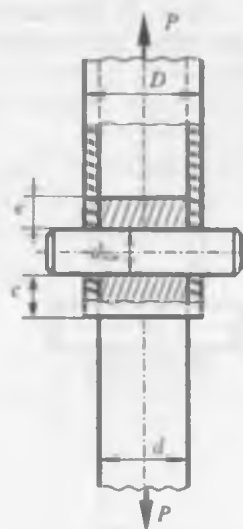
$$a_s = \frac{1-2\mu}{6E}\sigma^2; \quad a_n = \frac{1+\mu}{3E}\sigma^2; \quad a = a_s + a_n = \frac{\sigma^2}{2E}.$$

3. Стерженларнинг кесиш ва эзилишга мустаҳкамлигини ҳисоблаш

3.1-масала. 3.1-шаклдаги I ва II стерженлар III штифт орқали

3.2-жадвал

№	$[\sigma_x]$	$[\tau_x]$	$[\sigma_z]$	P
	$\frac{H}{\text{мм}^2}$			κH
1	70	30	170	+10
2	75	35	175	+15
3	80	40	180	+20
4	85	45	185	+25
5	90	50	190	+30
6	95	55	195	+35
7	100	60	200	+40
8	105	65	205	+45
9	110	70	210	+50
10	115	75	215	+55
11	120	80	220	+60
12	125	85	225	+65
13	130	90	230	+70
14	135	95	235	+75
15	140	100	240	+80
16	145	105	240	-80
17	150	110	240	-75
18	145	100	235	-70
19	140	95	230	-65
20	135	90	225	-60
21	130	85	220	-55
22	125	80	215	-50
23	120	75	210	-45
24	115	70	205	-40
25	110	65	200	-35
26	100	60	195	-30
27	95	55	190	-25
28	90	50	185	-20
29	85	45	180	-15
30	80	40	175	-10



3.1-шакл

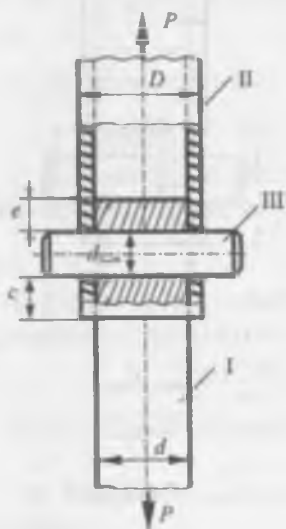
уланган. Стерженларга P ташқи чўзувчи (+) ёки сиқувчи (-) куч таъсир этади (шаклда чўзувчи куч кўрсатилган). Нормал кучланишни чўзилиш ёки сиқилишга рухсат этилган қийматларининг назарий миқдори $[\sigma_x]$, эзилишга рухсат этилган қиймати $[\sigma_z]$ ва уринма кучланишнинг кесишга рухсат этилган қиймати $[\tau_x]$ дан фойдаланиб D, d, c, e параметрларни аниқланг. Керакли маълумотларни 3.1-жадвалдан олинг.

3.1-масалани ечиш намунаси.

Берилган: 3.2-шакл, $[\sigma_x] = 120 \frac{H}{мм^2}$, $[\sigma_y] = 240 \frac{H}{мм^2}$, $[\tau_x] = 80 \frac{H}{мм^2}$.

$P = +30 кН$.

Ечиш. 1) Кесишга мустаҳкамлик шартидан штифтнинг диаметрини аниқлаймиз (3.3-шакл)



3.2-шакл



3.3-шакл

$$\tau_x = \frac{P}{2 \frac{\pi d_{\min}^2}{4}} \leq [\tau_x],$$

бу ердан

$$d_{\min} \geq \sqrt{\frac{2P}{\pi[\tau_x]}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 80}} = 15.5 \text{ мм}.$$

Топилган қийматни бутун сонга айлантириб, $d_{\min} = 16 \text{ мм}$ деб қабул қиламиз.

2) Чўзилишга мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб / стерженнинг диаметрини аниқлаймиз. Бунда / стерженда штифт ўтадиган тешик мавжудлигини эътиборга оламиз

$$\sigma_y = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4} - d_{\min} d} \leq [\sigma_y],$$

ёки

$$\sigma_{\text{д}} = \frac{30 \cdot 10^3}{\frac{3.14 \cdot d^2}{4} - 16d} \leq 120 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2},$$

бу ердан

$$94.2d^2 - 1920d - 30 \cdot 10^3 = 0.$$

Ҳосил булган квадрат тенгламани ечиб $d = 30.8 \text{ мм}$ эканлигини аниқлаймиз. Бу қийматни бутун сонга айлантириб, $d = 31 \text{ мм}$ деб қабул қиламиз.

3) Чўзилишга мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб II стерженнинг диаметрини аниқлаймиз. Бунда II стерженда ҳам штифт ўтадиган тешик мавжудлигини эътиборга оламиз (3.3-шакл)

$$\sigma_{\text{рн}} = \frac{P}{\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} - d_{\text{ш}}(D-d)} \leq [\sigma_{\text{р}}],$$

ёки

$$\sigma_{\text{рн}} = \frac{30 \cdot 10^3}{\frac{3.14 D^2}{4} - \frac{3.14 \cdot 31^2}{4} - 16(D-31)} \leq 120 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2},$$

бу ердан

$$94.2D^2 - 192D - 61 \cdot 10^3 = 0.$$

Бу квадрат тенгламани ечиб $d = 37.7 \text{ мм}$ эканлигини аниқлаймиз. Бу қийматни бутун сонга айлантириб, $d = 38 \text{ мм}$ деб қабул қиламиз.

4) Эзилишга мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб II стержен қалинлигининг рухсат этилган қийматини аниқлаймиз

$$\sigma_2 = \frac{P}{d_{\text{ш}}(D-d)} = \frac{30 \cdot 10^3}{16(38-31)} = 268 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} > [\sigma_2],$$

яъни $[\sigma_2] < \sigma_2$, ёки $268 > 240 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$. Демак мустаҳкамлик шarti бажарилиши учун II стерженнинг диаметрини катталаштириш зарур. Бу ишни қуйидагича бажарамиз

$$\sigma_2 = \frac{P}{d_{\text{ш}}(D-d)} \leq [\sigma_2],$$

бу ердан

$$D \geq \frac{P + d_{\text{ш}}[\sigma_2]}{d_{\text{ш}}[\sigma_2]} = \frac{30 \cdot 10^3 + 31 \cdot 16 \cdot 240}{16 \cdot 240} = 38.8 \text{ мм}.$$

Демак $D = 39 \text{ мм}$ деб қабул қиламиз ва бу ҳолда мустаҳкамлик шarti бажарилади.

5) Кесишга мустаҳкамлик шартини II стерженни қуйи қисмига қўлаб с масофани қанча бўлиши кераклигини аниқлаймиз (3.2-шакл)

$$\tau_{\text{к}} = \frac{P}{2c(D-d)} \leq [\tau_{\text{к}}],$$

бу ердан

$$c \geq \frac{P}{2c(D-d)[\tau_k]} = \frac{30 \cdot 10^3}{2(39-31) \cdot 80} = 23.4 \text{ мм.}$$

Демак $c = 24 \text{ мм}$ деб қабул қиламиз.

6) Кесишга мустаҳкамлик шартини I стерженни юқори қисмига қўлаб e масофани қанча бўлиши кераклигини аниқлаймиз

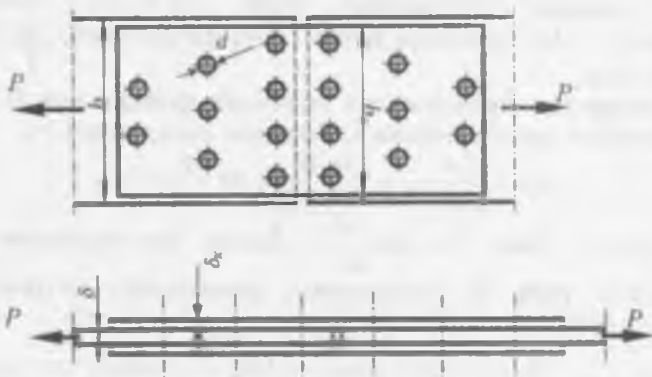
$$\tau_k = \frac{P}{2ed} \leq [\tau_k],$$

бу ердан

$$e \geq \frac{P}{2d[\tau_k]} = \frac{30 \cdot 10^3}{2 \cdot 31 \cdot 80} = 6.05 \text{ мм.}$$

Демак $e = 6 \text{ мм}$ деб қабул қиламиз.

3.2-масала. Иккита қалин тунукалар иккала ён томонларига қўйилган қўшимча тунукалар ва парчин михлар ёрдамида уланган. Қалин тунукаларга P ташқи чўзувчи (+) ёки сиқувчи (-) куч қўйилган (3.4-шаклда фақат чўзувчи куч курсатилган). Бундай қурилманинг мустаҳкамлигини текширинг. Керакли маълумотларни 3.4-шакл ва 3.2-жадвалдан олинг.



3.4-шакл

3.2-масалани ечиш намунаси.

Берилган: 3.4-шакл, $[\sigma_z] = 140 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$, $[\tau_k] = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$, $[\sigma_s] = 240 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$,

$P = +550 \text{ кН}$, $\delta = 16 \text{ мм}$, $\delta_k = 10 \text{ мм}$, $b = 280 \text{ мм}$, $b_k = 270 \text{ мм}$, $d = 20 \text{ мм}$.

Ечиш.

1) Парчин михларни кесишга мустаҳкамлигини текшираимиз

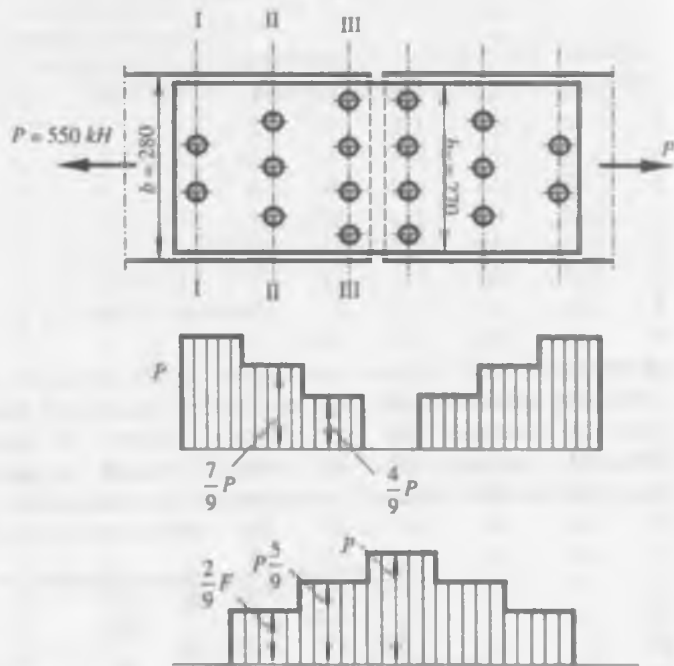
№	$[\sigma_r]$	$[\tau_k]$	$[\sigma_s]$	δ_r	δ_k	I	II	III	P
	$\frac{H}{мм}$			мм		Кесимлардаги парчин михлар сони			кН
1	105	60	190	6	1	1	2	2	+280
2	110	65	195	7	2	1	2	2	-285
3	115	70	200	8	3	1	2	3	+290
4	120	75	205	9	4	1	2	4	-295
5	125	80	210	10	5	1	2	3	+300
6	130	85	215	11	6	1	2	3	-305
7	135	90	220	12	7	1	2	4	+310
8	140	95	225	13	8	1	2	2	-315
9	145	100	230	14	9	2	2	3	+320
10	150	105	235	15	10	2	2	4	-325
11	155	110	245	16	11	2	2	3	+330
12	160	105	250	17	12	2	2	3	-335
13	155	100	250	18	13	2	2	4	+340
14	150	95	250	19	14	2	2	3	-345
15	145	90	245	20	15	2	2	2	+350
16	140	85	240	20	15	2	2	3	-355
17	135	80	235	19	14	2	2	4	+360
18	130	75	230	18	13	2	2	3	-365
19	125	70	225	17	12	2	2	3	+370
20	120	65	220	16	11	2	2	3	-375
21	115	60	215	15	10	2	2	4	+380
22	110	65	210	14	9	2	2	3	-385
23	100	70	205	13	8	2	2	2	+390
24	105	75	200	12	7	1	2	2	-395
25	110	80	195	11	6	1	2	4	+400
26	115	85	190	10	5	1	2	3	-405
27	120	90	195	9	4	1	2	2	+410
28	125	95	200	8	3	1	2	3	-415
29	130	100	205	7	2	1	2	3	+420
30	135	105	210	6	1	1	2	3	-425

$$\tau_k = \frac{P}{nkmf} \leq [\tau_k],$$

бу ерда n - бир томондаги парчин михларнинг сони, $n=9$; k - парчин михлар икки кесимли эканлигини билдиради, $k=2$.

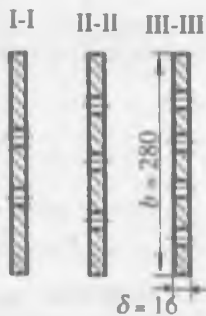
Сон қийматларининг ўрнига қуйиб охириги тенгликдан қуйидагини оламир

$$\tau_k = \frac{550 \cdot 10^3}{9 \cdot 2 \cdot \frac{3.14 \cdot 20^2}{4}} = 97.2 \frac{H}{мм^2}$$



3.5-шакл

Туиукаларнинг
кесимлари



3.6-шакл

Қўшимча
трубаларнинг



3.7-шакл

Демак парчин михларни кесишга мустаҳкамлик шарти бажарилади.

2) Энди эзилишга мустаҳкамлик шартини текшираимиз

$$\sigma_z = \frac{P}{n\delta_x d} \leq [\sigma_z].$$

Курилайтган қурилмада $\delta < 2\delta_k$, яъни қалин тунукалардаги тешикчалар диаметрларининг назарий қийматлари қўшимча тунукаларниқидан кичкина. Шунинг учун, қалин тунукалардаги эзилишга ишлайдиган нормал кучланишлар қўшимча тунукалардагидан кам бўлади. Демак $\delta_1 = \delta = 16 \text{ мм}$ деб олиш керак.

Сон қийматларини ўрнига қўйиб охириги тенгликдан қуйидагини оламиз

$$\sigma_z = \frac{550 \cdot 10^3}{9 \cdot 16 \cdot 20} = 191 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

3) Қалин тунукаларни чузилишга мустаҳкамлигини текшираимиз

$$\sigma = \frac{N}{F_{\text{---}}} \leq [\sigma_x],$$

бу ерда N - хавфли кесимдаги бўйлама куч; $F_{\text{---}}$ - қалин тунуканинг хавфли кесимдаги юзидан тешикчалар юзаларининг айирмасига тенг бўлган нетто юза.

Хавфли кесимни аниқлаш учун қалин тунукаларнинг қундаланг кесимларидаги бўйлама куч эпюрасини қураимиз (3.5-шакл). Бунда ташқи чўзувчи куч парчин михларнинг ҳаммасига тенг таъсир этади, деб фараз қиламиз, яъни бир томондаги парчин михларнинг ҳар бирига $\frac{1}{9P}$ миқдорда куч таъсир этади. Шаклдаги *I-I*, *II-II*, *III-III* кесимларнинг ҳар бири хавфли ҳисобланади, лекин бу кесимлардан қайси бири энг хавфли эканлигини аниқлаш лозим. Бунинг учун кесимларнинг ҳар биридаги нормал кучланишларни ҳисоблаймиз:

- *I-I* кесимда

$$\sigma_I = \frac{P}{\delta(b-2d)} = \frac{550 \cdot 10^3}{16(280 - 2 \cdot 20)} = 143 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

- *II-II* кесимда

$$\sigma_{II} = \frac{7P}{\delta(b-3d)} = \frac{7 \cdot 550 \cdot 10^3}{16(280 - 3 \cdot 20)} = 121 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2},$$

- *III-III* кесимда

$$\sigma_{III} = \frac{4P}{\delta(b-4 \cdot d)} = \frac{4 \cdot 550 \cdot 10^3}{16(280 - 4 \cdot 20)} = 76.5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Шундай қилиб *I-I* кесим энг хавфли кесимдир. Бу кесимда нормал кучланиш ўзининг рухсат этилган қийматидан фақат 2 % га

куп. Демак курилайтган тунукаларнинг мустаҳкамлиги таъминланган деб ҳисобласа бўлади.

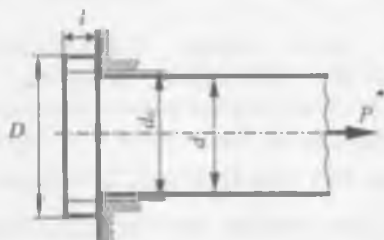
4) Қўшимча тунукаларнинг мустаҳкамлиги ҳам юқоридаги усул билан текширилади. Бу тунукалардаги буйлама кучнинг эпюраси ҳам 3.5-шаклда келтирилган. Эпюрадан кўриниб турибдики, бу тунукаларнинг III-III кесими энг хавфлидир — бу кесимда тунукалар кўндаланг кесимларининг юзи энг кичкина (3.6-шакл) ва $N_{max} = 0.5P$ га тенг энг катта буйлама куч ҳосил бўлади.

Шундай қилиб, қўшимча тунукаларнинг энг хавфли кесимларидаги нормал кучланиш

$$\sigma_{max} = \frac{0.5P}{\sigma_k(b_k - 4d)} = \frac{0.5 \cdot 550 \cdot 10^3}{10(270 - 4 \cdot 20)} = 145 \frac{H}{мм^2}$$

Бу кучланиш ўзининг рухсат этилган қиймати $[\sigma_x] = 140 \frac{H}{мм^2}$ дан $\sim 3.5\%$ га кўп холос. Шунинг учун, қўшимча тунукаларнинг мустаҳкамлиги таъминланган деб ҳисобланади.

3.3-масала. Чўзилишга, кесишга ва эзилишга мустаҳкамлик шартларидан фойдаланиб 3.8-шаклдаги тенг қаршилиқ кўрсатувчи



3.8-шакл

погонани стержен катта погонасининг диаметри D ва узунлиги l ни аниқланг. Нормал кучланиш чўзилишга рухсат этилган қийматининг назарий миқдори $[\sigma_t]$, эзилишга рухсат этилган қиймати $[\sigma_z]$, уринма кучланишнинг кесишга рухсат этилган қиймати $[\tau_k]$, шаклдаги d_0 ва d масофаларнинг ўлчам-

лари, ҳамда ташқи P кучнинг миқдори 3.3-жадвалда келтирилган.

3.3-масалани ечиш намунаси.

Берилган: 3.8-шакл, $[\sigma_x] = 140 \text{ МПа}$, $[\tau_k] = 100 \text{ МПа}$, $[\sigma_z] = 250 \text{ МПа}$, $d_0 = 34 \text{ мм}$, $\delta = 32 \text{ мм}$.

Ечиш.

1) Стерженни чўзилишга мустаҳкамлик шартидан ташқи P кучнинг рухсат этилган қийматини аниқлаймиз

$$[P] = [\sigma_x] \frac{\pi d^2 l}{4} = 140 \cdot 10^6 \frac{3.14 \cdot 0.032^2}{4} = 112.6 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

2) Катта погонани деворга таяниб туришга мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб D диаметри аниқлаймиз

$$\sigma_z = \frac{P}{F_z} \leq [\sigma_z].$$

Поғонали стерженни тенг қаршилиқ курсатувчи эканлигини инобатга олсак, $P = [P]$ бўлади. Демак

$$\sigma_z = \frac{[P]}{\pi(D^2 - d_0^2)} \leq [\sigma_z],$$

бу ердан

$$D \geq \sqrt{\frac{4[P]}{\pi[\sigma_z]} + d_0^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 112.6 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 250 \cdot 10^6} + 0.034^2} = 0.0417 \text{ м} = 41.7 \text{ мм}.$$

Бу қийматни бутун сонга айлантириб, $D = 42 \text{ мм}$ деб қабул қиламиз.

3) Стерженни кесишга мустақамлигидан фойдаланиб катта поғонанинг узунлиги l ни аниқлаймиз

$$\tau_k = \frac{P}{F_k} \leq [\tau_k].$$

3.2-жадвал

№	$[\sigma_x]$	$[\tau_k]$	$[\sigma_z]$	d_0	d	№	$[\sigma_x]$	$[\tau_k]$	$[\sigma_z]$	d_0	d
	$\frac{H}{\text{мм}^2}$		мм				$\frac{H}{\text{мм}^2}$		мм		
1	60	20	170	12	10	16	135	95	245	40	38
2	65	25	175	14	12	17	140	100	250	38	36
3	70	30	180	16	14	18	145	105	255	36	34
4	75	35	185	18	16	19	150	110	260	34	32
5	80	40	190	20	18	20	155	115	265	32	30
6	85	45	195	22	20	21	160	120	270	30	28
7	90	50	200	24	22	22	155	115	265	28	26
8	95	55	205	26	24	23	150	110	260	26	24
9	100	60	210	28	26	24	145	105	255	24	22
10	105	65	215	30	28	25	140	100	250	22	20
11	110	70	220	32	30	26	145	95	245	20	18
12	115	75	225	34	32	27	140	90	240	18	16
13	120	80	230	36	34	28	135	85	235	16	14
14	125	85	235	38	36	29	130	80	230	14	12
15	130	90	240	40	38	30	125	75	225	12	10

Цилиндр узунлиги l ва диаметри d_0 га тенг сирти кесишга қаршилиқ курсатади. Шунинг учун

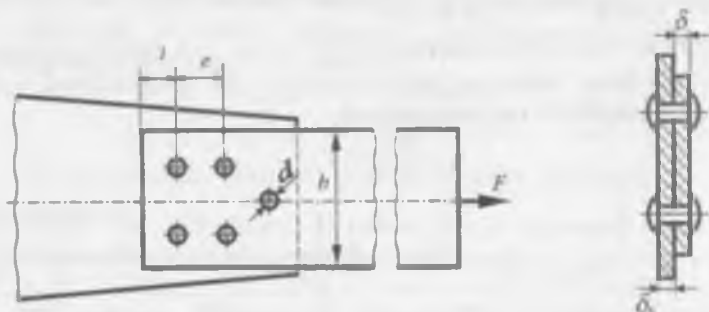
$$\tau_k = \frac{P}{F_k} = \frac{[P]}{\pi d_0 l} \leq [\tau_k],$$

бу ердан

$$l \geq \frac{[P]}{\pi d_0 [\tau_k]} = \frac{112.6 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 34 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^6} = 0.01055 \text{ м} = 10.55 \text{ мм}.$$

Бу қийматни бутун сонга айлантириб, $l = 11 \text{ мм}$ деб қабул қиламиз.

3.4-масала. Иккита қалин тунукалар 3.9-шаклла кўрсатилгандек қилиб парчин михлар ёрдамида уланган. Бундай қурилманинг мустаҳкамлигини текширинг. Нормал кучланиш чўзилишга рухсат этилган қийматининг миқдори $[\sigma_1]$, эзилишга рухсат этилган қиймати $[\sigma_2]$, уринма кучланишнинг кесишга рухсат этилган қиймати $[\tau_k]$, қурилманинг ўлчамлари ва ташқи P кучнинг миқдори 3.4-жадвалда келтирилган.



3.9-шакл

3.4-масалани ечиш намунаси.

Берилган: 3.9-шакл, $[\sigma_1] = 160 \text{ МПа}$, $[\tau_k] = 140 \text{ МПа}$, $[\sigma_2] = 320 \text{ МПа}$, $d = 23 \text{ мм}$, $l = 45 \text{ мм}$, $b = 180 \text{ мм}$, $e = 60 \text{ мм}$, $\delta = 12 \text{ мм}$, $\delta_k = 14 \text{ мм}$, $P = 280 \text{ кН}$.

Ечиш.

1) Қурилманинг чўзилишга мустаҳкамлигини аниқлаймиз. Бунинг учун аввало тунукаларнинг кўндаланг кесимларидаги бўйлама куч эпюрасини қуриб хавфли кесимларни аниқлаш зарур бўлади. Эпюра қуришда ҳар бир парчин мих P кучнинг $\frac{P}{n}$ қисmini узатади деб қабул қиламиз, бу ерда n - парчин михларнинг сони.

Мустаҳкамликни бўйлама куч ($N_1 = P$) энг катта бўлган I-I кесимда ва тунуканинг кўндаланг кесимининг юзи энг кичик бўлган II-II кесимда текширамиз (бу кесимда $N_2 = \frac{4}{5}P$ га тенг бўлади).

Энг хавфли I-I кесимда

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_{\text{нет}}} = \frac{P}{\delta(b-d)} = \frac{280 \cdot 10^3}{0.012(0.18 - 0.023)} = 149 \cdot 10^6 \text{ Па} = 149 \text{ МПа} < [\sigma_1],$$

бу ерда $F_{\text{нет}}$ - I-I кесимнинг юзидан тешикчанинг юзини айрилганига тенг бўлган нетто юза.

Хавфли II-II кесимда

№	$[\sigma_x]$	$[\tau_x]$	$[\sigma_y]$	δ	δ_n	I	II	III	P	t	b	d	e
	N мм ²			мм		Кесимлардаги парчин михларнинг сони			кН	мм			
1	105	60	190	6	1	1	2	2	280	50	120	14	20
2	110	65	195	7	2	1	2	2	285	51	122	15	21
3	115	70	200	8	3	1	2	3	290	52	124	16	22
4	120	75	205	9	4	1	2	4	295	53	126	17	23
5	125	80	210	10	5	1	2	3	300	54	128	18	24
6	130	85	215	11	6	1	2	3	305	55	130	19	25
7	135	90	220	12	7	1	2	4	310	56	132	20	26
8	140	95	225	13	8	1	2	2	315	57	134	21	27
9	145	100	230	14	9	2	2	3	320	58	136	22	28
10	150	105	235	15	10	2	2	4	325	59	138	23	29
11	155	110	245	16	11	2	2	3	330	60	140	24	30
12	160	105	250	17	12	2	2	3	335	61	142	25	31
13	155	100	250	18	13	2	2	4	340	62	144	26	32
14	150	95	250	19	14	2	2	3	345	63	146	27	33
15	145	90	245	20	15	2	2	2	350	64	148	28	34
16	140	85	240	20	15	2	2	3	355	65	150	29	35
17	135	80	235	19	14	2	2	4	360	66	152	30	36
18	130	75	230	18	13	2	2	3	365	67	154	31	37
19	125	70	225	17	12	2	2	3	370	68	156	32	38
20	120	65	220	16	11	2	2	3	340	67	154	31	37
21	115	60	215	15	10	2	2	4	335	66	152	30	36
22	110	65	210	14	9	2	2	3	330	65	150	29	35
23	100	70	205	13	8	2	2	2	325	64	148	28	34
24	105	75	200	12	7	1	2	2	320	63	146	27	33
25	110	80	195	11	6	1	2	4	315	62	144	26	34
26	115	85	190	10	5	1	2	3	310	61	142	25	33
27	120	90	195	9	4	1	2	2	305	60	140	24	32
28	125	95	200	8	3	1	2	3	300	59	138	23	31
29	130	100	205	7	2	1	2	3	295	58	136	22	30
30	135	105	210	6	1	1	2	3	290	57	134	21	29

$$\sigma_n = \frac{N_n}{F_{\text{лаги}}} = \frac{4P}{\delta(b-2d)} = \frac{4 \cdot 280 \cdot 10^3}{0.012(0.18 - 2 \cdot 0.023)} = 139 \cdot 10^6 \text{ Па} = 139 \text{ МПа}.$$

Бўйлама куч эпюраси 3.10-шаклда келтирилган.

2) Парчин михларни кесишга мустаҳкамлигини текширамыз

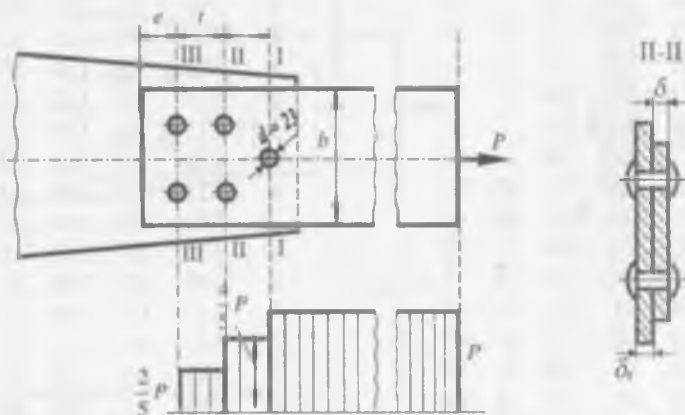
$$\tau_k = \frac{P}{n \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{280 \cdot 10^3}{5 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.023^2}{4}} = 135 \cdot 10^6 \text{ Па} = 135 \text{ МПа}.$$

Демак, кесишга мустаҳкамлик шарти бажарилади, чунки $135 < 140$.

3) Парчин михларни эзилишга мустаҳкамлигини текшираемиз

$$\sigma_j = \frac{P}{nd\delta} = \frac{280 \cdot 10^3}{5 \cdot 0.023 \cdot 0.012} = 203 \cdot 10^6 \text{ Па} = 203 \text{ МПа},$$

бу ерда $\delta < \delta_k$ эканлиги инобатга олинди. Куриниб турибдики, эзилишга мустаҳкамлик шарти ҳам бажарилади.



3.10-шакл

Умуман олганда, тунокаларни қалинлигини бир оз камайтириш ҳам мумкин, чунки уларда чўзилиш ва эзилишга қўшимча мустаҳкамлик мавжуд.

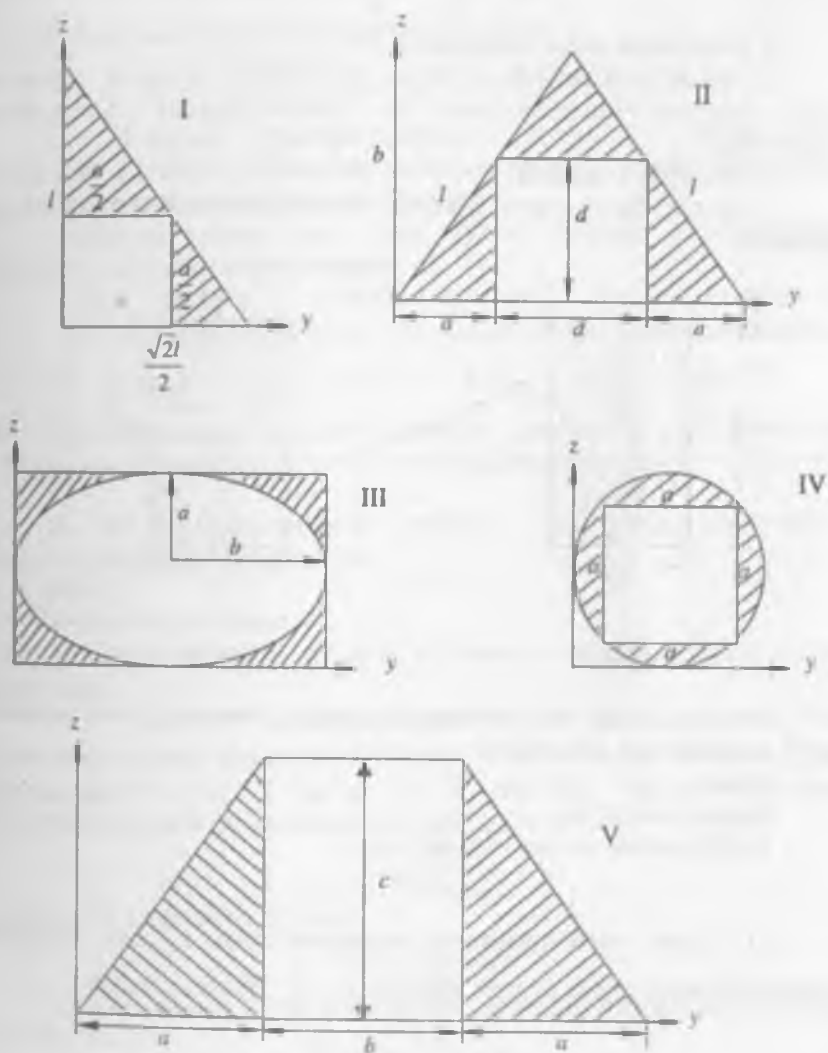
3.5-масала. Қалинлиги $\delta = 12 \text{ мм}$ бўлган листдан диаметри $d = 20 \text{ мм}$ ли тешик очиш учун қанча куч қўйилиши керак? Листнинг мустаҳкамлик чегарасидаги кесиувчи кучланиш $\tau_{\text{кек}} = 40 \text{ кгс/мм}^2$ га тенг. Листни тешилиши олдидаги эзеувчи кучланишни ҳисобланг.

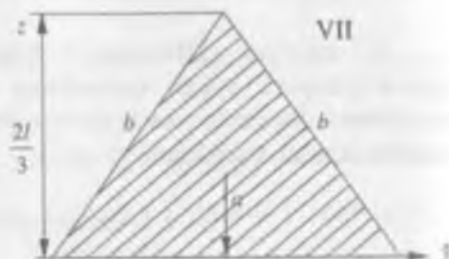
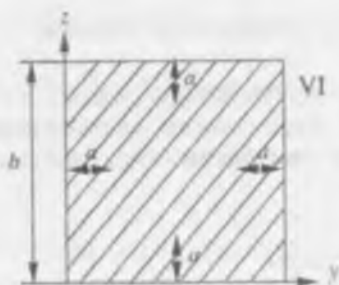
3.6-масала. Кенлиги 27 см , қалинлиги $\delta = 1.6 \text{ см}$ бўлган иккита пулат лист диаметри $d = 2.5 \text{ см}$ бўлган 8 та парчин мих билан устма-уст қилиб бириктирилган (михлар листнинг кенлиги ва узунлиги бўйлаб 2 та, 4 та ва яна 2 та қилиб ўрнатилган). Бу бирикманинг хавфсизлиги таъминланган ҳолда листларга қўйилиши мумкин бўлган куч P нинг энг катта қийматини топинг.

4. Текис кесим юзларининг геометрик характеристикалари

4.1-масала. Шаклдаги мураккаб кесимларнинг a, b, c, d, l параметрларига турли қийматлар бериб штрихланган қисмларнинг марказий ўқларга ва Z, Y ўқларига нисбатан ўқ инерция моментларини ҳисобланг ($l > b > a$).

4.1-масаланинг шакллари

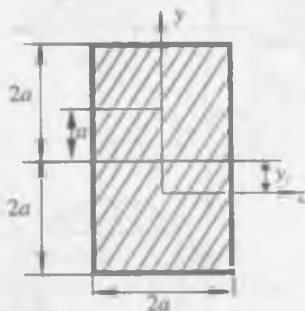




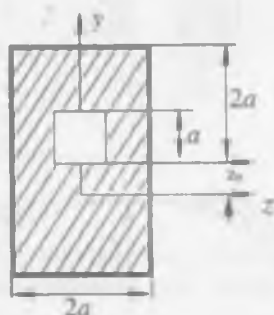
4.1-масалани ечиш намуналари.

А. 4.1-4.2-шакллардаги тўғри тўртбурчак кесимли қувурнинг бош инерция моментларини ва бош инерция радиусларини таққосланг:

- думалоқ тешикли;
- кесим баландлиги бўйича симметрик жойлашган квадрат тешикли.



4.1-шакл



4.2-шакл

Кесимларнинг энг кичик қаршилик моментларини марказий ўқ z га нисбатан ҳисобланг.

Ечиш.

Биринчи кесим.

1) Штрихланган кесимнинг юзи

$$F = 8a^2 - \frac{\pi a^2}{4} = 7.215a^2.$$

2) Тўғри тўртбурчакнинг марказий ўқи z_0 дан қувурнинг оғирлик марказигача бўлган масофа $\gamma_c = \frac{S_{cc}}{F}$ бўлади, бунда

$$S_{cc} = -\frac{\pi a^2}{4} \cdot \frac{a}{2} = -\frac{\pi a^3}{8}.$$

Демак,

$$Y_c = -\frac{\pi a^3}{8 \cdot 7.215a^2} = -0.055a.$$

3) Кесимнинг марказий ўқ Z_0 га нисбатан инерция моментини параллел ўқларга ўтиш формуласидан фойдаланиб ҳисоблаймиз:

$$J_z = \sum (J_{z0} + F_c^2) = \left[\frac{2a \cdot (4a)^3}{12} + 8a^2 \cdot (0.055a)^2 \right] - \left[\frac{\pi a^4}{64} + \frac{\pi a^2}{4} \left(\frac{a}{2} + 0.055a \right)^2 \right] = 10.33a^4.$$

4) Вертикал ўқ Y га нисбатан инерция моментни ҳисоблаймиз

$$J_Y = \frac{4a \cdot (2a)^3}{12} - \frac{\pi a^4}{64} = 2.62a^4.$$

5) Бош инерция радиусларини топамиз

$$i_z = \sqrt{\frac{J_z}{F}} = \sqrt{\frac{10.33a^4}{7.215a^2}} = 1.2a, \quad i_Y = \sqrt{\frac{J_Y}{F}} = \sqrt{\frac{2.62a^4}{7.215a^2}} = 0.6a.$$

6) Инерция радиусларининг топилган қийматларини таққослаб биринчи кесимнинг инерция радиуси иккинчисиникидан икки марта катта эканлигини кўрамиз.

Иккинчи кесим учун ҳам худди шундай ҳисоблашларни бажариб, қуйидагиларни оламиз

$$F = 7a^2, \quad Y_c = 0.07a, \quad J_z = 10.3a^4, \quad J_Y = 2.59a^4, \quad i_z = 1.22a, \quad i_Y = 0.61a.$$

7) Кесимларнинг бош ўқ Z га нисбатан қаршилиқ моментлари:

$$W_z = \frac{J_z}{Y_{\text{ма.}}}} = \frac{10.33a^4}{2.055a} = 5.027a^3, \quad W_Y = \frac{J_Y}{Y_{\text{ма.}}}} = \frac{10.3a^4}{2.07a} = 4.97a^3.$$

8) Инерция радиусларининг топилган қийматларини таққослаб, уларнинг нисбати тақрибан бирга тенглигини кўрамиз.

Б. 4.3-4.4-шакллардаги учбурчак ва ярим доираларнинг оғирлик марказларини топинг.

Ечиш.

Учбурчакли кесим.

1) Ихтиёрий Y, Z ўқларини 4.3-шаклда курсатилгандек қилиб ўтказамиз.

2) Z ўқидан Y масофада томонлари b_Y ва dy га тенг бўлган элементар юзача ажратамиз. Унинг юзи $dF = b_Y dy$ га тенг бўлади. Бурчаклари 1, 2, 3 ва 1, 4, 5 сонлари билан белгиланган учбурчакларнинг ўхшашлигидан фойдаланиб,

$$b_Y = \frac{b}{h}(h - y)$$

эканлигини топамиз. Демак

$$dF = \frac{b}{h}(h - y)dy.$$

3) Кесимнинг Y ва Z ўқларига нисбатан статик моментларини ҳисоблаймиз

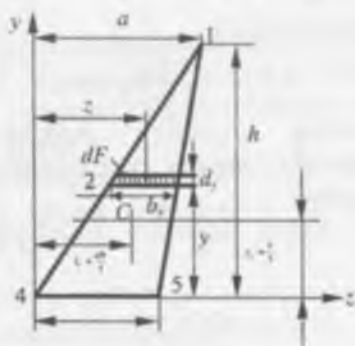
$$S_z = \int y dF = \int_0^h y \frac{b}{h} (h-y) dy = \frac{b}{h} \int_0^h (yh - y^2) dy = \frac{b}{h} \left(\frac{y^2 h}{2} - \frac{y^3}{3} \right) \Big|_0^h = \frac{b}{h} \left(\frac{h^3}{2} - \frac{h^3}{3} \right) = \frac{bh^2}{6},$$

$$S_y = \int z dF = \int_0^h \frac{bh + y(2a-b)}{2h} \cdot \frac{b}{h} (h-y) dy = \frac{b}{2h^2} \left[bh^2 y + (a-b)hy^2 - \frac{2a-b}{3} y^3 \right] \Big|_0^h =$$

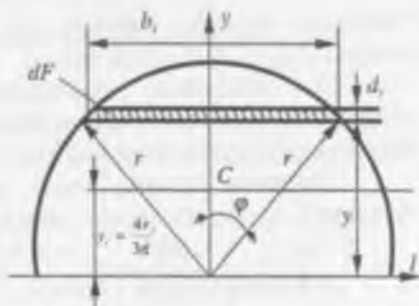
$$= \frac{bh}{2} \left(b + a - b - \frac{2a-b}{3} \right) = \frac{bh}{6} (a+b),$$

бу ерда

$$z = a_y + \frac{b_y}{2} = \frac{a}{h} y + \frac{b}{2h} (h-y) = \frac{bh + y(2a-b)}{2h},$$



4.3-шакл



4.4-шакл

4) Оғирлик марказининг координаталарини аниқлаймиз

$$\bar{y}_c = \frac{S_y}{F} = \frac{\frac{6}{bh} \cdot \frac{bh^2}{6}}{\frac{bh}{2}} = \frac{h}{3}, \quad \bar{z}_c = \frac{S_z}{F} = \frac{\frac{bh}{6} (a+b)}{\frac{bh}{2}} = \frac{a+b}{3}.$$

Учбурчакнинг оғирлик маркази 4.3-шаклда кўрсатилган. Ярим доирани кўрамиз.

5) Ихтиёрий y, z уқларининг ҳолати 4.4-шаклда кўрсатилган. Кесим y ўқиға нисбатан симметрик жойлашган. Шунинг учун оғирлик маркази y ўқида жойлашади, яъни $\bar{z}_c = 0$ бўлади.

6) z ўқидан y масофада баландлиги dy , эни b_y ва юзи $dF = b_y dy$ бўлган элементар юзача ажратамиз, бу ерда $b_y = 2r \sin \varphi dy$, $y = r \cos \varphi$, $dy = -r \sin \varphi d\varphi$ га тенг.

7) Статик моментни ҳисоблаймиз

$$S_z = \int y dF = \int_0^{\frac{\pi}{2}} y r \sin \varphi dy = \int_0^{\frac{\pi}{2}} r \cos \varphi \cdot 2r \sin \varphi \cdot (-r \sin \varphi) d\varphi = -2r^3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \varphi \cos \varphi d\varphi =$$

$$= -2r^3 \left(\frac{\sin^3 \varphi}{3} \right) \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{2r^3}{3}.$$

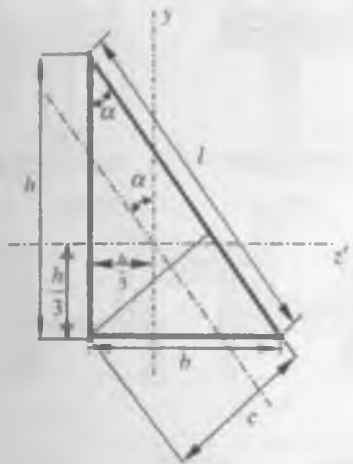
8) Оғирлик марказининг ординатасини ҳисоблаймиз

$$\gamma_c = \frac{S_z}{F} = \frac{\frac{3}{\pi}}{\frac{4r}{3\pi}} = \frac{2r^3}{2}$$

Ярим доиранинг S оғирлик маркази 4.4-шаклда кўрсатилган.

В. 4.5-шаклдаги тўғри бурчакли учбурчакни катетларига параллел марказий ўқларга нисбатан марказда қочувчи инерция моментларини топинг. Учбурчакнинг катетлари b ва h га тенг.

Ечиш. Учбурчакнинг катетларига параллел қилиб γ , z ва γ_1 ўқларини ўтказиб, J_γ , J_z , J_{γ_1} ўқ инерция моментларини ҳисоблаймиз. Улар қуйидагича бўлади



4.5-шакл

$$J_z = \frac{bh^3}{36}, \quad J_\gamma = \frac{hb^3}{36}, \quad J_{\gamma_1} = \frac{lc^3}{36}.$$

Бу ерда $c = \frac{bh}{l}$ бўлади, чунки

учбурчакнинг юзи $F = \frac{bh}{2} = \frac{cl}{2}$ га тенг.

Бу тенгликларни инобатга олсак

$$J_{\gamma_1} = \frac{b^3h^3}{36l^2}$$

(а)

эканлиги келиб чиқади.

Координата ўқларини буриш қондасига кўра

$$J_{\gamma_1} = J_\gamma \cos^2 \alpha + J_z \sin^2 \alpha + 2J_{yz} \sin \alpha \cos \alpha \quad (б)$$

тенглик ўринли бўлади, бу ерда

$$\sin \alpha = \frac{b}{l}, \quad \cos \alpha = \frac{h}{l} \quad \text{га тенг.}$$

Ҳосил қилинган (а) ва (б) тенгликларни ўнг томонларини тенглаштириб,

$$\frac{b^3h^3}{36l^2} = \frac{hb^3}{36} \left(\frac{h}{l} \right)^2 + \frac{bh^3}{36} \left(\frac{b}{l} \right)^2 + 2J_{yz} \frac{b}{l} \frac{h}{l}$$

тенгликни оламиз. Бу тенгликни $\frac{b^3h^3}{36l^2}$ ифодага қисқартириб

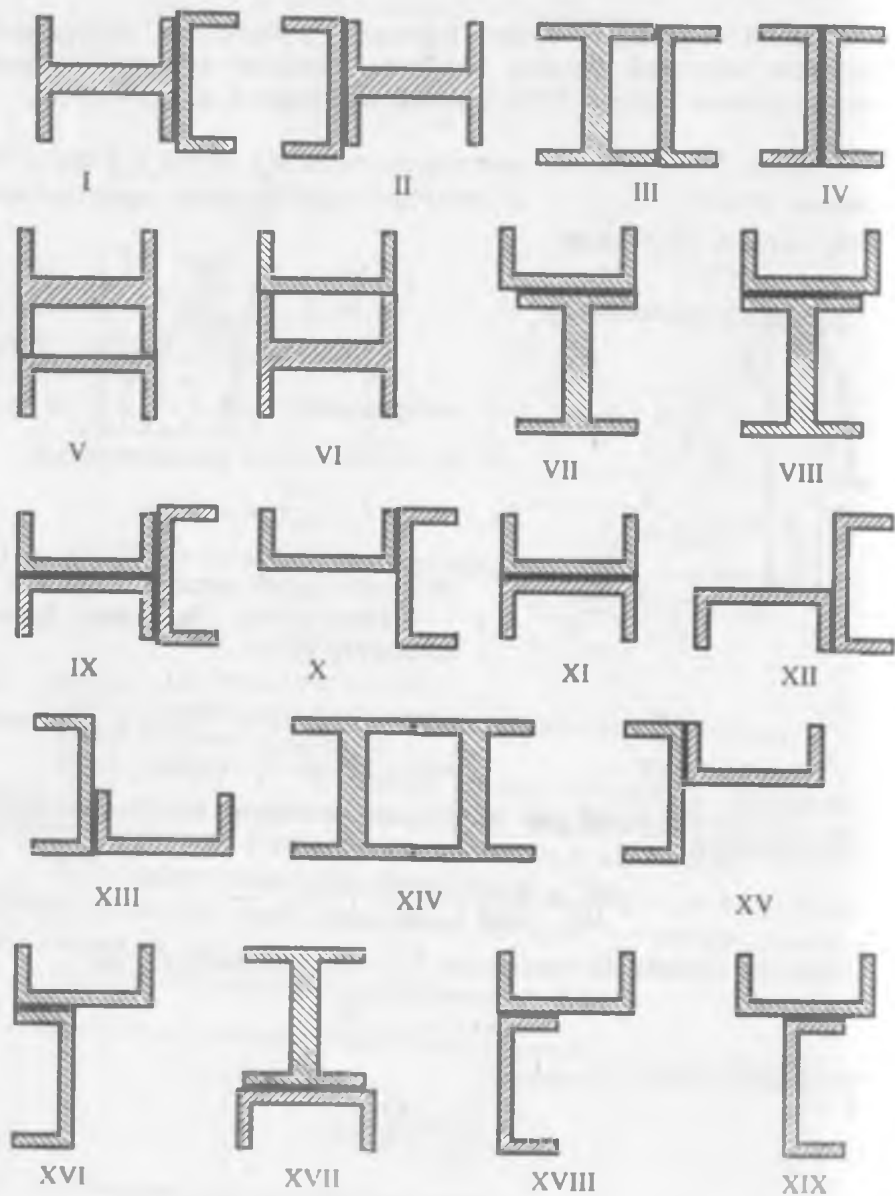
$$1 = 1 + 1 + 2J_{yz} \frac{36}{b^3h^3}$$

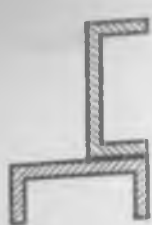
тенгликни оламиз. Бу ердан

$$J_{yz} = -\frac{b^3h^3}{72}.$$

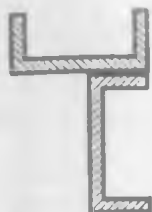
4.2-масала. Шаклдаги мураккаб кесимларнинг марказий ўқларга нисбатан бош инерция моментларини ҳисобланг. Керакли маълумотларни 4.1-жадвалдан олинг.

4.1-масаланинг шакллари





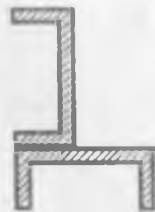
XX



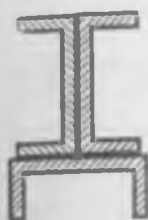
XXI



XXII



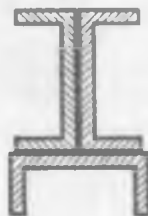
XXIII



XXIV



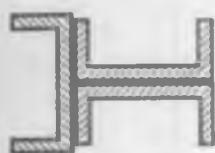
XXV



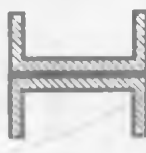
XXVI



XXVII



XXVIII



XXIX



XXX

4.2-масалани ечиш намуналари.

А. 4.6-шаклдаги тавр кесимнинг бош марказий инерция моментларини ҳисобланг.

Ечиш.

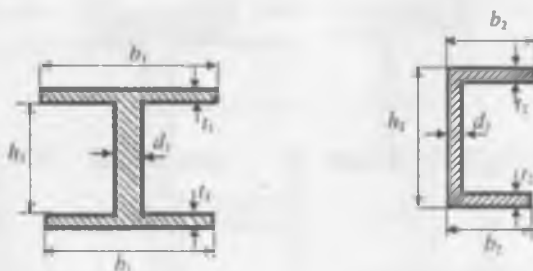
Кесим симметрия ўқида эга бўлгани учун zy координатлар системасида оғирлик марказининг абсциссаси 0 га тенг. Ординатани аниқлаймиз. Бунинг учун тавр кесимни юзалари $F_1 = 3 \cdot 4 = 12 \text{ см}^2$ ва $F_2 = 2 \cdot 12 = 24 \text{ см}^2$ бўлган иккита тўртбурчакларга ажратамиз.

Оғирлик маркази ординатасини аниқлаймиз

$$y_c = \frac{S_z}{F} = \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2}{F_1 + F_2} = \frac{12 \cdot 2 + 24 \cdot 5}{12 + 24} = \frac{144}{36} = 4 \text{ см}$$

Оғирлик маркази (C нуқта) орқали y ва z_0 бош марказий инерция ўқларини ўтказамиз ва бу ўқларга нисбатан бош инерция моментларини ҳисоблаймиз

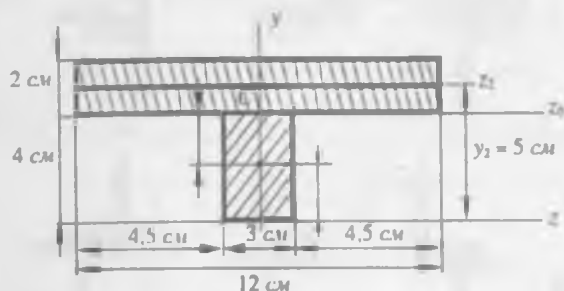
$$J_{z_0} = J_{z_c} + a_1^2 F_1 + J_{z_c} + a_2^2 F_2$$



№	b_1	t_1	d_1	h_1	b_2	t_2	d_2	h_2
	мм							
1	10	4	2.0	20	12	5	3.0	22
2	11	5	2.5	22	13	6	3.5	24
3	12	6	3.0	24	14	7	4.0	26
4	13	7	3.5	26	15	8	4.5	28
5	14	8	4.0	28	16	9	5.0	30
6	15	9	4.5	30	17	10	5.5	32
7	16	10	5.0	32	18	11	6.0	34
8	17	11	5.5	34	19	12	6.5	36
9	18	12	6.0	36	20	13	7.0	38
10	19	13	6.5	38	21	14	7.5	40
11	20	14	7.0	40	22	15	8.0	42
12	21	15	7.5	42	23	16	8.5	44
13	22	16	8.0	44	24	17	9.0	46
14	23	17	8.5	46	24	18	8.5	48
15	24	18	9.0	48	23	3	8.0	46
16	24	3	8.5	46	22	4	7.5	44
17	23	4	8.0	44	21	5	7.0	42
18	22	5	7.5	42	20	6	6.5	40
19	21	6	7.0	40	19	7	6.0	38
20	20	7	6.5	38	18	8	5.5	36
21	19	8	6.0	36	17	9	5.0	34
22	18	9	5.5	34	16	10	4.5	32
23	17	10	5.0	32	15	11	4.0	30
24	16	11	4.5	30	14	12	3.5	28
25	15	12	4.0	28	13	13	3.0	26
26	14	13	3.5	26	12	14	2.5	24
27	13	14	3.0	24	11	15	2.0	22
28	12	15	2.5	22	10	16	1.5	20
29	11	16	2.0	20	9	17	1.0	18
30	10	17	1.5	18	8	18	0.5	16

бу ерда

$$J_{Z_0}^I = \frac{bh^3}{12} = \frac{3 \cdot 4^3}{12} = 16 \text{ см}^4, \quad J_{Z_0}^{II} = \frac{bh^3}{12} = \frac{12 \cdot 3^3}{12} = 8 \text{ см}^4,$$



4.6-шакл

Бу қийматларни ўрнига қўйсак,

$$J_{Z_0} = 16 + 2^2 \cdot 12 + 8 + 1^2 \cdot 24 = 96 \text{ см}^4$$

келиб чиқади.

Худди шунингдек,

$$J_Y = J_Y^I + J_Y^{II} = \frac{4 \cdot 3^3}{12} + \frac{2 \cdot 12^3}{12} = 297 \text{ см}^4$$

бўлади.

Бу ерда $J_Y > J_{Z_0}$, шунинг учун Y ўқи максимум, Z ўқи эса минимум ўқлари бўлади.

4.3-масала. Тенг ёнли бурчаклик, швеллер ёки қўштаврдан иборат қўшма кесимларнинг геометрик характеристикаларини аниқланг ва инерция эллипсини қуринг. Кесим шаклини 1:2 масштабда чизинг, ҳамма ўқларни ва ўлчамларни шаклда кўрсатинг. Керакли маълумотларни 4.2-жадвалдан ва сортамент жадвалларидан олинг.

4.3-масаланинг шакллари





VI



VII



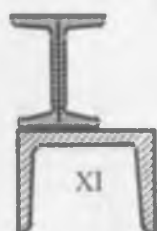
VIII



IX



X



XI



XII



XIII



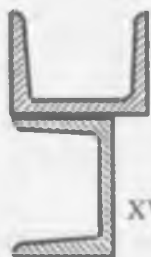
XIV



XV



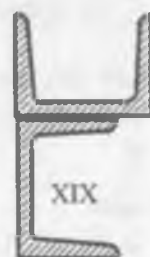
XVI



XVII



XVIII



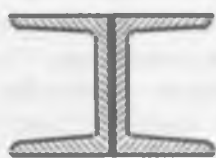
XIX



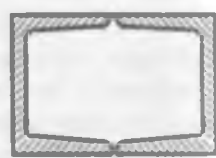
XX



XXI



XXII



XXIII



XXIV



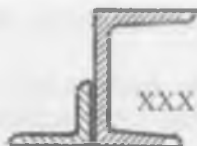
XXV



XXVI



XXVII



4.2-жадвал

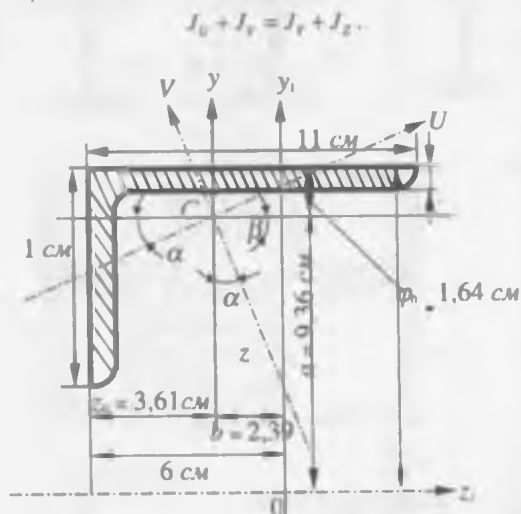
№	Шакл	Швеллер	Тенг ёнли бурчаклик	Куштавр
1	I	5	40x40x4	-
2	II	6.5	50x50x4	-
3	III	8	56x56x4	-
4	IV	10	70x70x6	-
5	V	12	70x70x8	-
6	VI	14	75x75x6	-
7	VII	14a	75x75x8	-
8	VIII	16	80x80x6	-
9	IX	16a	80x80x8	-
10	X	18	90x90x6	-
11	XI	18a	-	18
12	XII	-	100x100x8	20
13	XIII	-	100x100x10	22
14	XIV	-	250x250x20	24
15	XV	-	180x180x12	27
16	XVI	20	160x160x10	-
17	XVII	20a	-	-
18	XVIII	22	-	-
19	XIX	22a	-	-
20	XX	24	-	-
21	XXI	24a	-	-
22	XXII	27	-	-
23	XXIII	30	-	-
24	XXIV	33	-	-
25	XXV	36	-	30
26	XXVI	40	-	33
27	XXVII	36	-	36
28	XXVIII	33	110x110x8	-
29	XXIX	30	125x125x10	-
30	XXX	27	140x140x12	-

4.3-масалани ечиш намуналари.

А. Кундаланг кесими $110 \times 70 \times 8$ мм булган бурчакликнинг 4.7-шаклда кўрсатилган Y_1, Z_1 ўқларига нисбатан J_Y, J_Z ва J_{YZ} инерция моментларини ҳисобланг.

Ечиш. Сортамент жадвалидан тенг ёнли бўлмаган пўлат бурчакликнинг оғирлик марказини аниқлаймиз ва кесимнинг геометрик характеристикаларини ёзиб оламиз: $J_Z = 54.6 \text{ см}^4$, $J_Y = 172 \text{ см}^4$, $J_U = J_V = 32.3 \text{ см}^4$, $F = 13.9 \text{ см}^2$, $\text{tg } \alpha = 0.4000$, $Y_0 = 1.64 \text{ см}$, $Z_0 = 3.61 \text{ см}$ и $\alpha = 21^\circ 48'$.

Маълумки,



4.7-шакл

Шунинг учун

$$J_V = J_U = J_Y + J_Z - J_U = 172 + 54.6 - 32.3 = 194.3 \text{ см}^4.$$

Марказдан қочувчи инерция моменти

$$J_{YZ} = \frac{J_Y - J_V}{2} \sin 2\beta + J_{UV} \cos 2\beta,$$

бу ерда $\beta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 21^\circ 48' = 68^\circ 12'$.

Қўрилаётган мисолда U ва V ўқлари бош ўқлар булгани учун $J_{UV} = 0$ бўлади. Демак,

$$J_{YZ} = \frac{194.3 - 32.3}{2} \cdot 0.690 = 55.9 \text{ см}^4.$$

Агар U, V ўқлари ўнига Y, Z ўқлари олинса ҳам айти шу натижа келиб чиқади. Шунинг учун,

$$J_{UV} = \frac{J_z - J_y}{2} \sin \alpha + J_{yz} \cos 2\alpha = 0,$$

бу ердан

$$J_{yz} = -\frac{J_z - J_y}{2} \operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{54.6 - 172}{2} \operatorname{tg} 43^\circ 36' = 58.7 \cdot 0.952 = 55.9 \text{ см}^4.$$

Энди ўқларни параллел кўчириш қоидаидан фойдаланиб қуйидагиларни оламиз

$$J_y = J_y + b^2 F = 172 + 2.39^2 \cdot 13.9 = 251 \text{ см}^4,$$

$$J_z = J_z + a^2 F = 54.6 + 9.36^2 \cdot 13.9 = 1272 \text{ см}^4,$$

$$J_{yz} = J_{yz} + abF = 55.9 + (-9.36) \cdot 2.39 \cdot 13.9 = -256 \text{ см}^4,$$

бу ерда O нуқтанинг ординатаси манфий бўлгани учун a нинг қиймати манфий ($a = -9.36 \text{ см}$) олинди.

Б. 4.8-шаклдаги тенг ёнли бўлмаган бурчаклик ва тўғри тўртбурчакдан иборат қўшма кесимнинг марказий инерция моментини ва бош ўқларининг йўналишини аниқланг.

Берилган: $110 \times 70 \times 8 \text{ мм}$ - тенг ёнли бўлмаган бурчаклик, томонлари $2 \times 16 \text{ см}$ га тенг тўғри тўртбурчак.

Ечиш.

Тенг ёнли бўлмаган бурчакликнинг геометрик характеристикаларини сортамент жадвалидан оламиз: $J_z = 54.6 \text{ см}^4$, $J_y = 172 \text{ см}^4$, $J_{yz} = -32.3 \text{ см}^4$, $F = 13.9 \text{ см}^2$, $\operatorname{tg} \alpha = 0.4000$, $Y_0 = 1.64 \text{ см}$, $Z_0 = 3.61 \text{ см}$ и $\alpha = 21^\circ 48'$.

Қўшма кесим оғирлик марказининг Y_2, Z_2 координатлар системасидаги ҳолатини аниқлаймиз

$$Y_c = \frac{S_{Z_2}}{F} = \frac{13.9 \cdot 6.36}{16 \cdot 2 + 13.9} = \frac{88.40}{45.9} = 1.92 \text{ см}, \quad Z_c = \frac{S_{Y_2}}{F} = \frac{13.9 \cdot 4.61}{45.9} = 1.40 \text{ см}.$$

4.8-шаклда қўшма кесимнинг оғирлик маркази C орқали белгиланган. Бу нуқта ҳар бир кесимларнинг оғирлик марказлари C_1 ва C_2 нуқталарни туташтирувчи тўғри чизиқнинг устида жойлашган.

C нуқтадан Y, Z марказий ўқларни ўтказамиз ва шу ўқларга нисбатан инерция моментларини ҳисоблаш формулаларини ёзамиз:

$$J_z = J_{z_1}^{00} + a_{1z}^2 F^{00} + J_{z_2}^{00} + a_{2z}^2 F^{00},$$

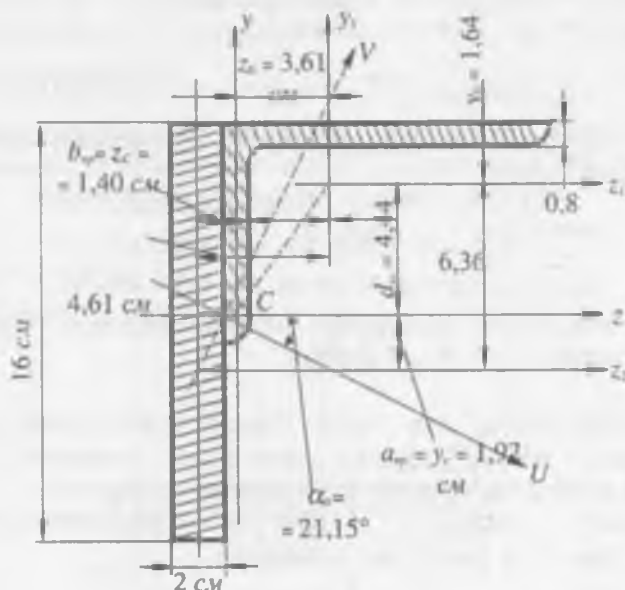
$$J_y = J_{y_1}^{00} + b_{1y}^2 F^{00} + J_{y_2}^{00} + b_{2y}^2 F^{00},$$

$$J_{yz} = J_{yz_1}^{00} + a_{1y} b_{1yz} F^{00} + J_{yz_2}^{00} + a_{2y} b_{2yz} F^{00},$$

бу ерда «бур» ва «туғ» индекслари мос ҳолда бурчаклик ва тўғри тўртбурчакка тегишли.

Олдинги масаладан қуйидагиларни оламиз:

$$J_{y_1}^{доп} = 54,6 \text{ см}^4, \quad J_{y_1}^{доп} = 172 \text{ см}^4, \quad F^{доп} = 55,9 \text{ см}, \quad F^{доп} = 13,9 \text{ см}.$$



4.8-шакл

Буларни ўрнига қўйиб инерция моментларини ҳисоблаймиз:

$$J_z = 54,6 + 4,44^2 \cdot 13,9 + \frac{2 \cdot 16^3}{12} + 1,92^2 \cdot 32 = 1132 \text{ см}^4;$$

$$J_y = 172 + 3,21^2 \cdot 13,9 + \frac{16 \cdot 2^3}{12} + 1,92^2 \cdot 32 = 389 \text{ см}^4;$$

$$J_{yz} = 55,9 + 4,44 \cdot 3,21 \cdot 13,9 + 0 + 1,92 \cdot 1,40 \cdot 32 = 340 \text{ см}^4.$$

Бош ўқларнинг йўналишини ҳисоблаймиз

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{2 \cdot 340}{1132 - 389} = -\frac{680}{743} = -0,915,$$

бу ердан $2\alpha_0 = -42^\circ 30'$, $\alpha_0 = -21^\circ 15'$.

Бош марказий ўқларнинг йўналишлари 4.8-шаклда кўрсатилган. Бу ерда u - максимум, v минимум ўқлари бўлади, чунки u ўқи z ўқи билан энг кичик бурчак ташкил этади ва $J_z > J_y$.

Бош марказий инерция моментларини ҳисоблаймиз:

$$J_{\max} = \frac{389 + 1132}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(1132 - 389)^2 + 4 \cdot 340^2} = 760,5 \pm 503,5;$$

$$J_{\max} = 760,5 + 503,5 = 1264 \text{ см}^4; \quad J_{\min} = 760,5 - 503,5 = 257 \text{ см}^4.$$

В. Иккита № 10 ва № 14а швеллерлардан ташкил топган қўшма кесимнинг геометрик характеристикаларини аниқланг 4.9 - шакл)

Берилган:

- № 14а швеллер - $F_1 = 18.51 \text{ см}^2$, $J_{y_1} = 563.7 \text{ см}^4$, $J_{z_1} = 53.2 \text{ см}^4$,

$y_0 = 1.71 \text{ см}$, $h_1 = 14 \text{ см}$, $b_1 = 5.8 \text{ см}$, $d_1 = 0.6 \text{ см}$, $t_1 = 0.95 \text{ см}$;

№ 10 швеллер - $F_2 = 12.74 \text{ см}^2$, $J_{y_2} = 25.6 \text{ см}^4$, $J_{z_2} = 198.3 \text{ см}^4$,

$z_2 = 1.52 \text{ см}$, $h_2 = 10 \text{ см}$, $b_2 = 5.8 \text{ см}$, $d_2 = 0.58 \text{ см}$, $t_2 = 0.85 \text{ см}$.

Ечиш.

1) Масштаб танлаб ҳар бир кесимларнинг оғирлик марказларидан y_1 , z_1 ва y_2 , z_2 координата ўқларини ўтказамиз.

2) Кесимнинг асосларига параллел бўлган z ва y ўқларини ўтказамиз. Бунда қўрилаётган қўшма кесим (z, y) текислигининг биринчи чорагида жойлашиб z ва y ўқларига тегиб туриши керак.

3) Қўшма кесимнинг юзини ҳисоблаймиз

$$F = F_1 + F_2 = 18.51 + 12.74 = 31.25 \text{ см}^2.$$

4) Кесимларнинг z ва y ўқларига нисбатан статик моментларини ҳисоблаймиз:

$$S_y = F_1 \frac{h_1}{2} + F_2(h_1 + z_0) = 18.51 \cdot 7 + 12.74 \cdot 15.52 = 327.29 \text{ см}^3;$$

$$S_z = F_1 y_0 + F_2 \frac{h_2}{2} = 18.51 \cdot 1.71 + 12.74 \cdot 5 = 95.35 \text{ см}^3.$$

5) Ёрдамчи z ва y ўқларидан қўшма кесимнинг оғирлик марказларигача бўлган масофаларни (C нуқтанинг координаталарини) аниқлаймиз:

$$y_c = \frac{S_z}{F} = \frac{95.35}{31.25} = 3.05 \text{ см}, \quad z_c = \frac{S_y}{F} = \frac{327.29}{31.29} = 10.47 \text{ см}.$$

Чизмада C нуқтани белгилаб, у орқали z_0 ва y_0 марказий ўқларини кесимларнинг асосларига параллел қилиб ўтказамиз.

6) z_0 ва y_0 марказий ўқларга нисбатан ўқ ва марказдан қочувчи инерция моментларини ҳисоблаймиз:

$$J_y^0 = J_{y_1} + F_1 a_1^2 + J_{y_2} + F_2 a_2^2,$$

бу ерда,

$$a_1 = z_c - \frac{h_1}{2} = 3.47 \text{ см}, \quad a_2 = h_1 + z_0 - z_c = 5.05 \text{ см}$$

демак,

$$J_y^0 = 563.7 + 18.51 \cdot 3.47^2 + 25.6 + 12.74 \cdot 5.05^2 = 1136 \text{ см}^4;$$

$$J_z^0 = J_{z_1} + F_1 c_1^2 + J_{z_2} + F_2 c_2^2,$$

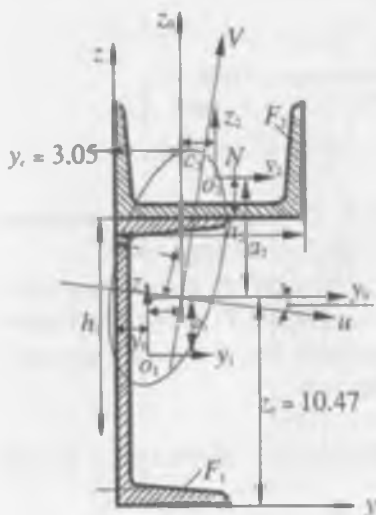
бу ерда,

$$c_1 = y_c - y_0 = 1.34 \text{ см}, \quad c_2 = \frac{h_2}{2} - y_c = 1.95 \text{ см}$$

демак,

$$J_z^0 = 53.2 + 18.51 \cdot 1.34^2 + 198.3 + 12.74 \cdot 1.95 = 333 \text{ см}^4;$$

$$J_{yz}^0 = J_{yz} + F_1 a_1 c_1 + J_{yz} + F_2 a_2 c_2 = F_1 a_1 c + F_2 a_2 c_2 = \\ = 18.51 \cdot 3.47 \cdot 1.34 + 12.74 \cdot 5.05 \cdot 1.95 = 209 \text{ см}^4.$$



4.9-шакл

бу ерда,

$$\sin \alpha_0 = -0.238, \quad \sin 2\alpha_0 = -0.462, \quad \cos \alpha_0 = 0.972, \quad \cos 2\alpha_0 = 0.887,$$

демак,

$$J_U = 1136 \cdot 0.972^2 + 333 \cdot (-0.238)^2 - 209 \cdot (-0.462) = 1187 \text{ см}^4;$$

$$J_V = 1136 \cdot (-0.238)^2 + 333 \cdot 0.972^2 + 209 \cdot (-0.462) = 282 \text{ см}^4.$$

9) Текшириш. Агар юқоридаги ишларни ҳаммаси тўғри бажарилса, қуйидаги тенгликлар ўринли бўлади:

$$J_U + J_V = J_y^0 + J_z^0,$$

$$J_{UV} = \frac{J_y^0 - J_z^0}{2} \sin 2\alpha_0 + J_{yz}^0 \cos 2\alpha_0 = 0,$$

бизнинг мисолда

$$1187 + 282 = 1136 + 333 = 1469 \text{ см}^4,$$

$$\frac{1136 - 333}{2} \cdot (-0.462) + 209 \cdot 0.887 = -184 + 184.$$

Бош инерция радиусларини аниқлаймиз:

$$i_U = \sqrt{\frac{J_U}{F}} = \sqrt{\frac{1187}{31.25}} = \sqrt{37.98} = 6.16 \text{ см},$$

$$i_V = \sqrt{\frac{J_V}{F}} = \sqrt{\frac{228}{31.25}} = \sqrt{9.02} = 3.0 \text{ см}.$$

Бош ўқларнинг йўналишлари ва инерция эллипси 4.9-шаклда кўрсатилган.

7) Бош ўқларни z_0 ва y_1 марказий ўқлардан оғиш бурчагини топамиз

$$\tan 2\alpha_0 = \frac{2J_{yz}^0}{J_z^0 - J_y^0} = \frac{2 \cdot 209}{333 - 1136} = -0.520,$$

бу ердан $2\alpha_0 = -27^\circ 30'$, $\alpha_0 = -13^\circ 45'$.

Бурчак α_0 манфий бўлгани учун y_0 марказий ўқдан соат стрелкаси йўналиши бўйича оғдирамиз ва шу йўналиш бўйича U , ҳамда унга тик йўналган V бош марказий ўқларини утказамиз.

8) Бош инерция моментларини ҳисоблаймиз:

$$J_U = J_y^0 \cos^2 \alpha_0 + J_z^0 \sin^2 \alpha_0 - J_{yz}^0 \sin 2\alpha_0,$$

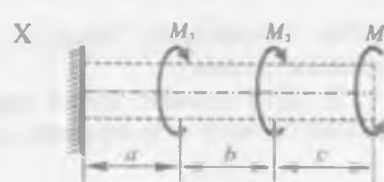
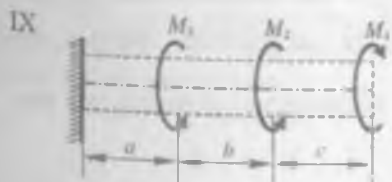
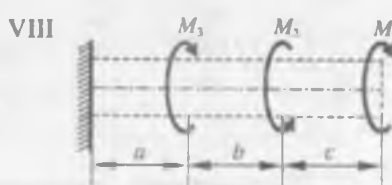
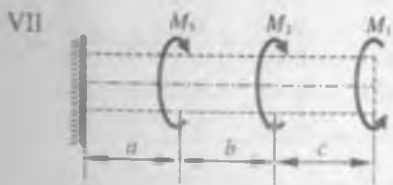
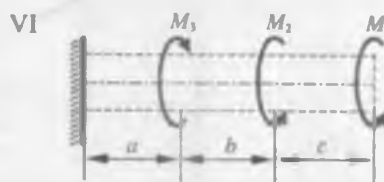
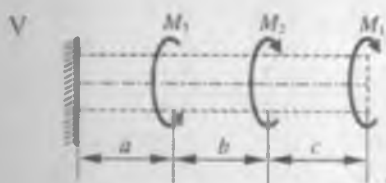
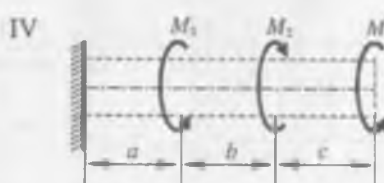
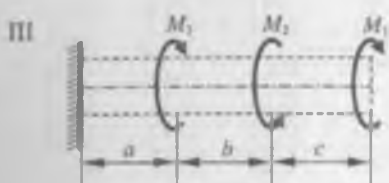
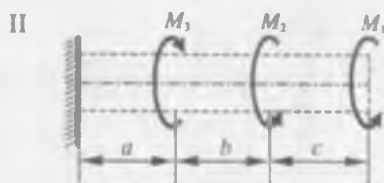
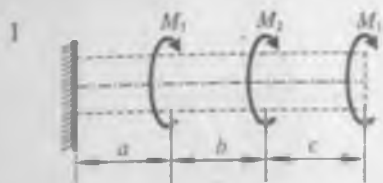
$$J_V = J_y^0 \sin^2 \alpha_0 + J_z^0 \cos^2 \alpha_0 + J_{yz}^0 \sin 2\alpha_0,$$

5. Буралишда валларнинг мустаҳкамлигини текшириш

5.1-масала. Пулатдан ясалган цилиндр кесимли вал учун қуйидагиларни бажаринг (5.1-жадвал):

1) Буровчи моментлар эпюраларини қуринг;

5.1-масаланинг шакллари



Шакл рақами	Вариант	M_1	M_2	M_3	a	b	c
		$H \cdot M$			M		
I	1	200	150	100	0.15	0.20	0.30
	2	190	160	110	0.16	0.21	0.31
	3	180	170	120	0.17	0.22	0.32
II	4	200	150	600	0.20	0.30	0.20
	5	210	160	610	0.21	0.31	0.21
	6	220	170	620	0.22	0.32	0.22
III	7	400	100	200	0.30	0.25	0.30
	8	410	110	210	0.31	0.26	0.31
	9	420	120	220	0.32	0.27	0.32
IV	10	100	300	150	0.40	0.11	0.15
	11	110	310	160	0.41	0.12	0.16
	12	120	320	170	0.42	0.13	0.17
V	13	200	100	700	0.15	0.20	0.10
	14	210	110	710	0.16	0.21	0.11
	15	220	120	720	0.17	0.22	0.12
VI	16	300	400	800	0.20	0.35	0.20
	17	310	410	810	0.21	0.36	0.21
	18	320	420	820	0.22	0.37	0.22
VII	19	400	210	300	0.30	0.15	0.20
	20	410	220	310	0.31	0.16	0.21
	21	420	230	320	0.32	0.17	0.22
VIII	22	300	800	150	0.25	0.26	0.27
	23	310	810	160	0.26	0.27	0.28
	24	320	820	170	0.27	0.28	0.29
IX	25	510	400	310	0.30	0.20	0.25
	26	520	410	320	0.31	0.21	0.26
	27	530	420	330	0.32	0.22	0.27
X	28	300	600	200	0.40	0.15	0.20
	29	310	610	200	0.41	0.16	0.21
	30	320	620	210	0.42	0.17	0.22

2) Муостаҳкамлик шартидан фойдаланиб вални ҳар бир булак-лари диаметрларини аниқланг ($[\tau] = 60 \frac{H}{мм^2}$), вал диаметрининг рухсат этилган қийматини тегишли стандартга асосланиб бутун сон кўринишида ёзинг;

3) Диаметрининг қабул қилинган қийматидан фойдаланиб вал буралиш бурчаги ϕ эппюрасини қуринг.

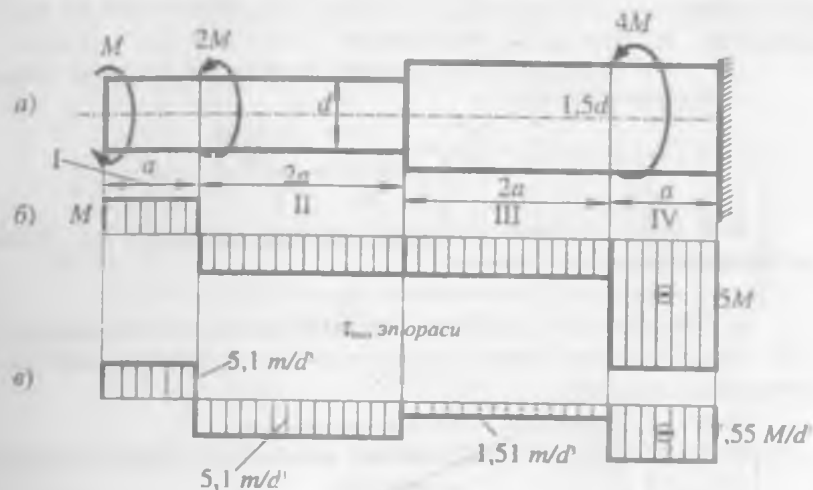
5.1-масалани ечишга оид курсатмалар.

А. 5.1-шаклдаги валнинг кўндаланг кесимларидаги буровчи момент ва энг катта уринма кучланишларнинг эпюраларини қуриш.

Берилган: 5.1, а-5.2-шакллар.

Ечиш.

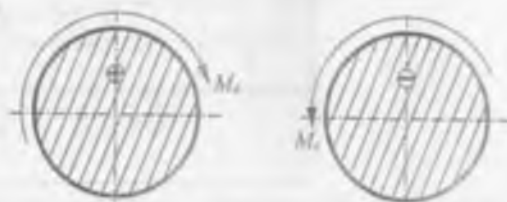
Буровчи моментларнинг ишоралари 5.3-шаклда, уларнинг эпюралари эса 5.1, б-шаклда келтирилган.



5.1-шакл



5.2-шакл



5.3-шакл

Энг катта уринма кучланишлар эпюраларини қурамыз. Уринма кучланишларни ишоралари буровчи моментларнинг ишоралари билан бир хил бўлади.

- биринчи булақда

$$\tau'_{\max} = \frac{M'_6}{W_{PH}} = \frac{M}{\pi d^3} = 5.1 \frac{M}{d^3};$$

- иккинчи булакда

$$\tau''_{\max} = \frac{M''_6}{W_{PH}} = -\frac{M}{\pi d^3} = -5.1 \frac{M}{d^3};$$

- учинчи булакда

$$\tau'''_{\max} = \frac{M'''_6}{W_{PH}} = -\frac{M}{\pi (1.5d)^3} = -1.51 \frac{M}{d^3};$$

- тўртинчи булакда

$$\tau''''_{\max} = \frac{M''''_6}{W_{PH}} = \frac{5M}{\pi (1.5d)^3} = -7.55 \frac{M}{d^3}.$$

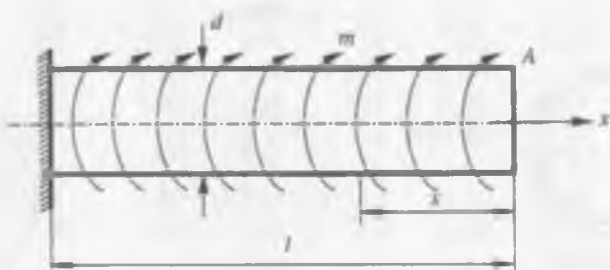
Энг катта уринма кучланишларнинг эпюраси 5.1, в-шаклда келтирилган.

Б. 5.4-шаклдаги цилиндр кесимли валга интенсивлиги m га тенг ташқи ёйилган момент қўйилган. Вал l кесимининг буралиш бурчагини аниқланг.

Ечиш.

Валнинг ихтиёрий x кундаланг кесимидаги боровчи момент

$$M_x = mx$$



5.4-шакл

га тенг бўлади. Боровчи момент валнинг узунлиги бўйлаб тақсимланган бўлгани учун ихтиёрий x кесимнинг буралиш бурчаги

$$\varphi = \int_0^l \frac{M_x dx}{GJ_r}$$

формуладан аниқланади.

Курилатган мисолда $M_x = m\tau$ ва $J_p = \frac{\pi d^4}{32}$ бўлгани учун

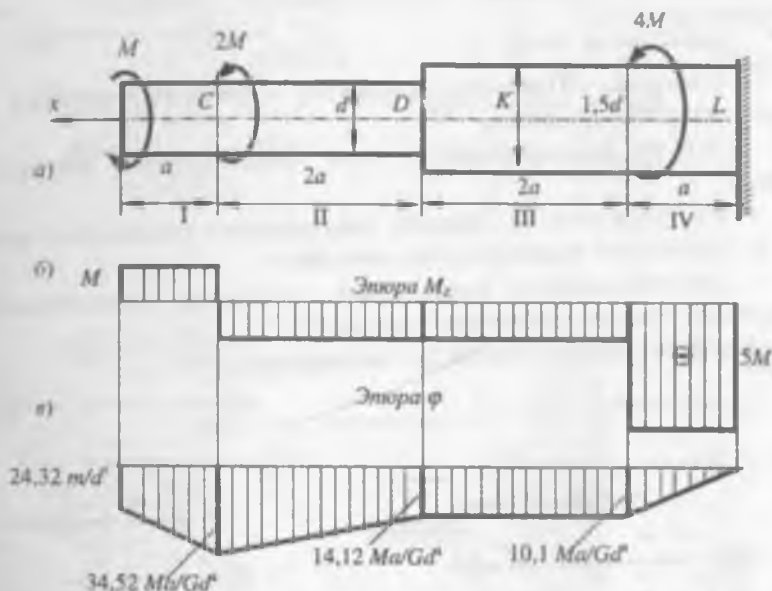
$$\varphi_A = \int \frac{m\tau dx}{G\pi d^4} = \frac{32m}{\pi G d^4} \int_0^l x dx = 5.1 \frac{ml^2}{Gd^4}$$

32

га тенг бўлади.

В. 5.5-шаклдаги вални кундаланг кесимларидаги буровчи момент ва кесимларнинг бурилиш бурчаклари эпюраларини қуринг.

Ечиш. 5.3-шаклдаги ишоралар қоидадан фойдаланиб буровчи момент эпюрасини қурамиз (5.5, б-шакл).



5.5-шакл

Кундаланг кесимларнинг бурилиш бурчаклари эпюраларини $\tau = l$ кесимдан бошлаб қурамиз. Бу кесим қўзғалмас қилиб маҳкамланган бўлгани учун $\varphi_l = 0$ бўлади.

Вал k кесимининг бурилиши KL бўлакнинг бурилишига тенг бўлади

$$\varphi_k = \varphi_{kl} = \frac{M_x^N l_{IV}}{GJ_{IV}} = -\frac{5Ma}{G\pi(1.5d)^4} = -10.1 \frac{Ma}{Gd^4}$$

32

Қолган кесимларнинг бурилиши:

1) кесимнинг бурилишлари

$$\varphi_D = \varphi_K + \varphi_{DK} = \varphi_K + \frac{M_{\text{с}}^{\text{III}} l_{\text{III}}}{GJ_{\text{с}}} = -10.1 \frac{Ma}{Gd^4} - \frac{M \cdot 2a}{G\pi(1.5d)^4} = -14.12 \frac{Ma}{Gd^4};$$

- С кесимнинг бурилиши

$$\varphi_{\text{с}} = \varphi_D + \varphi_{DC} = \varphi_D + \frac{M_{\text{с}}^{\text{II}} l_{\text{II}}}{GJ_{\text{с}}} = -14.12 \frac{Ma}{Gd^4} - \frac{M \cdot 2a}{G\pi d^4} = -34.52 \frac{Ma}{Gd^4};$$

- В кесимнинг бурилиши

$$\varphi_{\text{в}} = \varphi_{\text{с}} + \varphi_{\text{св}} = \varphi_{\text{с}} + \frac{M_{\text{с}}^{\text{I}} l_{\text{I}}}{GJ_{\text{с}}} = -34.52 \frac{Ma}{Gd^4} + \frac{Ma}{G\pi d^4} = 24.32 \frac{Ma}{Gd^4};$$

Кесимлар бурилиш бурчакларининг эпюраси шаклда келтирилган.

5.2-масала. Шаклдаги ҳаракатга келтирувчи қурилма учун қуйидагилар бажарилсин:

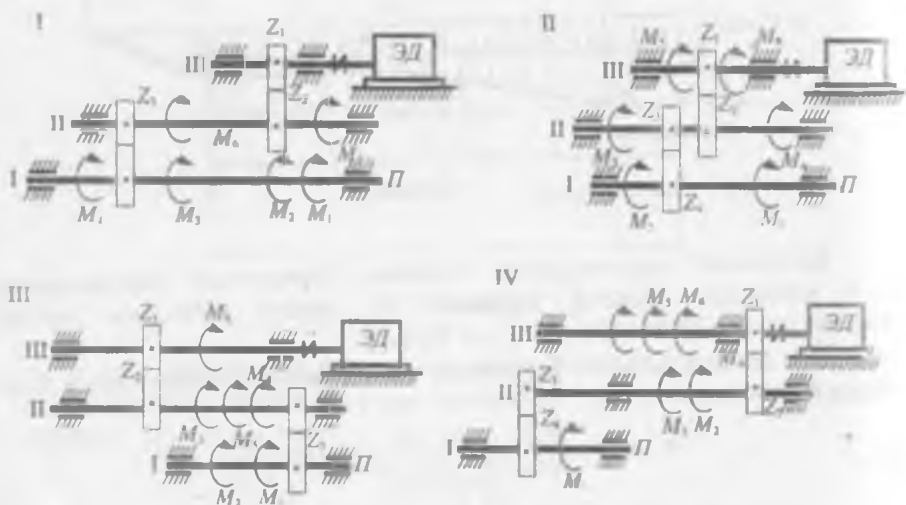
- I, II, III кесимлардаги буровчи моментларнинг эпюраларини қуринг;

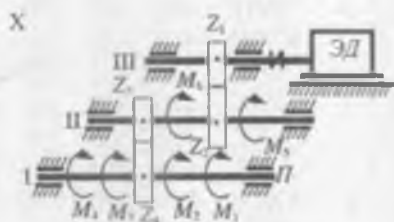
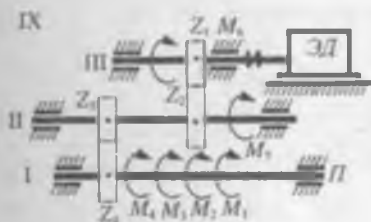
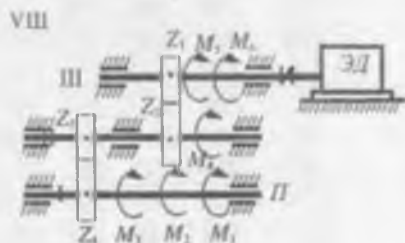
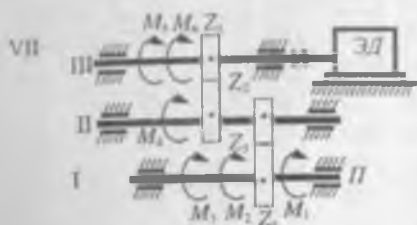
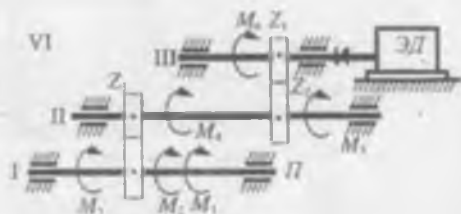
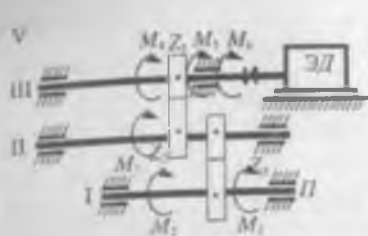
- мустаҳкамлик ва бикрлик шартларидан фойдаланиб валнинг I, II, III кесимлари диаметрларини аниқланг;

- электродвигател қувватининг қурилмани ҳаракатлантириш учун талаб этилган қийматини аниқланг.

Керакли маълумотлари 5.2-жадвалдан олинг.

5.2-масаланинг шакллари





5.2-масалани ечиш намунаси.

Электродвигателдан биринчи валга N кВт қувват узатилади. Биринчи валдан иккинчи валга N_1 кВт ва ишчи машиналарнинг валларига N_2 кВт ва N_3 кВт, иккинчи валдан машиналарнинг валларига N_4 , N_5 ва N_6 кВт қувват узатилади. Мустаҳкамлик ва бикрлик шартларидан фойдаланиб валларнинг d_1 ва d_2 диаметрларини аниқланг. Биринчи ва иккинчи валларнинг кундаланг кесимларини узгармас деб олинг. Электродвигателни айланиш частотаси $n \frac{\text{с}}{\text{мин}}$, шкивларнинг диаметрлари эса D_1 , D_2 , D_3 , ва D_4 мм га тенг.

N	Вари- ант	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	n мин	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	
		H _и										
1	I	380	400	250	260	150	230	150	20	45	25	60
	II	390	260	380	240	160	210	160	21	46	26	61
	III	400	270	360	220	170	200	170	22	47	27	62
2	IV	420	270	440	180	170	210	120	22	60	28	80
	V	400	250	420	190	170	220	110	24	62	30	82
	VI	410	260	380	200	180	230	100	25	64	32	84
3	VII	390	300	150	230	120	180	210	21	54	23	90
	VIII	400	310	160	250	140	210	215	23	55	21	95
	IX	410	270	170	240	150	200	220	25	56	20	80
4	X	360	270	210	230	140	250	180	25	55	21	61
	XI	280	380	200	350	150	260	190	26	56	22	62
	XII	400	290	180	370	160	270	140	27	57	23	63
5	XIII	410	260	180	310	180	230	115	20	65	22	70
	XIV	400	280	190	320	190	240	120	21	66	23	71
	XV	390	250	200	340	200	250	130	22	67	24	72
6	XVI	390	500	180	240	200	200	145	26	58	20	65
	XVII	400	490	190	250	210	270	150	27	59	21	66
	XVIII	410	480	200	260	220	280	155	28	60	22	67
7	XIX	430	350	230	250	210	260	140	22	65	26	80
	XX	440	360	240	260	220	270	150	23	66	27	81
	XXI	450	360	250	260	230	280	160	24	67	28	82
8	XXII	500	210	280	200	230	160	115	21	75	22	90
	XXIII	490	220	270	210	240	170	120	23	74	23	95
	XXIV	480	230	290	220	250	180	125	25	73	24	90
9	XXV	340	250	300	250	270	180	105	23	59	28	84
	XXVI	350	260	290	260	270	190	100	24	60	29	85
	XXVII	360	270	280	260	280	200	115	25	61	30	85
10	XXVIII	460	490	300	330	300	250	115	20	59	25	78
	XXIX	470	480	310	320	310	240	110	21	60	26	79
	XXX	480	470	320	330	320	230	115	22	61	27	80

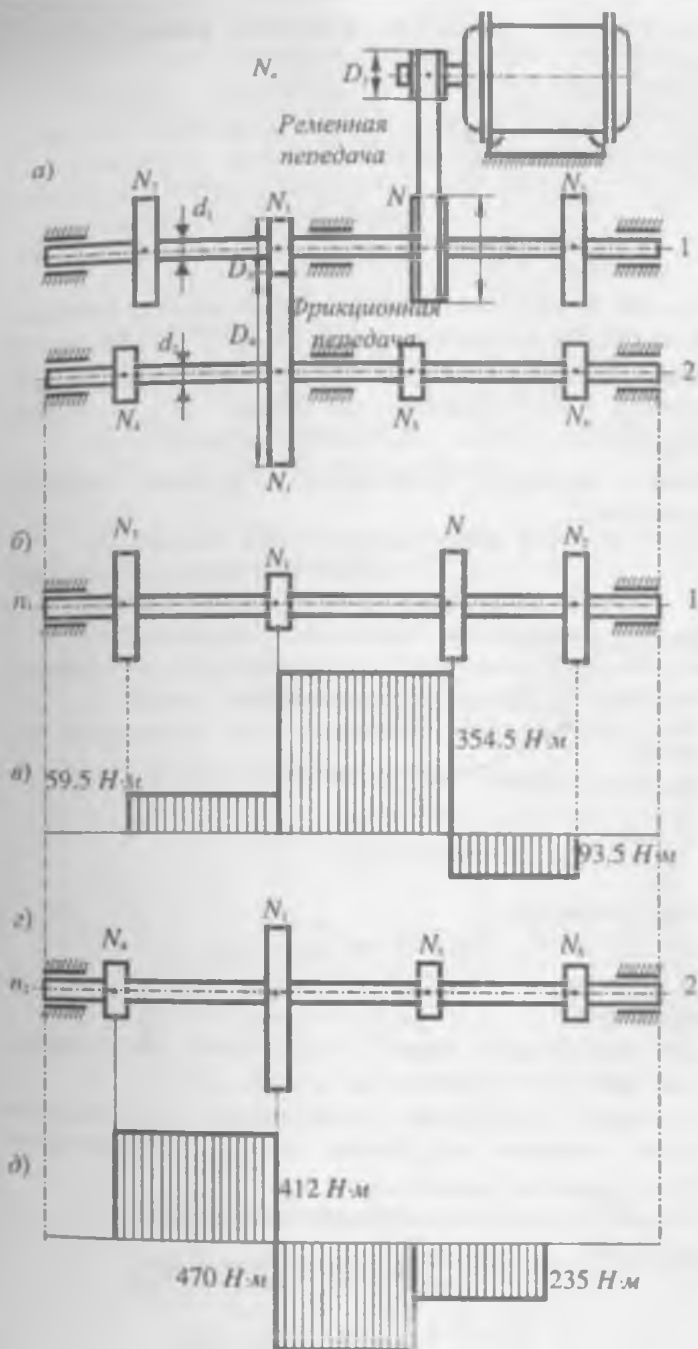
Берилган: 5.6, а-шакл, $N = 20 \text{ кВт}$, $N_1 = 15 \text{ кВт}$, $N_2 = 2 \text{ кВт}$.

$N_3 = 3 \text{ кВт}$, $N_4 = 7 \text{ кВт}$, $N_5 = 4 \text{ кВт}$, $N_6 = 4 \text{ кВт}$, $[\tau_s] = 25 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$, $[\varphi] = 0.25 \frac{\text{град}}{\text{м}}$,

$n = 970 \frac{\text{а\ddot{u}}\text{л}}{\text{мин}}$, $D_1 = 200 \text{ мм}$, $D_2 = 400 \text{ мм}$, $D_3 = 200 \text{ мм}$, $D_4 = 600 \text{ мм}$.

Ечиш.

5.6, б-шаклда I валнинг кўриниши алоҳида тасвирланган. Бу валга N , ундан эса N_1 , N_2 , N_3 қувватлар узатилади. Кўрилатган валнинг



5.6-шак.

бурчак тезлиги частотаси ва ундаги ташқи буровчи момент M_1 , M_2 , M_3 ларни аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} n_2 &= n \frac{D_1}{D_2} = 970 \cdot \frac{200}{400} = 485 \frac{\text{ай}}{\text{мин}}, & \omega_1 &= \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3.14 \cdot 485}{30} = 50.8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \\ M &= \frac{N}{\omega_1} = \frac{20 \cdot 10^3}{50.8} = 394 \text{ Нм}, & M_1 &= \frac{N_1}{\omega_1} = \frac{15 \cdot 10^3}{50.8} = 295 \text{ Нм}, \\ M_2 &= \frac{N_2}{\omega_1} = \frac{2 \cdot 10^3}{50.8} = 295 \text{ Нм}, & M_3 &= \frac{N_3}{\omega_1} = \frac{3 \cdot 10^3}{50.8} = 59.5 \text{ Нм}. \end{aligned}$$

Буровчи момент эпюрасини қурамыз. Бунда шартли равишда N қувватдан ҳосил бўлган моментни мусбат, N_1 ва N_2 қувватлардан эсил бўлган моментларни эса манфий деб оламиз. Натижада 5.6, з-шаклдаги эпюрага эга бўламиз ва ундан $M_{16 \text{ MAX}} = 354.5 \text{ Нм}$ эканлигини қурамыз.

Мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб биринчи валнинг диаметрини аниқлаймиз,

$$\tau_{\text{MAX}} = \frac{M_{16 \text{ MAX}}}{W_p} = \frac{M_{16 \text{ MAX}}}{\frac{\pi d_1^3}{16}} \leq [\tau_s],$$

бу ердан d_1 валнинг диаметри

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{16 M_{16 \text{ MAX}}}{\pi [\tau_s]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 354.5 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 25}} = 42 \text{ мм}$$

эканлигини қурамыз.

Бикрлик шартини қурамыз

$$\varphi = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{M_{16 \text{ MAX}}}{G J_p} = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{M_{16 \text{ MAX}}}{G \pi d_1^4} \leq [\varphi],$$

32

бу ердан d_1 валнинг диаметри

$$d_1 \geq \sqrt[4]{\frac{M_{16 \text{ MAX}} \cdot 180 \cdot 32}{G \pi^2 [\varphi]}} = \sqrt[4]{\frac{354.5 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 32 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 3.14^2 \cdot 0.25}} = 56.8 \text{ мм}$$

эканлигини аниқлаймиз.

Диаметрнинг қийматини унинг стандартдаги миқдоригача чегаралаб $d_1 = 58 \text{ мм}$ деб қабул қиламиз.

Иккинчи валнинг диаметрини ҳисоблаймиз. 5.6, з-шаклда узига N_1 қувватни олаётган ва ўзидан N_2 , N_3 , N_4 қувватларни узатаётган валнинг қуриниши тасвирланган.

Бу валдаги ташқи буровчи моментларни аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} M_2 &= \frac{N_1}{\omega_2} = \frac{15 \cdot 10^3}{17} = 882 \text{ Нм}; & M_4 &= \frac{N_4}{\omega_2} = \frac{7 \cdot 10^3}{17} = 412 \text{ Нм}; \\ M_3 &= M_5 = \frac{N_3}{\omega_2} = \frac{N_5}{\omega_2} = \frac{4 \cdot 10^3}{17} = 235 \text{ Нм}. \end{aligned}$$

Иккинчи вал буровчи моментининг эпюраси 5.6, д-шаклда келтирилган. Эпюрадан энг катта буровчи момент $M_{2d \max} = 470 \text{ Нм}$ эканлигини кураимиз.

Иккинчи валнинг диаметрини мустаҳкамлик ва бикрлик шартларидан аниқтаймиз:

- мустаҳкамлик шартидан

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{16 M_{2d \max}}{\pi [\tau_s]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 470 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 25}} = 46 \text{ мм},$$

- бикрлик шартидан

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{M_{2d \max} \cdot 180 \cdot 32}{G \pi^2 [\varphi]}} = \sqrt[3]{\frac{470 \cdot 180 \cdot 32 \cdot 10^6}{8 \cdot 10^4 \cdot 10^4 \cdot 3.14^2 \cdot 0.25}} = 61 \text{ мм}.$$

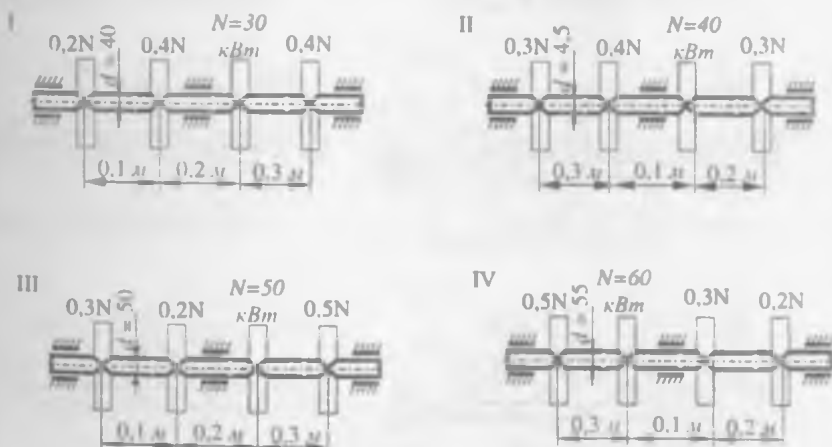
Диаметрнинг қийматини унинг стандартдаги миқдоригача чегаралаб $d_2 = 62 \text{ мм}$ деб қабул қиламиз.

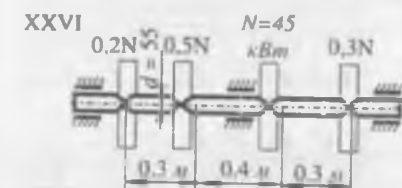
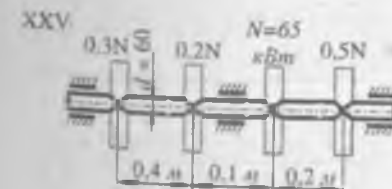
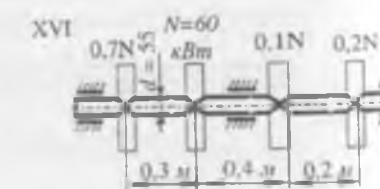
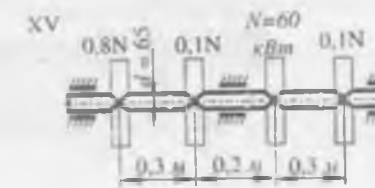
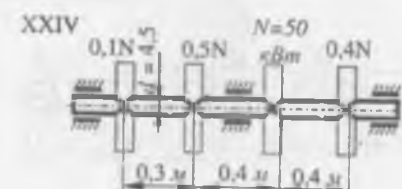
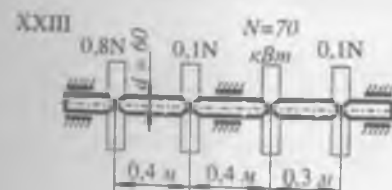
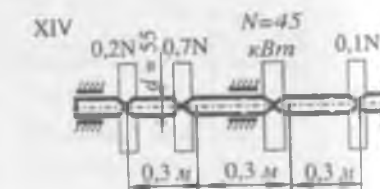
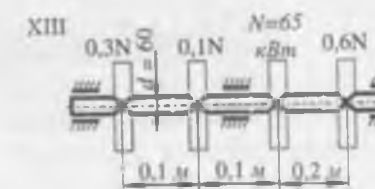
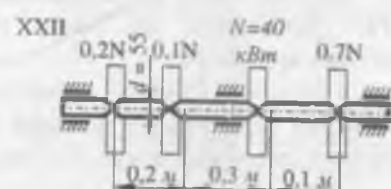
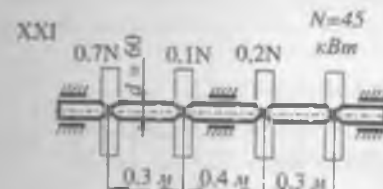
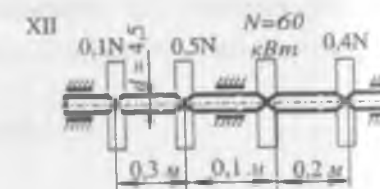
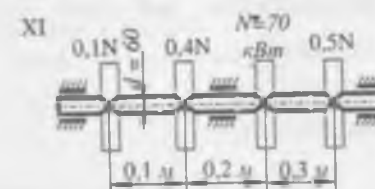
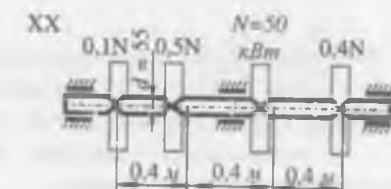
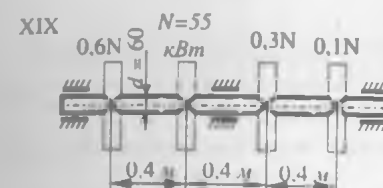
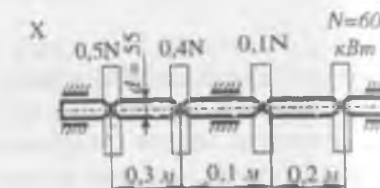
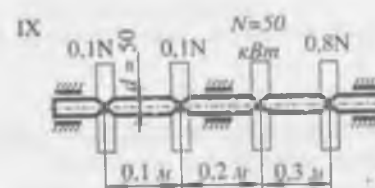
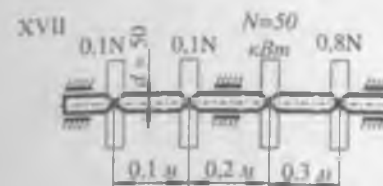
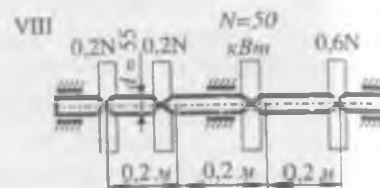
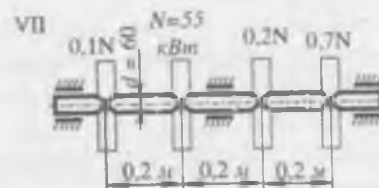
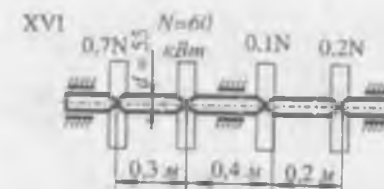
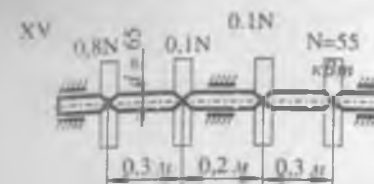
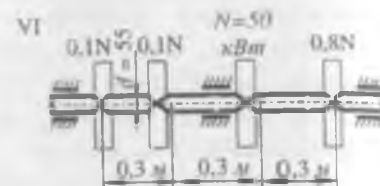
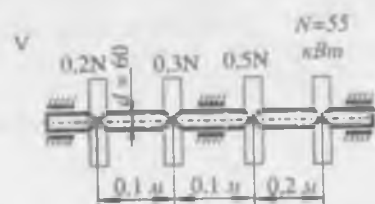
5.3-масала. Шаклдаги ўзгармас кесимли трансмиссион валлар учун қуйидагиларни бажаринг:

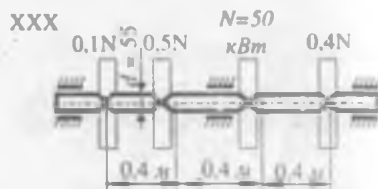
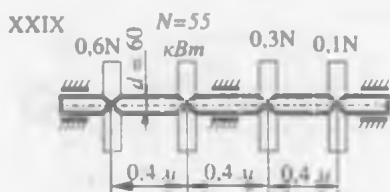
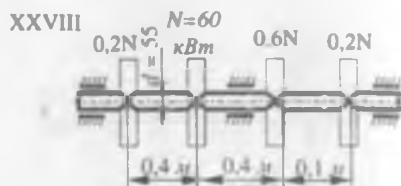
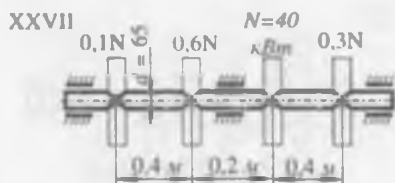
- буровчи моментларнинг эпюраларини қуринг;
- мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб валларнинг айланиш бурчак тезликларининг рухсат этилган қийматини аниқланг;

бурчак тезликларнинг топилган қийматларидан фойдаланиб ва валларнинг ўнг томонлари маҳкамланган деб олиб буралиш бурчаги φ нинг эпюрасини қуринг ($[\tau] = 40 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$).

5.3-масаланинг шакллари





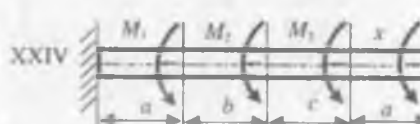
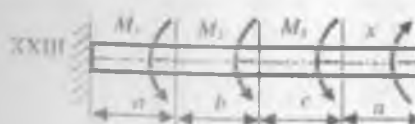
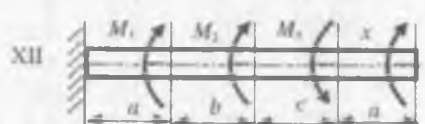
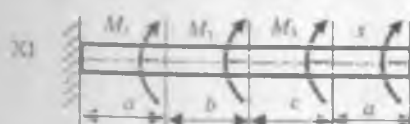
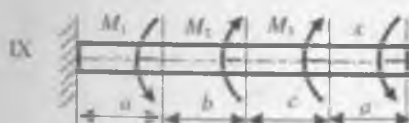
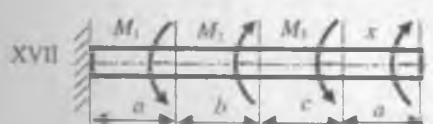
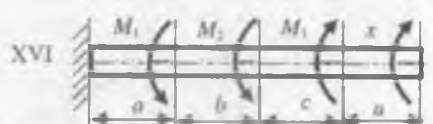
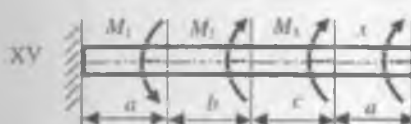
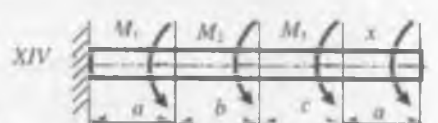
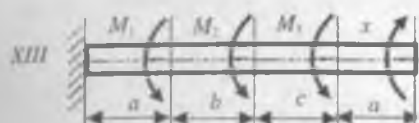
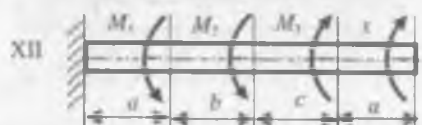
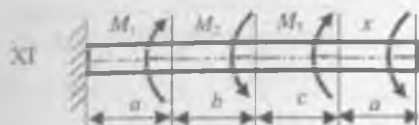
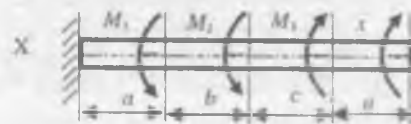
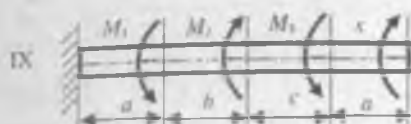


5.4-масала. Шаклдаги валлар учун қуйидагиларни бажаринг:

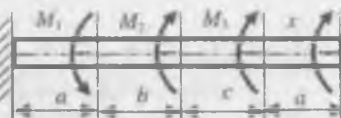
- X моментнинг қандай қийматларида валнинг ўнг томон чегара кесимининг бурилиши нолга тенг бўлишини аниқланг;
 - X моментнинг топилган қийматини эътиборга олиб буровчи моментнинг эпюрасини қуринг;
 - мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб вал диаметрининг рухсат этилган қийматини ва унинг стандартга мос келадиган бутун қийматини аниқланг;
 - вал бурилиш бурчаги φ нинг эпюрасини қуринг;
 - нисбий бурилиш бурчагининг энг катта қийматини аниқланг.
- Керакли маълумотларни 5.3-жадвалдан олинг.

5.4-масаланинг шакллари

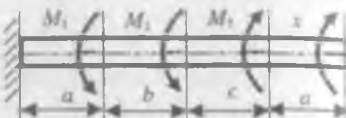




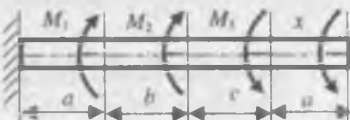
XXV



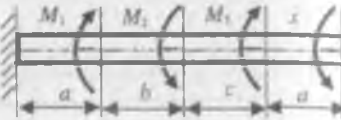
XXVI



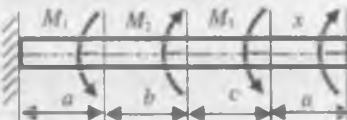
XXVII



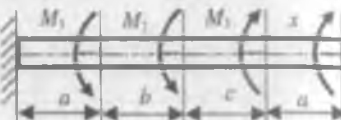
XXVIII



XIX



XXX



5.3-жадвал

№	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>M</i> ₁	<i>M</i> ₂	<i>M</i> ₃	[τ]
	<i>m</i>			<i>Hm</i>			<i>МПа</i>
I	0.1	0.1	0.1	550	400	550	30
II	0.2	0.2	0.2	600	450	600	35
III	0.3	0.3	0.3	650	550	650	40
IV	0.4	0.4	0.4	700	600	700	45
V	0.5	0.5	0.5	750	650	750	50
VI	0.6	0.6	0.6	800	700	800	55
VII	0.7	0.7	0.7	850	750	850	60
VIII	0.8	0.8	0.8	900	800	900	65
IX	0.9	0.9	0.9	950	850	950	70
X	1.0	1.0	1.0	1000	900	1000	75
XI	1.1	1.1	1.1	1050	950	1050	80
XII	1.2	1.2	1.2	1100	1000	1100	85
XIII	1.3	1.3	1.3	1150	1050	1150	90
XIV	1.4	1.4	1.4	1200	1100	1200	95
XV	1.5	1.5	1.5	1250	1150	1250	100
XVI	1.6	1.6	1.6	1300	1200	1300	30
XVII	1.7	1.7	1.7	1350	1250	1350	35
XVIII	1.8	1.8	1.8	1400	1300	1400	40
XIX	1.9	1.9	1.9	1450	1350	1450	45
XX	2.0	2.0	2.0	1500	1400	1500	50
XXI	2.1	2.1	2.1	1550	1450	1550	55
XXII	2.2	2.2	2.2	1600	1500	1600	60
XXIII	2.3	2.3	2.3	1650	1550	1650	65
XXIV	2.4	2.4	2.4	1700	1600	1700	70
XXV	2.5	2.5	2.5	1750	1650	1750	75

XXVI	2.6	2.6	2.6	1800	1700	1800	80
XXVII	2.7	2.7	2.7	1850	1750	1850	85
XXVIII	2.8	2.8	2.8	1900	1800	1900	90
XXIX	2.9	2.9	2.9	1950	1850	1950	95
XXX	3.0	3.0	3.0	2000	1900	2000	100

5.5-масала. Шаклдаги валларни буровчи момент, энг катта ўринма кучланиш ва бурилиш бурчаги эпюраларини қўриниш, деформациянинг потенциал энергияси ва буровчи моментлаб бажарган ишларини ҳисобланг. Керакли маълумотларни 5.4-жадвалдан олинг.

5.5-масалани ечиш намуналари.

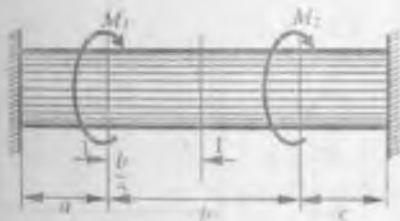
А. 5.5-шаклдаги вал деформациясини потенциал энергиясини ва буровчи моментларнинг бажарган ишини аниқланг.

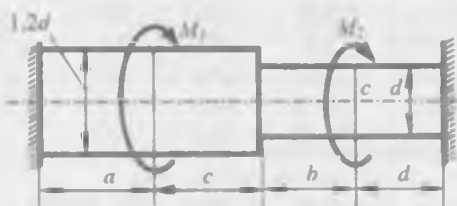
Ечиш

Деформациянинг потенциал энергиясини аниқлаймиз

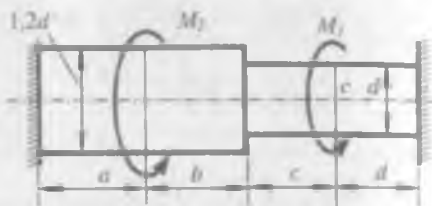
$$\begin{aligned}
 U &= \frac{M_{\text{бу}}^2 l_1}{2GJ_H} + \frac{M_{\text{бу}}^2 l_{II}}{2GJ_{HII}} + \frac{M_{\text{бу}}^2 l_{III}}{2GJ_{HIII}} + \frac{M_{\text{бу}}^2 l_{IV}}{2GJ_{HIV}} = \\
 &= \frac{M^2 a}{2G \frac{\pi d^4}{32}} + \frac{2M^2 a}{2G \frac{\pi d^4}{32}} + \frac{2M^2 a}{2G \frac{(1.5d)^4}{32}} + \frac{(5M)^2 a}{2G \frac{(1.5d)^4}{32}} = 42.5 \frac{M^2 a}{Gd^4}
 \end{aligned}$$

5.5-масаланинг шакллари

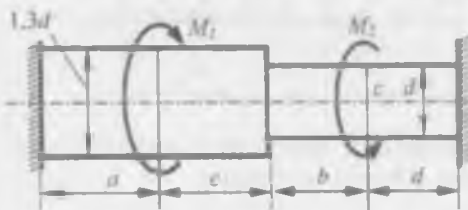




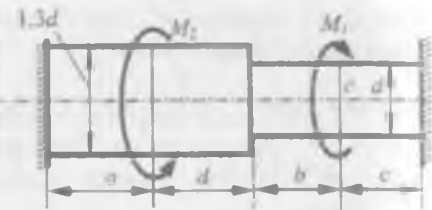
V



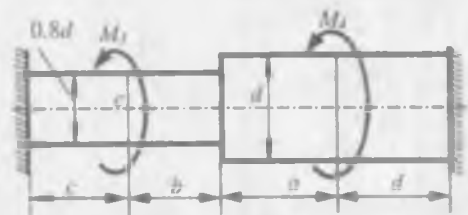
VI



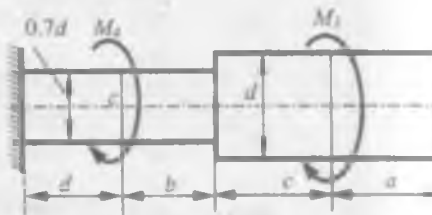
VII



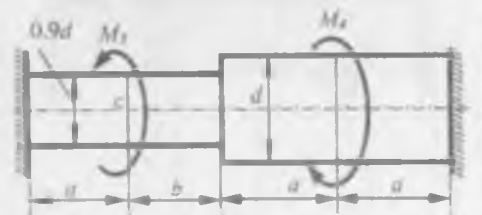
VIII



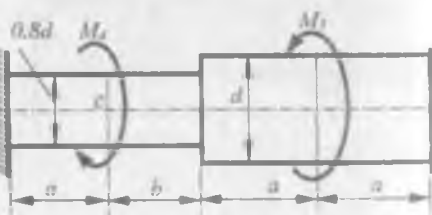
IX



X



XI



XII

Ташқи буровчи моментларнинг бажарган ишhini аниқлаймиз

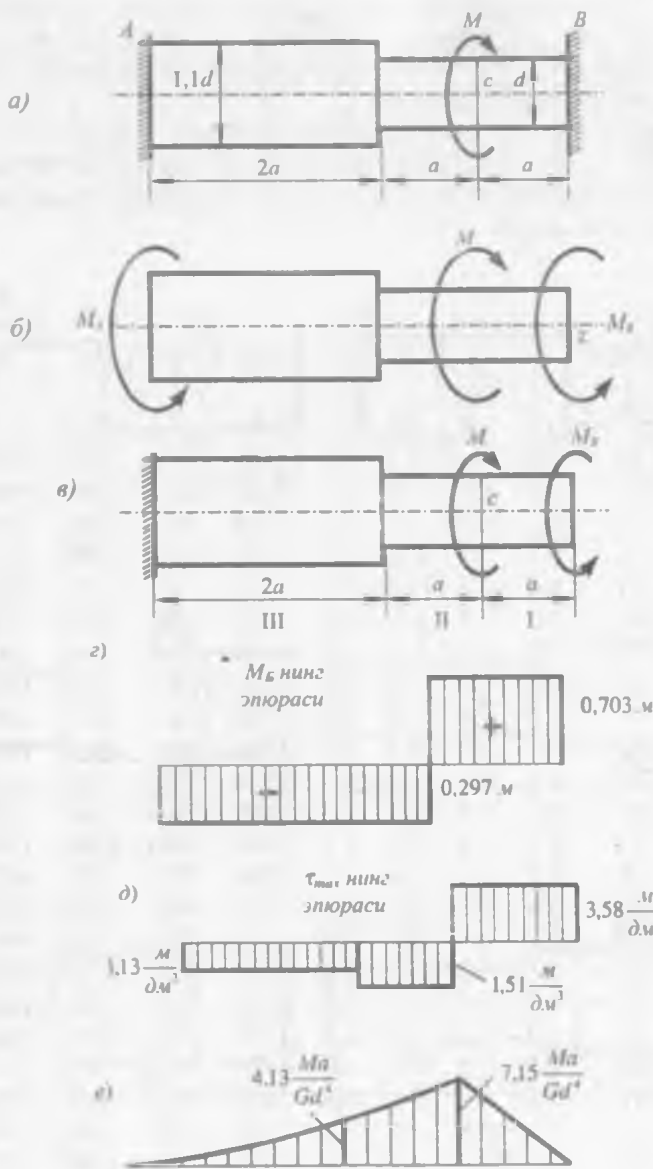
$$\begin{aligned}
 W &= W_u + W_{u'} + W_{u''} = -\frac{1}{2} M \varphi_a + \frac{1}{2} 2M \varphi_c + \frac{1}{2} 4M \varphi_b = \\
 &= -\frac{1}{2} M \cdot 24.32 \frac{Ma}{Gd^4} + \frac{1}{2} M \cdot 34.52 \frac{Ma}{Gd^4} + \frac{1}{2} M \cdot 10.1 \frac{Ma}{Gd^4} = 42.5 \frac{Ma}{Gd^4}.
 \end{aligned}$$

Б. 5.7, а-шаклдаги валнинг буровчи момент, энг катта уринма кучланиш ва буралниш бурчаги эпюраларини қуринг, деформациянинг потенциал энергиясининг ва буровчи моментлар бажарган ишларини ҳисобланг.

Ечиш. Чегаралардаги боғланишларни номаълум реактив моментлар M_1 ва M_2 билан алмаштириб параллел текисликларда ётувчи ва ўзаро мувозанатда бўлган жуфтлар системасига эга буламиз (5.7, б-шакл).

5.4-жадвал

№	Шакл	a	b	c	d	M_1	M_2	M_3	M_4	[τ]
		м				Нм				МПа
1	I	0.1	0.6	0.2	0.3	800	600	1000	1100	25
2	II	0.2	0.7	0.3	0.4	900	700	1100	1200	30
3	III	0.3	0.8	0.4	0.5	1000	800	1200	1300	35
4	IV	0.4	0.9	0.5	0.6	1100	900	1300	1400	40
5	V	0.5	1.0	0.6	0.7	1200	1000	1400	1500	45
6	VI	0.6	0.1	0.7	0.8	1300	1100	1500	1600	50
7	VII	0.7	0.2	0.8	0.9	1400	1200	1600	1700	25
8	VIII	0.8	0.3	0.9	1.0	1500	1300	1700	1800	30
9	IX	0.9	0.4	1.0	0.9	1600	1400	1800	1900	35
10	X	1.0	0.5	0.9	0.8	1700	1500	1900	2000	40
11	XI	0.1	0.6	0.2	0.3	1800	1600	2000	1000	45
12	XII	0.2	0.7	0.3	0.4	1900	1700	1000	1100	50
13	XII	0.3	0.8	0.4	0.5	2000	1800	1100	1200	25
14	XI	0.4	0.9	0.5	0.6	2100	1900	1200	1300	30
15	IX	0.5	1.0	0.6	0.7	2200	2000	1300	1400	35
16	VIII	0.6	0.1	0.7	0.8	800	600	1400	1500	40
17	VII	0.7	0.2	0.8	0.9	900	700	1500	1600	45
18	VI	0.8	0.3	0.9	1.0	1000	800	1600	1700	50
19	V	0.9	0.4	1.0	0.9	1100	900	1700	1800	25
20	IV	1.0	0.5	0.9	0.8	1200	1000	1800	1900	30
21	III	0.1	0.6	0.2	0.3	1300	1100	1900	2000	35
22	II	0.2	0.7	0.3	0.4	1400	1200	2000	1000	40
23	I	0.3	0.8	0.4	0.5	1500	1300	1000	1100	45
24	II	0.4	0.9	0.5	0.6	1600	1400	1100	1200	50
25	III	0.5	1.0	0.6	0.7	1700	1500	1200	1300	25
26	IV	0.6	0.1	0.7	0.8	1800	1600	1300	1400	30
27	V	0.7	0.2	0.8	0.9	1900	1700	1400	1500	35
28	VI	0.8	0.3	0.9	1.0	2000	1800	1500	1600	40
29	VII	0.9	0.4	1.0	0.9	2100	1900	1600	1700	45
30	VIII	1.0	0.5	0.9	0.8	2200	2000	1700	1800	50



5.7-шакл

Статиканинг мувозанат тенгламасини тузамиз

$$-M_1 + M - M_2 = 0.$$

Бу тенгламада иккита номаълум мавжуд, яъни масала бир марта статик аниқмас.

Кушимча - кучиш тенгламасини $\varphi_1 = 0$ еки $\varphi_2 = 0$ шартларнинг биттасидан фойдаланиб тузамиз.

Унг томондаги боғланишни олиб, унинг таъсирини номаълум реактив момент M_B билан алмаштирамиз (5.7, в-шакл). Кучлар таъсирининг мустақиллиги ҳақидаги принципни қўлаб кучиш тенгламасини қуйидагича ёзиб оламиз

$$\varphi_B = \varphi_{BM} + \varphi_{BMB} = 0,$$

бу ерда B кесимнинг M момент таъсирида бурилиш бурчаги

$$\varphi_{BM} = \frac{Ma}{GJ_{PI}} + \frac{2Ma}{GJ_{PII}} = \frac{Ma}{G\pi d^4} + \frac{2Ma}{G\pi(1.1d)^4} = 24.2 \frac{Ma}{Gd^4},$$

B кесимнинг M_B момент таъсирида бурилиш бурчаги

$$\varphi_{BMB} = -\frac{2M_B a}{GJ_{PI}} - \frac{2M_B a}{GJ_{PII}} = -\frac{2M_B a}{G\pi d^4} - \frac{2M_B a}{G\pi(1.1d)^4} = -34.4 \frac{M_B a}{Gd^4}$$

га тенг бўлади.

Топилган қийматларни кучиш тенгламасига қуйиб қуйидагини оламиз,

$$24.2 \frac{Ma}{Gd^4} - 34.4 \frac{M_B a}{Gd^4} = 0,$$

бу ердан

$$M_B \approx 0.703M.$$

Юқоридаги масалаларни ечиш усулларидан фойдаланиб M_B , τ_{max} ва φ ларни эпюраларини қурамиз (5.1, 5.5-5.6-шаклларга қаранг).

Деформациянинг потенциал энергиясини ҳисоблаймиз

$$U = \frac{M_B^2 l_I}{2GJ_{PI}} + \frac{M_B^2 l_{II}}{2GJ_{PII}} + \frac{M_{BM}^2 l_{III}}{2GJ_{PII}} =$$

$$= \frac{1}{2} \frac{(0.703M)^2 a}{G\pi d^4} + \frac{1}{2} \frac{(0.297M)^2 a}{G\pi d^4} + \frac{1}{2} \frac{(0.297M)^2 2a}{G\pi(1.1d)^4} = 3.58 \frac{M^2 a}{Gd^4}.$$

Ташқи буровчи моментларнинг бажарган иши

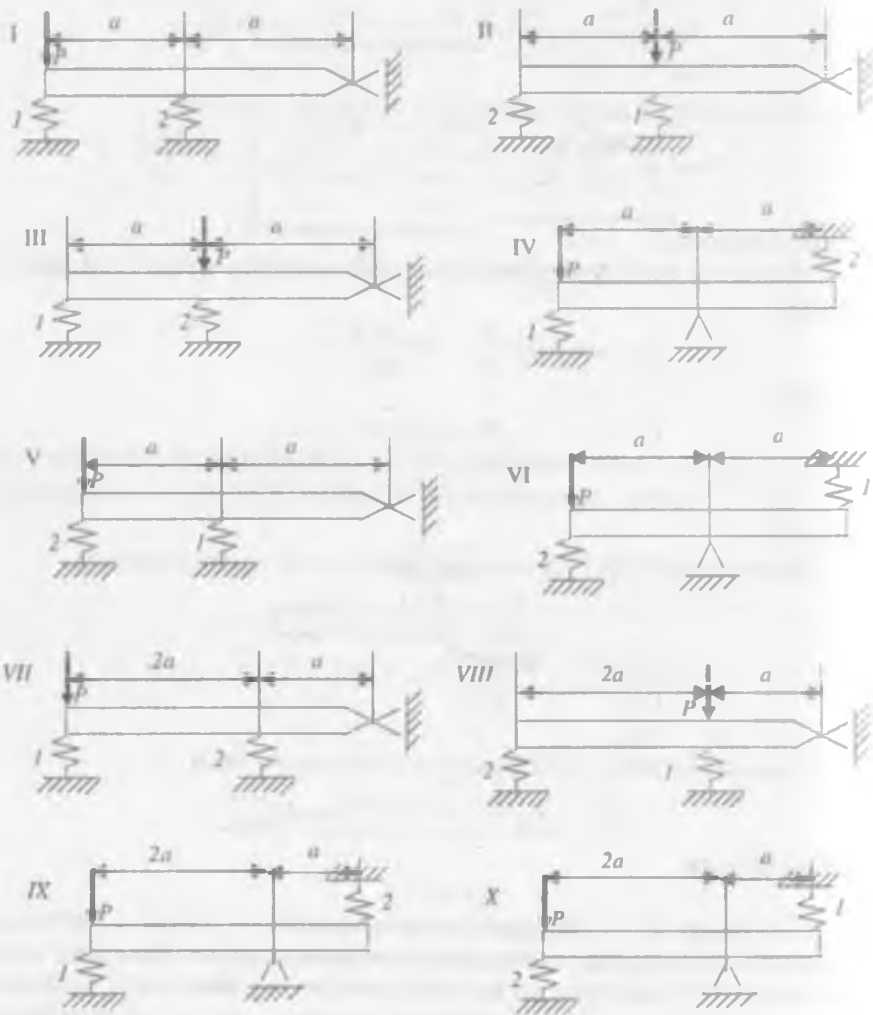
$$W = \frac{1}{2} M \varphi_C = \frac{1}{2} M \cdot 7.15 \frac{Ma}{Gd^4} = 3.58 \frac{M^2 a}{Gd^4}$$

га тенг бўлади.

5.6-масала. Деформацияланмайдиған түсин қўзғалмас шарнирли таянчга ва симларининг диаметрлари d ўзгармас ҳамда ўрамларининг диаметри D га тенг иккита пружиналарга боғланган. Биринчи пружина n та ва иккинчи пружина эса m та ўрамлардан ташкил топган. Қуйидагиларни аниқланг: 1) пружиналардаги ички

куч ва кучланишларни; 2) пружиналарнинг қанча масофага чуқишини; 3) ўрамларнинг нисбати $\frac{m}{n}$ қанча булганда пружиналардаги ички кучлар тенг бўлишини; 4) $\frac{m}{n}$ нисбатнинг 3) да топилган қиймати ва m нинг 5.5-жадвалда келтирилган қийматларида пружиналар чуқиши ва улардаги ички куч ва кучланишларни.

5.6-масаланинг шакллари



№	Шакл	D	d	m	n	P	№	Шакл	D	d	m	n	P
		см				H			см				H
1	I	6	0.6	6	6	30	16	VI	6	0.6	6	6	30
2	II	7	0.7	7	7	40	17	VII	7	0.7	7	7	40
3	III	8	0.8	8	8	50	18	VIII	8	0.8	8	8	50
4	IV	9	0.9	9	9	60	19	IX	9	0.9	9	9	60
5	V	10	1.0	10	10	70	20	X	10	1.0	10	10	70
6	VI	11	1.1	11	11	80	21	I	11	1.1	11	11	80
7	VII	12	1.2	12	12	90	22	II	12	1.2	12	12	90
8	VIII	13	1.3	13	13	30	23	III	13	1.3	13	13	30
9	IX	14	1.4	14	14	40	24	IV	14	1.4	14	14	40
10	X	15	1.5	15	15	50	25	V	15	1.5	15	15	50
11	I	16	1.6	16	16	60	26	VI	16	1.6	16	16	60
12	II	17	1.7	15	15	70	27	VII	17	1.7	15	15	70
13	III	18	1.8	14	14	80	28	VIII	18	1.8	14	14	80
14	IV	19	1.9	13	13	90	29	IX	19	1.9	13	13	90
15	V	20	2.0	12	12	50	30	X	20	2.0	12	12	50

5.7-масала. Доиравий кўндаланг кесимли ва узунлиги l га тенг бўлган валнинг иккала учлари қўзғалмас қилиб маҳкамлаб қўйилган. Валнинг ўрта кесими M ташқи буровчи момент қўйилган. Маҳкамланган жойларда ҳосил бўладиган реактив моментларнинг ифодалари аниқлансин.

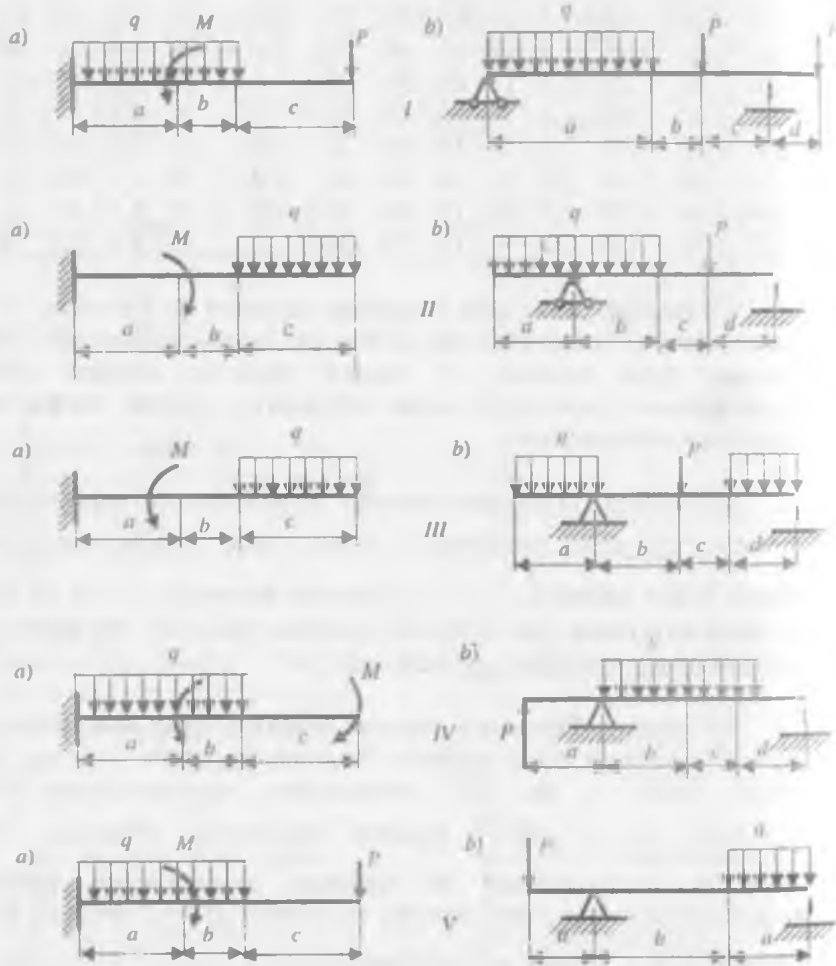
5.8-масала. Пулатдан ясалган ковак валнинг сиртқи диаметри $d_1 = 100$ мм ва ички диаметри $d_2 = 50$ мм дир. У минутига $n = 80 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ тезлик билан айланиб, $l = 2.7$ м узунлиги давомида $\varphi = 1.8^\circ$ га буралса, вал неча от кучига тенг қувватни узатиши мумкин? Энг катта уринма қўчланишнинг миқдори қанча бўлади?

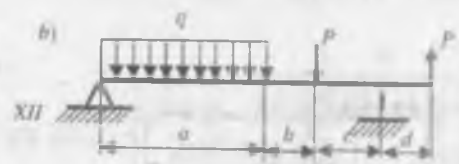
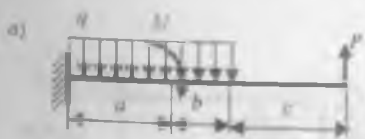
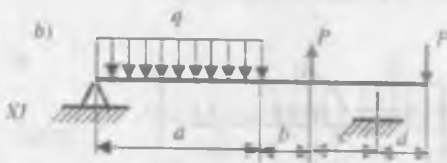
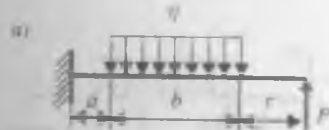
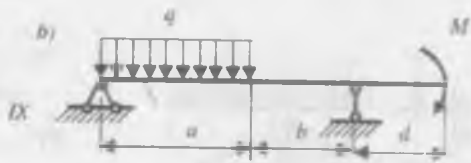
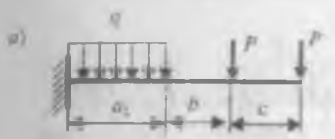
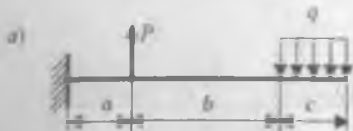
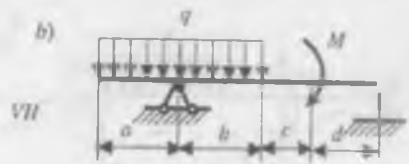
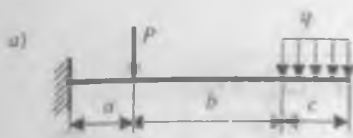
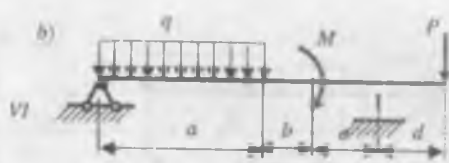
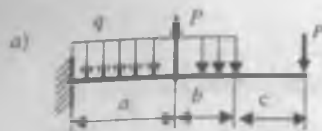
5.9-масала. Пулатдан ясалган доиравий кўндаланг кесимли вал иккала учи билан маҳкамланган. Валнинг узунлиги $l = a + b + c$ га тенг бўлиб, унинг a ва $a + b$ кесимларига қарама-қарши йўналган $M_1 = 400 \frac{H}{м}$ ва $M_2 = 600 \frac{H}{м}$ буровчи моментлар қўйилган. Валнинг диаметри мустаҳкамлик ва бикрлик шартларидан фойдаланиб ҳисоблансин. Ҳар бир метр узунлик учун учун рухсат этилган бурилиш бурчаги $[\varphi] = \frac{1}{1000}$ га тенг деб олинсин ($a = 0.5$ м, $b = 0.75$ м, $c = 1.25$ м).

6. Тўғри эгилишда кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини қуриш. Тусинлар кўндаланг кесимлари юзини танлаш

6.1-масала. Шаклда иккита тусинларнинг ҳар бир булакчаларидаги Q ва M ифодаларини ёзинг, уларнинг эпюраларини қуриш ва $M_{\max}$ ни аниқланг. Керакли маълумотларни 6.1-жадвалдан олинг

6.1-масаланинг шакллари







IXXX

(q)



(v)

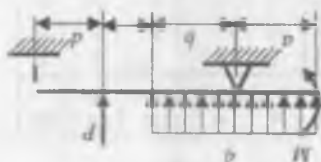


LXX

(q)

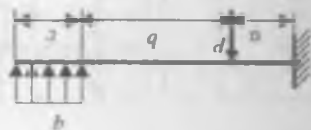


(v)



LXXX

(q)



(v)



IIIXX

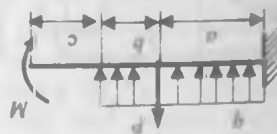
(q)



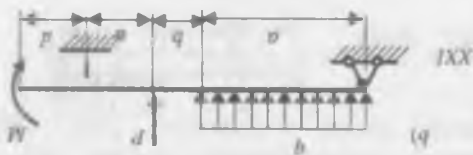
(v)



(q)



(v)



(q)



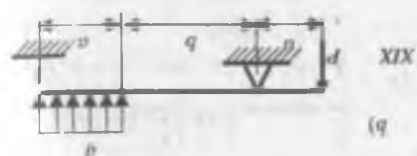
(v)



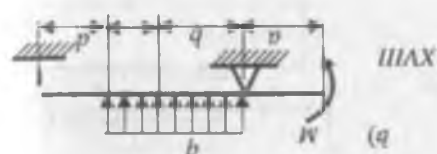
(q)



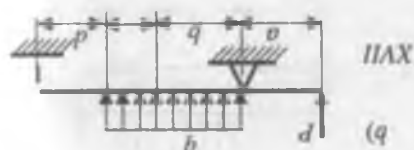
(v)



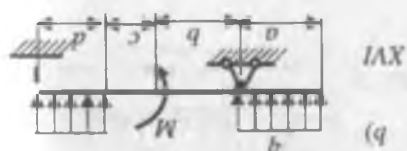
(q)



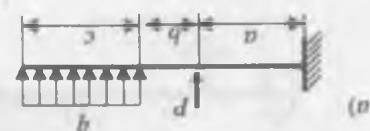
(q)



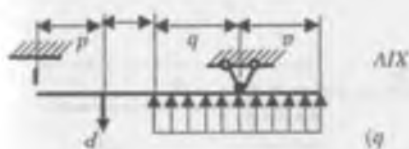
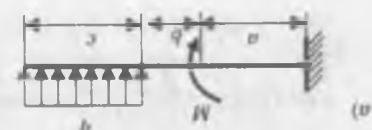
(q)



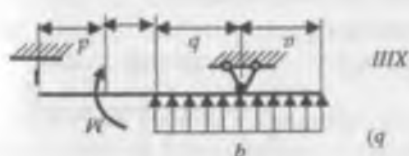
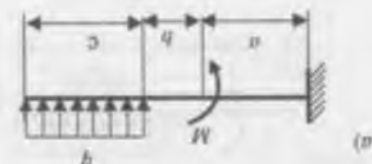
(q)



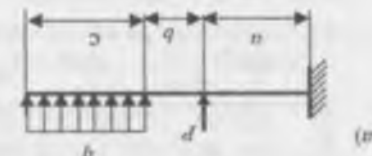
(q)

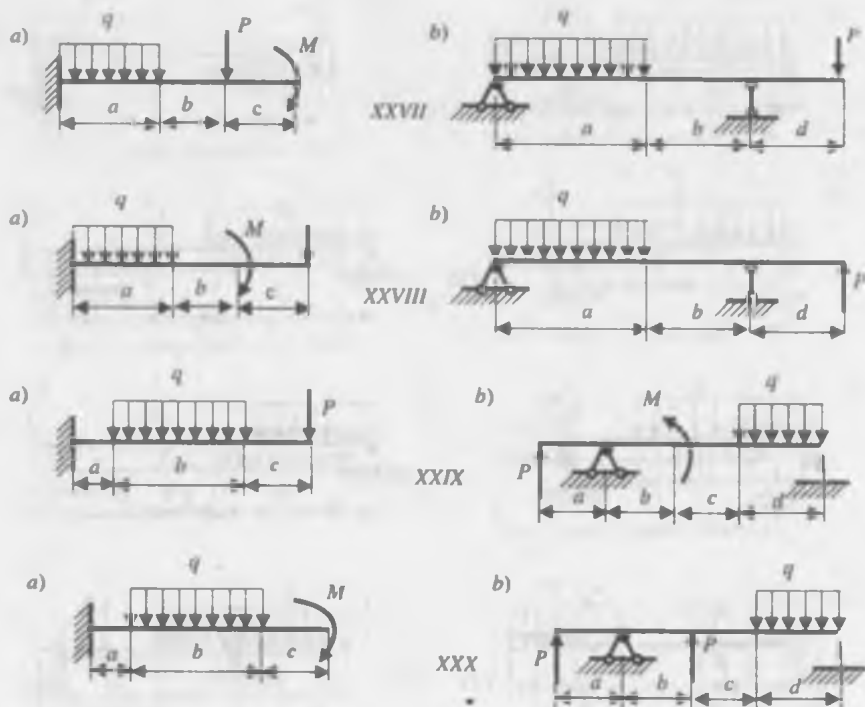


(q)



(q)





6.1-жадвал

N_2	P κH	M κH_m	q KH/m	a	b	c	d	N_2	P κH	M κH_m	q KH/m	a	b	c	d
M								M							
1	1	1	1	1	1	2	0.2	16	1	1	1	4	1	2	0.2
2	2	2	2	2	2	3	0.3	17	2	2	2	1	2	3	0.3
3	3	3	3	3	3	4	0.4	18	3	3	3	2	3	4	0.4
4	4	4	4	4	1	2	0.5	19	4	4	4	3	1	2	0.5
5	5	5	5	1	2	3	0.6	20	5	5	5	4	2	3	0.6
6	6	6	6	2	3	4	0.2	21	6	6	6	1	3	4	0.2
7	7	7	7	3	1	2	0.3	22	7	7	7	2	1	2	0.3
8	8	8	8	4	2	3	0.4	23	8	8	8	3	2	3	0.4
9	9	9	9	1	3	4	0.5	24	9	9	9	4	3	4	0.5
10	10	10	10	2	1	2	0.6	25	10	10	10	1	1	2	0.6
11	11	11	1	3	2	3	0.2	26	11	11	1	2	2	3	0.2
12	12	12	2	4	3	4	0.3	27	12	12	2	3	3	4	0.3
13	13	13	3	1	1	2	0.4	28	13	13	3	4	1	2	0.4
14	14	14	4	2	2	3	0.5	29	14	14	4	1	2	3	0.5
15	15	15	5	3	3	4	0.6	30	15	15	5	2	3	4	0.6

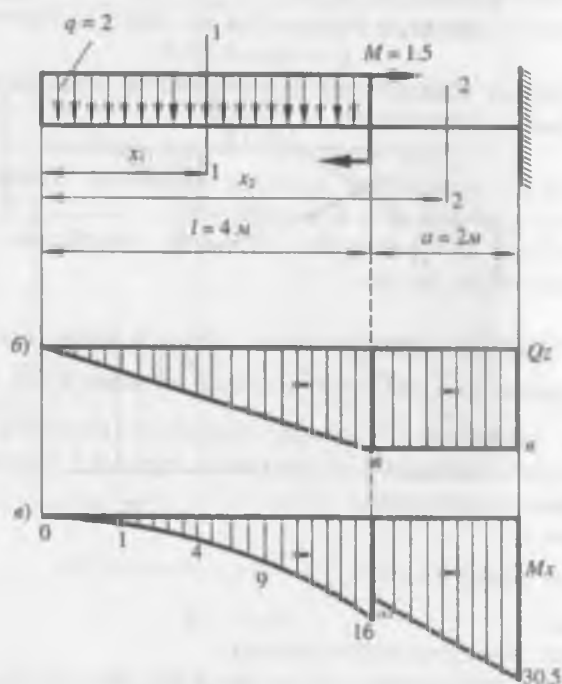
6.1-масалани ечиш намуналари

А. Бир томони қўзғалмас қилиб маҳкамланган тўсинга текис тақсимланган юк (интенсивлиги $q \frac{H}{м}$ га тенг) ва ташқи момент M қўйилган. Тўсиннинг қўндаланг кесимларидаги кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини қуринг, уларнинг энг катта миқдорларини аниқланг.

Берилган: 6.1, а-шакл, $q = 2 \cdot 10^4 \frac{H}{м}$, $a = 1 м$, $M = 1.5 \cdot 10^4 Н.м$.

Ечиш.

Тўсинни иккита бўлакчаларга ажратамиз. Шаклдаги чап томон чегара, яъни $x = 0$ кесимдан $x = 4a$ кесимгача бўлган оралиқни биринчи – I ва биринчи кесимнинг ўнг томон чегараси $x = 4a$ кесимдан тўсиннинг ўнг томон чегараси $x = 4a + a$ кесимгача бўлган оралиқни иккинчи – II бўлакча деб атаймиз.



6.1-шакл

Биринчи булакчанинг ихтиёрий 1-1 кесимида туриб ички кесувчи куч ва эгувчи моментларнинг ифодаларини ёзамиз ($0 \leq x \leq 4a$):

- кесувчи куч $Q' = -qx$ - тўғри чизиқ;

- эгувчи момент $M' = -\frac{qx^2}{2}$ - парабола.

Тўғри чизиқни иккита ва параболани бир нечта нуқталардаги қийматларини ҳисоблаймиз:

$$Q(0) = 0, \quad Q(4) = -8 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$$M(0) = 0, \quad M(1) = -1 \cdot 10^4 \text{ Нм}, \quad M(2) = -4 \cdot 10^4 \text{ Нм}, \quad M(3) = -9 \text{ Нм}, \quad M(4) = -16 \text{ Нм}.$$

Бу қийматлар асосида ордината ўқида масштаб танлаб эпюра чизамиз (6.1, а, б-шакллар).

Энди иккинчи бўлакчани курамиз. Иккинчи булакчанинг ихтиёрий 2-2 кесимида туриб ички кесувчи куч ва эгувчи моментларнинг ифодаларини ёзамиз ($4a \leq x \leq 4a + a$):

- кесувчи куч $Q'' = -4qa$ - тўғри чизиқ;

- эгувчи момент $M'' = -4qa(x-2) + M$ - тўғри чизиқ.

Кесувчи куч бу ораликда узгармайди ва унинг қиймати

$$Q = -4qa = 8 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

га тенг. Эгувчи моментнинг оралик чегара нуқталаридаги иккита қийматларини ҳисоблаймиз:

$$M(4) = -14.5 \text{ Нм}; \quad M(6) = -30.5 \text{ Нм}.$$

Топилган қийматлар асосида иккинчи булакчага тегишли эпюраларни курамиз (6.1, б, в-шакллар).

Қурилган эпюралардан кўриниб турибдики, $Q_{\max} = 8 \cdot 10^4 \text{ Н}$ ва $M_{\max} = 30.5 \cdot 10^4 \text{ Нм}$ га тенг.

В. Иккита таянчларда ётган тўсинга текис тақсимланган юк (интенсивлиги $q \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ га тенг), ташқи момент M ва тупланган куч $P = qa$ лар қўйилган. Тўсиннинг кундаланг кесимларидаги кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини қуриш, уларнинг энг катта миқдорларини аниқланг.

Берилган:

$$6.2, \text{ а-шакл, } q = 2 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, \quad a = 2 \text{ м}, \quad M = 1.5 \cdot 10^4 \text{ Нм}.$$

Ечиш.

Таянч реакцияларини топамиз:

$$\sum M_A = 0, \quad A \cdot 3a + M_B + P \cdot 2a - 3q \cdot a \cdot 1.5a = 0$$

бундан,

$$A = \frac{-P \cdot 2a - M_B + 4.5qa^2}{3a} = \frac{-2qa^2 - qa^2 + 4.5qa^2}{3a} = 0.5qa;$$

$$\sum M_B = 0, \quad 3q \cdot a \cdot 1.5a - P \cdot a + M_B - 3a \cdot B = 0$$

бундан,

$$B = \frac{3qa^2 \cdot 1.5 - qa^2 + qa^2}{3a} = 1.5qa.$$

Топилган реакция кучларининг тўғрилигини текшираимиз. Агар юқоридаги ишлар тўғри бажарилган бўлса,

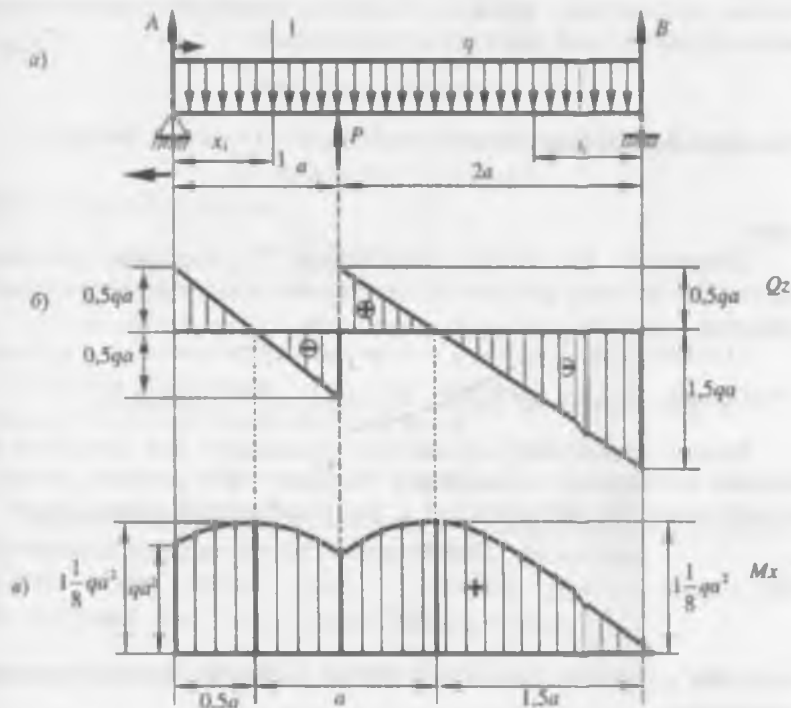
$$\sum Z = 0, \text{ яъни } A + B + P - q \cdot 3a = 0$$

тенглик ўринли бўлади. Ҳақиқатда

$$0.5qa + 1.5qa + qa - 3qa = 0,$$

яъни,

$$3qa - 3qa = 0.$$



6.2-шакл

Тўсиннинг чап учидан x_1 масофада жойлашган I-I кесимдаги кесувчи куч ва эгувчи момент тенгламаларини тузимиз ($0 \leq x_1 \leq a$):

- кесувчи куч

$$Q_1 = A - qx_1 = 0.5qa - qx_1 \quad - \text{туғри чизик};$$

- эгувчи момент

$$M_1' = Ax_1 + M_0 - \frac{qx_1^2}{2} = 0.5qa \cdot x_1 + qa^2 - q \frac{x_1^2}{2} \text{ - парабола.}$$

Кесувчи кучнинг чегара кесимлардаги қийматлари куйидагилардан иборат

$$Q(0) = 0.5qa, \quad Q(a) = -1.5qa,$$

эгувчи моментнинг айти шу кесимлардаги ва оралиқнинг ўртасидаги қийматлари эса

$$M(0) = qa^2, \quad M(0.5a) = \frac{9}{8}qa^2 = 1.125qa^2, \quad M(a) = qa^2$$

лардан иборат.

Эгувчи моментнинг курилайтган оралиқдаги энг катта ёки энг кичкина қийматини топамиз. Кесувчи кучни ифодасини нолга тенглаштириб x_1 нинг қийматини аниқлаймиз

$$Q_{x_1} = A - qx_1 = 0, \quad x_1 = \frac{A}{q} = 0.5a$$

Тўсиннинг бу кесимида эгувчи момент

$$M(0.5a) = \frac{9}{8}qa^2 = 1.125qa^2$$

га тенг.

Тўсиннинг унг томон чегарасидан x_2 масофада ихтиёрий олинган 2-2 кесимда кесувчи куч ва эгувчи момент тенгламаларини тузамиз ($0 \leq x_2 \leq 2a$):

- кесувчи куч $Q_1' = -B + qx_2 = -1.5qa + qx_2$ - тўғри чизик,

- эгувчи момент $M_1'' = Bx_2 - q \frac{x_2^2}{2} = 1.5qax_2 - q \frac{x_2^2}{2}$ - парабола.

Эгувчи моментнинг курилайтган оралиқдаги энг катта ёки энг кичкина қийматини аниқлаймиз. Бунинг учун кесувчи кучнинг ифодасини нолга тенглаштириб x_2 нинг қийматини аниқлаймиз

$$Q_1'' = -B + qx_2 = -1.5qa + qx_2 = 0$$

яъни:

$$x_2 = \frac{1.5qa}{q} = 1.5a$$

Узгарувчи x_2 нинг бу қийматида эгувчи моментни қанча булишини аниқлаймиз

$$M_1'' = Bx_2 - q \frac{x_2^2}{2} = 1.5qax_2 - q \frac{x_2^2}{2} = 1.5^2 qa^2 - q \frac{(1.5a)^2}{2} = \frac{1.5^2}{2} qa^2 = 1.125qa^2.$$

Кесувчи кучни чегара нуқталардаги қийматлари $Q(0) = -1.5qa$ ва $Q(2a) = 0.5qa$ га тенг, эгувчи моментнинг айти шу нуқталардаги ва курилайтган оралиқнинг урта кесимидаги қийматлари $M(0) = 0$ $M(a) = qa^2$ ва $M(2a) = qa^2$ га тенг.

Кесувчи куч ва эгувчи моментнинг бу қийматларидан фойдаланиб эпюраларни қурамиз (6.2, б, в-шакллар). Эпюралардан куриниб турибдики, $Q_{max} = 1.5qa$ ва $M_{max} = 1.125qa^2$ га тенг.

В. 6.3, a -шаклдаги икки таянчда ётган балка учун эгувчи момент ва кесувчи куч эпюраларини қуринг.

Берилган:

$$P_1 = 2qa, \quad P_2 = qa, \quad M = 2qa^2, \quad q = 10^4 \frac{H}{м}, \quad a = 2м.$$

Ечиш.

Таянч реакцияларини топамиз:

$$\sum M_A = 4qa \cdot 2a + P_1 \cdot 4a + M + P_2 \cdot 6a - B \cdot 5a = 0,$$

бу ердан

$$B = \frac{24}{5} qa = 48 \cdot 10^4 H.$$

$$\sum M_B = A \cdot 5a - 4qa \cdot 3a - P_1 a + M + P_2 a = 0,$$

бу ердан

$$A = \frac{11}{5} qa = 4,4 \cdot 10^4 H.$$

Топилган реакция кучларининг тўғрилигини текшираимиз:

$$\sum z = A + B - 4qa - 2qa - qa = 0$$

булиши керак. Ҳақиқатда,

$$\frac{11}{5} qa + \frac{24}{5} qa - 4qa - 2qa - qa = 0$$

тенглик бажарилади.

Сўнгги айният таянч реакцияларининг тўғри топилганлигини асослайди.

Биринчи булакчада ($0 \leq x \leq 4a$) кесувчи куч Q' ва эгувчи момент M' ларнинг ифодаларини ёзамиз:

$$Q' = A - qx; \quad M' = Ax - q \frac{x^2}{2}.$$

Энди эгувчи момент ва кесувчи куч қийматларини I булакча-нинг чегара нуқталари учун (I) тенгламадан аниқлаймиз.

Чап томон чегара, яъни A нуқтада $Q'_A(0) = A = 4,4 \cdot 10^4 H$ ва $M'_A(0) = 0$ бўлади. Унг томон чегара, яъни C нуқтада

$$M'_C(4a) = M'_B(8) = 4,4 \cdot 8 - \frac{64}{2} = 3,2 \cdot 10^4 H \cdot м,$$

$$Q'_C(4a) = M(8) = 4,4 \cdot 8 = -3,6 \cdot 10^4 H \cdot м$$

бўлади.

Биринчи булакчада эгувчи момент M' нинг тенгламаси параболодан иборат. У ўзининг экстремал қийматига $Q' = 0$ кесимда эришади. Бу кесимнинг абсциссасини аниқлаймиз

$$Q' = A - qx = 0,$$

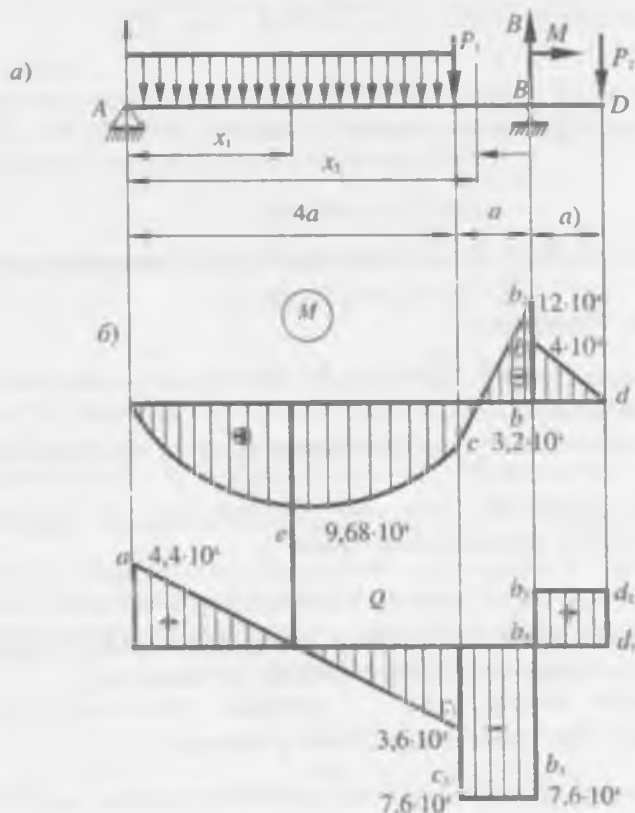
бу ердан

$$x = \frac{A}{q} = \frac{4.4 \cdot 10^4}{10^4} = 4.4 \text{ м.}$$

Топилган қийматни M'_1 ифодасига қўйиб

$$M'_1(4.4) = \left(Ax - q \frac{x^2}{2} \right)_{x=4.4} = 4.4 \cdot 10^4 \cdot 4.4 - 10^4 \cdot \frac{(4.4)^2}{2} = 9.36 \cdot 10^4 \text{ Нм}$$

эканлигини аниқлаймиз.



6.3-шакл

Шундай қилиб, биринчи бўлакчада эгувчи момент эпюраси ac параболадан, кесувчи куч эпюраси эса ac тўғри чизиқдан иборат бўлади. Уларнинг ординаталари юқорида олинган қийматлардан равшан. Бу бўлакчада эгувчи моментнинг энг катта қиймати $M_{max} = 9.68 \cdot 10^4 \text{ Нм}$ га, кесувчи куч эса худди шу кесимда нолга тенг (6.3, б ва в-шакллар).

Иккинчи булакчада ($0 \leq x_2 \leq 10$)

$$M_2^H = 4x - 4qa(x - 2a) - P_1(x - 4a) \quad M_2^H = 4,4x - 8(1 - 4) - 4(1 - 8),$$

$$Q_2^H = A - 4qx - P_1 = 4,4 - 4 \cdot 1 \cdot 2 - 2 \cdot 1 \cdot 2 = 4,4 - 12 = -7,6 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

бўлади.

Бу булакчанинг чегара кесимларида:

- С кесимда $x = 8 \text{ м}$, $M_2^H = 3,2 \cdot 10^4 \text{ Нм}$ ва $Q_2^H = -7,6 \cdot 10^4 \text{ Н}$ бўлади;

- В кесимда $x = 10 \text{ м}$, $M_2^H = -1,2 \cdot 10^4 \text{ Нм}$ ва $Q_2^H = -7,6 \cdot 10^4 \text{ Н}$ узгармас сон

бўлади

Шундай қилиб, иккинчи булакчада эгувчи момент ва кесувчи куч эпюралари туғри чизиқлардан иборат бўлади.

Учинчи булакчани кураимиз. Бу булакчада эгувчи момент ва кесувчи куч тенгламаларини кесимнинг чап томонидан тузиш ҳисоблашни анча қийинлаштиради. Унг томонда тўсинга фақат биттагина P куч таъсир қилганлигидан, тенгламаларни шу томондан тузиш маъқулдир. Бинобарин, координаталар бошини D нуқтага қучириб асбиссалар ўқини чап томонга йуналтирсак, бу оралиқ кесимнинг координаталар бошидан ҳисобланган булакчага айланади. Бироқ эгувчи момент ва кесувчи куч тенгламаларини тузишда уларнинг ишораларини қарама-қаршисини олиш керак бўлади.

$$M_3^H = -P_2 x, \quad Q = P, \quad (0 \leq x_3 \leq 2 \text{ м}).$$

Бу ердан:

- D кесимда $M_3^H(0) = 0$ ва $Q_3^H(0) = P = 2 \cdot 10^4 \text{ Н}$;

- В кесимда $M_3^H(2) = -4 \cdot 10^4 \text{ Нм}$ ва $Q_3^H(2) = P = 2 \cdot 10^4 \text{ Н}$.

Шундай қилиб, эгувчи момент ва кесувчи куч эпюралари 6.3, а ва б-шаклларда кўрсатилгандек бўлади.

Кесувчи куч ва эгувчи моментларнинг энг катта қийматлари $Q_{\max} = 7,6 \text{ Н}$ ва $M_{\max} = 12 \cdot 10^4 \text{ Нм}$ га тенг бўлади.

6.2*-масала. Шаклда иккита тўсинларнинг ҳар бир булакчаларидаги Q ва M ифодаларини ёзинг, уларнинг эпюраларини қуринг, $M_{\max}$ ни аниқланг ва қуйидаги кесимлар юзларининг рухсат этилган қийматларини танланг: 1) доиравий кесимли ёғоч тўсиннинг диаметрини ($|\sigma| = 8 \text{ МПа}$, а-шакл); 2) қўштавр кесимли пўлат тўсиннинг кўндаланг кесимининг юзини ($|\sigma| = 160 \text{ МПа}$, б-шакл). Керакли маълумотларни 6.1-жалвалдан олинг.

Эслатма. Туғри эгилишда тўсинларнинг кўндаланг кесимлари юзларининг рухсат этилган қийматлари

$$W_x = \frac{M_{\max}}{|\sigma|}$$

формула ёрдамида аниқланади (7.1-масалага қаранг).

7. Тўғри эгилишда бош кучланишларни аниқлаш ва тўсинларнинг мустаҳкамлигини тўла текшириш

7.1-масала. 6.1-масаланинг б)-шаклидаги пулатдан ясалган қўштак кесимли тўсиннинг:

- қўндаланг кесими юзини аниқланг;
- нормал ва уринма кучланишларни, ҳамда уларнинг бош қийматлари эпюраларини қуринг;
- мустаҳкамлигини тўла текширинг;
- бош юза ва бош кучланишларни аниқланг;
- мустаҳкамликни бош кучланишлар бўйича текширинг.

Нормал ва уринма кучланишларнинг рухсат этилган қийматлари $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ ва $[\tau] = 100 \text{ МПа}$ га тенг. Керакли маълумотларни 6.1-жадвалдан олинг.

7.1-масалани ечиш намунаси.

Берилган: 7.1, а-шакл, $P = 40 \text{ кН}$, $q = 30 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$, $a = 0.8 \text{ м}$, $l = 4 \text{ м}$,

$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$, $[\tau] = 100 \text{ МПа}$.

Ечиш.

1. Таянч реакцияларини аниқлаймиз:

$$A = \frac{P(a+l) + \frac{ql^2}{2}}{l} = \frac{40 \cdot 4.8 + 30 \cdot 8}{4} = 108 \text{ кН}, \quad B = \frac{\frac{ql^2}{2} - Pa}{l} = \frac{30 \cdot 8 - 40 \cdot 0.8}{4} = 52 \text{ кН}.$$

2. Кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини қурамиз. Тўсиннинг консол қисмда ($0 \leq x_1 \leq a$):

$$Q_1^1 = -P = -40 \text{ кН}, \quad M_1^1 = -Px_1 = -40x_1, \quad M_1^1(0) = 0, \quad M_1^1(a) = -40 \cdot 0.8 = -32 \text{ кНм}.$$

Таянчлар оралиғидаги бўлакчада ($0 \leq x_2 \leq l$):

$$Q_2^1 = -B + qx_2 = -52 + 30x_2, \quad Q_2^1(0) = -52 \text{ кН}; \quad Q_2^1(l) = -52 + 30 \cdot 4 = 68 \text{ кН};$$

$$M_2^1 = Bx_2 - \frac{qx_2^2}{2} = 52x_2 - \frac{30x_2^2}{2}; \quad M_2^1(0) = 0; \quad M_2^1(l) = 52 \cdot 4 - \frac{30 \cdot 16}{2} = 32 \text{ кНм}.$$

Бу ораликда эгувчи момент максимумга эга, чунки

$$Q_2^1 = -B + qx_2 = -52 + 30x_2 = 0$$

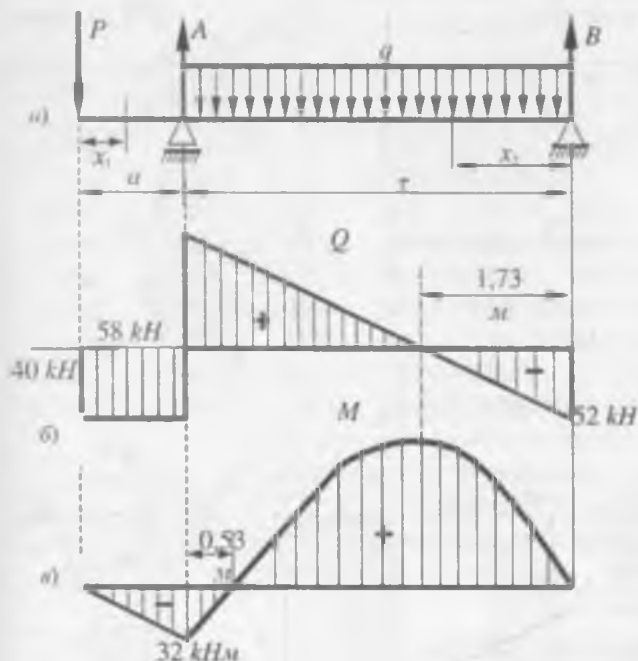
тенгламанинг ечими $x_2 = \frac{52}{30} = 1.73 \text{ м}$ қўриляётган оралиқнинг ичида жойлашган. Эгувчи моментнинг максимумини аниқлаймиз

$$(M_2^1)_{\max} = 52 \cdot 1.73 - \frac{30 \cdot 1.73^2}{2} = 45 \text{ кНм}.$$

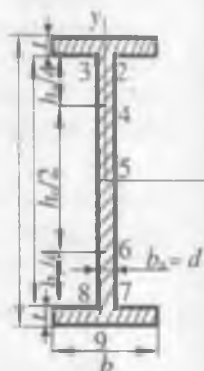
Булардан ташқари $x_2 = \frac{52 \cdot 2}{30} = 3.46 \text{ м}$ қийматда эгувчи момент нолга тенг. яъни $M_2^1(3.46) = 0$.

Юқоридаги маълумотлар асосида қўрилган кесувчи куч ва эгувчи моментнинг эпюралари 7.1, б ва а-шаклларда келтирилган.

3. Тўсин кўндаланг кесимининг юзини аниқлаш. Эғувчи момент эпюрасидан $M_{max} = 45 \text{ кНм}$ эканлигини аниқлаймиз.



7.1-шакл



7.2-шакл

Мустаҳкамлик шартидан

$$w_y = \frac{M_{max}}{[\sigma]} = \frac{45 \cdot 10^3}{16 \cdot 10^7} = 281 \text{ см}^3.$$

Сортамент жадвалида $w_y = 281 \text{ см}^3$ қиймат пастдан энг яқин қиймат $w_y^T = 254 \text{ см}^3$ бўлиб, у 22а рақамли қўшаврга тегишли. Бу қўшаврни мустаҳкамлигини текширсак,

$$\frac{\sigma_{max} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100 = \frac{W - w_y^T}{w_y^T} \cdot 100 = \frac{281 - 254}{254} \cdot 100 = 10.6 > 5\%$$

га эга буламиз. Бу ҳолда тўсин ўзининг рухсат этилган қийматидан анча кўп юкланган бўлади.

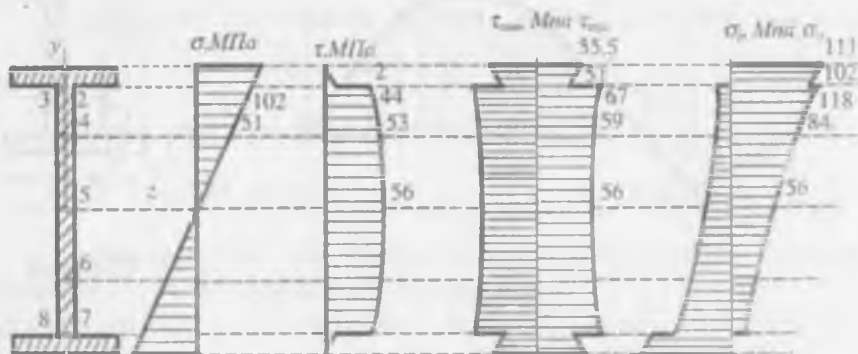
Юқоридан энг яқин қиймат $w_y^T = 289 \text{ см}^3$ бўлиб, у 24 рақамли қўшаврга тегишли. Бу қўшаврни мустаҳкамлигини текширсак,

$$\frac{\sigma_{max} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100 = \frac{W - w_y^T}{w_y^T} \cdot 100 = \frac{281 - 289}{289} \cdot 100 = -2.77\%$$

га эга буламиз. Бу ҳолда қўштавр ўзининг рухсат этилган қийматидан бир оз кам юкланган бўлади.

7.1-жадвал

№	z см	σ	τ	$\pm \tau$	σ_1	σ_2	$\lg 2\alpha_1$	α_1
		МПа						
1	12.00	111	0	± 55.5	111	0	-0.00	$90^\circ 0'$
2	11.05	102	2	± 51	102	0	-0.0392	$-1^\circ 7'$
3	11.05	102	44	± 67	118	-16	-0.8630	$-20^\circ 24'$
4	5.52	51	53	± 59	84	-34	-2.08	$-32^\circ 10'$
5	0.00	0	56	± 56	56	-56	∞	$45^\circ 0'$
6	-5.52	-51	53	± 59	34	-84	2.08	$32^\circ 10'$
7	-11.05	-102	44	± 67	16	-118	0.8630	$20^\circ 24'$
8	-11.05	-102	2	± 51	0	-102	0.0392	$1^\circ 7'$
9	-12.00	-111	0	± 55.5	0	-111	0.00	$0^\circ 0'$



7.3-шакл

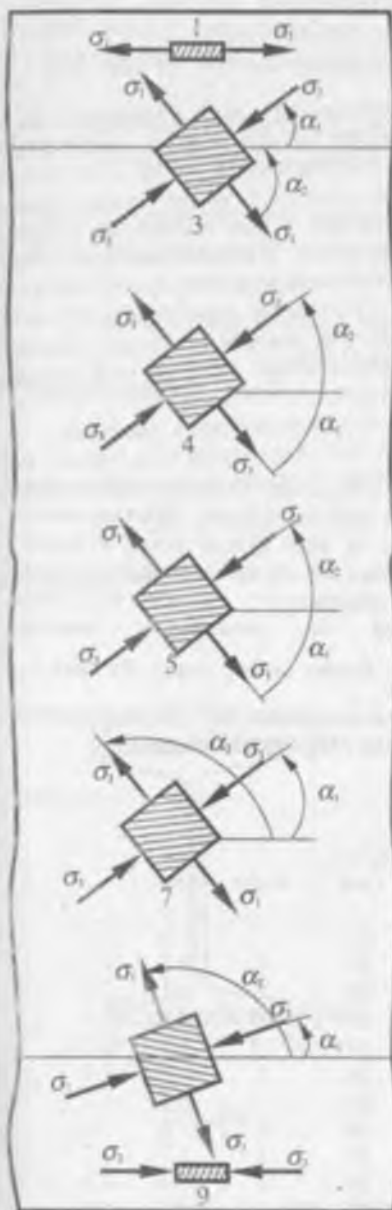
Юқоридагилардан келиб чиқиб, 24 рақамли қўштаврни танлаймиз. Сортамент жадвалидан бу қўштаврга тегишли маълумотларни оламиз: $W_y^I = 289 \text{ см}^3$, $J = 3460 \text{ см}^4$, $S_0 = 163 \text{ см}^3$, $h = 24 \text{ см}$, $b = 11.5 \text{ см}$, $t = 0.95 \text{ см}$, $d = b_0 = 0.56 \text{ см}$, $h_0 = h - 2t = 22.1 \text{ см}$ (7.2-шакл).

Қўштавр $M_{max} = 45 \text{ кНм}$ кесими эгувчи момент бўйича ҳавфли кесим бўлади. Бу кесимнинг нейтрал ўқидан энг узоқда жойлашган толаларида

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_y} = \frac{45 \cdot 10^3}{289 \cdot 10^{-6}} = 156 \cdot 10^4 \text{ Па} = 156 \text{ МПа}$$

нормал кучланиш пайдо бўлади.

4. Уринма кучланишлар бўйича мустаҳкамликни текшираимиз



7.4-шакл

Кесувчи куч $Q_{max} = 68 \text{ кН}$ булган кесим кесувчи куч буйича хавфли кесим булади. Бу кесимда

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max} S_n}{b_n J_x} = \frac{68 \cdot 10^3 \cdot 163 \cdot 10^{-6}}{0.56 \cdot 10^{-2} \cdot 3460 \cdot 10^{-8}} =$$

$$= 57 \cdot 10^6 \text{ Па} = 57 \text{ МПа} < [\tau] = 100 \text{ МПа}$$

булади, яъни уринма кучланиш буйича мустаҳкамлик шарти бажарилади.

5. Энг хавфли кесимда нормал, уринма кучланишларни ва уларнинг бош юзлардаги қийматлари эпюраларини қуриш.

Энг хавфли кесим чап томондаги таянччи устида жойлашган. Бу кесимда $Q = 68 \text{ кН}$ ва $M = -32 \text{ кНм}$ га тенг.

Кўндаланг кесимнинг нейтрал ўқидан y масофада жойлашган қатламдаги нормал кучланиш

$$\sigma = -\frac{M y}{J_x} = \frac{32 \cdot 10^3 z}{3460 \cdot 10^{-8}} = 925 \cdot 10^3 z$$

формула ёрдамида ҳисобланади.

Кесимнинг кўрилатган қатламдан ташқарида ажралиб қолган қисмининг статик моментини ҳисоблаймиз:

$$S_1^1 = -S_1^0 = 0,$$

$$S_1^2 = S_1^1 = -S_1^0 = -S_1^0 = bh \left(\frac{h}{2} - \frac{l}{2} \right),$$

$$S_1^4 = -S_1^6 = S_1^2 + d \frac{h_0}{4} \left(\frac{h_0}{2} - \frac{h_0}{8} \right) = S_1^2 + \frac{3dh_0^2}{32},$$

$$S_1^4 = S_1^2 + d \frac{h_0}{4} \frac{h_0}{8} = S_1^2 + \frac{dh_0^2}{32}.$$

Қўштавр асосидаги ва деворларидаги уринма кучланишлар

$$\tau = \frac{Q \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right)}{2J_x}, \quad \tau = \frac{QS_x}{b_n J_x},$$

формулалар ёрдамида ҳисобланади.

Юқоридаги формулалар бўйича ҳисобланган нормал, уринма кучланишлар, уларнинг бош юзалардаги қийматлари, ҳамда бош юзаларнинг йўналишларини аниқловчи α бурчакнинг қийматлари 7.1-жадвалда келтирилган.

Жадвалдаги қийматлар бўйича ҳосил буладиган эпюраларни 7.3-шаклда ва бош нормал кучланишларнинг йўналишлари 7.4-шаклда келтирилган.

6. Мустаҳкамликни бош кучланишлар бўйича текшириш. Бош кучланишлар эпюраларидан 3 нуқта энг хавфли қатламда жойлашганлигини кўрамиз. Бу қатламда $\sigma_1 = 118 \text{ МПа}$ ва $\sigma_2 = -16 \text{ МПа}$ га тенг. Мустаҳкамликнинг учинчи назария бўйича текширамиз

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 118 + 16 = 134 < [\sigma] = 160 \text{ МПа}.$$

Шундай қилиб, мустаҳкамлик шarti бош кучланишлар бўйича ҳам бажарилади.

7.2*-масала. Иккита пулат кўштаврларни кўндаланг кесимларининг қўйи ва юқори қисмларига узунлиги бўйлаб тунука пайвандланган. Қўштаврларни параллел жойлаштириб уни a га ва узунлиги l га тенг бўлган темир йулакча қўрилган. Йулакчада икки ўқли аравага ўрнатилган юк кўтаргич (кран) ҳаракат қилади, араванинг ва юкнинг биргаликдаги оғирлиги P га тенг (7.5-7.6-шакллар). Араванинг битта ўқиға (бир ён томонидаги иккита гилдиракларига) $\frac{n-1}{n} \cdot 2P$, иккинчисига эса $\frac{1}{n} \cdot 2P$ босим таъсир этади, бу ерда n

– умумий босим кучини гилдиракларга тақсимланишини характерловчи коэффициент. Шундай қилиб, ҳар иккала қўштавр кесимли тўсинларга

7.2-жадвал

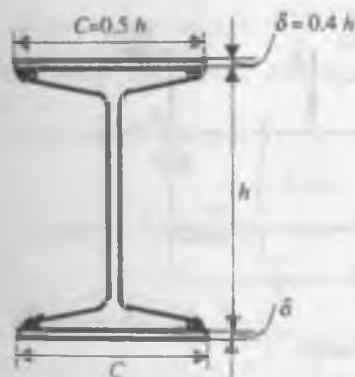
№	Қўш- тавр	l метр	a метр	n	№	Қўш- тавр	l метр	a метр	n
1	24	2	1.4	2.1	16	40	7	1.9	2.6
2	27	3	1.5	2.2	17	45	8	2.0	2.7
3	30	4	1.6	2.3	18	50	9	2.1	2.8
4	33	5	1.7	2.4	19	55	10	2.2	2.9
5	36	6	1.8	2.5	20	60	10	2.3	3.0
6	40	7	1.9	2.6	21	24	2	1.4	1.4
7	45	8	2.0	2.7	22	27	3	1.5	1.5
8	50	9	2.1	2.8	23	30	4	1.6	1.6
9	55	10	2.2	2.9	24	33	5	1.7	1.7
10	60	10	2.3	3.0	25	36	6	1.8	1.8
11	40	9	1.9	2.6	26	40	7	1.9	1.9
12	45	8	2.0	2.7	27	45	8	2.0	2.0
13	50	7	2.1	2.8	28	50	9	2.1	2.1
14	55	6	2.2	2.9	29	55	10	2.2	2.2
15	60	5	2.3	3.0	30	60	10	2.3	2.3

$P_1 = \frac{n-1}{n}P$ ва $P_2 = \frac{1}{n}P$ юк таъсир қилади, бу ерда P - аравага таъсир этадиган босим кучининг ярми. Қуйидагиларни бажаринг: 1) қўштавр ва иккита тунукалардан иборат қўшма кесимнинг қаршилик моментини ҳисоблаб ва $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ бўлса, тўсинларнинг мустаҳкамлиги таъминланган ҳолда энг катта эгувчи момент қанча бўлишини аниқланг; 2) арава йўлининг қайси жойида турганда энг ҳавфли вазият юзага келишини ва бунда энг катта эгувчи момент қанча бўлишини топинг; 3) балканинг хусусий оғирлигини ҳисобга олмаган ҳолда P кучни рухсат этилган қийматининг энг катта миқдорини аниқланг; араванинг катта юк кутараётган ғилдирагини таянч устига жойлаштиринг ва $[\tau] = 90 \text{ МПа}$ бўлганда, энг катта кесувчи куч шартидан фойдаланиб, қўштаврни тунукаларга пайвандлаган чокининг мустаҳкамлигини текширинг.

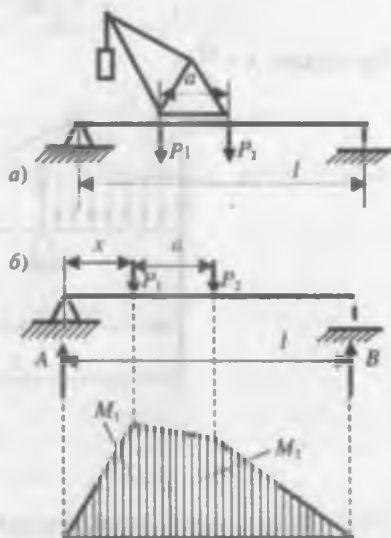
Эслатма. Агар биринчи (чап томон ғилдираклардаги) юк иккинчисидан (унг томон) кўп бўлса арава энг ҳавфли кесимда турганда эгувчи моментнинг эпюраси 7.6-шаклда кўрсатилгандек бўлади. Чап таянчдаги реакция кучи

$$A = \frac{P_1(l-x)}{l} + \frac{P_2(l-x-a)}{l} = \frac{P(n-1)(l-x)}{nl} + \frac{P(l-x-a)}{nl} = \frac{P}{l} \left(l - x - \frac{a}{n} \right)$$

га тенг бўлади.



7.5-шакл



7.6-шакл

Тўсиннинг P_1 куч қўйилган кесимидаги энг катта эгувчи момент қуйидаги функция орқали ифодаланади

$$M = Ax = \frac{Px}{l} \left(l - x - \frac{a}{n} \right)$$

Ҳосил бўлган функциядан x бўйича олинган биринчи тартибли ҳосилани нолга тенглаштириб, энг катта эгувчи момент пайдо бўладиган ҳолатни ва M_1 моментни P кучга боғлиқ қийматини аниқлаймиз

8. Тўғри эгилишда деформацияларни ҳисоблаш.
Бошланғич параметрлар усули

8.1-масала. 6.1-масаланинг б)-шаклидаги тўғри тўрт бурчак кесимли тўсинларнинг эгилиш деформацияларини $x=0+0.2k$ кесимларда ҳисобланг ва уларнинг графикларини қуринг, бу ерда $k=1, 2, 3, \dots$. Керакли маълумотларни 6.1-жадвалдан олинг ($b = \frac{h}{2} = 6 \text{ см}$).

8.1-масалани ечишга оид эслатма.

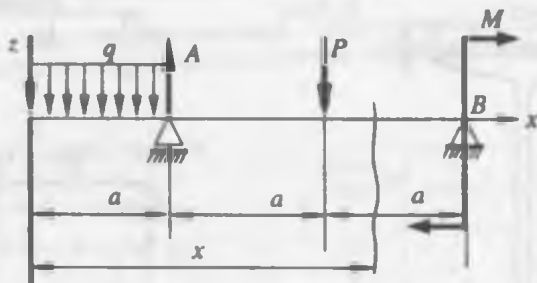
Берилган: 8.1-шакл, $q, a, P=4qa, M=qa^2, E, I$. Эгилиш деформациялари $z(x)$ ва $\theta(x)$ лар тенгламаларини тузинг ва графикларини қуринг.

Ечиш.

Мувозанат шартининг $\sum M_A = 0$ тенгласини ёзамиз

$$-\frac{3}{2}qa^2 + 2aA - 4qa^2 + qa^2 = 0,$$

бу ердан $A = \frac{11}{4}qa$.



8.1-шакл

Бошланғич параметрлар тенгламасини ёзамиз:

- биринчи бўлақчада ($a \leq x \leq a$)

$$EI, z(x) = EI, z_0 + EI, \theta_0 x - \frac{qx^4}{4!};$$

- иккинчи бўлақчада ($0 \leq x \leq 2a$)

$$EI, z(x) = EI, z_0 + EI, \theta_0 x - \frac{qx^4}{4!} + qa \frac{(x-a)^3}{3!} + q \frac{(x-a)^4}{4!};$$

- учинчи бўлақчада ($2a \leq x \leq 3a$)

$$EI, z(x) = EI, z_0 + EI, \theta_0 x - \frac{qx^4}{4!} + \frac{11}{4}qa \frac{(x-a)^3}{3!} + q \frac{(x-a)^4}{4!} - 4qa \frac{(x-2a)^3}{3!}.$$

Таянчлардаги шартларни тенгламаларга қўямиз:

- тўсиннинг чап томондаги таянчи устида

$$EJ, z(a) = EJ, z_a + EJ, \theta_a - \frac{qa^4}{24} = 0;$$

- ўнг томондаги таянч устида

$$EJ, z(3a) = EJ, z_a + EJ, \theta_a \cdot 3a + \frac{88}{24} qa^4 - \frac{2}{3} qa^4 - \frac{81}{24} qa^4 + \frac{16}{24} qa^4.$$

Бу ердан

$$EJ, z_a + EJ, \theta_a - \frac{qa^4}{24} = 0, \quad EJ, z_a + EJ, \theta_a \cdot 3a + \frac{7}{24} qa^4 = 0$$

ёки

$$\theta_a = -\frac{1}{6} \frac{qa^3}{EJ}, \quad z_a = \frac{5}{24} \frac{qa^4}{EJ}.$$

Шундай қилиб, ҳар бир бўлакчалардаги деформацияларни аниқлаш тенгламалари қуйидаги кўринишда бўлади:

- биринчи бўлакчада ($a \leq x \leq a$)

$$EJ, z(x) = \frac{5}{24} qa^4 - \frac{1}{6} qa^3 x - \frac{qx^4}{24};$$

- иккинчи бўлакчада ($0 \leq x \leq 2a$)

$$EJ, z(x) = \frac{5}{24} qa^4 - \frac{1}{6} qa^3 x - \frac{qx^4}{24} + \frac{11}{24} qa(x-a)^3 + q \frac{(x-a)^4}{24};$$

- учинчи бўлакчада ($2a \leq x \leq 3a$)

$$EJ, z(x) = \frac{5}{24} qa^4 - \frac{1}{6} qa^3 x - \frac{qx^4}{24} + \frac{11}{24} qa(x-a)^3 + q \frac{(x-a)^4}{24} - \frac{2}{3} qa(x-2a)^3.$$

Кесимлар бурилиш бурчакларининг тенгламаси қуйидагича бўлади:

- биринчи бўлакчада ($a \leq x \leq a$)

$$EJ, \theta(x) = -\frac{1}{2} qa^3 - \frac{qx^3}{6};$$

- иккинчи бўлакчада ($0 \leq x \leq 2a$)

$$EJ, \theta(x) = -\frac{1}{2} qa^3 - \frac{qx^3}{6} + \frac{11}{8} qa(x-a)^2 + q \frac{(x-a)^3}{6};$$

- учинчи бўлакчада ($2a \leq x \leq 3a$)

$$EJ, \theta(x) = -\frac{1}{2} qa^3 - \frac{qx^3}{6} + \frac{11}{8} qa(x-a)^2 + q \frac{(x-a)^3}{6} - 2qa(x-2a)^2.$$

Ҳосил бўлган тенгламаларга x нинг қийматларини қўйиб тегишли кесимнинг деформациялари ҳисобланади. Масалан:

- чап томондаги таянч устида

$$EJ, \theta(a) = -\frac{1}{6} qa^3 - \frac{qa^3}{6} = -\frac{qa^3}{3};$$

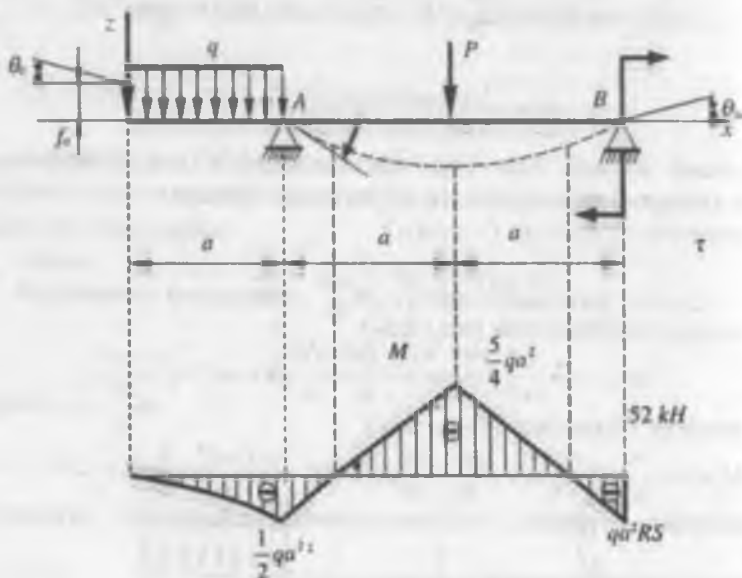
- ўнг томондаги таянч устида

$$EJ, \theta(3a) = qa^3 \left(\frac{1}{6} - \frac{27}{6} + \frac{44}{8} + \frac{8}{6} - 2 \right) = \frac{qa^3}{6};$$

- тўсиннинг P куч қўйилган кесимида

$$EI_z(3a) = qa^4 \left(\frac{5}{24} - \frac{2}{6} - \frac{16}{24} + \frac{11}{24} + \frac{1}{24} \right) = -\frac{7}{24} qa^4.$$

Эгувчи моментнинг эпюраси ва тўсин ўқининг эгилиш деформацияси (салқилигининг) умумий кўриниши 8.2-шаклда келтирилган. Шаклда эгилиш деформациясининг графиги штрихланган эгри орқали ифодаланган.



8.2-шакл

Эгувчи момент ва салқилик орасида қуйидаги боғланишлар мавжуд:

- эгувчи момент нолга тенг бўлган нуқталар салқилик графигидаги қабарикликнинг бошланиш ёки тугаш (салқилик графигининг эгилиш) нуқтасига мос келади;

- тўсиннинг эгувчи момент мусбат бўлган бўлакчаларида салқилик графигининг қабариклиги пастга, манфий бўлган бўлакчаларда эса юқорига қараган бўлади.

8.2-масала. 6.1-масаланинг а) ва б)-шаклларидаги № 24 қўштакв тўсинларнинг эгилиш деформациялари тенгламаларини эгилган ўқининг дифференциал тенгламаларини интеграллаш усули ёрдамида тузинг. Эгилиш деформацияларининг энг катта қийматларини аниқланг. Керакли маълумотларни 6.1-жадвалдан олиг.

8.2-масалани ечишга оид кўрсатмалар.

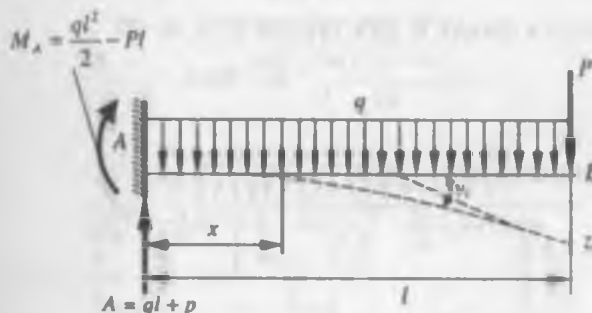
А. 8.3-шаклдаги консолни ўқининг деформация тенгламаларини тузинг.

Ечиш.

Консолнинг ихтиёрий x кесимидаги эгувчи моментнинг тенгласи қуйидагича бўлади

$$M(x) = M_A + Ax - q \frac{x^2}{2},$$

бу ерда $M_A = -\frac{ql^2}{2} - Pl$ ва $A = ql + P$ - қўзғалмас таянчдаги реактив эгувчи момент ва куч.



8.3-шакл

Эгувчи момент тенгласини эгилган ўқнинг дифференциал тенгласига қўямиз

$$\frac{d^2 z}{dx^2} = \frac{1}{EJ} \left(-\frac{ql^2}{2} - Pl + qlx + Px - \frac{qx^2}{2} \right).$$

Ҳосил бўлган дифференциал тенгламани икки марта интеграллаймиз:

$$\frac{dz}{dx} = \theta = \frac{1}{EJ} \left(-\frac{ql^2 x}{2} - Plx + ql \frac{x^2}{2} + P \frac{x^2}{2} - \frac{qx^3}{6} \right) + C;$$

$$z = \frac{1}{EJ} \left(-\frac{ql^2 x^2}{4} - Pl \frac{x^2}{2} + ql \frac{x^3}{6} + P \frac{x^3}{6} - \frac{qx^4}{24} \right) + Cx + D.$$

Бу тенгламалардаги интеграл доимийлари C ва D консолнинг чап томонидаги чегара шартларидан топилади. Консолнинг чап томон чегараси, яъни $x=0$ кесимда $z_1=0$ ва $\theta_1=0$. Бу шартларни оқоридаги тенгламаларга қўямиз

$$z_1 = D = 0 \text{ ва } \theta_1 = C = 0.$$

Шундай қилиб, кўрилатган тусиннинг деформация тенгламалари қуйидагича бўлади:

$$\theta(x) = \frac{1}{EJ_1} \left(-\frac{ql^2 x}{2} - Plx + ql \frac{x^2}{2} + P \frac{x^2}{2} - \frac{qx^3}{6} \right);$$

$$z(x) = \frac{1}{EJ_1} \left(-\frac{ql^2 x^2}{4} - Pl \frac{x^2}{2} + ql \frac{x^3}{6} + P \frac{x^3}{6} - \frac{qx^4}{24} \right).$$

Деформациялар ўзининг энг катта қийматларига консолнинг эркин учига (ўнг томон чегасида) эришади:

$$z(l) = -\frac{1}{EJ_1} \left(\frac{Pl^3}{3} + \frac{ql^4}{8} \right);$$

$$\theta(l) = -\frac{1}{EJ_1} \left(\frac{Pl^2}{2} + \frac{ql^3}{6} \right).$$

Агар тўсинга фақат P куч таъсир этса ($q = 0$)

$$z(l) = -\frac{1}{EJ_1} \frac{Pl^3}{3} \quad \text{ва} \quad \theta(l) = -\frac{1}{EJ_1} \frac{Pl^2}{2}$$

булади.

Агар тўсинга фақат q куч таъсир этса ($P = 0$)

$$z(l) = -\frac{1}{EJ_1} \frac{ql^4}{8} \quad \text{ва} \quad \theta(l) = -\frac{1}{EJ_1} \frac{ql^3}{6}$$

булади.

В. 8.4-шаклдаги тўсиннинг салқилиги ва кесимларнинг бурилиш бурчагини аниқланг.

Ечиш.

Ихтиёрий x кесимдаги эгувчи моментнинг тенгламасини ёзамиз

$$M(x) = Ax - \frac{qx^2}{2} = \frac{qlx}{2} - \frac{qx^2}{2}.$$

Эгилган ўқнинг дифференциал тенгламасига $M(x)$ ни қўямиз

$$\frac{d^2 z}{dx^2} = \frac{1}{EJ_1} \left(\frac{qlx}{2} - \frac{qx^2}{2} \right).$$

Икки марта интегралласак

$$\frac{dz}{dx} = \theta = \frac{1}{EJ_1} \left(\frac{qlx^2}{4} - \frac{qx^3}{6} \right) + C = \frac{qx^2}{EJ_1} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{2} \right) + C;$$

$$z(x) = \frac{1}{EJ_1} \left(\frac{qlx^3}{12} - \frac{qx^4}{24} \right) + Cx + D = \frac{qx^3}{12EJ_1} \left(1 - \frac{x}{2} \right) + Cx + D.$$

Бу тенгламалардаги интеграл доимийлари C ва D ларни таянчлардаги чегаравий шартлардан топамиз. Тўсиннинг A ва B таянчларининг устида, яъни $x=0$ ва $x=l$ кесимларда $z(0)=0$ ва $z(l)=0$ шартлар бажарилади. Чегаравий шартларни деформация тенгламаларига қўямиз:

$$z(0) = \frac{q0^1}{12EJ_1} \left(1 - \frac{0}{2} \right) + C \cdot 0 + D = 0;$$

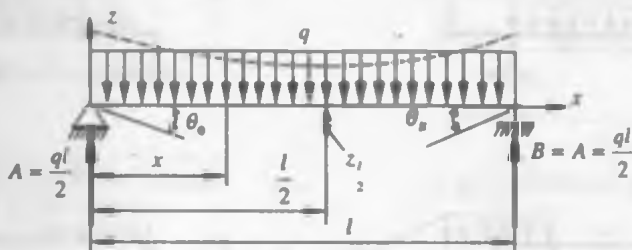
$$z(l) = \frac{ql^3}{12EJ_1} \left(1 - \frac{l}{2} \right) + Cl + D = 0.$$

Сўнги тенгликлардан $D = 0$ ва $C = -\frac{ql^1}{24EJ_1}$ ларни оламир.

Шундай қилиб, деформацияларнинг тенгламалари қуйидагича бўлади:

$$\theta(x) = \frac{qx^2}{EJ_1} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{2} \right) - \frac{ql^1}{24EJ_1};$$

$$z(x) = \frac{qx^3}{12EJ_1} \left(1 - \frac{x}{2} \right) - \frac{ql^3x}{24EJ_1}.$$



8.4-шакл

Салқиликнинг энг катта қийматини аниқлаш учун $z(x)$ функциянинг максимумини қидириш керак бўлади. Бунинг учун $z(x)$ функциядан x бўйича ҳосила олиб уни нолга тенглаштирамиз. Салқилик $z(x)$ дан олинган ҳосила $\theta(x)$ функцияга тенг. Демак,

$$\theta(x) = \frac{qx^2}{EJ_1} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{2} \right) - \frac{ql^1}{24EJ_1} = 0.$$

Бу тенглама $x_1 = \frac{l}{2}$ ечимга эга. Ечимни салқиликнинг тенгласига қўйсак,

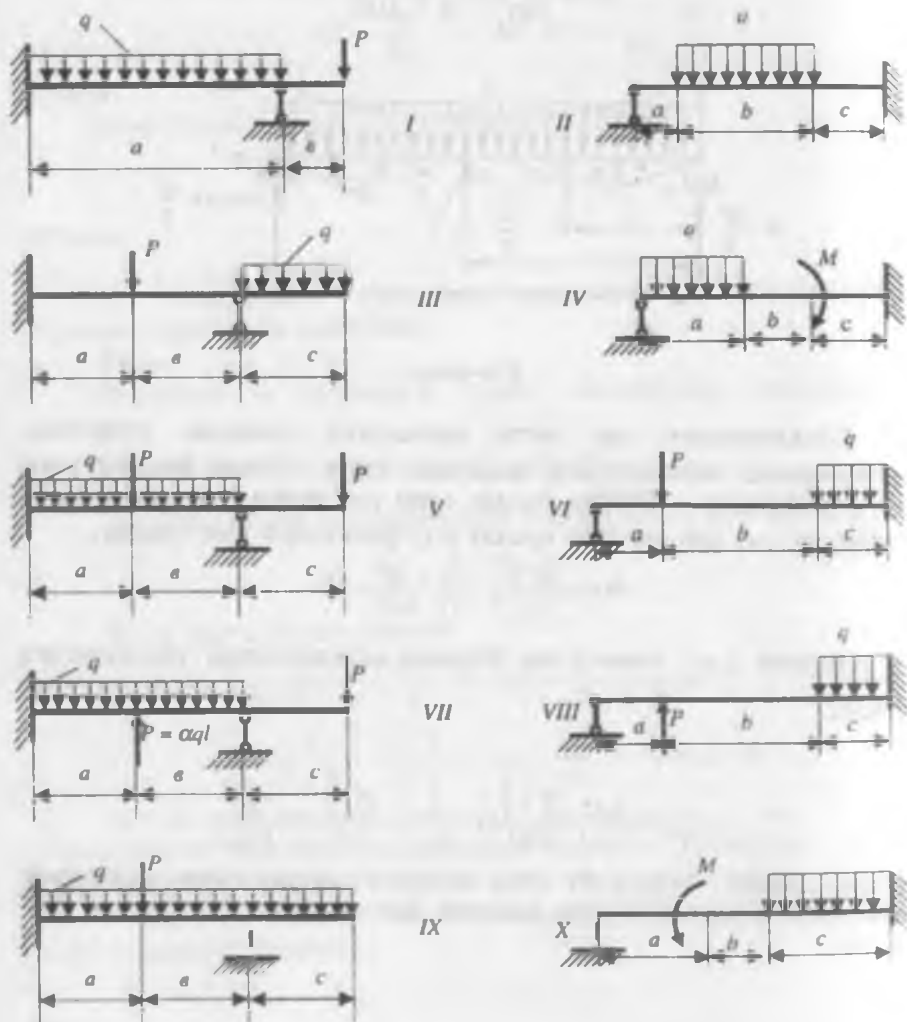
$$z(x)_{\max} = z\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{q\left(\frac{l}{2}\right)^3}{12EJ_1} \left(1 - \frac{l}{2 \cdot 2} \right) - \frac{ql^3 \cdot \frac{l}{2}}{24EJ_1} = -\frac{5ql^4}{384EJ_1},$$

қиймат келиб чиқади, бу ерда минус ишораси тўсин z ўқининг йўналишига қарама-қарши томонга эгилаётганини англатади (8.4-шакл).

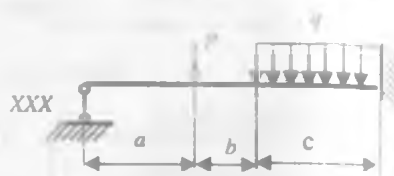
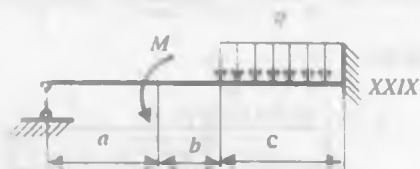
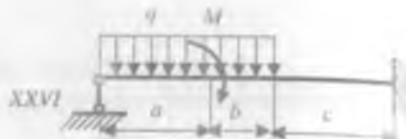
9. Тўғри эгилишда статик аниқмас тўсинлар
мустаҳкамлигини текшириш. Ўзгарувчан кесимли тўсинлар.

9.1-масала. Шаклдаги тўғри тўртбурчак кесимли ($b = \frac{h}{2} = 10 \text{ см}$) пўлат тўсин берилган. Қуйидагиларни бажаринг: 1) статик аниқмасликни бошланғич параметрлар усулини қўллаб очинг; 2) кесувчи куч ва эгувчи моментлар эпюраларини қуринг; 3) тўсин таянчлар орасидаги қисмининг энг катта салқилигини топинг. Керакли маълумотларни 9.1-жадвалдан олинг.

9.1-масаланинг шакллари







9.1-жадвал

№	a	b	c	q	M	P	№	a	b	c	q	M	P
	м			кН/м	кНм	кН		м			кН/м	кНм	кН
1	0.5	1.9	0.5	5	10	11	16	2.0	1.9	0.5	5	10	11
2	0.6	1.8	0.6	6	11	12	17	2.1	1.8	0.6	6	11	12
3	0.7	1.7	0.7	7	12	13	18	2.2	1.7	0.7	7	12	13
4	0.8	1.6	0.8	8	13	14	19	2.3	1.6	0.8	8	13	14
5	0.9	1.5	0.9	9	14	15	20	2.4	1.5	0.9	9	14	15
6	1.0	1.4	0.5	5	10	11	21	2.5	1.4	0.5	5	10	11
7	1.1	1.3	0.6	6	11	12	22	2.6	1.3	0.6	6	11	12
8	1.2	1.2	0.7	7	12	13	23	2.7	1.2	0.7	7	12	13
9	1.3	1.1	0.8	8	13	14	24	2.8	1.1	0.8	8	13	14
10	1.4	1.0	0.9	9	14	15	25	2.9	1.0	0.9	9	14	15
11	1.5	0.9	0.5	5	10	11	26	3.0	0.9	0.5	5	10	11
12	1.6	0.8	0.6	6	11	12	27	3.1	0.8	0.6	6	11	12
13	1.7	0.7	0.7	7	12	13	28	3.2	0.7	0.7	7	12	13
14	1.8	0.6	0.8	8	13	14	29	3.3	0.6	0.8	8	13	14
15	1.9	0.5	0.9	9	14	15	30	3.4	0.5	0.9	9	14	15

9.1-масалани ечишга оид кўрсатмалар.

А. 9.1-шаклдаги масаланинг статик аниқмаслигини очинг.

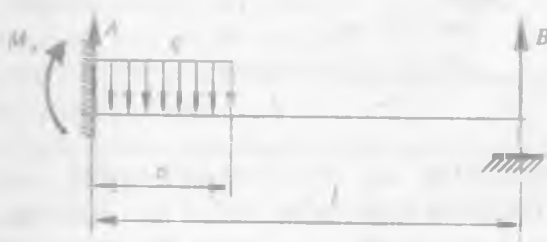
Ечиш.

Гусиннинг в кесимида туриб мувозанат тенгламасини езамиз

$$\sum M_A = 0 \text{ ёки } M_A - \frac{qa^2}{2} + Al = 0 \quad (a)$$

Бу тенгламадаги M_A реактив момент ва A реактив кучлар номаълум.

Иккинчи тенгламани тузамиз. Бунинг учун бошлангич параметрлар усулидан фойдаланиб қуйидаги тенгламаларни оламиз:



9.1-шакл

$$z(x) = z_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EJ} \left[\frac{M_A x^2}{2} + \frac{Ax^3}{6} - \frac{qx^3}{24} + \frac{q(x-a)^3}{24} \right];$$

$$\theta(x) = \theta_0 + \frac{1}{EJ} \left[M_A x + \frac{Ax^2}{2} - \frac{qx^2}{6} + \frac{q(x-a)^2}{6} \right]$$

Таянчлар устида қуйидаги чегаравий шартлар мавжуд:

1) $x=0$ кесимда $z(0)=0$ ва $\theta(0)=0$;

2) $x=l$ кесимда $z(l)=0$

Биринчи шартларни деформация тенгламаларига қўйиб, $z_0=0$, $\theta_0=0$ эканлигини аниқлаймиз

Иккинчи шартни $z(x)$ тенгламасига қўйиб

$$\frac{M_A l^2}{2} + \frac{Al^3}{6} - \frac{ql^3}{24} + \frac{q(l-a)^3}{24} = 0 \quad (б)$$

Юқоридаги (а) ва (б) тенгламалар M_A момент ва B кучни топиш учун хизмат қилади.

Б. 9.2-шаклдаги масаланинг статик аниққаслигини очинг

Ечиш

Тусиннинг A кесимида туриб мувозанат тенгламасини ёзамиз

$$\sum M_A = 0 \text{ ёки } M_A - \frac{qa^2}{2} + Bl = 0 \quad (в)$$

Бу тенгламадаги M_A реактив момент ва B реактив кучлар номаълум:

Эгилиш деформациялари тенгламаларини тузамиз

$$z(x) = z_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EJ} \left[\frac{Ax^3}{6} - \frac{qx^3}{24} + \frac{q(x-a)^3}{24} \right]; \quad \theta(x) = \theta_0 + \frac{1}{EJ} \left[\frac{Ax^2}{2} - \frac{qx^2}{6} + \frac{q(x-a)^2}{6} \right]$$

Таянчлар устида қуйидаги чегаравий шартлар мавжуд:

1) $x=0$ кесимда $z(0)=0$;

2) $x=l$ кесимда $z(l)=0$ ва $\theta(l)=0$.



9.2-шакл

Биринчи шартни $z(x)$ тенгламасига қўйиб $z_0 = 0$ эканлигини аниқлаймиз. Иккинчи шартларни $z(x)$ ва $\theta(x)$ тенгламаларга қўямиз:

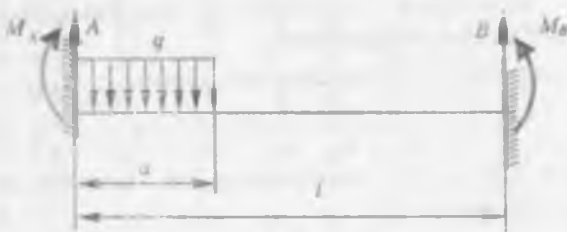
$$\theta_0 + \frac{1}{EI} \left[\frac{Al^2}{6} - \frac{ql^3}{24} + \frac{q(l-a)^3}{24} \right] = 0; \quad \theta_0 + \frac{1}{EI} \left[\frac{Al^2}{2} - \frac{ql^3}{6} + \frac{q(l-a)^3}{6} \right] = 0. \quad (2)$$

Юқоридаги (1) ва (2) тенгламалар A куч, M_b момент ва θ_0 бурчакларни топиш учун хизмат қилади.

В. 9.3-шаклдаги масаланинг статик аниқмаслигини очинг.

Ечиш.

Бу масалада M_A , M_B реактив моментлар ва A , B расактив кучлар номаълум, яъни масала икки марта статик аниқмас.



9.3-шакл

Статиканинг мувозанат тенгламаларини ёзамиз:

$$\sum M_i = 0 \quad \text{ёки} \quad M_A + \frac{qa^2}{2} - Bl - M_B;$$

$$\sum M_k = 0 \quad \text{ёки} \quad M_B - M_A + \frac{qa^2}{2} - Al = 0.$$

Эгилиш деформациялари тенгламаларини ёзамиз:

$$z(x) = z_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EI} \left[\frac{M_0 x^2}{2} + \frac{Ax^3}{6} - \frac{qx^4}{24} + \frac{q(x-a)^4}{24} \right];$$

$$\theta(x) = \theta_0 + \frac{1}{EI} \left[M_0 x - \frac{Ax^2}{2} - \frac{qx^3}{6} + \frac{q(x-a)^3}{6} \right].$$

Таянчларни устида қуйидаги чегаравий шартлар мавжуд:

1) $x=0$ кесимда $z(0)=0$ ва $\theta(0)=0$;

2) $x=l$ кесимда $z(l)=0$ ва $\theta(l)=0$.

Биринчи шартларни деформация тенгламаларига қуйиб, $z_0=0$, $\theta_0=0$ эканлигини аниқлаймиз.

Иккинчи шартларни деформация тенгламаларига қуямиз:

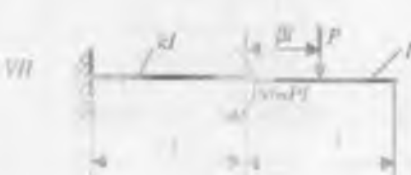
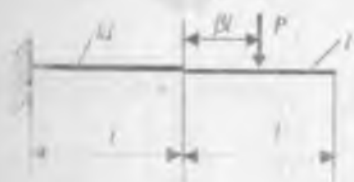
$$\frac{(EI)^4}{EI} + \frac{Al^3}{6} - \frac{ql^4}{24} + \frac{q(l-a)^4}{24} = 0; \quad M_0 l + \frac{Al^2}{2} - \frac{ql^3}{6} + \frac{q(l-a)^3}{6} = 0.$$

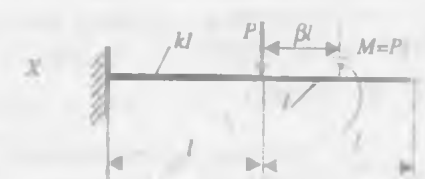
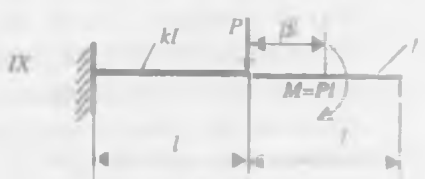
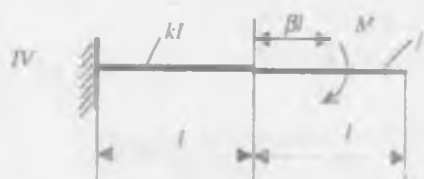
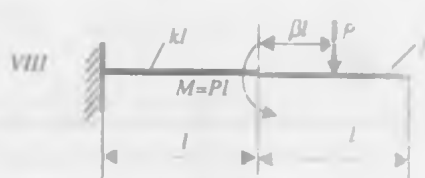
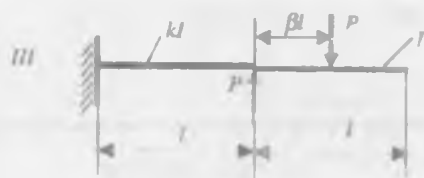
Бу тенгламалар юқоридаги иккита мувозанат тенгламалари билан биргаликда бўлиб, M_0 , M , ва A , B номаълумларни аниқлаш учун хизмат қилади.

9.2-масала. 9.1-масаланинг шаклларида келтирилган тўсилар учун қуйидагиларни бажаринг: 1) таянчлардаги реактив куч ва моментларни аниқланг; 2) кесувчи куч ва эгувчи моментлар эюраларини қуринг; 3) эгилиш деформацияларининг қийматларини тўсинни таянчлар орасидаги қисмида учта нуқтада ва қосол қисмида иккита нуқтада ҳисобланг ва улар эюраларини қуринг. Керакли маълумотларни 9.1-жадвалдан олинг.

9.3-масала. Шаклдаги ўзгарувчан кесимли тўсинни эркин эгилишнинг эгилишини (салқилиги) аниқланг. Керакли маълумотларни 9.2-жадвалдан олинг.

9.3-масаланинг шакллари.





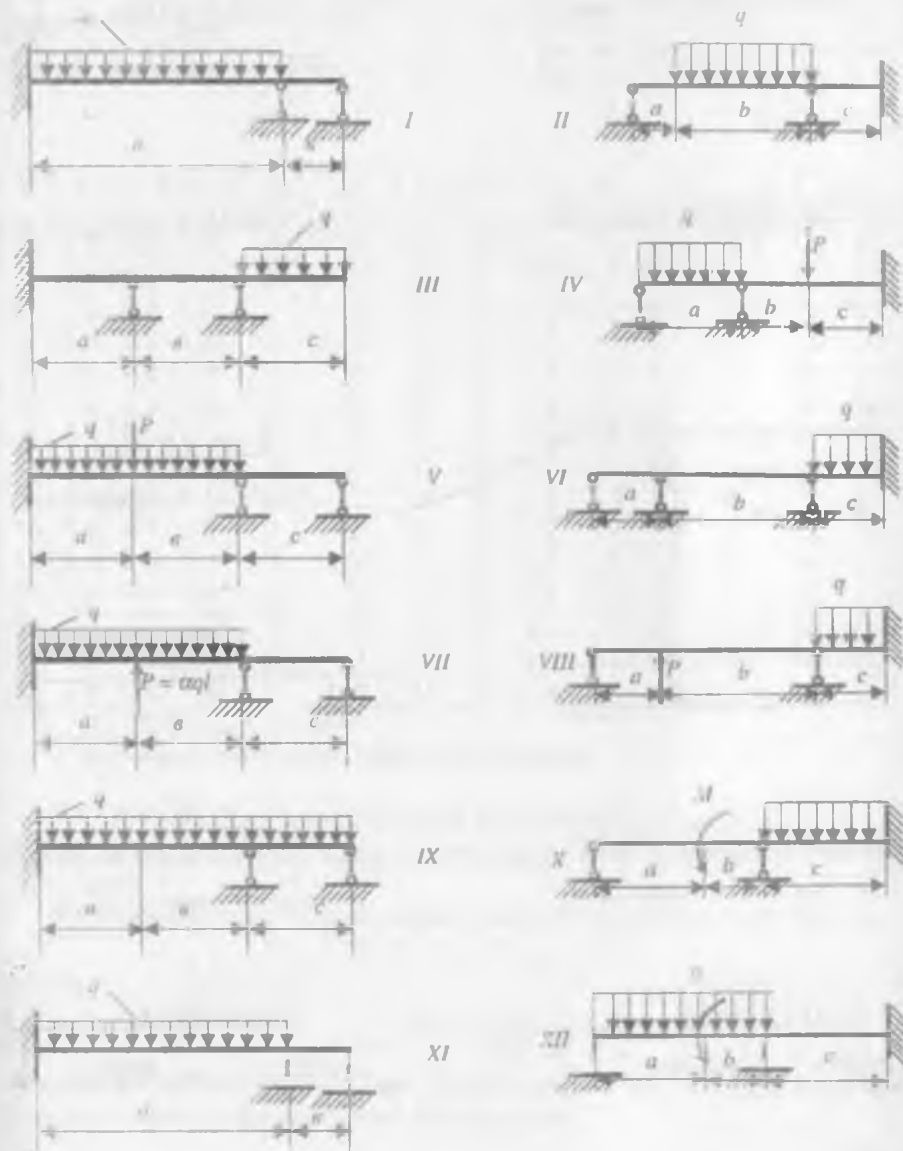
9.2-жалва

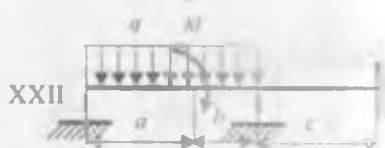
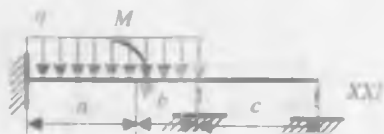
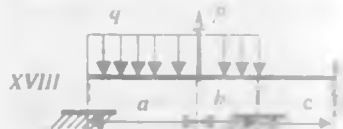
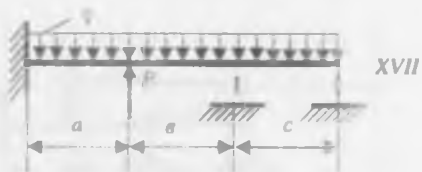
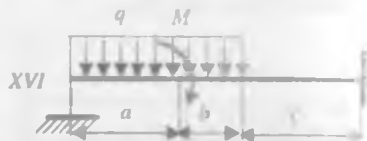
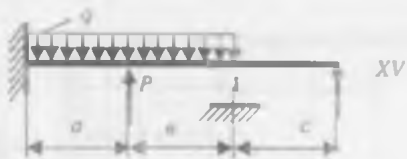
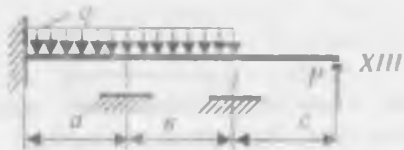
№	Шакл	β	κ	№	Шакл	β	κ
1	I	0.1	1.5	16	VI	1.0	6
2	II	0.2	2	17	VII	0.9	7
3	III	0.3	3	18	VIII	0.8	8
4	IV	0.4	4	19	IX	0.7	9
5	V	0.5	5	20	X	0.6	10
6	VI	0.6	6	21	I	0.1	1.5
7	VII	0.7	7	22	II	0.2	2
8	VIII	0.8	8	23	III	0.3	3
9	IX	0.9	9	24	IV	0.4	4
10	X	1.0	10	25	V	0.5	5
11	VI	1.0	6	26	VI	0.6	6
12	VII	0.9	7	27	VII	0.7	7
13	VIII	0.8	8	28	VIII	0.8	8
14	IX	0.7	9	29	IX	0.9	9
15	X	0.6	10	30	X	1.0	10

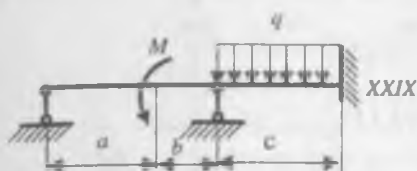
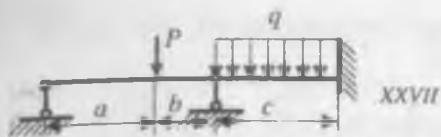
10. Туғри эгилишда кўп таянчли балкаларни ҳисоблаш. Қийишқ эгилиш

10.1-масала. Шаклдаги кўп таянчли тўсинларни таянч реакцияларини уч момент тенгламалари ёрдамида аниқлаш ва ўртақ юзини топиш. Керакли маълумотларни 10.1-жадвалдан олиш ($[\sigma] = 160 \text{ МПа}$).

10.1-масаланинг шакллари







10.1-жадвал

№	a	b	c	q	M	P	№	a	b	c	q	M	P
	м			кН/м	кНм	кН		м			кН/м	кНм	кН
1	1.0	0.5	1.9	5	10	11	16	2.0	0.5	1.9	5	10	11
2	1.1	0.6	1.8	6	11	12	17	2.1	0.6	1.8	6	11	12
3	1.2	0.7	1.7	7	12	13	18	2.2	0.7	1.7	7	12	13
4	1.3	0.8	1.6	8	13	14	19	2.3	0.8	1.6	8	13	14
5	1.4	0.9	1.5	9	14	15	20	2.4	0.9	1.5	9	14	15
6	1.0	0.5	1.4	5	15	16	21	2.5	0.5	1.4	5	15	16
7	1.1	0.6	1.3	6	10	12	22	2.6	0.6	1.3	6	10	12
8	1.2	0.7	1.2	7	11	13	23	2.7	0.7	1.2	7	11	13
9	1.3	0.8	1.1	8	12	14	24	2.8	0.8	1.1	8	12	14
10	1.4	0.9	1.0	9	13	15	25	2.9	0.9	1.0	9	13	15
11	1.5	0.5	0.9	5	14	11	26	3.0	0.5	0.9	5	14	11
12	1.6	0.6	0.8	6	15	12	27	3.1	0.6	0.8	6	15	12
13	1.7	0.7	0.7	7	10	13	28	3.2	0.7	0.7	7	10	13
14	1.8	0.8	0.6	8	11	14	29	3.3	0.8	0.6	8	11	14
15	1.9	0.9	0.5	9	12	15	30	3.4	0.9	0.5	9	12	15

10.1-масалани ечишга доир кўрсатмалар.

А. 10.1-шаклдаги куп таянчли тўсиннинг кўндаланг кесимларидаги кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини қуриш.

Ечиш.

Уч момент тенгламаларининг умумий қурилиши қуйидагича

$$M_{n-1}I_n + 2M_n(I_n + I_{n+1}) + M_{n+1}I_{n+1} = -6V_n^p,$$

бу ерда

$$V_n^p = \frac{\omega_n a_n}{l_n} + \frac{\omega_{n+1} b_{n+1}}{l_{n+1}}$$

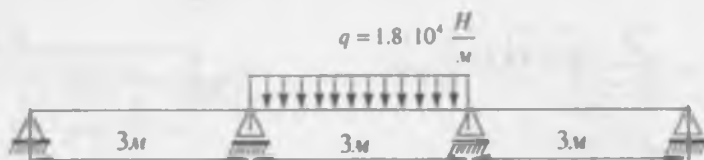
тўсиннинг иккита ажратилган бўлакчаларининг таъсирланишидан ўртадаги таянчда ҳосил бўлган фиктив куч.

Курилаган масала учун асосий система тузиб, уч момент тенгламаларини ёзамиз (10.2, а-шакл):

$$M_1 l_1 + 2M_1(l_1 + l_2) + M_2 l_2 = -6EJ_1(\theta_B^1 + \theta_A^2); \quad (a)$$

$$M_1 l_2 + 2M_2(l_2 + l_1) + M_1 l_1 = -6EJ_2(\theta_B^2 + \theta_A^1), \quad (б)$$

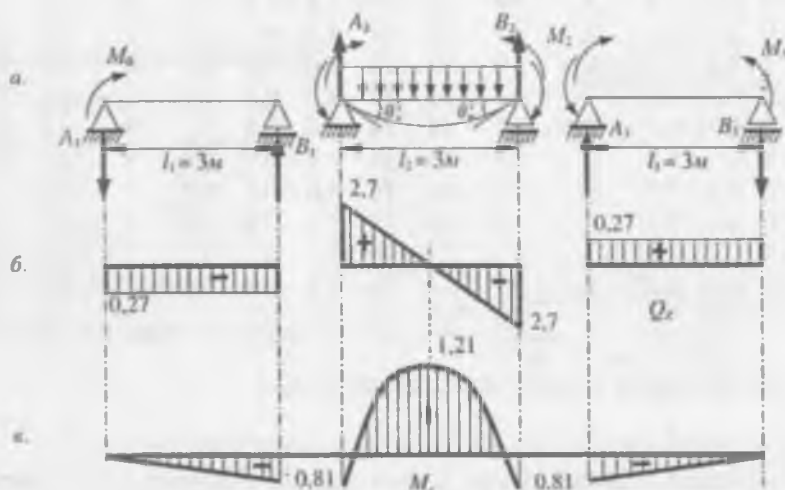
бу ерда $M_A = M_1 = 0$, $\theta_A^1 = \theta_B^2 = 0$.



10.1-шакл

Қолган таянч кесимларнинг бурилиш бурчакларининг қийматларини махсус жадвалдан оламиз:

$$\theta_A^2 = -\frac{ql_2^3}{24EJ_1}; \quad \theta_B^2 = \frac{ql_2^3}{24EJ_2}.$$



10.2-шакл

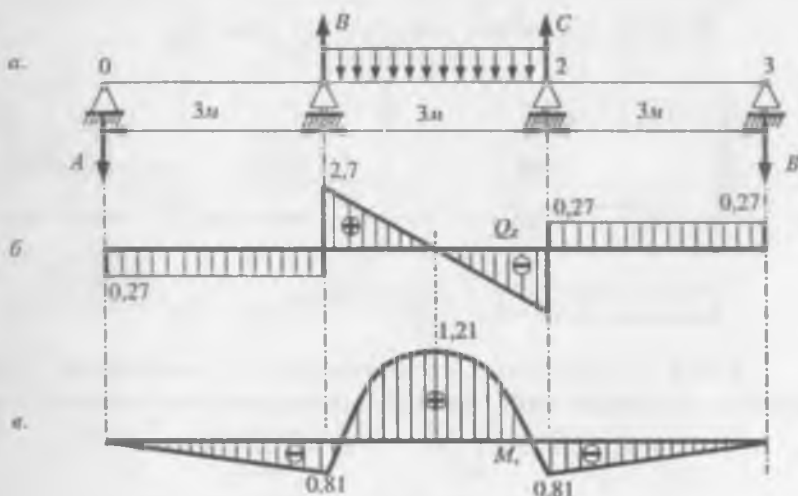
Бу ифодаларни (а) ва (б) тенгламаларга қўямиз:

$$12M_1 + 3M_2 = -6EJ_1 \left(0 + \frac{1.8 \cdot 3^3}{24EJ_1} \right); \quad 3M_1 + 12M_2 = -6EJ_2 \left(\frac{1.8 \cdot 3^3}{24EJ_2} + 0 \right).$$

Бу ердан

$$4M_1 + M_2 = -4.05, \quad M_1 + 4M_2 = -4.05$$

$$M_1 = 0.81 \cdot 10^4 \text{ Нм}, \quad M_2 = 0.81 \cdot 10^4 \text{ Нм}.$$



10.3-шакл

Таянч моментларининг бу қийматларини ўрнига қўямиз ва ажратилган оддий тўсинчалардаги ташқи кучларни эътиборга олиб уларнинг қўндаланг кесимларидаги кесувчи куч ва эгувчи моментлар эпюраларини курамиз (10.2, б ва в-шакллар).

Ҳосил бўлган эпюраларни ёнма-ён қўйиб чизиб чиқилса, қўрилайтган тўсиннинг қўндаланг кесимларидаги кесувчи ва эгувчи момент эпюралар ҳосил бўлади (10.3, а ва б-шакллар).

Б. 10.4-шаклдаги кўп таянчли тўсинни қўндаланг кесимларидаги кесувчи куч ва эгувчи моментлар эпюраларини қўринг.

Ечиш.

Тўсинни оддий тўсинчаларга ажратиб асосий система тузамиз (10.5-шакл). Қўзғалмас қилиб маҳкамланган таянчнинг моментини топиш учун бундай таянчни қўзғалмас шарнирли таянч билан алмаштириб, бикрлиги чексиз қийматга эга ва узунлиги l_0 нолга тенг оддий тўсинча қўшамиз. Ўнг томондаги консолни таъсирини $M_1 = -M$ момент билан алмаштирамиз. Қўрилайтган масала уч марта статик аниқмас бўлгани учун учта уч момент тенгламаларини ёзамиз:

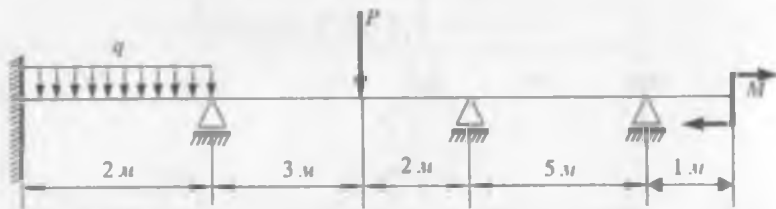
$$M_1 l_1 + 2M_1(l_1 + l_2) + M_2 l_2 = -6EI_0(\theta_1' + \theta_2'); \quad (a)$$

$$M_2 l_2 + 2M_2(l_2 + l_3) + M_3 l_3 = -6EI_0(\theta_2' + \theta_3'), \quad (b)$$

$$M_2 l_1 + 2M_3(l_1 + l_4) + M_4 l_4 = -6EJ_1(\theta_2^1 + \theta_4^1),$$

(d)

бу ерда $M_2 = 0$, $l_1 = 0$, $\theta_2^1 = 0$, $M_4 = -M = -3 \cdot 10^4 \text{ Нм}$.



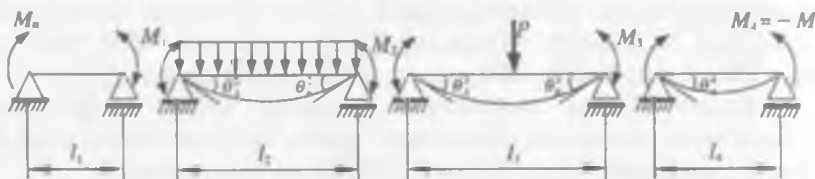
10.4-шакл

Тусин кўндаланг кесимларининг таянчларни устидаги бурилиш бурчакларининг қийматларини махсус жадвалдан оламиз:

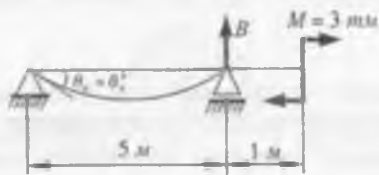
$$\theta_4^1 = -\frac{ql_1^3}{24EJ_1} = -\frac{32 \cdot 10^4}{6EJ_1}; \quad \theta_4^1 = \frac{Pab(l_1 + b)}{6EJ_1 l_1} = \frac{33.6 \cdot 10^4}{6EJ_1};$$

$$\theta_2^2 = \frac{ql_2^3}{24EJ_2} = \frac{32 \cdot 10^4}{6EJ_2}; \quad \theta_2^2 = \frac{Pab(l_1 + a)}{6EJ_2 l_2} = \frac{38.4 \cdot 10^4}{6EJ_2};$$

бу ерда $a = 3 \text{ м}$, $b = 2 \text{ м}$.



10.5-шакл



10.6-шакл

Агар бурилиш бурчакларининг қиймати махсус жадвалларда бўлмаса, уни алоҳида аниқлаш керак бўлади. Кўрилатган масалада θ_4^1 ни қиймати махсус жадвалларда йўқ. Уни топиш учун тўсинни

Бошланғич параметрлар тенгласига $z(0) = 0$ ва $z(5) = 0$ чегаравий шартларни қўямиз

$$\theta_0 = \frac{2.5}{EI_1} = \theta_4.$$

Бурилиш бурчакларининг қийматларини (θ) , (z) ва (d) тенгламаларга қўйиб биргаликда ечамиз. Натижада $M_1 = 2.65 \text{ Нм}$, $M_2 = 2.71 \cdot 10^4 \text{ Нм}$, ва $M_3 = 1.24 \text{ Нм}$ эканлиги келиб чиқади.

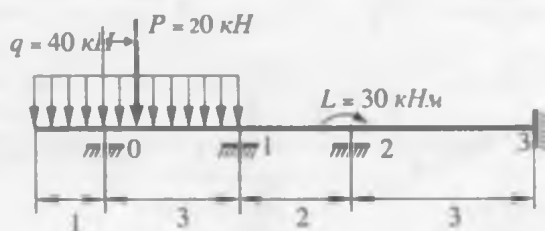
Ажратилган тўсинчаларга M_1 , M_2 , M_3 моментларнинг қийматларини ва ташқи кучларни қўйиб, улардаги кесувчи куч ва эгувчи моментлар эпюраларини қурамиз (10.7-шакл).

Ажратилган тўсинларнинг кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини туташтирсак қурилаётган масаланинг кесувчи куч ва эгувчи момент эпюралари келиб чиқади (10.8-шакл).

В. 10.9, а)-шаклдаги тўсиннинг қундаланг кесимларидаги кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини қуринг. Сортамент жадвалидан пулат қўштавр қундаланг кесимининг юзини тангланг, $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$, $E = 2 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

Ечиш.

Таянчлардаги учта номаълум реактив моментларни M_1 , M_2 ва M_3 орқали белгилаймиз ($M_0 = -40 \cdot 0.5 = -20 \text{ кНм}$).



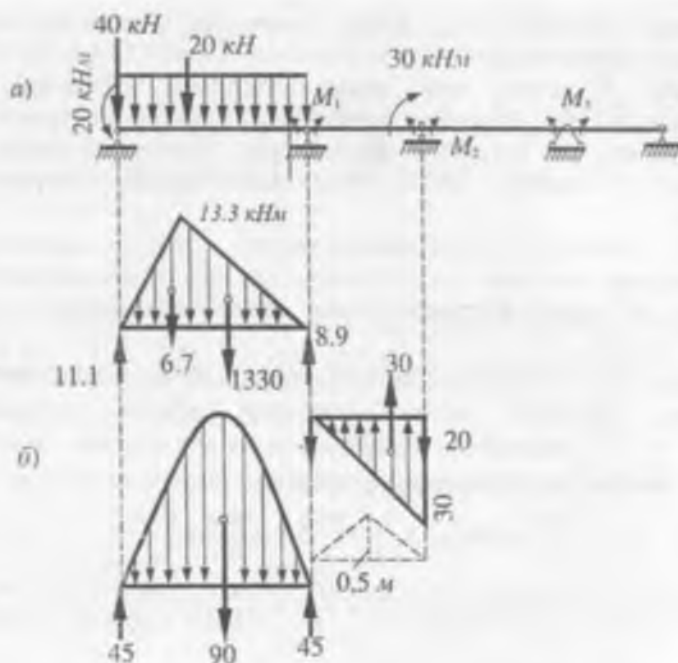
10.9-шакл

Қурилаётган мисолда:

$$M_0 l_1 + 2M_1(l_1 + l_2) + M_2 l_2 = -6V_1^0;$$

$$M_1 l_2 + 2M_2(l_2 + l_3) + M_3 l_3 = -6V_2^0; \quad M_2 l_3 + 2M_3 l_3 = -6V_3^0.$$

Фиктив реакция кучларини аниқлаймиз. Бунинг учун балканинг ҳар бир бўлакчаларига эпюралардаги моментлар таъсир этади деб қараймиз (10.10-шакл), Ташқи 30 кНм момент иккинчи бўлакчага таъсир этади. Шуларни эътиборга олсак: $V_1^0 = 8.9 + 45 - 10 = 43.9 \text{ кНм}$, $V_2^0 = -20 \text{ кНм}$, $V_3^0 = 0$ эканлиги келиб чиқади.



10.10-шакл

Фиктив кучлар қийматларини уч момент тенгламаларига қўйиб $M_1 = -24.4 \text{ кНм}$, $M_2 = 19.9 \text{ кНм}$, $M_3 = 9.9 \text{ кНм}$ эканлигини аниқлаймиз. Бу қийматлар ёрдамида ажратилган тўсинчалардаги кесувчи куч ва эгувчи момент эпюралари қурилади.

Таянчлардаги реакция кучлари қуйидагича бўлади:

$$V_0 = 111.9 \text{ кН}, \quad V_1 = 75.2 \text{ кН}, \quad V_2 = -17 \text{ кН}, \quad V_3 = 9.9 \text{ кН}.$$

Эгувчи моментнинг энг катта қиймати $M_{\max} = 33.4 \text{ кНм}$ га тенг бўлиб, у тўсиннинг $x = 1.3 \text{ м}$ кесимида тўғри келади.

Тўсиннинг кесимини танлаймиз

$$W_s = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = 240 \text{ см}^3.$$

Сортамент жадвалидан № 22а қўштаврни танлаймиз, бу ҳолда $W_s = 254 \text{ см}^3$ бўлади.

Г. 10.11, а-шаклдаги қўп таянчли тўсин кундаланг кесимларидаги кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини қуринг.

Тўсиннинг булакчалари турли инерция моментларига эга эканлигини инобатга олинг.

Ечиш. Тўсинни чап томон чегараси қўзғалмас қилиб маҳкамланган. Бу таянччи қўзғалмас шарнирли таянч билан алмаштирамиз ва узунлиги нолга тенг бўлган қўшимча тўсин киритамиз. Натижада 10.11, б-шаклдаги ҳисоб лойиҳасига эга бўламиз.

Уч момент тенгламаларининг унғ томонларидаги қийматларини аниқлаш учун тўсинни ҳар бир булакчаларини оддий тўсинлар деб қараб, улардаги эғувчи момент эпюраларини қурамиз (10.11, в-шакл).

Биринчи ва иккинчи таянчлардаги M_1 ва M_2 эғувчи моментлар номаълум, учинчи таянч устидаги эғувчи момент эса $M_3 = -P \cdot l = -5 \cdot 10^4 \cdot 1 = -5 \cdot 10^4 \text{ Нм}$ бўлади.

Уч момент тенгламаларини тузамиз:

$$\begin{aligned} \frac{M_1 l_1}{J_1} + 2M_2 \left(\frac{l_1}{J_1} + \frac{l_2}{J_2} \right) + \frac{M_3 l_2}{J_2} &= -\frac{6\omega_1 a_1}{l_1 J_1} - \frac{6\omega_2 b_1}{l_2 J_2}, \\ \frac{M_2 l_2}{J_2} + 2M_1 \left(\frac{l_2}{J_2} + \frac{l_1}{J_1} \right) + \frac{M_3 l_1}{J_1} &= -\frac{6\omega_2 a_2}{l_2 J_2} - \frac{6\omega_1 b_2}{l_1 J_1}, \end{aligned}$$

бу ерда

$$M_0 = 0; \quad M_3 = -5 \cdot 10^4 \text{ Нм}; \quad l_1 = 0; \quad l_2 = 6 \text{ м}; \quad l_3 = 4 \text{ м}; \quad J_2 = 2J; \quad J_1 = J;$$

$$\omega_1 = 0; \quad \omega_2 b_2 = -\frac{5 \cdot 3}{2} \cdot 4 + \frac{5 \cdot 3}{2} \cdot 2 = -15; \quad \omega_2 a_2 = -\frac{5 \cdot 3}{2} \cdot 2 + \frac{5 \cdot 3}{2} \cdot 2 = 15;$$

$$\omega_1 b_1 = \frac{3 \cdot 4}{2} \cdot 2 + \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 = 18.$$

Иккинчи бўлакчада эғувчи момент эпюраси парабола шаклида бўлади. Унинг ординатаси $\frac{ql^2}{8} = \frac{3 \cdot 2^2}{8} \cdot 10^4 = \frac{3}{2} \cdot 10^4 \text{ Нм}$ га тенг.

Шундай қилиб,

$$\begin{aligned} \frac{2M_1 \cdot 6}{2J} + M_2 \frac{6}{2J} &= -\frac{6 \cdot (-15)}{6 \cdot 2J}, \\ \frac{M_1 \cdot 6}{2J} + 2M_2 \left(\frac{6}{2J} + \frac{4}{J} \right) &= \frac{5 \cdot 4}{J} = \frac{6 \cdot 15}{6 \cdot 2J} - \frac{6 \cdot 18}{4J}. \end{aligned}$$

Бу ердан

$$4M_1 + 2M_2 = 5, \quad 6M_1 + 28M_2 = -29.$$

Ҳосил бўлган тенгламаларни ечамиз:

$$M_1 = 1.98 \cdot 10^4 \text{ Нм} \quad \text{ва} \quad M_2 = -1.46 \text{ Нм}.$$

Тўсиннинг ҳар биқ бўлакчалари учун эғувчи моментларни ҳисоблаймиз:

- биринчи ва иккинчи таянчлар орасидаги бўлакчада ($0 \leq x \leq 3 \text{ м}$)

$$M = -\frac{5}{3}x + 1.98 = 1.98 - 2.24x, \quad M(0) = 1.98 \cdot 10^4 \text{ Нм}, \quad M(3) = 1.98 - 2.24 \cdot 3 = -4.74 \cdot 10^4 \text{ Нм};$$

- ($3 \leq x \leq 6 \text{ м}$)

$$M = 10 - \frac{5}{2}x + 1.98 = 11.98 - 2.24x \quad M(3) = 5.26 \cdot 10^4 \text{ Нм}, \quad M(6) = -1.46 \cdot 10^4 \text{ Нм}$$

- иккинчи ва учинчи таянчлар орасидаги булакчада ($0 \leq x \leq 2 \text{ м}$)

$$M = 4.5x - \frac{3x^2}{2} - 1.46 + \frac{-5+1.46}{4}x = 1.46 + 3.615x - 1.5x^2$$

$$M(0) = 1.46 \cdot 10^4 \text{ Нм}, \quad M(2) = -0.23 \cdot 10^4 \text{ Нм}$$

($2 \leq x \leq 4 \text{ м}$)

$$M = 4.5x - 3.2(x-1) - 1.46 + \frac{-5+1.46}{4}x = 4.54 - 2.385x$$

$$M(2) = -0.23 \cdot 10^4 \text{ Нм}, \quad M(4) = -5 \cdot 10^4 \text{ Нм}$$

Ю қоридаги маълумотлар асосида қурилган эгувчи момент эпюраси 10.11, 2-ш аклда келтирилган.

Эгувчи момент тенгламасини буйича дифференциаллаб кесувчи куч тенгламасини ҳосил қиламиз:

- биринчи ва иккинчи таянчлар орасидаги булакчада ($0 \leq x \leq 2 \text{ м}$)

$$Q = 3.615 - 3x, \quad Q(0) = 3.615 \cdot 10^4 \text{ Н}, \quad Q(2) = 3.615 - 3 \cdot 2 = 2.385 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$Q = -2.385 \cdot 10^4 \text{ Н}, \quad 2 \leq x \leq 4 \text{ м}$$

Кесувчи куч нолга тенг бўлган кесимнинг абсциссасини аниқлаймиз. Бундай кесим оралиқда жойлашган:

$$Q = 3.615 - 3x_0 = 0, \quad \text{бу ердан} \quad x_0 = \frac{3.615}{3} = 1.205 \text{ м}$$

Бу кесимда эгувчи моментнинг қиймати $M_0 = 0.72 \cdot 10^4 \text{ Нм}$ га тенг. Ю қоридаги маълумотлардан фойдаланиб кесувчи куч эпюрасини қурамиз (10.11, 3-ш акл).

Таянчлардаги реактив кучларни аниқлаймиз:

- биринчи таянчда

$$R_1 = -2.24 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

- иккинчи таянчда

$$R_2 = 3.615 - (-2.24) = 5.855 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

- учинчи таянчда

$$R_3 = 5 - (-2.385) = 7.385 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Ҳамма куч ва моментлар таъсиридаги тусунининг умумий қурулиши 10.11, 4-ш аклда келтирилган.

Текш. Агар ҳамма реактив куч ва моментлар тўғри аниқланган бўлса статиканинг мувозанат тенгламалари ўришни бўлади:

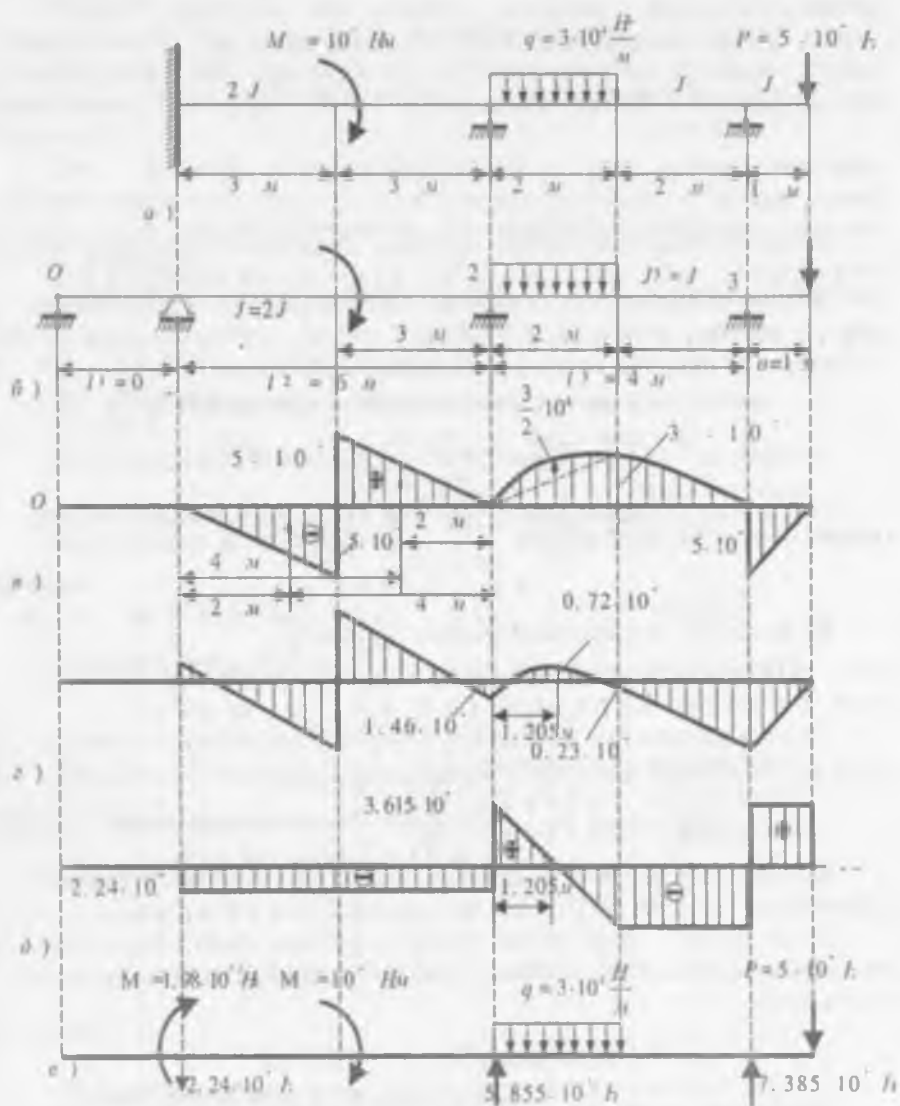
$$\sum Z = -2.24 + 5.855 + 7.385 - 3 \cdot 2 - 5 = 13.24 - 13.24 = 0$$

$$\sum M_1 = 1.98 + 10 - 5.855 \cdot 6 - 7.385 \cdot 10 + 3 \cdot 2 \cdot 7 + 5 \cdot 11 = 108.98 - 108.98 = 0$$

Ундан таш қари, таянчлар устида эгилиш деф ормацияси (салқилик) ҳам нолга тенг бўлади. Бу шартни иккинчи таянч устида бажарилиши ни бошланғич параметрлар усули ёрдамида текшираимиз. Қурилаётган масалада

$$\theta_0 = 0, \quad z_0 = 0, \quad M_0 = 1.98 \cdot 10^4 \text{ Нм}$$

$Q_0 = 2.24 \cdot 10^4 \text{ Н}$. Демак, бош лангич параметрлар тенгласидаги
салқиликнинг қиймати



10.11-шакл

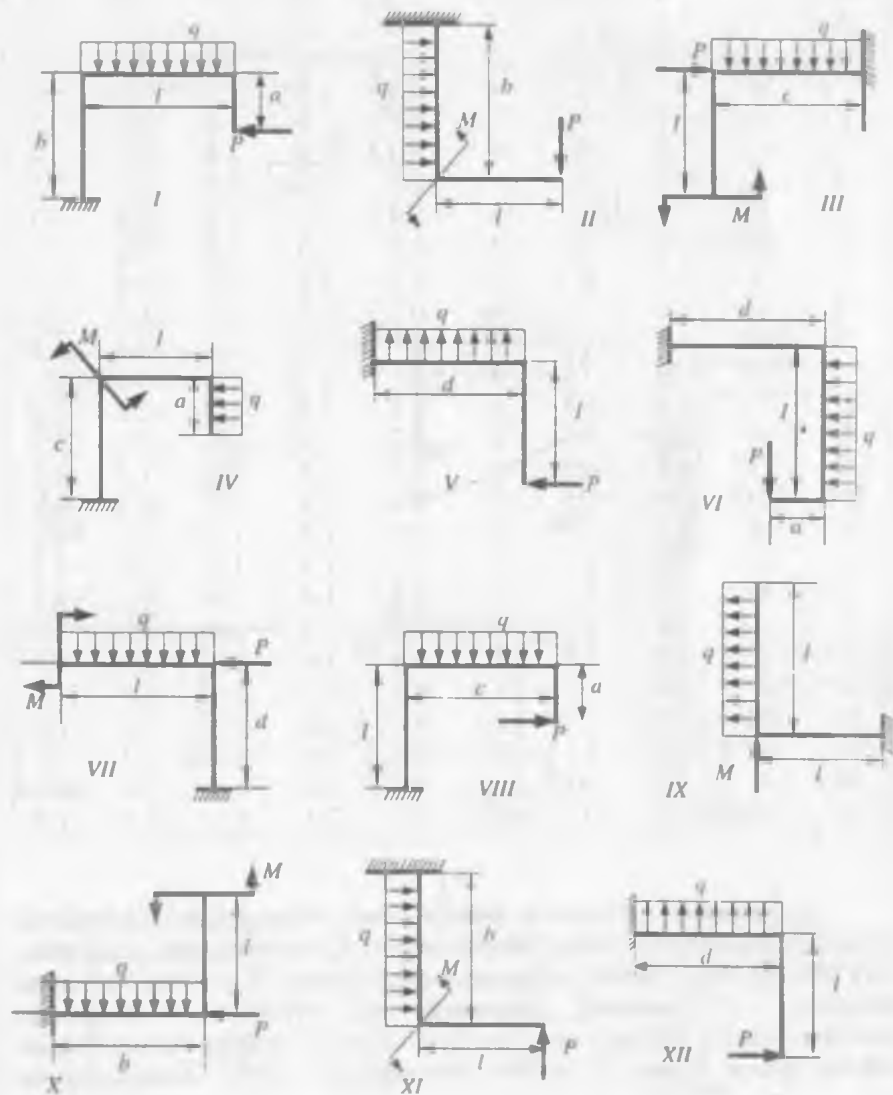
$$EJ_z = \frac{1.98 \cdot 6^3}{2} - \frac{2.24 \cdot 6^3}{2} + \frac{10 \cdot 3^3}{2} = \frac{3^3}{2} (7.92 - 7.92) = 0$$

яъни иккинчи таянч устида салқилик нолга тенг.

11. Силиқ стерженлар ва рамаз муздамчилигини текшириш

11.1-масала. Шаклдаги силиқ стерженлар кундаланг кесимларидаги эгувчи момент, буйлама ва кесувчи кучлар эпюраларини куринг. Керакли маълумотларни 11.1-жадвалдан олинг.

11.1-масаланинг шакллари

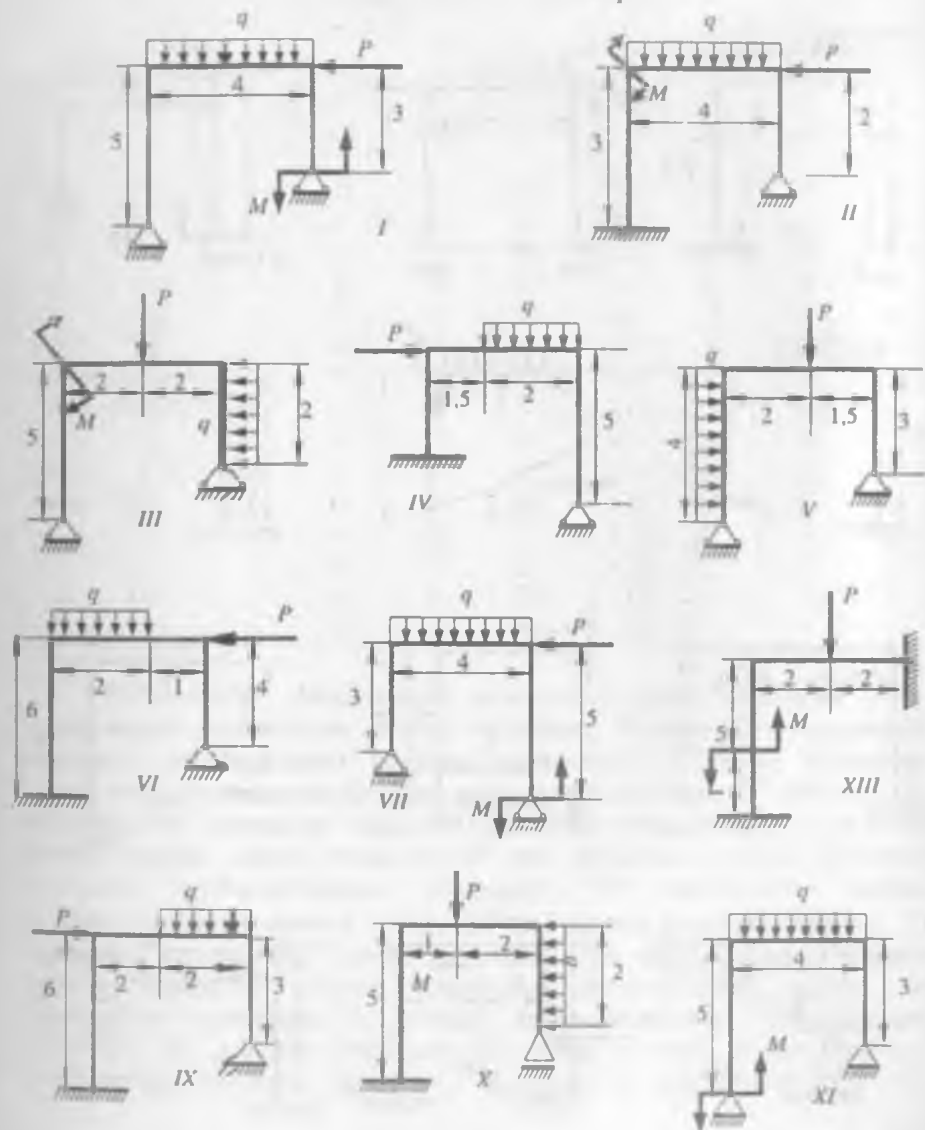


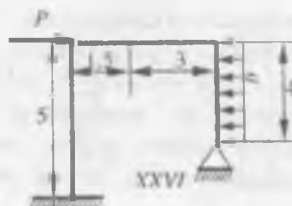
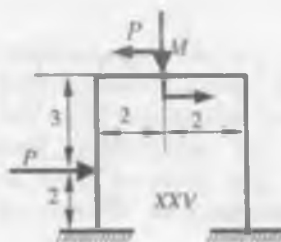
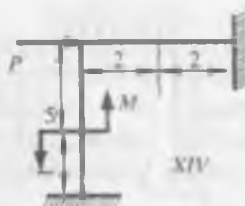
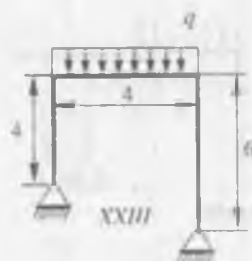
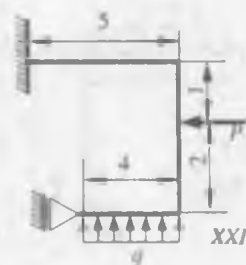
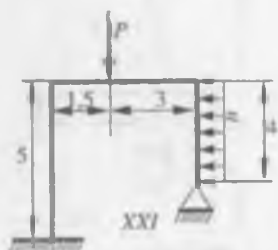
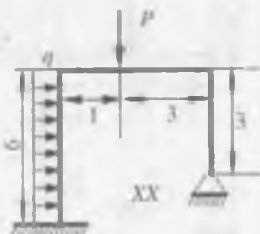
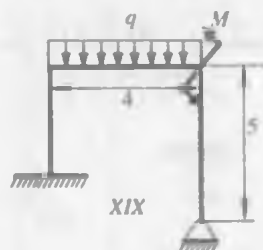
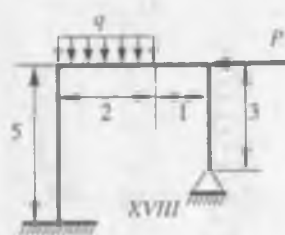
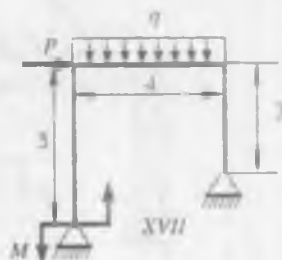
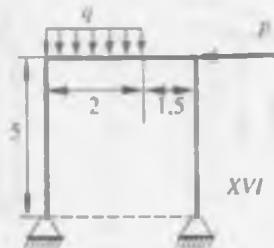
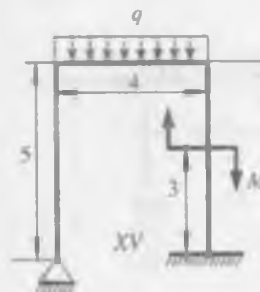
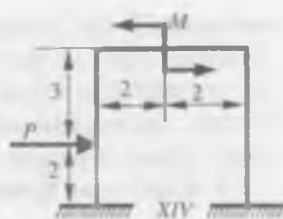
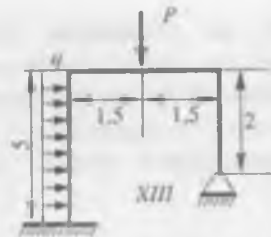
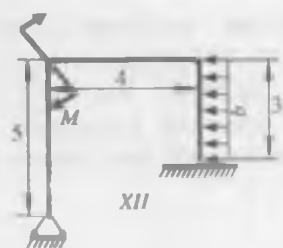
№	Шакл	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$
		$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$	$\frac{P}{M}$
1	I	1	2	3	0.2	1.2	1.1	1.3	1.1
2	II	2	3	4	0.3	1.3	1.2	1.4	1.2
3	III	3	4	5	0.4	1.4	1.3	1.5	1.3
4	IV	4	5	6	0.5	1.5	1.4	1.6	1.4
5	V	5	6	7	0.6	1.6	1.5	1.7	1.5
6	VI	6	7	3	0.7	1.7	1.6	1.8	1.1
7	VII	7	8	4	0.8	1.8	1.7	1.9	1.2
8	VIII	8	9	5	0.9	1.9	1.8	2.0	1.3
9	IX	9	10	6	0.2	2.0	1.9	2.1	1.4
10	X	10	11	7	0.3	2.1	2.0	1.3	1.5
11	XI	1	2	3	0.4	1.2	1.1	1.4	1.1
12	XII	2	3	4	0.5	1.3	1.2	1.5	1.2
13	I	3	4	5	0.6	1.4	1.3	1.6	1.3
14	II	4	5	6	0.7	1.5	1.4	1.7	1.4
15	III	5	6	7	0.8	1.6	1.5	1.8	1.5
16	IV	6	7	3	0.9	1.7	1.6	1.9	1.1
17	V	7	8	4	0.2	1.8	1.7	2.0	1.2
18	VI	8	9	5	0.3	1.9	1.8	2.1	1.3
19	VII	9	10	6	0.4	2.0	1.9	1.3	1.4
20	VIII	10	11	7	0.5	2.1	2.0	1.4	1.5
21	IX	1	2	3	0.6	1.2	1.1	1.5	1.1
22	X	2	3	4	0.7	1.3	1.2	1.6	1.2
23	XI	3	4	5	0.8	1.4	1.3	1.7	1.3
24	XII	4	5	6	0.9	1.5	1.4	1.8	1.4
25	I	5	6	7	0.2	1.6	1.5	1.9	1.5
26	II	6	7	3	0.3	1.7	1.6	2.0	1.1
27	III	7	8	4	0.4	1.8	1.7	2.1	1.2
28	IV	8	9	5	0.5	1.9	1.8	1.3	1.3
29	V	9	10	6	0.6	2.0	1.9	1.4	1.4
30	VI	10	11	7	0.7	2.1	2.0	1.5	1.5

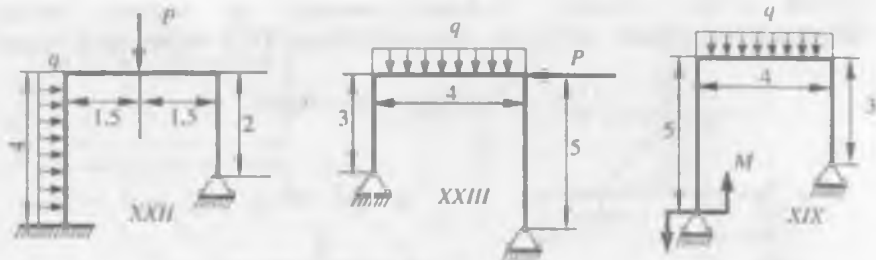
11.2-масала. Шаклдаги рамага бир текисликда жойлашган (шакл текислигида) кучлар таъсир этади. Қуйидагиларни бажаринг: 1) статиканинг мувозанат тенгламаларини ёзинг; 2) реактив кучларни аниқланг; 3) раманинг устунлари ва тўсинининг кўндаланг кесимларидаги бўйлама куч, кесувчи куч ва эгувчи моментларни ифодаларини ёзинг; 4) эгувчи момент энг катта қийматларини

аниқланг; 5) устунлар ва тўсиннинг қўндаланг кесимларидаги бўйлама куч, кесувчи куч ва эгувчи моментлар эпюраларини қўринг; 6) эпюраларни тўғри қўрилганлигини текширинг; 7) агар $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ бўлса, мустаҳкамлик шарти бажарилиши учун доиравий кесимнинг юзи қанча бўлиши кераклигини топинг. Керакли маълумотларни 11.2-жадвалдан олинг.

11.1-масаланинг шакллари







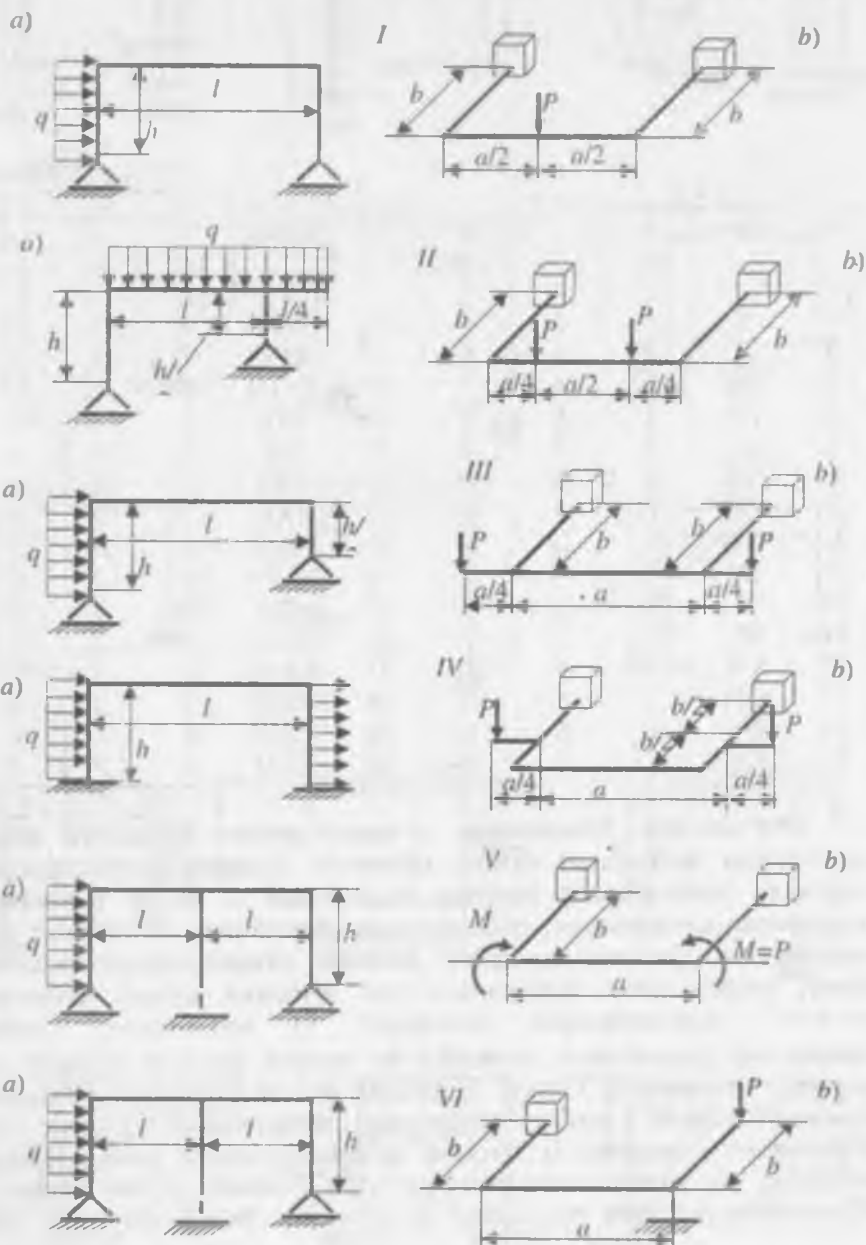
1.2-жадвал

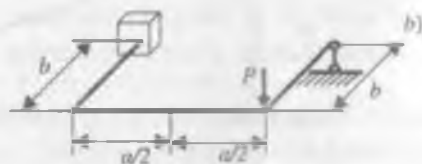
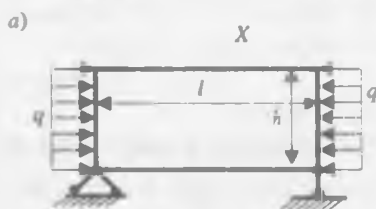
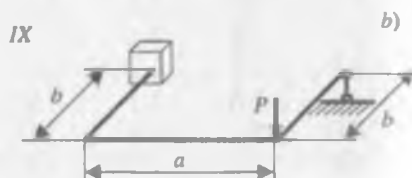
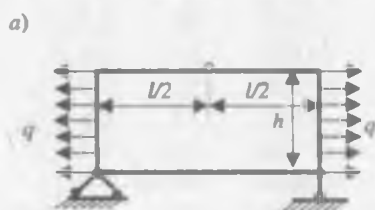
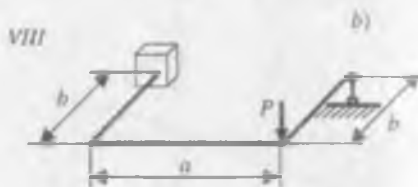
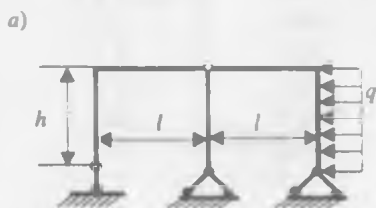
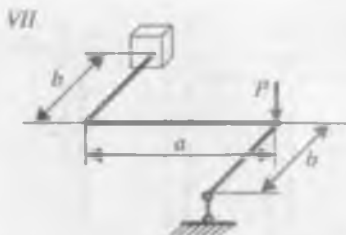
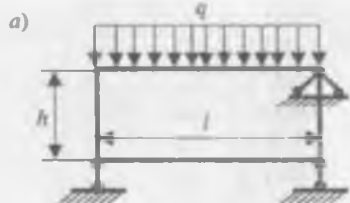
№	Шакл	q	P	M	№	Шакл	q	P	M
		$\frac{\kappa H}{м}$	κH	$\kappa Hч$			$\frac{\kappa I}{м}$	κH	$\kappa Hм$
1	I	1	3	5	16	XVI	1	8	5
2	II	2	4	6	17	XVII	2	9	6
3	III	3	5	7	18	XVIII	3	10	7
4	IV	4	6	8	19	XIX	4	1	8
5	V	5	7	9	20	XX	5	2	9
6	VI	6	8	10	21	XXI	6	8	10
7	VII	7	9	5	22	XXII	7	9	5
8	VIII	8	10	6	23	XXIII	8	10	6
9	IX	9	1	7	24	XXIV	9	1	7
10	X	10	2	8	25	XXV	10	2	8
11	XI	1	3	9	26	XXVI	1	3	9
12	XII	2	4	10	27	XXVI	2	4	10
13	XIII	3	5	5	28	XXIII	3	5	5
14	XIV	4	6	6	29	XXIX	4	6	6
15	XV	5	7	7	30	XXII	5	7	7

11.3'-масала. Масаланинг а)-шаклларидаги рамаларга шакл текислигида жойлашган кучлар қўйилган. Рамалар устунларининг (вертикал элементлари) инерция моментлари J га ва тўсинлари (горизонтал элементлари) нинг инерция моментлари κJ га тенг; б)-шаклларидаги рамалар доиравий кесимли стерженлардан ясалган бўлиб, уларга шакл текислигига тик йўналган кучлар қўйилган ($G = 0.4E$). Қўйидагиларни бажаринг: 1) масаланинг статик аниқмаслик даражасини аниқланг ва асосий система қуринг; 2) каноник тенгламалар тузинг; 3) бирлик куч ва берилган кучлардан ҳосил бўладиган эгувчи моментлар эпюраларини қуринг; 4) кўчишларни аниқланг; 5) ортиқча номаълумларнинг қийматларини аниқланг; 6) а)-шаклдаги рамалар учун умимий эгувчи момент, бўйлама ва кесувчи кучларни, б)-шаклдаги масалалар учун эса

умумий эгувчи момент, буровчи момент ва кесувчи кучлар эпюраларини қуринг. Керакли маълумотларни 11.3-жадвалдан олинг.

11.3-масаланинг шакллари





11.3-жадвал

№	Шакл	a	b	l	h	P	q	κ
		м				Н	$\frac{kH}{M}$	
1	I	0.5	0.2	1.1	1	500	1	0.5
2	II	0.6	0.3	1.2	2	600	2	0.6
3	III	0.7	0.4	1.3	3	700	3	0.7
4	IV	0.8	0.5	1.4	4	800	4	0.8
5	V	0.9	0.6	1.5	5	900	5	0.9
6	VI	1.0	0.7	1.6	1	1000	6	1.0
7	VII	1.1	0.8	1.7	2	1100	7	1.1
8	VIII	1.2	0.9	1.8	3	1200	8	1.2

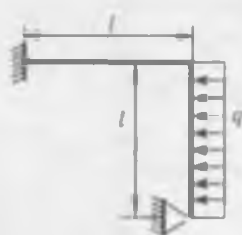
9	IX	1.3	1.0	1.9	4	1300	9	1.3
10	X	1.4	1.1	1.1	5	1400	10	1.4
11	I	1.5	1.2	1.2	1	1500	11	1.5
12	II	1.6	1.3	1.3	2	1600	12	1.6
13	III	1.7	1.4	1.4	3	1700	13	1.7
14	IV	1.8	1.5	1.5	4	1800	14	1.8
15	V	1.9	1.6	1.6	5	1900	15	1.9
16	VI	0.5	0.2	1.7	1	500	1	0.5
17	VII	0.6	0.3	1.8	2	600	2	0.6
18	VIII	0.7	0.4	1.9	3	700	3	0.7
19	IX	0.8	0.5	1.1	4	800	4	0.8
20	X	0.9	0.6	1.2	5	900	5	0.9
21	I	1.0	0.7	1.3	1	1000	6	1.0
22	II	1.1	0.8	1.4	2	1100	7	1.1
23	III	1.2	0.9	1.5	3	1200	8	1.2
24	IV	1.3	1.0	1.6	4	1300	9	1.3
25	V	1.4	1.1	1.7	5	1400	10	1.4
26	VI	1.5	1.2	1.8	1	1500	11	1.5
27	VII	1.6	1.3	1.9	2	1600	12	1.6
28	VIII	1.7	1.4	1.1	3	1700	13	1.7
29	IX	1.8	1.5	1.2	4	1800	14	1.8
30	X	1.9	1.6	1.3	5	1900	15	1.9

11.1-11.3-масалаларни ечиш намуналари

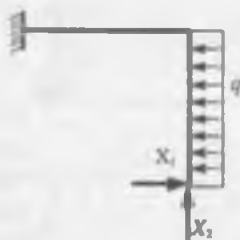
А. 11.1-шаклдаги синиқ стерженнинг кундаланг кесимларидаги эгувчи момент эпюраларини қуринг.

Ечиш.

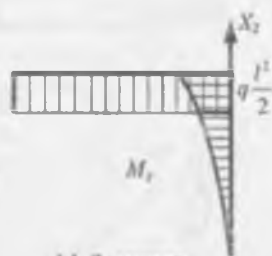
Шарнирли таянчда иккита ва маҳкамланган таянчда учта номаълумлар мавжуд. Демак, қўрилаётган рама $S = n - m = 5 - 3 = 2$ марта статик аниқмас.



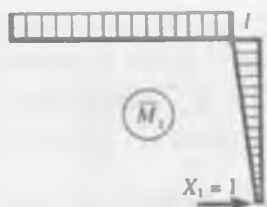
11.1-шакл



11.2-шакл



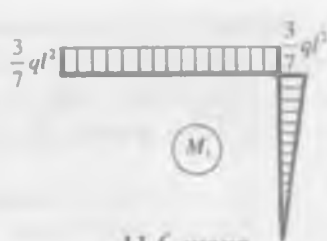
11.3-шакл



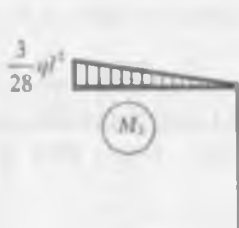
11.4-шакл



11.5-шакл



11.6-шакл



11.7-шакл



11.8-шакл

Стерженни шарнирли таянчдан озод қилиб, асосий система тузамиз (11.2-шакл). Системани ташқаридан қўйилган куч ва номаълум реактив куч X_1 ва X_2 лар билан юклаймиз.

Масала икки марта статик аниқмас булгани учун иккита каноник тенглама тузамиз:

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1q} = 0; \quad \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2q} = 0.$$

Бу формулалардаги δ_{11} , $\delta_{12} = \delta_{21}$, Δ_{1q} , Δ_{2q} кўчишларни Верещачинг формуласи ёрдамида аниқлаймиз. Бунинг учун рамага ташқи ва бирлик кучларнинг таъсирларини алоҳида ҳисоблаб, эгувчи моментларнинг эпюраларини қурамиз (11.3-11.5-шакллар):

$$\delta_{11} = \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i^2}{EI} = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{l}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot l \right) + \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot l \right) = \frac{4l^3}{3EI}; \quad \delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot l \right) = \frac{l^3}{2EI}; \quad \Delta_{1q} = -\frac{ql^4}{4EI};$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{l}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot l \right) = \frac{l^3}{3EI}; \quad \Delta_{2q} = \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i z_i}{EI} = -\frac{1}{EI} \left(\frac{ql^2}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{l}{2} - \frac{1}{EI} \cdot \frac{ql^2}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot l \right) = -\frac{5ql^4}{8EI}.$$

Бу кўчишларни каноник тенгламаларга қўямиз:

$$\frac{4l^3}{3EI} X_1 + \frac{l^3}{2EI} X_2 - \frac{5ql^4}{8EI} = 0; \quad \frac{l^3}{2EI} X_1 + \frac{l^3}{2EI} X_2 - \frac{1}{4} \frac{ql^4}{EI} = 0.$$

Бу ердан

$$X_1 = \frac{3}{4} ql, \quad X_2 = \frac{3}{28} ql.$$

Бирлик куч эпюралари $\overline{M}_1$ ва $\overline{M}_2$ ларни x_1 ва x_2 ларга мос равишда катталаштириб M_1 ва M_2 лар эпюраларини ҳосил қиламиз (11.6-11.7-шакллар). Шу усулда қурилган M_1 , M_2 ва M_0 эпюраларни қўшиб чиқилса, эгувчи моментлар эпюралари ҳосил булади (11.8-шакл).

В. 11.9-шаклдаги синиқ стержен кўндаланг кесимларидаги эгувчи момент, кесувчи ва бўйлама кучларнинг эпюраларини қуринг.

Ечиш.

Стерженни шарнирли таянчдан озод қилиб, асосий система тузамиз (11.2-шакл). Системани ташқаридан қўйилган куч ва номаълум реактив куч x_1 , x_2 ва x_3 лар билан юклаймиз.

Маҳкамланган таянчларда учтадан жами олти номаълумлар мавжуд. Демак қўрилайтган рама $S = n - m = 6 - 3 = 3$ марта статик аниқмас.

Масала уч марта статик аниқмас бўлгани учун учта каноник тенгламалар тузамиз:

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1p} = 0; \quad \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2p} = 0;$$

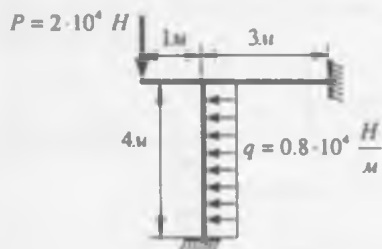
$$\delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3p} = 0.$$

Ташқи ва бирлик кучлар таъсиридаги эгувчи моментларнинг эпюраларини Верешчагин формуласидан фойдаланиб қурамиз:

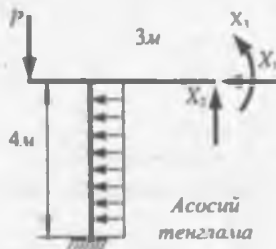
$$\delta_{11} = \frac{4 \cdot 4}{2EJ_y} \cdot 4 \cdot \frac{2}{3} = \frac{64}{3EJ_y}; \quad \delta_{22} = \frac{1}{EJ_y} \left(3 \cdot 4 \cdot 3 + \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 \right) = \frac{45}{EJ_y}; \quad \delta_{33} = \frac{7}{EJ_y};$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{EJ_y} \cdot \frac{4 \cdot 4}{2} \cdot 3 = \frac{24}{EJ_y}; \quad \delta_{13} = \delta_{31} = \frac{8}{EJ_y}; \quad \delta_{23} = \frac{1}{EJ_y} \left(3 \cdot 4 \cdot 1 + \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 1 \right) = \frac{16.5}{EJ_y};$$

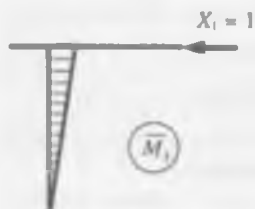
$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EJ_y} \left(\frac{6.4 \cdot 4}{3} \cdot 3 + 2 \cdot 4 \cdot 2 \right) = \frac{41.6}{EJ_y}; \quad \Delta_{2p} = \frac{1}{EJ_y} \left(\frac{6.4 \cdot 4}{3} \cdot 3 + 2 \cdot 4 \cdot 3 \right) = \frac{49.6}{EJ_y};$$



11.9-шакл



11.10-шакл



11.11-шакл



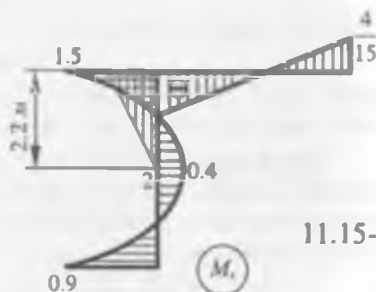
11.12-шакл



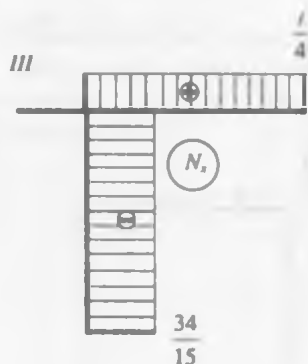
11.13-шакл



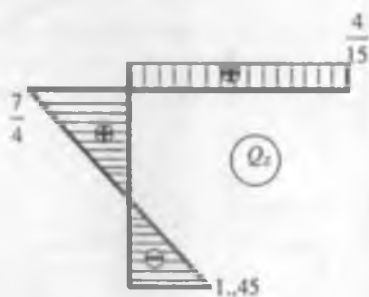
11.14-шакл



11.15-шакл



11.16-шакл



11.17-шакл

$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EJ_1} \left(\frac{6.4 \cdot 4}{3} \cdot 1 + 2 \cdot 4 \cdot 1 \right) = \frac{33.6}{3EJ_1}.$$

Топилган қийматларни каноник тенгламаларга қўямиз:

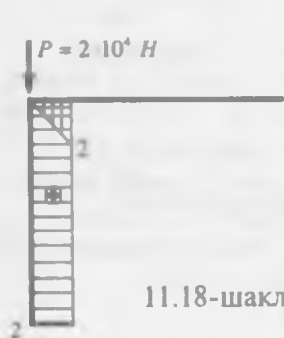
$$\frac{64}{3EJ_1} X_1 + \frac{24}{EJ_1} X_2 + \frac{8}{EJ_1} X_3 + \frac{41.6}{EJ_1} = 0; \quad \frac{24}{EJ_1} X_1 + \frac{45}{EJ_1} X_2 + \frac{16.5}{EJ_1} X_3 + \frac{49.6}{EJ_1} = 0$$

$$\frac{8}{EI_1} X_1 + \frac{16.5}{EI_1} X_2 + \frac{7}{EI_1} X_3 + \frac{31.6}{3EI_1} = 0.$$

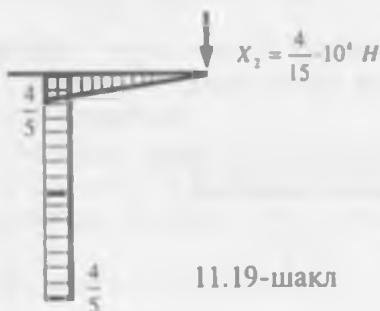
Бу тенгламаларни биргаликда ечиб, қуйидагиларни оламиз:

$$X_1 = -\frac{7}{4} \cdot 10^4 \text{ Н}; \quad X_2 = -\frac{4}{15} \cdot 10^4 \text{ Н}; \quad X_3 = \frac{4}{15} \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

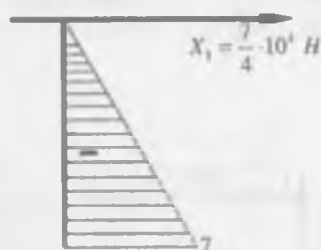
Топилган қийматлар асосида эғувчи момент, бўйлама ва кесувчи кучларнинг эпюралари 11.15-11.17-шаклларда келтирилган.



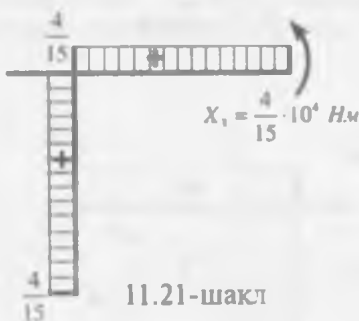
11.18-шакл



11.19-шакл



11.20-шакл



11.21-шакл



11.22-шакл

Эғувчи момент эпюрасини тўғри қурилганлигини текшириб куриш учун деформациялар солиштирилади. Бунинг учун стержен устунидаги эғувчи момент M эпюрасини оддий эпюраларга ажратилади ва уларни бирлик кучдан ҳосил бўлган эғувчи моментларнинг эпюраларига қўпайтирилади (11.18-11.22-шакллар). Бунинг натижасида ҳисобланган

кучиш нолга тенг чиқса эгувчи момент эпюраси тўғри қурилган бўлади. Қурилатган мисолда

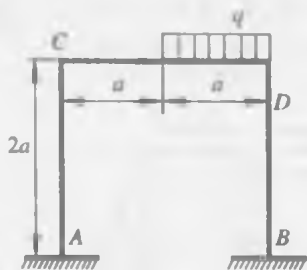
$$2 \cdot 4 \cdot 2 - \frac{4}{5} \cdot 4 \cdot 2 - \frac{7 \cdot 4}{2} \cdot 4 \cdot \frac{2}{3} + \frac{4}{15} \cdot 4 \cdot 2 + \frac{6 \cdot 4}{3} \cdot 3 = 0.$$

Демак, эгувчи момент эпюраси тўғри қурилган.

Г. 11.23-шаклда кўрсатилган раманинг кўндаланг кесимларидаги эгувчи моментлар эпюраси қурилсин.

Ечиш.

1) Раманинг статик аниқмаслик даражасини аниқлаймиз



11.23-шакл

$$S = n - m = 6 - 3 = 3.$$

Демак, қурилатган рама уч марта статик аниқмас.

2) Асосий система танлаймиз. Асосий системани бир неча усуллар билан танлаш мумкин (11.24-11.25-шакллар).

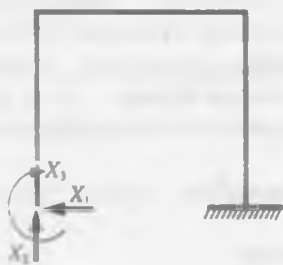
3) Рама уч марта статик аниқмас бўлгани учун учта каноник тенгламалар тузамиз:

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \Delta_{1p} = 0,$$

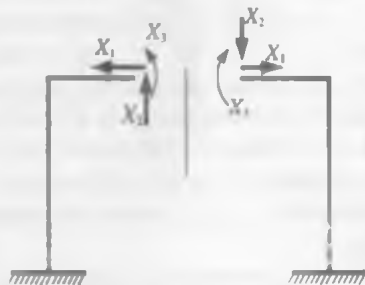
$$\delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \Delta_{2p} = 0,$$

$$\delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3p} = 0.$$

Умумий ҳолда бу тенгламалардаги коэффициентларнинг бирортаси ҳам нолга тенг эмас. Шунинг учун, уч номаълумли тенгламалар системасини ечишга тўғри келади ва бу ҳисоблаш ишларининг ҳажмини оширади.

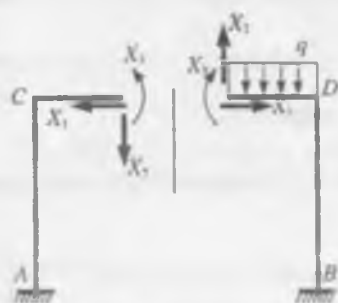


11.24-шакл



11.25-шакл

Агар асосий система учун 11.25-шаклдаги системага эквивалент бўлган 11.26-шаклдаги системани қабул қилинса, ҳисоблашларнинг ҳажми анча камаяди.



11.26-шакл

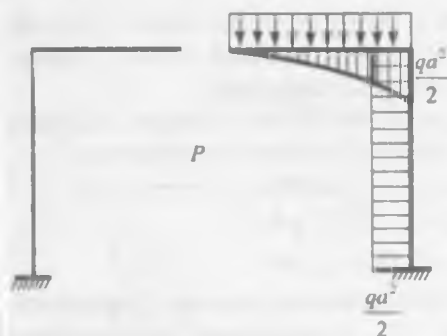
Асосий системани берилган юklar ва ортиқча номаълумлар йўналишида бирлик кучлар билан юклаймиз (11.27-11.28 шакллар). Ҳосил бўлган ярим рамалар учун кесиш усулидан фойдаланиб, эгувчи моментлар эпюраларини курамиз.

Каноник тенгламалар бу ҳолда ҳам ўз кўринишини сақлаб қолади, яъни

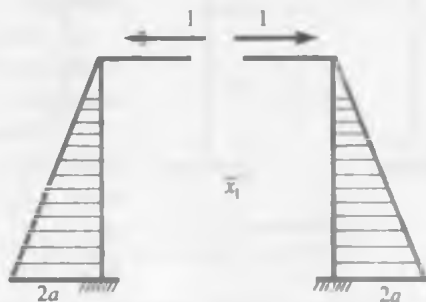
$$\delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \Delta_{1p} = 0,$$

$$\delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \Delta_{2p} = 0,$$

$$\delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3p} = 0,$$



11.27-шакл



11.28-шакл

Бу ерда x_1 , x_2 ва x_3 — 11.26-шаклдаги эквивалент система учун тузилган каноник тенгламаларнинг ортиқча номаълумларини ифодалайди, $\delta_{11} = \delta_{21}$ ва $\delta_{12} = \delta_{21}$ коэффициентлар ёрдамчи кўчишларни ҳисоблаганда нолга айланади, чунки тескари симметрик эпюраларни тўғри симметрик эпюраларга кўпайтмаси нолни беради, яъни $\delta_{12} = \delta_{21} = 0$ ва $\delta_{13} = \delta_{31} = 0$ бўлади. Шунинг учун, юқоридаги уч номаълумли учта тенглама системаси иккига бўлинади:

а) иккита x_1 ва x_3 номаълумлари кирадиган иккита тенгламалар системаси,

б) битта x_2 номаълум кирадиган тенглама

$$\delta_{11} \cdot x_1 + \delta_{13} \cdot x_3 + \Delta_{1p} = 0,$$

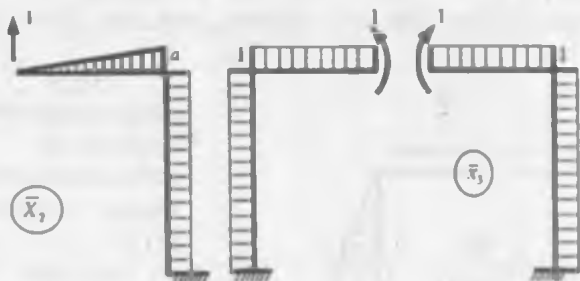
$$\delta_{31} \cdot x_1 + \delta_{33} \cdot x_3 + \Delta_{3p} = 0, \quad (a)$$

$$\delta_{22} \cdot x_2 + \Delta_{2p} = 0.$$

Тенгламаларни озод ҳадларини ва коэффициентларини Верещагин формуласи ёрдамида топамиз



11.29-шакл



11.30-шакл

$$\delta_{11} = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2a \cdot 2a \cdot \frac{2}{3} \cdot 2a \cdot 2 = \frac{16a^3}{3EJ} \quad (11.28\text{-шакл}),$$

$$\delta_{21} = \delta_{11} = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2a \cdot 2a \cdot 1 = \frac{4a^3}{EJ} \quad (11.28, 11.30 - \text{шакллар}),$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{EJ} (1 \cdot a \cdot 1 + 1 \cdot 2a \cdot 1) \cdot 2 = \frac{6a}{EJ} \quad (11.30\text{-шакл}),$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{EJ} \left(\frac{1}{2} a^2 \cdot \frac{2}{3} a + a \cdot 2a \cdot a \right) \cdot 2 = \frac{14}{3} \frac{a^3}{EJ} \quad (11.29\text{-шакл}),$$

$$\Delta_{1r} = -\frac{1}{EJ} \cdot qa^2 \cdot \frac{a^2}{2} \cdot a = -\frac{qa^4}{EJ} \quad (11.27\text{-}11.28\text{-шакллар}),$$

$$\Delta_{2r} = -\frac{1}{EJ} \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{qa^2}{2} \cdot a \cdot \frac{3}{4} a + \frac{1}{2} qa^2 \cdot 2a \cdot a \right) = -\frac{9qa^4}{8EJ} \quad (11.27, 11.29 \text{ шакллар}),$$

$$\Delta_{2r} = -\frac{1}{EJ} \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{qa^2}{2} \cdot a \cdot 1 + \frac{qa^2}{2} \cdot 2a \cdot 1 \right) = -\frac{7}{6} \frac{qa^3}{EJ} \quad (11.27, 11.30 - \text{шакллар}).$$

4) Топилган ифодаларни (а) тенгламаларга қўямиз ва уларни $\frac{1}{EI}$ ифодага қисқартирамиз:

$$\frac{16}{3} a^3 X_1 + 4a^3 X_2 - qa^4 = 0;$$

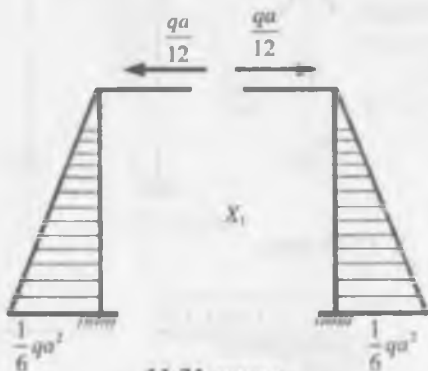
$$4a^3 X_1 + 6aX_2 - \frac{7}{6} qa^3 = 0;$$

$$\frac{14}{3} a^3 X_1 - \frac{9}{8} qa^4 = 0.$$

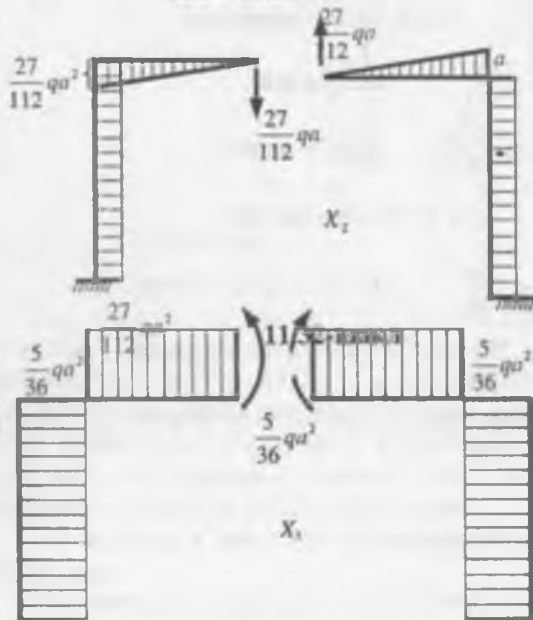
Бу срдан X_1 , X_2 ва X_3 ларни аниқлаймиз

$$x_2 = \frac{27}{112} qa^2; \quad x_1 = \frac{1}{12} qa; \quad x_2 = \frac{5}{36} qa^2$$

Топилган x_1 , x_2 ва x кучлар ишораларини мусбат эканлиги ортиқча номаълумлар йўналишларини аввалдан туғри танлаганлигидан далолат беради.



11.31-шакл



11.33 - шакл

Энди бирлик куч эпюраларининг ҳар бирини тегишлича x марта катталаштириб x_1 , x_2 ва x кучлар эпюраларини қурамиз (11.31-11.33 - шакллар).

Асосий системага ташқаридан қўйилган куч эпюрасини (11.27-шакл) x_1 , x_2 ва x ларнинг эпюраларига (11.31-11.33 - шакллар) қўшиб берилган рама учун эгувчи моментлар эпюрасини қурамиз. Фақат унғ ярим рамани ёйилган куч қўйилган юқори булакчасидаги эгувчи момент эпюрасини оддий (кесиш) усули ёрдамида алоҳида қурамиз (11.26-шакл). Бу булакчада ички эгувчи момент қўйидагича ифодаланади

$$M_1 = X_1 x + X_2 - q \frac{x^2}{2} = \frac{27}{112} qa^2 + \frac{5}{36} qa^2 - q \frac{x^2}{2}$$

Бу ердан:

$$M_1(0) = \frac{5}{36} qa^2 = 0.139 qa^2$$

қўзилган тола раманинг ташқарисида жойлашган;

$$M_1(a) = \frac{27}{112} qa^2 + \frac{5}{36} qa^2 - q \frac{a^2}{2} = -\frac{121}{1008} qa^2 =$$

$= -0.112 qa^2$ - сиқилган тола раманинг ичида жойлашган ва манфий.

Қўрилатган бўлакчада эгувчи моментнинг энг катта қийматини аниқлаймиз:

$$\frac{dM_x}{dx} = 0.$$

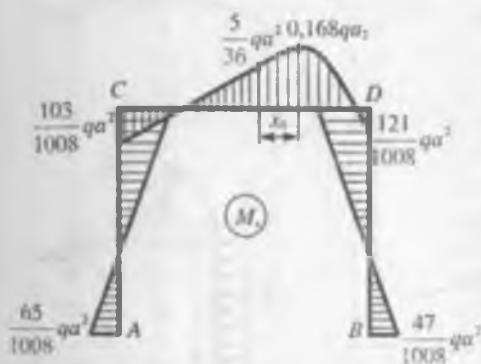
Бу срдан

$$\frac{27}{112} qa - qx_0 = 0$$

ёки $x_0 = \frac{27}{112} a.$

Демак,

$$M_{\max} = M_1(x_0) = \frac{27}{112} qa \cdot \frac{27}{112} a + \frac{5}{36} qa^2 - \frac{q \left(\frac{27}{112} a \right)^2}{2} = \frac{729}{12544} qa^2 + \frac{5}{36} qa^2 - \frac{29}{25088} qa^2 = \frac{37921}{225792} qa^2 = 0.168 qa^2.$$



50 - шакл

Раманинг BD устунини кўрамыз. Бу устуннинг D кесимини эгувчи момент $\frac{121}{1008} qa^2$ га тенг бўлади, B кесимда эса

$$M_1 = \frac{qa^2}{2} - \frac{27}{112} qa^2 - \frac{qa^2}{6} - \frac{5}{36} qa^2 = \frac{47}{1008}$$

- сиқилган тола раманинг ташқарисиди жойлашган.

Раманинг CD тўсинини кўрамыз. Тўсин уртасиди

$$M = \frac{5}{36} qa^2;$$

C кесимда

$$M = \frac{27}{112} qa^2 - \frac{5}{36} qa^2 = \frac{103}{1008} qa^2$$

- сиқилган тола раманинг ичиди жойлашган.

Раманинг AC устунини кўрамыз:

C кесимда

$$M = \frac{103}{1008} qa^2;$$

A кесимда

$$M = \frac{1}{6} qa^2 - \frac{27}{112} qa^2 + \frac{5}{36} qa^2 = \frac{65}{1008} qa^2$$

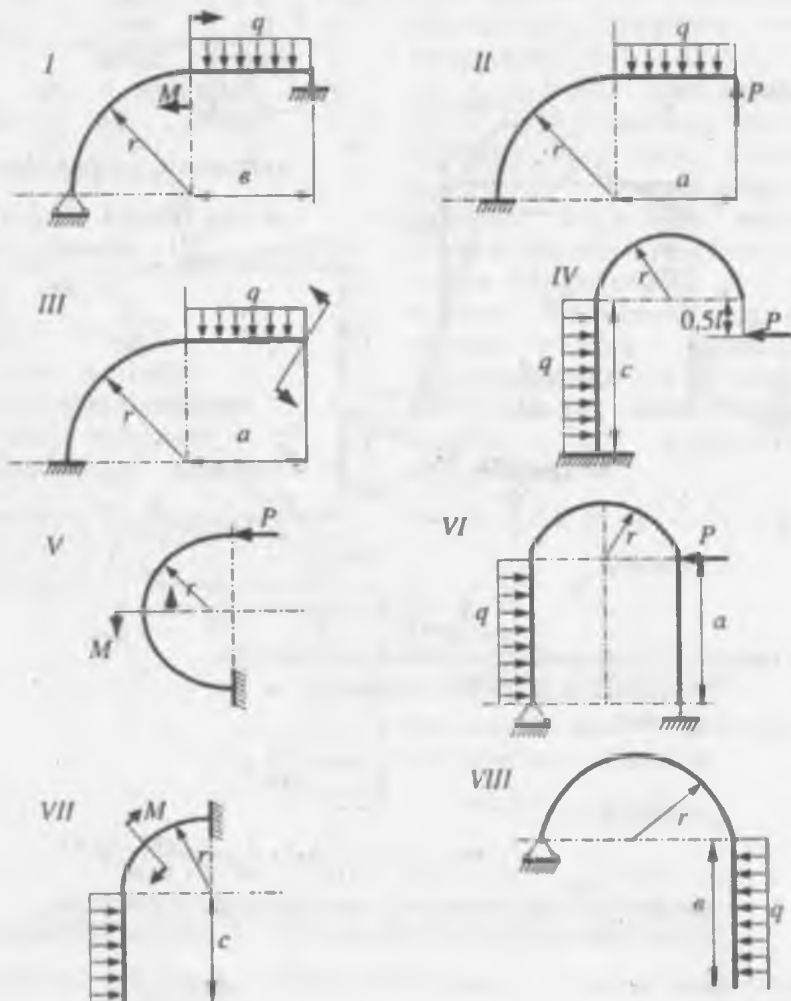
- сиқилган тола раманинг ташқарисиди жойлашган.

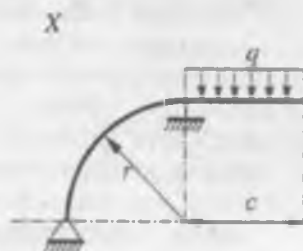
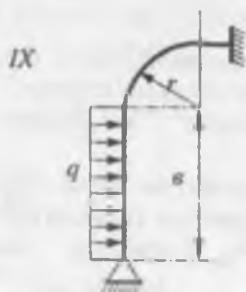
Эгувчи моментларнинг эпюраси 11.34-шаклда келтирилган.

12. Эгри стерженлардаги ички кучлар эпюраларини куриш

12.1. Шаклдаги эгри чизиqli стержен кундаланг кесимларидаги буйлама ва кесувчи куч, ҳамда эгувчи моментлар эпюраларини куринг. Нормал кучланишнинг рухсат этилган қиймати $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ булса, мустаҳкамлик шарти бажарилиши учун стержен кундаланг кесимининг юзи қанча булиши кераклигини аниқланг. Керакли маълумотларни 12.1-жадвалдан олинг.

12.1-масаланинг шакллари





12.1-жадвал

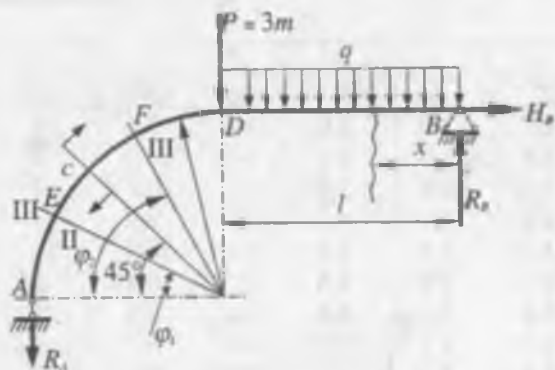
№	Шакл	a	b	c	r	P	q	M
		м				кН	кН/м	кН·м
1	I	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	0.5	1
2	II	1.1	1.1	1.6	1.1	1.1	0.6	2
3	III	1.2	1.2	1.7	1.2	1.2	0.7	3
4	IV	1.3	1.3	1.8	1.3	1.3	0.8	1
5	V	1.4	1.4	1.9	1.4	1.4	0.9	2
6	VI	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5	0.5	3
7	VII	1.6	1.6	2.1	1.6	1.6	0.6	1
8	VIII	1.7	1.7	2.2	1.7	1.7	0.7	2
9	IX	1.8	1.8	2.3	1.8	1.8	0.8	3
10	X	1.9	1.9	2.4	1.9	1.9	0.9	1
11	I	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	2
12	II	2.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.6	3
13	III	2.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.7	1
14	IV	2.3	1.3	1.3	1.3	1.3	0.8	2
15	V	2.4	1.4	1.4	1.4	1.4	0.9	3
16	VI	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5	1
17	VII	1.1	1.6	1.6	1.6	1.6	0.6	2
18	VIII	1.2	1.7	1.7	1.7	1.7	0.7	3
19	IX	1.3	1.8	1.8	1.8	1.8	0.8	1
20	X	1.4	1.9	1.9	1.9	1.9	0.9	2
21	I	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	3
22	II	1.6	1.1	1.1	1.1	1.1	0.6	1
23	III	1.7	1.2	1.2	1.2	1.2	0.7	2
24	IV	1.8	1.3	1.3	1.3	1.3	0.8	3
25	V	1.9	1.4	1.4	1.4	1.4	0.9	1
26	VI	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5	2
27	VII	2.1	1.6	1.6	1.6	1.6	0.6	3
28	VIII	2.2	1.7	1.7	1.7	1.7	0.7	1
29	IX	2.3	1.8	1.8	1.8	1.8	0.8	2
30	X	2.4	1.9	1.9	1.9	1.9	0.9	3

12.1-масалани ечиш намунаси.

12.1-шаклдаги стержен кўндаланг кесимларидаги бўйлама ва кесувчи куч ҳамда эгувчи моментлар эпюраларини қуриш.

Эслатмалар. Эгри стерженларни ҳисоблаш учун қуйидагилар қабул қилинган:

- стержен кўндаланг кесимлари симметрия ўқида эга;
- стержен ўқи текис эгилади ва симметрия текислигида ётади;
- ташқи кучларнинг ҳаммаси стерженга симметрия текислигида таъсир этади (12.2-шакл):



12.1-шакл



12.2-шакл

- бўйлама куч N горизонтал x ўқи бўйлаб, кесувчи куч Q вертикал z ўқи бўйлаб йўналган ва эгувчи момент M фазовий координаталарнинг y ўқида нисбатан олинган бўлади.

Ички кучлар қуйидаги дифференциал боғланишлар билан боғланган (12.3-шакл):

$$Q = \frac{dM}{ds} = \frac{dM}{\rho d\varphi} ; \quad N = \rho \frac{dQ}{ds} = \frac{dQ}{d\varphi} ; \quad Q = -\rho \frac{dN}{ds} = -\frac{dN}{d\varphi},$$

бу ерда s - эгри чизиқли координата, $ds = \rho d\varphi$ - стерженнинг қўриляётган кичик булакчаси узунлиги, ρ - эгрилик радиуси; φ - бурчак.

Ечиш.

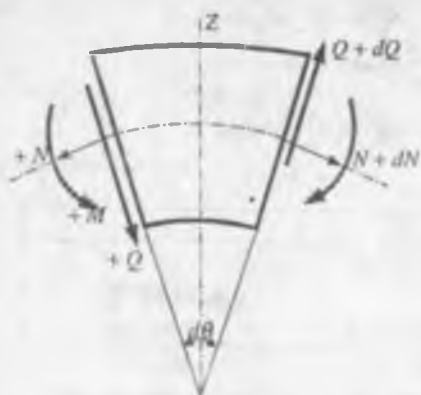
Таянч реакцияларини ε ниқлаймиз:

$$\sum X = 0 \text{ тенгламадан } H_B = 0;$$

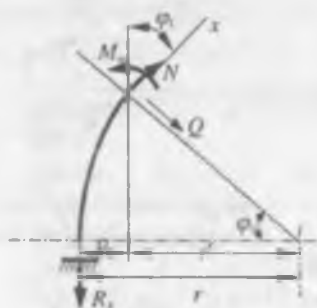
$$\sum M_B = 5R_A + M - 3P - q \cdot \frac{l^2}{2} = 0 \text{ тенгламадан } R_A = 2.4 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$$\sum M_A = 5R_B + M - 2P - q \cdot 3 \cdot 3.5 = 0 \text{ тенгламадан } R_B = 3.6 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

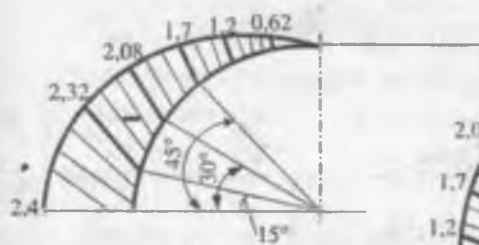
Стерженни BD бўлақчасидаги ички кучларни аниқлаймиз ($0 \leq x \leq 3$). Бу бўлақчада:



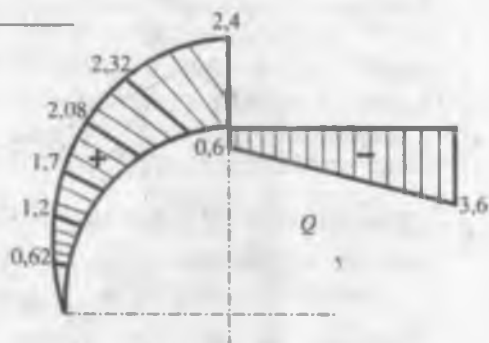
12.3-шакл



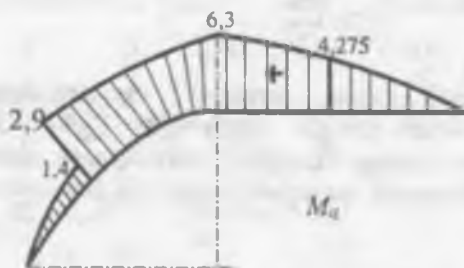
12.4-шакл



12.5-шакл



12.6-шакл



12.7-шакл

$$Q'_1 = -R_B - qx_1, \quad M'_1 = R_B x_1 - q \frac{x_1^2}{2},$$

Эгри чизикли AC бўлакчада ($0 \leq \varphi_1 \leq \frac{\pi}{4}$):

$$\sum X = N_o^1 + R_A \cos \varphi_1 = 0; \quad \sum Z = Q_o^1 - R_A \sin \varphi_1;$$

$$\sum M_A = -M_o^1 + R_A \sin \varphi_1,$$

бу ерда (12.4-шакл)

$$M_o^1 = R_A a = R_A (r - r') = R_A r (1 - \cos \varphi_1).$$

12.2-жадвал

x, φ	N	Q	M
$x_1 = 0$	0	$5.6 \cdot 10^4 \text{ H}$	0
$x_1 = 1.5 \text{ м}$	-	-	$4.275 \cdot 10^4 \text{ Hм}$
$x_1 = 3 \text{ м}$	0	$-0.6 \cdot 10^4 \text{ H}$	$6.3 \cdot 10^4 \text{ Hм}$
$\varphi_0 = 0$	$N_o^1 = -2.4 \cdot 10^4 \text{ H}$	$Q_o^1 = 0$	$M_o^1 = 0$
$\varphi_1 = 15^\circ$	$N_o^1 = -2.32 \cdot 10^4 \text{ H}$	$Q_o^1 = 0.62 \cdot 10^4 \text{ H}$	$M_o^1 = 0.164 \cdot 10^4 \text{ Hм}$
$\varphi_1 = 30^\circ$	$N_o^1 = -2.08 \cdot 10^4 \text{ H}$	$Q_o^1 = 1.2 \cdot 10^4 \text{ H}$	$M_o^1 = 0.643 \cdot 10^4 \text{ Hм}$
$\varphi_1 = 45^\circ$	$N_o^1 = -1.7 \cdot 10^4 \text{ H}$	$Q_o^1 = 1.7 \cdot 10^4 \text{ H}$	$M_o^1 = 1.4 \cdot 10^4 \text{ Hм}$
$\varphi_2 = 45^\circ$	$N_o^2 = -1.7 \cdot 10^4 \text{ H}$	$Q_o^2 = 1.7 \cdot 10^4 \text{ H}$	$M_o^2 = 2.9 \cdot 10^4 \text{ Hм}$
$\varphi_2 = 60^\circ$	$N_o^2 = -1.2 \cdot 10^4 \text{ H}$	$Q_o^2 = 2.09 \cdot 10^4 \text{ H}$	$M_o^2 = 3.9 \cdot 10^4 \text{ Hм}$
$\varphi_2 = 75^\circ$	$N_o^2 = -0.6 \cdot 10^4 \text{ H}$	$Q_o^2 = 2.32 \cdot 10^4 \text{ H}$	$M_o^2 = 5.06 \cdot 10^4 \text{ Hм}$
$\varphi_2 = 90^\circ$	$N_o^2 = 0$	$Q_o^2 = 2.4 \cdot 10^4 \text{ H}$	$M_o^2 = 6.3 \cdot 10^4 \text{ Hм}$

Эгри чизикли CD бўлакчада ($\frac{\pi}{4} \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{2}$):

$$\sum X = N_o^2 + R_A \cos \varphi_2 = 0; \quad \sum Z = Q_o^2 - R_A \sin \varphi_2 = 0;$$

$$\sum M = R_A r (1 - \cos \varphi_2) + M - M_o^2 = 0.$$

Буйлама ва кесувчи кучлар ҳамда эгувчи моментнинг юқоридаги тенгламалари ёрдамида ҳисобланган қийматлари 12.2-жадвалда, уларнинг эпюралари эса 12.5-12.7-шаклларда келтирилган.

12.2'-масала. Шаклдаги эгри чизикли стерженларнинг кундаланг кесимларидаги буйлама куч N , кесувчи куч Q ва эгувчи момент M лар эпюраларини қуринг. Ҳавфли кесимлардаги нормал кучланишларни аниқланг. Керакли маълумотларни 12.3-жадвалдан олинг.

12.2-масалани ечишга оид кўрсатмалар.

Ташқи p кучни горизонтал ва вертикал йўналишлар бўйлаб иккита ташкил этувчиларга ажратиш лозим. Сўнггра таянч реакция

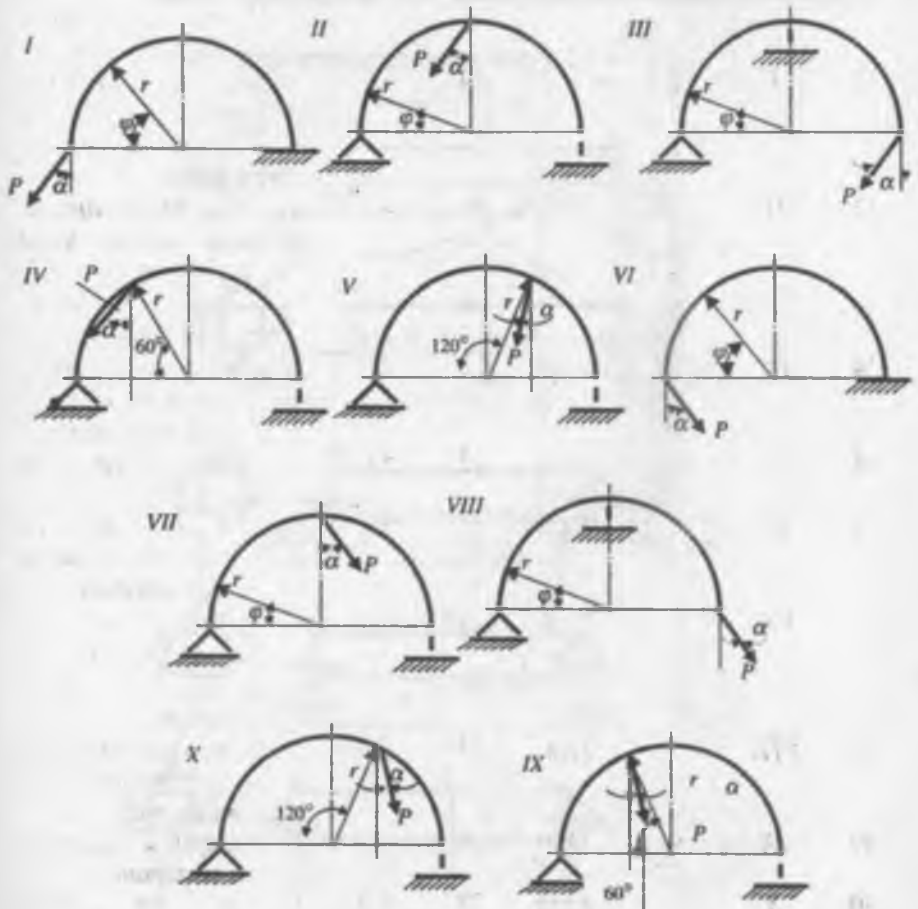
№	Шакл	α	P	r	d	Стерженни кундаланг кесимининг шакли
		Град.	H	см		
1	I	5	1000	20	4.1	Диаметри d га тенг доира.
2	II	15	1100	21	4.2	Асоси d га ва баландлиги $2d$ га тенг туғри тўртбурчак.
3	III	20	1200	22	4.3	Асоси d га ва баландлиги $1.5d$ га тенг туғри тўртбурчак.
4	IV	25	1300	23	4.4	Асоси ва баландлиги d га тенг булган тенг ёнли учбурчак.
5	V	30	1400	24	4.5	Томонлари d га тенг булган квадрат.
6	VI	35	1500	25	4.6	Ташқи ва ички диаметрлари $1.1d$ ва d га тенг булган ҳалқа.
7	VII	40	1600	26	4.7	Диаметри d га тенг доира.
8	VIII	45	1700	27	4.8	Асоси d га ва баландлиги $2d$ га тенг туғри тўртбурчак.
9	IX	50	1800	28	4.9	Асоси d га ва баландлиги $1.5d$ га тенг туғри тўртбурчак.
10	X	55	1900	29	5.0	Асоси ва баландлиги d га тенг булган тенг ёнли учбурчак.
11	I	60	2000	30	5.1	Томонлари d га тенг булган квадрат.
12	II	65	2100	20	5.2	Ташқи ва ички диаметрлари $1.1d$ ва d га тенг булган ҳалқа.
13	III	70	2200	21	5.3	Диаметри d га тенг доира.
14	IV	75	2300	22	5.4	Асоси d га ва баландлиги $2d$ га тенг туғри тўртбурчак.

15	V	80	2400	23	5.5	Асоси d га ва баландлиги $1.5d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
16	VI	85	1000	24	4.1	Асоси ва баландлиги d га тенг бўлган тенг ёнли учбурчак.
17	VII	90	1100	25	4.2	Томонлари d га тенг бўлган квадрат.
18	VIII	0	1200	26	4.3	Ташқи ва ички диаметрлари $1.1d$ ва d га тенг бўлган ҳалқа.
19	IX	5	1300	27	4.4	Диаметри d га тенг доира.
20	X	15	1400	28	4.5	Асоси d га ва баландлиги $2d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
21	I	20	1500	29	4.6	Асоси d га ва баландлиги $1.5d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
22	II	25	1600	30	4.7	Асоси ва баландлиги d га тенг бўлган тенг ёнли учбурчак.
23	III	30	1700	20	4.8	Томонлари d га тенг бўлган квадрат.
24	IV	35	1800	21	4.9	Ташқи ва ички диаметрлари $1.1d$ ва d га тенг бўлган ҳалқа.
25	V	40	1900	22	5.0	Диаметри d га тенг доира.
26	VI	45	2000	23	5.1	Асоси d га ва баландлиги $2d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
27	VII	50	2100	24	5.2	Асоси d га ва баландлиги $1.5d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
28	VIII	55	2200	25	5.3	Асоси ва баландлиги d га тенг бўлган тенг ёнли учбурчак.
29	IX	60	2300	26	5.4	Томонлари d га тенг бўлган квадрат.
30	X	65	2400	27	5.5	Ташқи ва ички

кучларини аниқлаб ва стерженни ихтиёрий кесимидаги бўйлама куч N , кесувчи куч ва эгувчи момент ифодаларини r ва φ қутб координаталари орқали ёзилади. Топилган ифодаларга $\varphi = 0, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ва ҳоказо қийматлар бериб ҳисобланади.

Ҳисоблаш пайтида $c = \frac{J_1}{rF}$ тақрибий формуладан фойдаланиш мумкин, бу ерда J_1 ва F стерженни кўндаланг кесимининг нейтрал ўққа нисбатан инерция моменти ва юзи.

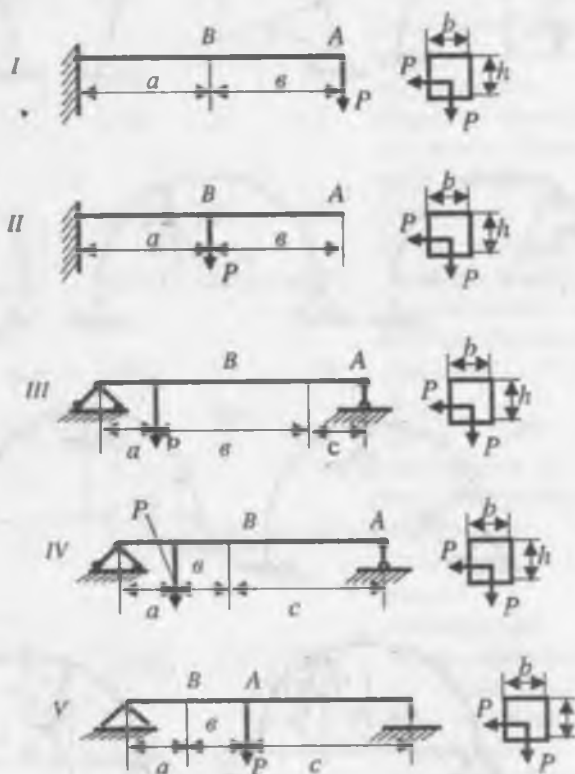
12.2-масаланинг шакллари

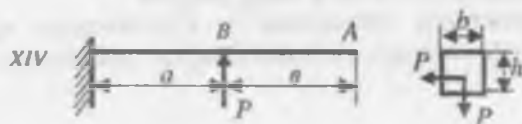
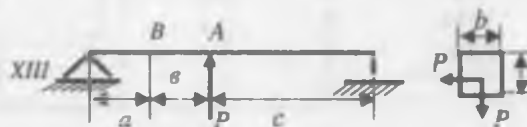
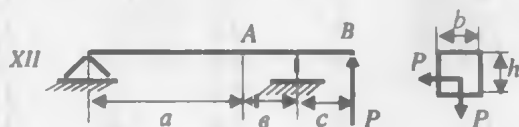
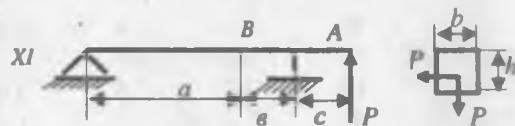
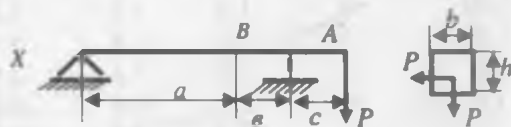
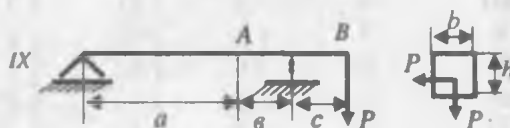


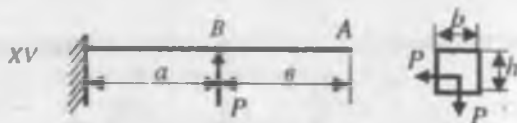
13. Тўсинларнинг эгилиш, чўзилиш ва сиқилишга мустаҳкамлигини текшириш

13.1'-масала. Тўғри тўртбурчак кесимли ёғоч тўсиннинг A нуқтасига вертикал ва B горизонтал йўналган P кучлар қўйилган. Тўсиннинг таянчдаги шакл текислигида жойлашган кесимида горизонтал ва вертикал йўналишларда реактив кучлар ҳосил бўлиши мумкин. Қуйидагиларни бажаринг: 1) горизонтал ва вертикал йўналишлардаги $M_{гор}$, $M_{вер}$ эгувчи моментларни ва тўсиннинг ҳавфли кесимини аниқланг; 2) нормал кучланишнинг рухсат этилган қиймати $[\sigma] = 8 \text{ МПа}$ бўлганда, мустаҳкамлик шарти бажарилиши учун тўғри тўртбурчакнинг b ва h қанча бўлишини топинг; 3) нейтрал ўқнинг ҳавфли кесимдаги координаталарини аниқланг ва нормал кучланишни кўндаланг кесим бўйича тақсимланиши эпюрасини қуринг. Керакли маълумотларни 10.2-жадвалдан олинг.

13.1-масаланинг шакллари







10.2-жадвал

№	Шакл	P, кН	a	в	с	H/b
			м			
1	I	1	0.6	1.1	0.6	1.1
2	II	2	0.7	1.2	0.7	1.2
3	III	3	0.8	1.3	0.8	1.3
4	IV	4	0.9	1.4	0.9	1.4
5	V	5	1.0	1.5	1.0	1.5
6	VI	6	1.1	1.6	1.1	1.6
7	VII	7	1.2	1.7	1.2	1.7
8	VIII	8	1.3	1.8	1.3	1.8
9	IX	9	1.4	1.9	1.4	1.9
10	X	10	1.5	2.0	1.5	2.0
11	XI	1	1.6	1.1	1.6	1.1
12	XII	2	1.7	1.2	1.7	1.2
13	XIII	3	1.8	1.3	1.8	1.3
14	XIV	4	1.9	1.4	1.9	1.4
15	XV	5	2.0	1.5	2.0	1.5
16	IV	6	2.1	1.6	0.6	1.6
17	V	7	2.2	1.7	0.7	1.7
18	VI	8	2.3	1.8	0.8	1.8
19	VII	9	2.4	1.9	0.9	1.9
20	VIII	10	2.5	2.0	1.0	2.0
21	IX	1	2.6	1.1	1.1	1.1
22	X	2	2.7	1.2	1.2	1.2
23	XI	3	2.8	1.3	1.3	1.3
24	XII	4	2.9	1.4	1.4	1.4
25	I	5	3.0	1.5	1.5	1.5
26	II	6	2.6	1.6	1.6	1.6
27	III	7	2.7	1.7	1.7	1.7
28	XIII	8	2.8	1.8	1.8	1.8
29	XIV	9	2.9	1.9	1.9	1.9
30	XV	10	3.0	2.0	2.0	2.0

13.1-масалани ечишга доир масала.

13.1-шаклдаги тўсиннинг 13.2-шаклда қўсатилган 14 та нуқталаридаги нормал кучланишларни ҳисобланг. Кесимнинг бош

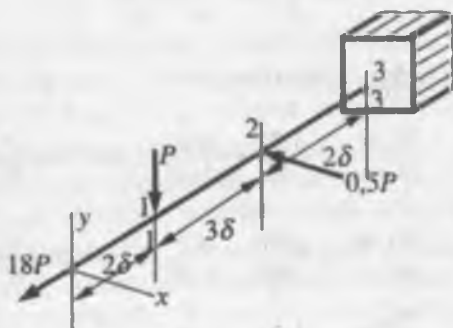
марказий инерция ўқлари ва геометрик характеристикалари шаклда кўрсатилган.

Ечиш.

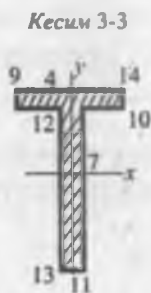
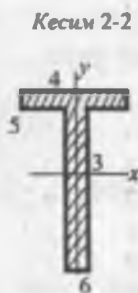
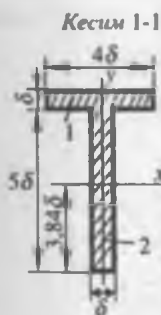
Тусин горизонтал ва вертикал текисликларда жойлашган эгувчи ва чузувчи кучларга қаршилиқ кўрсатмоқда. Кесимнинг ихтиёрий нуқтасидаги нормал кучланишлар

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M_x}{J_x} y + \frac{M_y}{J_y} x$$

формула бўйича ҳисобланади.



13.1-шакл



$$\begin{aligned} J_x &= 30,6\delta^4 \\ J_y &= 5,76\delta^4 \\ F &= 9\delta^2 \end{aligned}$$

13.2-шакл

Биринчи кесимнинг 1 ва 2 нуқталаридаги нормал кучланишларни ҳисоблаймиз. Бу кесимда $N = 18P$, $M_x = 0$ ва $M_y = 0$. Шунинг учун

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{N}{F} = \frac{18P}{9\delta^2} = 2 \frac{P}{\delta}$$

Иккинчи кесимнинг 3-6 нуқталарини кўрамиз. Бу кесимда $N=18P$, $M_1=3\delta P$ ва $M_2=0$. Шунинг учун бу кесимнинг ҳамма нуқталаридаги нормал кучланишлар

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M_1}{J_1} y$$

формула бўйича ҳисобланади.

Кесимдаги 3 нуқта Ox ўқининг устида жойлашган. Шунинг учун $y_1=0$ ва

$$\sigma = \frac{N}{F} + 0 = \frac{18P}{9\delta^2} = 2 \frac{P}{\delta^2}$$

булади.

Қолган нуқталарни кўрамиз:

4 нуқтада

$$\sigma_4 = \frac{P}{F} + \frac{M_1}{J_1} y_4 = \frac{18P}{9\delta^2} + \frac{3P\delta}{30.6\delta^4} \cdot 2.16\delta = 2.21 \frac{P}{\delta^2};$$

5 нуқтада

$$\sigma_5 = \frac{P}{F} + \frac{M_1}{J_1} y_5 = \frac{18P}{9\delta^2} + \frac{3P\delta}{30.6\delta^4} \cdot 1.16\delta = 2.11 \frac{P}{\delta^2};$$

6 нуқтада

$$\sigma_6 = \frac{P}{F} + \frac{M_1}{J_1} y_6 = \frac{18P}{9\delta^2} - \frac{3P\delta}{30.6\delta^4} \cdot 3.84\delta = 1.62 \frac{P}{\delta^2}.$$

Учинчи кесимнинг 7-14 нуқталарини кўрамиз. Бу кесимда $N=18P$, $M_1=5\delta P$ ва $M_2=0.5P \cdot 2\delta = P\delta$. Еттинчи нуқта кесимнинг марказида жойлашган. Шунинг учун $x_7=0$, $y_7=0$ ва

$$\sigma_7 = \frac{P}{F} + 0 = 0 = \frac{18P}{9\delta^2} = 2 \frac{P}{\delta^2}.$$

Худди шунингдек:

саккизинчи нуқтада $y_8=2.16\delta$, $x_8=0$ ва

$$\sigma_8 = \frac{N}{F} + \frac{M_1}{J_1} y_8 = \frac{18P}{9\delta^2} + \frac{5P\delta}{30.6\delta^4} \cdot 2.16\delta = 2.35 \frac{P}{\delta^2}.$$

тўққизинчи нуқтада $y_9=2.16\delta$, $x_9=2\delta$ ва

$$\sigma_9 = \frac{N}{F} + \frac{M_1}{J_1} y_9 + \frac{M_2}{J_2} x_9 = \frac{18P}{9\delta^2} + \frac{5P\delta}{30.6\delta^4} \cdot 2.16\delta - \frac{P\delta}{5.75\delta^4} \cdot 2\delta = 2.01 \frac{P}{\delta^2};$$

ўнинчи нуқтада $x_{10}=2\delta$, $y_{10}=1.16\delta$ ва

$$\sigma_{10} = \frac{N}{F} + \frac{M_1}{J_1} y_{10} + \frac{M_2}{J_2} x_{10} = \frac{18P}{9\delta^2} + \frac{5P\delta}{30.6\delta^4} \cdot 1.16\delta + \frac{P\delta}{5.75\delta^4} \cdot 2\delta = 2.54 \frac{P}{\delta^2};$$

ўн биринчи нуқтада $x_{11}=0$, $y_{11}=3.84\delta$ ва

$$\sigma_{11} = \frac{N}{F} + \frac{M_1}{J_1} y_{11} + \frac{M_2}{J_2} x_{11} = \frac{18P}{9\delta^2} - \frac{5P\delta}{30.6\delta^4} \cdot 3.84\delta + 0 = 1.37 \frac{P}{\delta^2};$$

ўн иккинчи нуқтада $x_{12} = 0.5\delta$, $y_{12} = 1.16\delta$ ва

$$\sigma_{12} = \frac{N}{F} + \frac{M_z}{J_z} y_{12} + \frac{M_x}{J_x} x_{12} = \frac{18P}{9\delta^2} + \frac{5P\delta}{30.6\delta^4} \cdot 1.16\delta - \frac{P\delta}{5.75\delta^4} \cdot 0.5\delta = 2.11 \frac{P}{\delta^2};$$

ўн учинчи нуқтада $x_{13} = 0.5\delta$, $y_{13} = 3.84\delta$ ва

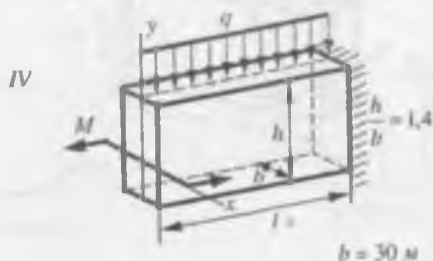
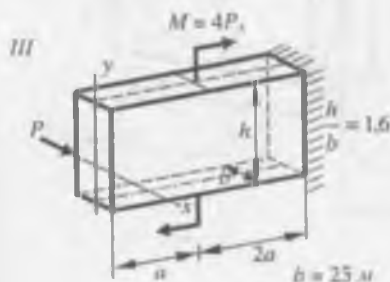
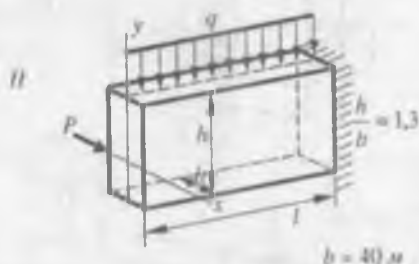
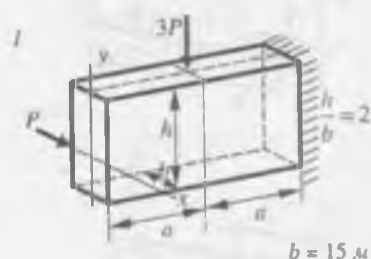
$$\sigma_{13} = \frac{N}{F} + \frac{M_z}{J_z} y_{13} + \frac{M_x}{J_x} x_{13} = \frac{18P}{9\delta^2} - \frac{5P\delta}{30.6\delta^4} \cdot 3.84\delta - \frac{P\delta}{5.75\delta^4} \cdot 0.5\delta = 1.29 \frac{P}{\delta^2};$$

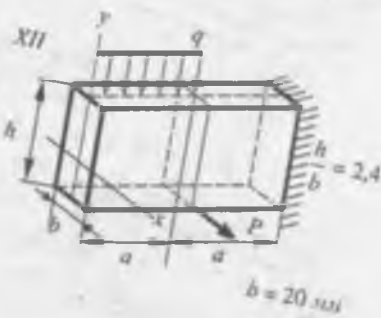
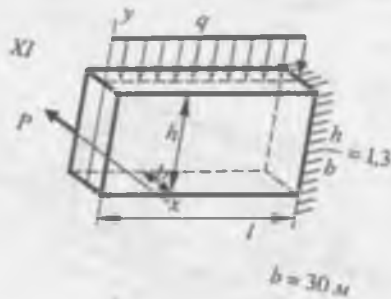
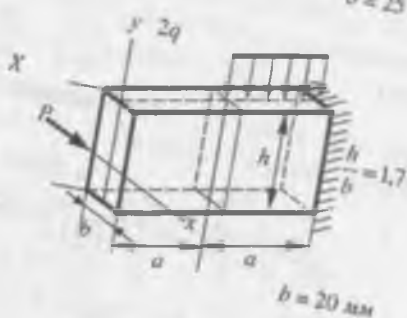
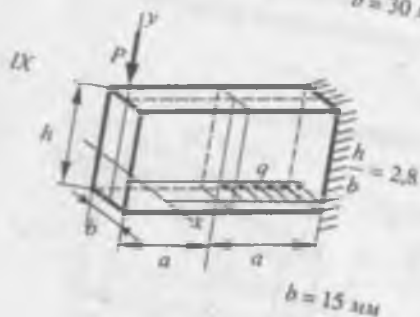
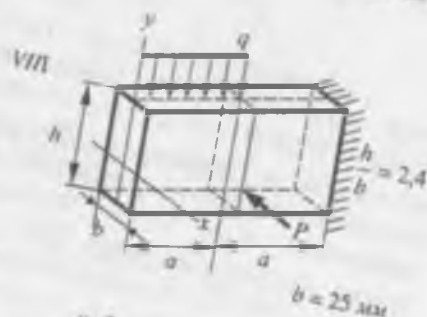
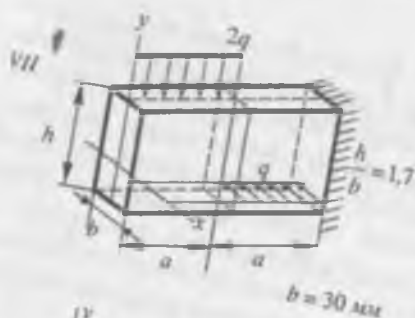
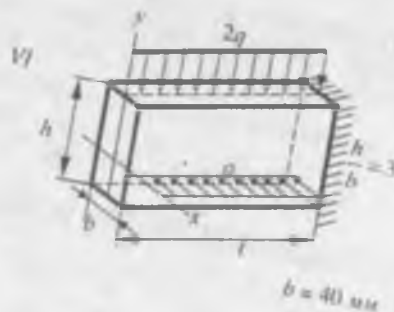
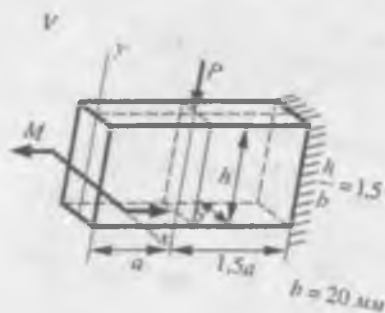
ўн тўртинчи нуқтада $x_{14} = 2\delta$, $y_{14} = 2.16\delta$ ва

$$\sigma_{14} = \frac{N}{F} + \frac{M_z}{J_z} y_{14} + \frac{M_x}{J_x} x_{14} = \frac{18P}{9\delta^2} + \frac{5P\delta}{30.6\delta^4} \cdot 2.16\delta + \frac{P\delta}{5.75\delta^4} \cdot 2\delta = 2.7 \frac{P}{\delta^2}.$$

13.2-масала. Шаклдаги тўғри тўртбурчак кесимли пўлат тўсин учун қуйидагиларни бажаринг: 1) горизонтал ва вертикал йўналишлардаги M_{top} , $M_{вер}$ эгувчи моментларни P ёки q орқали ифодаланг ва уларнинг эпюраларини қуринг; тўсин эркин учининг энг катта эгилиши ифодасини аниқланг; 3) тўсин эркин учининг салқилиги 10 мм бўлса, мустаҳкамлик шарти бажарилиши учун ташқи кучнинг миқдори қанча бўлиши кераклигини аниқланг; 4) ташқи кучнинг топилган қийматида хавфли кесимдаги нормал кучланишни ҳисобланг. Керакли маълумотларни 13.2-жадвалдан олинг.

13.2-масаланинг шакллари

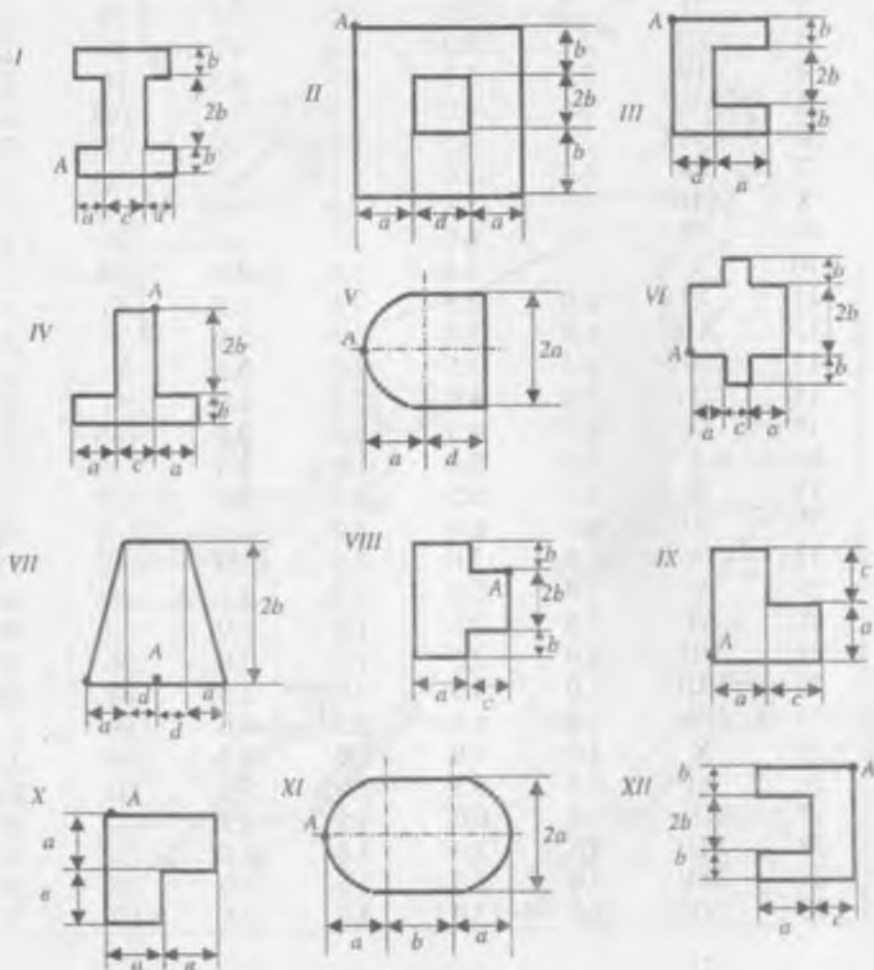


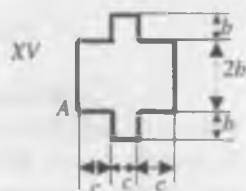
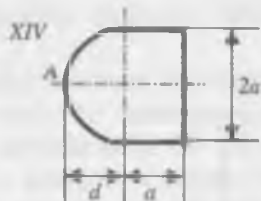
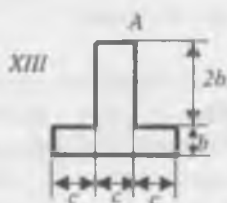


14. Марказий бўлмаган чўзилиш ва сиқилиш

14.1'-масала. Кўндаланг кесими шаклда кўрсатилган калта ва чўйндан ясалган стерженнинг A нуқтасига P куч қўйилган. Қуйидагиларни бажаринг: 1) стерженнинг кўндаланг кесимларидаги энг катта чўзувчи ва сиқувчи нормал кучланишларни P куч ва кесимнинг ўлчамлари орқали ифодаланг; 2) чўзилиш ва сиқилишга нормал кучланишнинг рухсат этилган қийматлари $[\sigma_t]$ ва $[\sigma_c]$ берилган бўлса, ташқи P кучининг қиймати қанча бўлиши кераклигини аниқланг. Керакли маълумотларни 14.1-жадвалдан олинг.

14.1-масаланинг шакллари



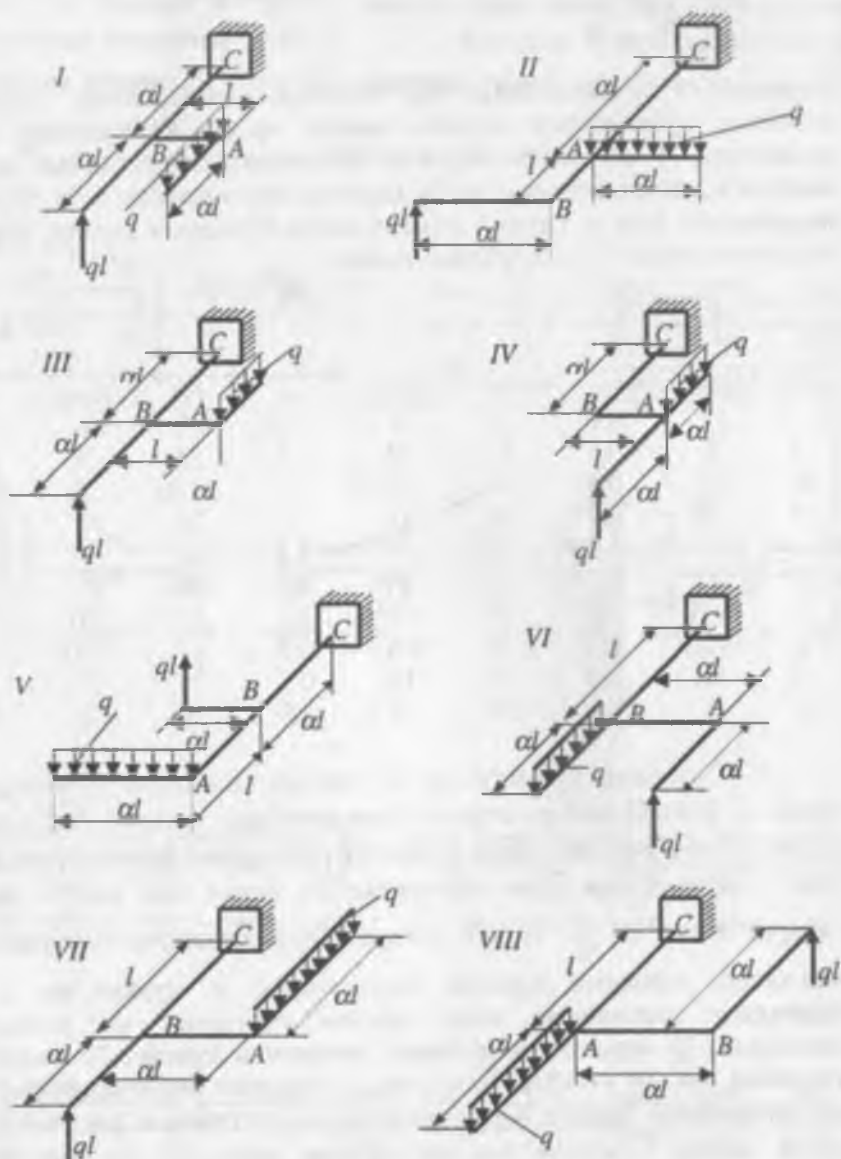


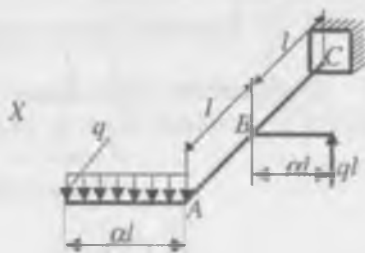
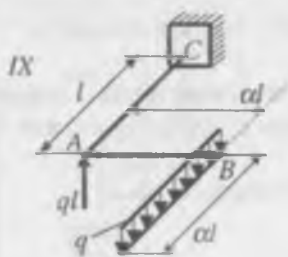
14.1-жадвал

№	Шакл	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	$[\sigma_c]$	$[\sigma_t]$
		<i>M</i>				<i>MПа</i>	
1	I	1.0	2.0	1.0	3.0	60	20
2	II	1.5	2.5	1.5	3.5	70	21
3	III	2.0	3.0	2.0	4.0	80	22
4	IV	2.5	3.5	2.5	4.5	90	23
5	V	3.0	4.0	3.0	5.0	100	24
6	VI	3.5	4.5	1.0	5.5	110	25
7	VII	4.0	5.0	1.5	6.0	120	26
8	VIII	4.5	5.5	2.0	3.0	130	27
9	IX	5.0	6.0	2.5	3.5	140	28
10	X	5.5	2.0	3.0	4.0	150	29
11	XI	6.0	2.5	1.0	4.5	60	30
12	XII	1.0	3.0	1.5	5.0	70	20
13	XIII	1.5	3.5	2.0	5.5	80	21
14	XIV	2.0	4.0	2.5	6.0	90	22
15	XV	2.5	4.5	3.0	3.0	100	23
16	I	3.0	5.0	1.0	3.5	110	24
17	II	3.5	5.5	1.5	4.0	120	25
18	III	4.0	6.0	2.0	4.5	130	26
19	IV	4.5	2.0	2.5	5.0	140	27
20	V	5.0	2.5	3.0	5.5	150	28
21	VI	5.5	3.0	1.0	6.0	60	29
22	VII	6.0	3.5	1.5	3.0	70	30
23	VIII	1.0	4.0	2.0	3.5	80	20
24	IX	1.5	4.5	2.5	4.0	90	21
25	X	2.0	5.0	3.0	4.5	100	22
26	XI	2.5	5.5	1.0	5.0	110	23
27	XII	3.0	6.0	1.5	5.5	120	24
28	XIII	3.5	2.0	2.0	6.0	130	25
29	XIV	4.0	2.5	2.5	3.0	140	26
30	XV	4.5	3.0	3.0	3.5	150	27

15.1'-масала. Шаклдаги доиравий кесимли синиқ стерженни ташкил этувчилари A ва B нуқталарда тўғри бурчаклар остида бирик

15.1-масаланинг шакллари





рилган ва стержен билан бир текисликда жойлашган. Стерженга ртикал йуналишдаги кучлар таъсир этади. Қуйдагилар талаб линади: 1) эгувчи ва буровчи моментлар эпюраларини қуринг; вфли кесимни аниқланг ва бу кесимда мустақкамликнинг туртинчи зариясига асосан умумий момент қанча бўлишини топинг. Керакли ълумотларни 15.1-жадвалдан олинг.

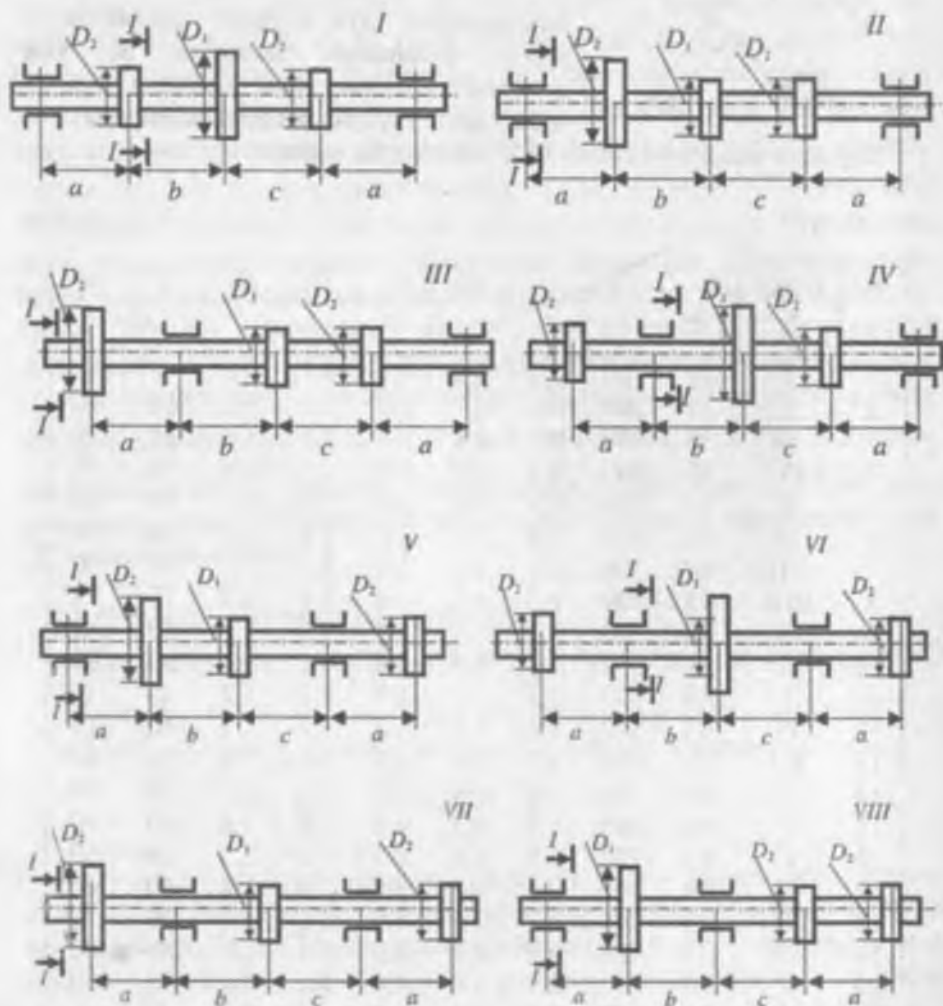
15.1-жадвал

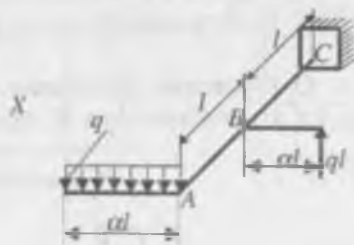
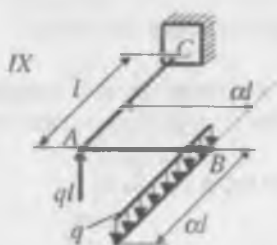
№	Шакл	α	№	Шакл	α	№	Шакл	α
1	I	0.6	11	I	1.1	21	I	1.2
2	II	0.7	12	II	1.2	22	II	1.3
3	III	0.8	13	III	1.3	23	III	1.4
4	IV	0.9	14	IV	1.4	24	IV	1.5
5	V	1.0	15	V	1.5	25	V	0.6
6	VI	1.1	16	VI	0.6	26	VI	0.7
7	VII	1.2	17	VII	0.7	27	VII	0.8
8	VIII	1.3	18	VIII	0.8	28	VIII	0.9
9	IX	1.4	19	IX	0.9	29	IX	1.0
0	X	1.5	20	X	1.0	30	X	1.1

15.2-масала. Диаметри D_1 га тенг ва тасмалари горизонтал уқ ган α_1 бурчак ташкил этувчи шкив минутига n марта айланади ва Bm қувват узатади. Қолган иккита шкивларни диаметрлари узаро г, уларнинг ҳар бири горизонтал уқ билан бир хил α_1 бурчак икил этади ва $\frac{N}{2}$ қувват узатади. Қуйдагиларни бажаринг: 1) ивларга қуйилган буровчи моментларни N қувват ва n бир тутдаги айланишлар сони орқали ифодаланг ва қийматини обланг; 2) буровчи моментнинг эпюрасини қуринг; 3) шкивларга чалар орқали узатилаётган t_1 ва t_2 кучларни буровчи момент, D_1 , диаметрлар орқали ифодаланг ва қийматларини ҳисобланг; 4) га таъсир этаётган тортиш кучини аниқланг (бу куч ҳамма ивлардаги тасмаларнинг таранглик кучларининг йиғиндисига тенг

булади); 5) шкивларни ва вални хусусий огирлигини эътиборга олмаган ҳолда, вални горизонтал ва вертикал ўқлар бўйлаб эгувчи кучларни аниқланг; 6) вални горизонтал ва вертикал ўқлар бўйича эгувчи кучлардан ҳосил бўлган эгувчи моментларни эпюраларини қуриш; 7) буровчи ва эгувчи моментларни геометрик йиғиндисига тенг умумий моментни $M_y = \sqrt{M_{\text{бур}}^2 + M_{\text{эгр}}^2}$ формула бўйича ҳисобланг ва эпюрасини қуриш; 8) мустаҳкамликнинг учинчи шarti ва $M_3, M_{\text{бур}}$

15.2-масаланинг шакллари





тирилган ва стержен билан бир текисликда жойлашган. Стерженга вертикал йўналишдаги кучлар таъсир этади. Қуйдагилар талаб қилинади: 1) эғувчи ва буровчи моментлар эпюраларини қуринг; хавфли кесимни аниқланг ва бу кесимда мустаҳкамликнинг туртинчи назариясига асосан умумий момент қанча бўлишини топинг. Керакли маълумотларни 15.1-жадвалдан олинг.

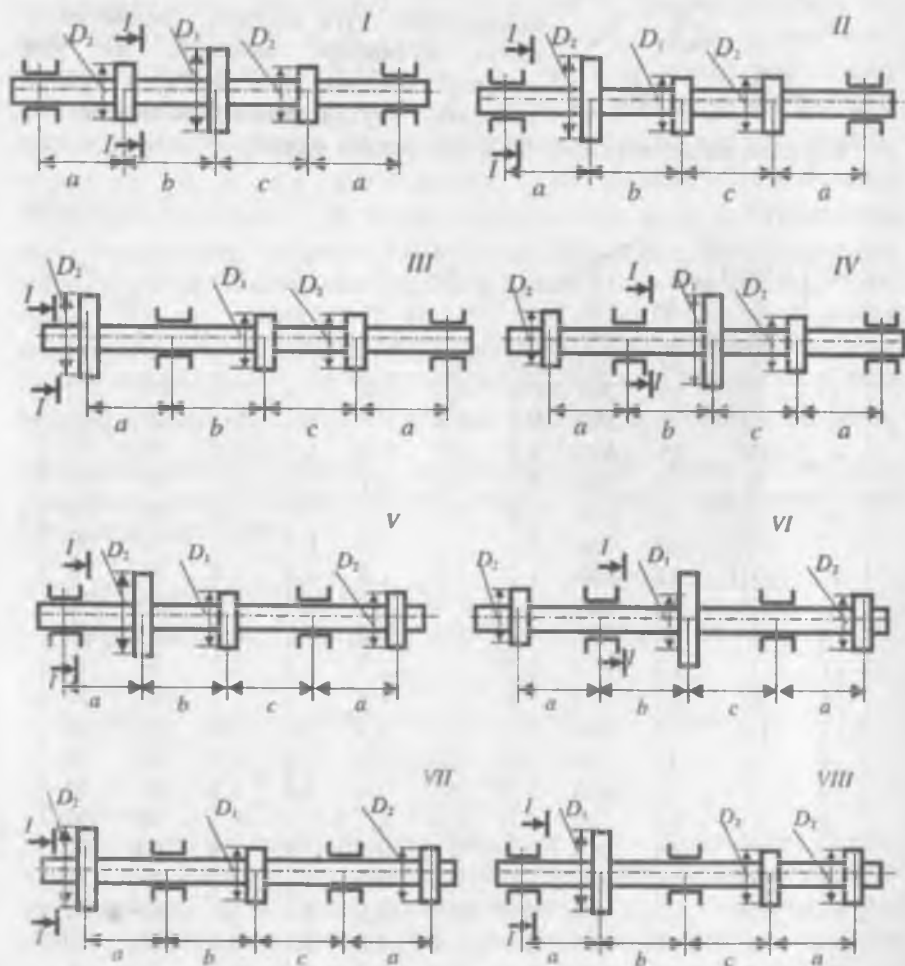
15.1-жадвал

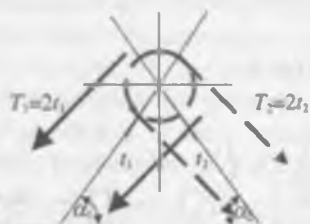
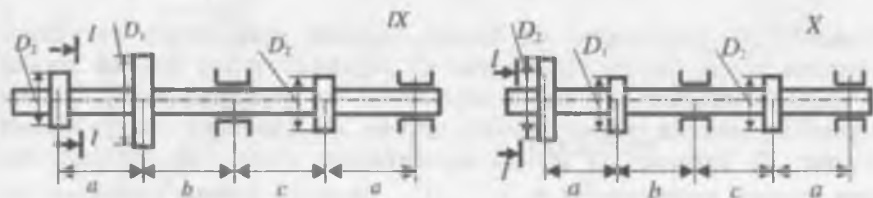
№	Шакл	α	№	Шакл	α	№	Шакл	α
1	I	0.6	11	I	1.1	21	I	1.2
2	II	0.7	12	II	1.2	22	II	1.3
3	III	0.8	13	III	1.3	23	III	1.4
4	IV	0.9	14	IV	1.4	24	IV	1.5
5	V	1.0	15	V	1.5	25	V	0.6
6	VI	1.1	16	VI	0.6	26	VI	0.7
7	VII	1.2	17	VII	0.7	27	VII	0.8
8	VIII	1.3	18	VIII	0.8	28	VIII	0.9
9	IX	1.4	19	IX	0.9	29	IX	1.0
10	X	1.5	20	X	1.0	30	X	1.1

15.2'-масала. Диаметри D_1 га тенг ва тасмалари горизонтал ўқ билан α_1 бурчак ташкил этувчи шкив минутига n марта айланади ва N кВт қувват узатади. Қолган иккита шкивларни диаметрлари ўзаро тенг, уларнинг ҳар бири горизонтал ўқ билан бир хил α_1 бурчак ташкил этади ва $\frac{N}{2}$ қувват узатади. Қуйдагиларни бажаринг: 1) шкивларга қўйилган буровчи моментларни N қувват ва n бир минутдаги айланишлар сони орқали ифодаланг ва қийматини ҳисобланг; 2) буровчи моментнинг эпюрасини қуринг; 3) шкивларга тасмалар орқали узатилаётган t_1 ва t_2 кучларни буровчи момент, D_1 , D_2 диаметрлар орқали ифодаланг ва қийматларини ҳисобланг; 4) валга таъсир этаётган тортиш кучини аниқланг (бу куч ҳамма шкивлардаги тасмаларнинг таранглик кучларининг йиғиндисига тенг

бўлади); 5) шкивларни ва вални хусусий оғирлигини эътиборга олмаган ҳолда, вални горизонтал ва вертикал ўқлар бўйлаб эгувчи кучларни аниқланг; 6) вални горизонтал ва вертикал ўқлар бўйича эгувчи кучлардан ҳосил бўлган эгувчи моментларни эпюраларини қуринг; 7) буровчи ва эгувчи моментларни геометрик йиғиндисига тенг умумий моментни $M_3 = \sqrt{M_{\text{бур}}^2 + M_{\text{эп}}^2}$ формула бўйича ҳисобланг ва эпюрасини қуринг; 8) мустаҳкамликнинг учинчи шarti ва M_3 , $M_{\text{бур}}$

15.2-масаланинг шакллари





моментларнинг эпюраларидан фойдаланиб энг катта моментни аниқланг; 9) $[\sigma] = 70 \text{ МПа}$ бўлса, мустаҳкамлик шарти бажарилиши учун валнинг диаметри d қанча бўлишини аниқланг ва уни стандартдаги энг яқин қиймати бўйича яхлитланг (бутун сонгайлантиринг).

Керакли маълумотларни 15.2-жадвалдан олинг.

15.2-жадвал

№	Шакл	N, кВт	n, $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$	a	b	c	D ₁	D ₂	α_1°	α_2°
				м					град	
1	I	10	100	0.5	0.6	0.7	1.1	1.1	0	0
2	II	15	200	0.6	0.7	0.8	1.2	1.2	10	10
3	III	20	300	0.7	0.8	0.9	1.3	1.3	20	20
4	IV	25	400	0.8	0.9	1.0	1.4	1.4	30	30
5	V	30	500	0.9	1.0	1.1	1.5	1.5	40	40
6	VI	35	600	1.0	1.1	1.2	1.6	1.6	50	50
7	VII	40	700	1.1	1.2	1.3	1.7	1.7	60	60
8	VIII	45	800	1.2	1.3	1.4	1.8	1.8	70	70
9	IX	50	900	1.3	1.4	1.5	1.9	1.9	80	80
10	X	55	100	1.4	1.5	1.6	1.1	1.1	90	90
11	I	60	200	1.5	1.6	1.7	1.2	1.2	0	0
12	II	65	300	1.6	1.7	1.8	1.3	1.3	10	10
13	III	70	400	1.7	1.8	1.9	1.4	1.4	20	20
14	IV	75	500	1.8	1.9	0.5	1.5	1.5	30	30
15	V	80	600	1.9	0.5	0.6	1.6	1.6	40	40
16	VI	85	700	0.5	0.6	0.7	1.7	1.7	50	50
17	VII	90	800	0.6	0.7	0.8	1.8	1.8	60	60
18	VIII	95	900	0.7	0.8	0.9	1.9	1.9	70	70
19	IX	100	100	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	80	80
20	X	10	200	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	90	90
21	I	15	300	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	0	0

22	II	20	400	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	10	10
23	III	25	500	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	20	20
24	IV	30	600	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	30	30
25	V	35	700	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	40	40
26	VI	40	800	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	50	50
27	VII	45	900	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	60	60
28	VIII	50	100	1.7	1.8	1.9	1.1	1.1	70	70
29	IX	55	200	1.8	1.9	0.5	1.2	1.2	80	80
30	X	60	300	1.9	0.5	0.6	1.3	1.3	90	90

15.3-масала. Кундаланг кесими доирадан иборат, иккита подшипникларга ўрнатилган ва минутига n марта айланадиган валга диаметрлари D_1, D_2, D_3 га ва оғирликлари Q_1, Q_2, Q_3 га тенг учта шкивлар ўрнатилган. Диаметри D_1 га тенг етакловчи шкив электродвигателдан N_1 о.к. қувват олади ва уни тасмали узаткич орқали диаметрлари D_2, D_3 га тенг етакланувчи шкивларга узатиб, уларда N_2 ва N_3 о.к. қувватларни ҳосил қилади. Шкивлардаги тасмаларни вертикал z ўқ билан ҳосил қилган $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ бурчаклари соат стрелкасига тескари йўналишда ўлчанади. Подшипниклар билан шкивларни ўрталаригача бўлган масофалар мос ҳолда чапдан ўнгга a, b, c, e ҳарфлари билан белгиланади. 15.3-жадвалда индексдаги сонлар орқали шкивларни рақамлари ва «П» ҳарфи орқали подшипник белгиланган. Агар нормал кучланишнинг рухсат этилган қиймати $[\sigma]$ ва $G = 8 \cdot 10^{10} \frac{H}{м}$ га тенг бўлса, валнинг диаметри мустақкамликнинг учинчи назариясига кўра қанча бўлишини аниқланг, унинг бикрлигини текширинг. Керакли маълумотларни 15.3-жадвалдан олинг.

15.3-масалани ечиш намунаси.

Берилган: шакл - П21ПЗ, $n = 360 \frac{мин}{мин}$, $N_1 = 30$ о.к., $N_2 = 40$ о.к.,

$D_1 = 45$ см, $D_2 = 63$ см, $D_3 = 90$ см, $Q_1 = 420$ Н, $Q_2 = 580$ Н, $Q_3 = 880$ Н, $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 315^\circ$, $\alpha_3 = 150^\circ$, $a = 24$ см, $b = 70$ см, $c = 84$ см, $e = 38$ см,

$$[\sigma] = 10^8 \frac{H}{м^2}.$$

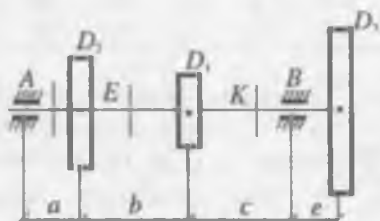
Ечиш.

1) П21ПЗ-шаклни чизамиз. Биринчи «П» - подшипник, ундан a масофада диаметри D_1 га тенг етакловчи шкив, ундан b масофада эса диаметри D_2 га тенг етакланувчи шкив, ундан c масофада яна «П» - подшипник ва ундан e масофада диаметри D_3 га тенг етакланувчи шкив жойлашган (15.1-шакл).

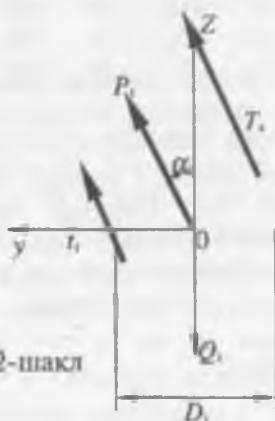
2) Етакловчи валдаги қувватни ҳисоблаймиз

$$N_1 = N_2 + N_3 = 30 + 40 = 70 \text{ о.к.}$$

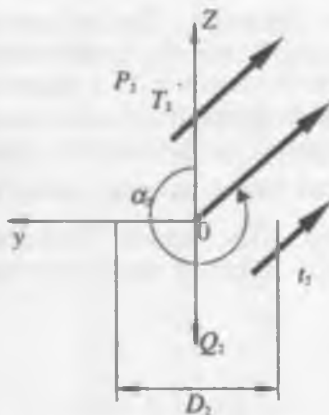
3) Шкивларнинг огирлик кучлари, тасмаларнинг йўналишлари ва улардаги таранглик кучларини шаклда тасвирлаймиз (15.2-15.4-шакллар). Етакловчи шкивдаги буровчи моментни мусбат ва соат стрелкасига тескари йўналишда йўналган, етакланувчи шкивлардагиларни эса манфий ва соат стрелкаси йўналиши билан бир хил йўналган деб қараймиз.



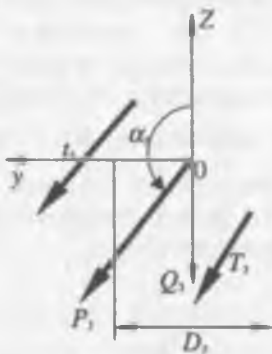
15.1-шакл



15.2-шакл



15.3-шакл



15.4-шакл

4) Шкивлардаги буровчи моментларни аниқлаймиз:

$$M_{\text{с}1} = 716.2 \frac{N_1}{n} = 716.2 \frac{70}{360} = 1393 \text{ Нм}; \quad M_{\text{с}2} = 716.2 \frac{N_2}{n} = 716.2 \frac{30}{360} = 597 \text{ Нм};$$

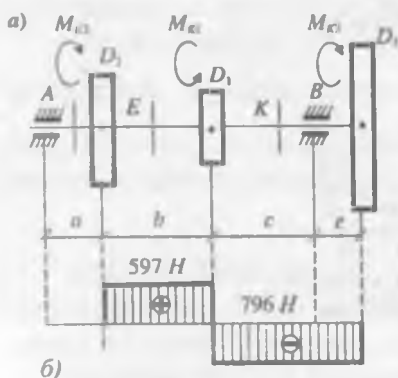
$$M_{\text{с}3} = 716.2 \frac{N_3}{n} = 716.2 \frac{40}{360} = 796 \text{ Нм}.$$

Вал бир текис айланганда етакловчи шкивдаги буровчи момент етакланувчи шкивлардаги буровчи моментларнинг йиғиндисига тенг бўлади

$$M_{\kappa 1} = M_{\kappa 2} + M_{\kappa 3} = 597 + 796 = 1393 \text{ Нм}.$$

5) Буровчи момент эпюрасини кураимиз. Валнинг *a, b, c, e* кесимлари орасидаги бўлакчаларини мос *I, II, III* билан белгилаймиз. У ҳолда: биринчи бўлакчада $M'_b = 0$; иккинчи бўлакчада $M''_a = M_{\kappa 2} = 597 \text{ Нм}$; учинчи бўлакчада $M'''_e = -M_{\kappa 1} = M_{\kappa 2} - M_{\kappa 1} = -796 \text{ Нм}$.

Буровчи моментни эпюраси 15.5-шаклда келтирилган.



15.5-шакл

6) Вални шкив ўрнатилган кесимларидаги кесувчи *P* кучларни аниқлаймиз:

$$P_1 = 3\tau_1 = \frac{6M_{\kappa 1}}{D_1} = \frac{6 \cdot 1396}{0.45} = 18560 \text{ Н};$$

$$P_2 = 3\tau_2 = \frac{6M_{\kappa 2}}{D_2} = \frac{6 \cdot 597}{0.63} = 5680 \text{ Н};$$

$$P_3 = 3\tau_3 = \frac{6M_{\kappa 3}}{D_3} = \frac{6 \cdot 796}{0.90} = 5300 \text{ Н}.$$

7) Валнинг вертикал ўқ бўйлаб эгувчи кучларни (кесувчи кучларни вертикал ўқдаги ташкил этувчиларини) аниқлаймиз:

$$V_1 = P_1 \cos \alpha_1 - Q_1 = 18560 \cdot 0.866 - 420 = 15650 \text{ Н};$$

$$V_2 = P_2 \cos \alpha_2 - Q_2 = 5680 \cdot 0.707 - 580 = 3430 \text{ Н};$$

$$V_3 = P_3 \cos \alpha_3 - Q_3 = 5300 \cdot (-0.866) - 880 = -5470 \text{ Н}.$$

8) Валнинг горизонтал ўқ бўйлаб эгувчи кучларни (кесувчи кучларни горизонтал ўқдаги ташкил этувчиларини) аниқлаймиз:

$$H_1 = P_1 \sin \alpha_1 = 18560 \cdot 0.5 = 9280 \text{ Н}; \quad H_2 = P_2 \sin \alpha_2 = 5680 \cdot (-0.707) = -4010 \text{ Н};$$

$$H_3 = P_3 \sin \alpha_3 = 5300 \cdot 0.5 = 2650 \text{ Н}.$$

9) Валнинг вертикал ва горизонтал текисликларда эгувчи *V* ва *H* кучлардан ҳосил бўлган эгувчи моментлар эпюраларини кураимиз. Бунинг учун подшипникни валга таъсирини қўзғалмас шарнирдаги *A_r, B_r, A_τ, B_τ* ташкил этувчиларга ажратамиз. Қўрилаётган мисолда *A_r = -11520 Н, B_r = -2090 Н, A_τ = -340 Н, B_τ = -7580 Н* га тенг бўлади.

Кесувчи кучларни вертикал ва горизонтал ташкил этувчиларидан ҳосил бўладиган эгувчи моментларнинг эпюралари 15.6, *a* ва *б*-шаклларда келтирилган.

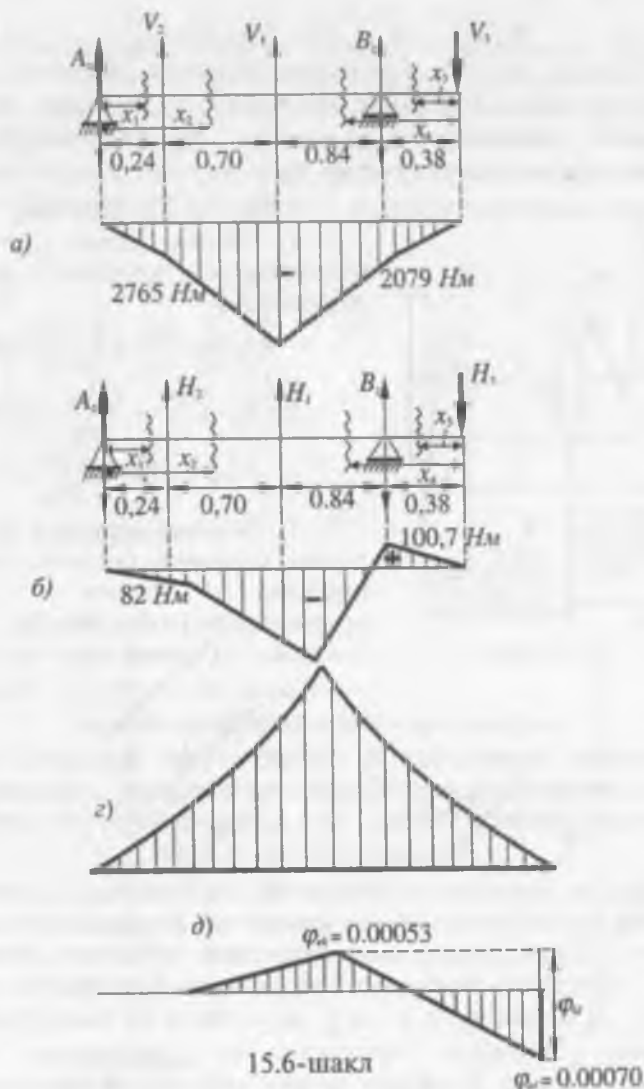
10) Умумий эгувчи момент эпюрасини кураимиз. Бунинг учун бир нечта кесимларда умумий эгувчи момент миқдорларини

$M = \sqrt{M_{\text{гор}}^2 + M_{\text{вер}}^2}$ формуладан ҳисоблаймиз:

$$x = 0.24 \text{ м да } M_1 = \sqrt{M_{\text{гор}}^2 + M_{\text{вер}}^2} = \sqrt{27565^2 + 82^2} = 2766 \text{ Нм};$$

$$x = 0.94 \text{ м да } M_2 = \sqrt{M_{\text{гор}}^2 + M_{\text{вер}}^2} = \sqrt{8428^2 + 3130^2} = 8990 \text{ Нм};$$

$$x = 1.78 \text{ м да } M_3 = \sqrt{M_{\text{гор}}^2 + M_{\text{вер}}^2} = \sqrt{2074^2 + 1007^2} = 2310 \text{ Нм}.$$



Умумий эгувчи моментнинг эпюраси шакл текислигида қурилади ва эгри чизикли бўлаклардан иборат бўлади (15.6, в-шакл).

11) Хавфли кесимни аниқлаш. Умумий эгувчи момент ва буровчи моментни йиғиндиси энг катта бўлган кесим хавфли кесим дейилади. Қурилаётган мисолда D_1 шкив ўрнатилган кесим хавфли кесим бўлиб, унда $M_2 = 8990 \text{ Hм}$ ва $M_8 = 796 \text{ Hм}$ га тенг.

12) Мустақамликнинг учинчи назарияси бўйича моментни ҳисоблаймиз

$$M_{\text{ру}} = \sqrt{M_2^2 + M_3^2} = \sqrt{8990^2 + 796^2} = 9025 \text{ Нм}.$$

13) Вал диаметрининг рухсат этилган қийматини аниқлаймиз

$$d = \sqrt{\frac{32 M_{\text{ру}}}{\pi [\sigma]}} = \sqrt{\frac{32 \cdot 9025 \cdot 10^7}{3.14 \cdot 10^8}} = 9.72 \text{ см}.$$

Бу сонни валнинг стандартдаги ўлчамларини назарда тутиб яхлитлаймиз ва қўрилаётган мисол учун $d = 10 \text{ см}$ ни қабул қиламиз.

14) Валнинг a, b, c, e оралиқлардаги буралиш бурчакларини ҳисоблаймиз. Буралиш бурчаги $\varphi = \frac{M_E l}{G J_p}$ формула бўйича ҳисобланади, бу ерда l валнинг қўрилаётган бўлакчасининг узунлиги, J_p - валнинг қўндаланг кесимининг қутб инерция моменти

$$J_p = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{3.14 \cdot 10000}{32} = 981 \text{ см}^4.$$

Шундай қилиб, вални a бўлакчасида $M'_a = 0$ ва демак $\varphi_{aE} = 0$; b бўлакчасида $M'_b = 597 \text{ Нм}$ ва демак $\varphi_{bE} = 0.00053 \text{ рад}$; c ва e бўлакчаларида $M'_c = -796 \text{ Нм}$ ва демак $\varphi_{cE} = -0.00123 \text{ рад}$.

Буралиш бурчаги эпюрасини A кесимнинг буралиш бурчагига нисбатан қураимиз, чунки валнинг AE бўлакчаси буралмайди, яъни $\varphi_{aE} = 0$. Валнинг K кесими E кесимга нисбатан $\varphi_{EK} = 0.00053 \text{ рад}$ бурчакка буралади. Бу кесимда эпюранинг ординатаси мусбат сондан иборат. Вални L кесимининг A кесимга нисбатан буралиш бурчаги қўрилаётган кесимларни ҳаммасининг буралиш бурчакларининг алгебраик йиғиндисига тенг

$$\varphi_{AL} = \varphi_{EK} + \varphi_{EL} = 0.00053 - 0.00123 = -0.00070 \text{ рад}.$$

Буралиш бурчагининг эпюраси 15.6, δ -шаклда келтирилган.

15) Нисбий буралиш бурчагининг энг катта қийматини аниқлаймиз ва валнинг бикрлигини текшираимиз. Валнинг бикрлиги

$$\theta = \frac{180 M_{\text{EMAX}} \cdot 100}{\pi G J_p} \leq [\theta]$$

шартдан текширилади, бу ерда $[\theta]$ - нисбий буралиш бурчагининг рухсат этилган қиймати (одатда $[\theta]$ нинг бир метрдаги қиймати 0.5° дан ошмаслиги керак). Қўрилаётган мисолда

$$\theta = \frac{180 M_{\text{EMAX}} \cdot 100}{\pi G J_p} = \frac{180 \cdot 796 \cdot 10^7}{3.14 \cdot 8 \cdot 10^7 \cdot 981} = 0.058^\circ < 0.5^\circ$$

бикрлик шarti бажарилади.

15.3-жаңылы

№	Шакл	n айт мин	N, o.k.		D, см			Q, Н			α, град			a, м	a, м	c, м	e, м	[σ] МПа
			N ₂	N ₃	D ₁	D ₂	D ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	α ₁	α ₂	α ₃					
1	П312П	360	10	60	36	80	100	300	720	900	30	330	210	20	32	90	38	160
2	П21П3	400	15	50	40	50	90	360	480	880	150	60	315	22	40	84	36	70
3	П12П3	450	20	45	45	71	80	420	640	720	240	210	135	24	46	80	34	80
4	П123П	500	25	40	50	36	71	480	300	640	45	180	150	26	50	76	32	90
5	П23П1	560	30	35	56	90	63	540	880	580	300	315	225	28	88	68	30	100
6	3П1П2	630	35	30	63	45	56	580	420	540	135	90	180	30	66	60	28	120
7	П23П1	710	40	25	71	63	50	640	580	480	90	120	240	32	70	54	26	130
8	2П3П1	800	45	20	80	100	45	720	900	420	330	270	30	34	74	48	24	140
9	П23П	900	50	15	90	56	40	880	540	360	225	45	270	36	80	42	22	150
10	2П13П	1000	60	10	100	40	36	900	360	300	120	300	60	38	86	36	20	160
11	П213П	360	10	60	36	80	100	300	720	900	30	330	210	20	32	90	38	160
12	П31П12	400	15	50	40	50	90	360	480	880	150	60	315	22	40	84	36	70
13	П13П12	450	20	45	45	71	80	420	640	720	240	210	135	24	46	80	34	80
14	П32П1	500	25	40	50	36	71	480	300	640	45	180	150	26	50	76	32	90
15	3П21П	560	30	35	56	90	63	540	880	580	300	315	225	28	88	68	30	100
16	2П3П1	630	35	30	63	45	56	580	420	540	135	90	180	30	66	60	28	120
17	2П1П3	710	40	25	71	63	50	640	580	480	90	120	240	32	70	54	26	130
18	3П1П2	800	45	20	80	100	45	720	900	420	330	270	30	34	74	48	24	140
19	П3П2	900	50	15	90	56	40	880	540	360	225	45	270	36	80	42	22	150
20	П21П3	1000	60	10	100	40	36	900	360	300	120	300	60	38	86	36	20	160
21	2П3П1	360	10	60	36	80	100	300	720	900	30	330	210	20	32	90	38	160
22	32П1П1	400	15	50	40	50	90	360	480	880	150	60	315	22	40	84	36	70
23	23П1П	450	20	45	45	71	80	420	640	720	240	210	135	24	46	80	34	80
24	П1П23	450	25	40	50	36	71	480	300	640	45	180	150	26	50	76	32	90
25	П1П32	500	30	35	56	90	63	540	880	580	300	315	225	28	88	68	30	100
26	П2П13	560	35	30	63	45	56	580	420	540	135	90	180	30	66	60	28	120
27	П2П131	630	40	25	71	63	50	640	580	480	90	120	240	32	70	54	26	130
28	П3П12	710	45	20	80	100	45	720	900	420	330	270	30	34	74	48	24	140
29	П3П21	800	50	15	90	56	40	880	540	360	225	45	270	36	80	42	22	150
30	П1П2П3	900	60	10	100	40	36	900	360	300	120	300	60	38	86	36	20	160

15.3-жаңылы

№	Шакл	n айт мин	N, o.k.		D, см			Q, Н			α, град			a, м	a, м	c, м	e, м	[σ] МПа
			N ₂	N ₃	D ₁	D ₂	D ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	α ₁	α ₂	α ₃					
1	П312П	360	10	60	36	80	100	300	720	900	30	330	210	20	32	90	38	160
2	П21П3	400	15	50	40	50	90	360	480	880	150	60	315	22	40	84	36	70
3	П12П3	450	20	45	45	71	80	420	640	720	240	210	135	24	46	80	34	80
4	П123П	500	25	40	50	36	71	480	300	640	45	180	150	26	50	76	32	90
5	П23П1	560	30	35	56	90	63	540	880	580	300	315	225	28	88	68	30	100
6	3П1П2	630	35	30	63	45	56	580	420	540	135	90	180	30	66	60	28	120
7	П23П1	710	40	25	71	63	50	640	580	480	90	120	240	32	70	54	26	130
8	2П3П1	800	45	20	80	100	45	720	900	420	330	270	30	34	74	48	24	140
9	П123П	900	50	15	90	56	40	880	540	360	225	45	270	36	80	42	22	150
10	2П13П	1000	60	10	100	40	36	900	360	300	120	300	60	38	86	36	20	160
11	П213П	360	10	60	36	80	100	300	720	900	30	330	210	20	32	90	38	160
12	П31П12	400	15	50	40	50	90	360	480	880	150	60	315	22	40	84	36	70
13	П13П2	450	20	45	45	71	80	420	640	720	240	210	135	24	46	80	34	80
14	П32П1	500	25	40	50	36	71	480	300	640	45	180	150	26	50	76	32	90
15	3П21П	560	30	35	56	90	63	540	880	580	300	315	225	28	88	68	30	100
16	2П3П1	630	35	30	63	45	56	580	420	540	135	90	180	30	66	60	28	120
17	2П1П3	710	40	25	71	63	50	640	580	480	90	120	240	32	70	54	26	130
18	3П1П2	800	45	20	80	100	45	720	900	420	330	270	30	34	74	48	24	140
19	П13П12	900	50	15	90	56	40	880	540	360	225	45	270	36	80	42	22	150
20	П2П3П	1000	60	10	100	40	36	900	360	300	120	300	60	38	86	36	20	160
21	2П13П	360	10	60	36	80	100	300	720	900	30	330	210	20	32	90	38	160
22	32П1П1	400	15	50	40	50	90	360	480	880	150	60	315	22	40	84	36	70
23	23П1П	450	20	45	45	71	80	420	640	720	240	210	135	24	46	80	34	80
24	П1П23	450	25	40	50	36	71	480	300	640	45	180	150	26	50	76	32	90
25	П1П32	500	30	35	56	90	63	540	880	580	300	315	225	28	88	68	30	100
26	П2П13	560	35	30	63	45	56	580	420	540	135	90	180	30	66	60	28	120
27	П2П31	630	40	25	71	63	50	640	580	480	90	120	240	32	70	54	26	130
28	П3П12	710	45	20	80	100	45	720	900	420	330	270	30	34	74	48	24	140
29	П3П21	800	50	15	90	56	40	880	540	360	225	45	270	36	80	42	22	150
30	П1П2П3	900	60	10	100	40	36	900	360	300	120	300	60	38	86	36	20	160

16. Сиқилган стерженлар устиворлигини текшириш

16.1'-масала. Уzunлиги l га тенг пулат стерженга P марказий уқ буйлаб сиқувчи куч қўйилган. Қуйидагиларни бажаринг: 1) оддий сиқилишга мустақкамлик шартидан ва кетма-кет яқинлашиш усулидан фойдаланиб (кетма-кет яқинлашиш усулини $\varphi = 0.5$ қийматдан бошлаб қўлланилади, $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$) стерженни кундаланг кесими юзининг рухсат этилган қийматини топинг; 2) критик кучини ва қўшимча устиворлик коэффициентини аниқланг. Керакли маълумотларни 16.1-жадвалдан олинг.

16.1-масаланинг шакллари



16.1-жадвал

№	Шакл	l	P	Стержен кундаланг кесимининг шакли
		м	Н	
1	I	5	1000	Диаметри d га тенг доира.
2	II	15	1100	Асоси d га ва баландлиги $2d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
3	III	20	1200	Асоси d га ва баландлиги $1.5d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
4	IV	25	1300	Асоси ва баландлиги d га тенг бўлган тенг ёнли учбурчак.
5	V	30	1400	Томонлари d га тенг бўлган квадрат.
6	I	35	1500	Ташқи ва ички диаметрлари $1.1d$ ва d га тенг бўлган ҳалқа.
7	II	40	1600	Диаметри d га тенг доира.
8	III	45	1700	Асоси d га ва баландлиги $2d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
9	IV	50	1800	Асоси d га ва баландлиги $1.5d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
10	V	55	1900	Асоси ва баландлиги d га тенг бўлган тенг ёнли учбурчак.

11	I	60	2000	Томонлари d га тенг бўлган квадрат.
12	II	65	2100	Ташқи ва ички диаметрлари $1.1d$ ва d га тенг бўлган ҳалқа.
13	III	70	2200	Диаметри d га тенг доира.
14	IV	75	2300	Асоси d га ва баландлиги $2d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
15	V	80	2400	Асоси d га ва баландлиги $1.5d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
16	I	85	1000	Асоси ва баландлиги d га тенг бўлган тенг ёнли учбурчак.
17	II	90	1100	Томонлари d га тенг бўлган квадрат.
18	III	0	1200	Ташқи ва ички диаметрлари $1.1d$ ва d га тенг бўлган ҳалқа.
19	IV	5	1300	Диаметри d га тенг доира.
20	V	15	1400	Асоси d га ва баландлиги $2d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
21	I	20	1500	Асоси d га ва баландлиги $1.5d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
22	II	25	1600	Асоси ва баландлиги d га тенг бўлган тенг ёнли учбурчак.
23	III	30	1700	Томонлари d га тенг бўлган квадрат.
24	IV	35	1800	Ташқи ва ички диаметрлари $1.1d$ ва d га тенг бўлган ҳалқа.
25	V	40	1900	Диаметри d га тенг доира.
26	I	45	2000	Асоси d га ва баландлиги $2d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
27	II	50	2100	Асоси d га ва баландлиги $1.5d$ га тенг тўғри тўртбурчак.
28	III	55	2200	Асоси ва баландлиги d га тенг бўлган тенг ёнли учбурчак.
29	IV	60	2300	Томонлари d га тенг бўлган квадрат.
30	V	65	2400	Ташқи ва ички диаметрлари $1.1d$ ва d га тенг бўлган ҳалқа.
32	IV	25	1300	Асоси ва баландлиги d га тенг бўлган тенг ёнли учбурчак.
33	V	30	1400	Томонлари d га тенг бўлган квадрат.

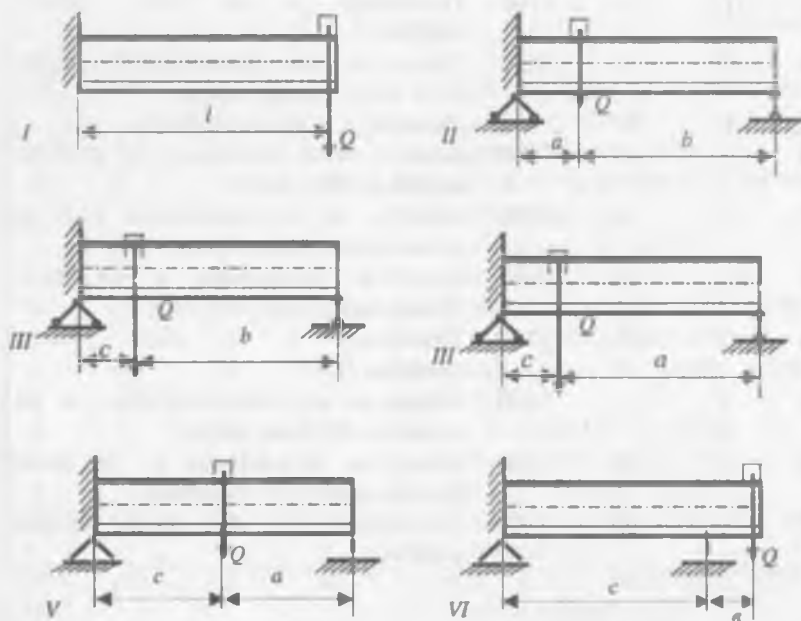
17. Динамик кучлар таъсиридаги стерженлар мустаҳкамлигини текшириш

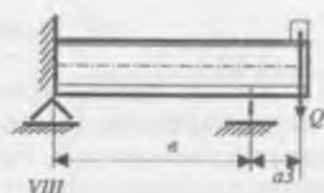
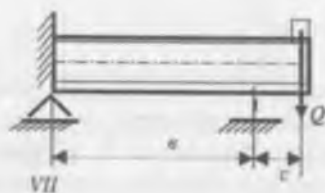
17.1'-масала. Шаклдаги иккита қўшавр кесимли стерженларга огирлиги Q га тенг ва минутига n марта айланадиган двигател ўрнатилган. Двигател стерженлар устида симметрик жойлашмагани учун уларда миқдори H га тенг инерция кучи пайдо бўлади. Қуйидагиларни бажаринг: 1) хусусий тебранишлар частотаси ω_c ни аниқланг; 2) қўзғатувчи кучни ўзгариши частотаси ω ни товинг; 3) тебранишларнинг ортиб бориш коэффиценти $\beta = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}$ нинг

модулини ҳисобланг; 4) тебранишларнинг динамик коэффиценти $k_d = 1 + \frac{f_n}{f_v} \beta = 1 + \frac{H}{Q} \beta$ формула бўйича ҳисобланг; 5) стерженлардаги энг катта нормал кучланишлар $\sigma_d = k_d \sigma_{ct}$ ни аниқланг. Керакли маълумотларни 17.1-жадвалдан олинг.

Эслатма: стерженларни хусусий огирликлари ва қаршилик кучлари эътиборга олинмайди.

17.1-масаланинг шакллари





17.1-жадвал

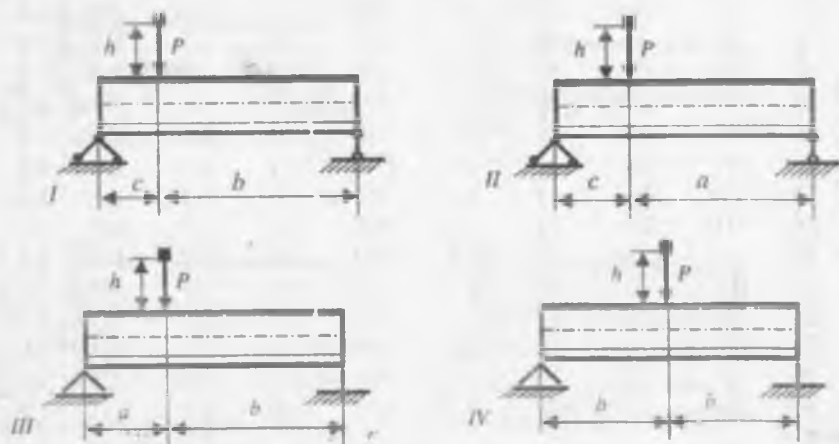
№	Шакл	Қуш- тавр	Q	H	n	a	b	c	l
			кН		айл мин				
1	I	16	11	1.1	400	1.1	1.0	0.9	0.8
2	II	18	12	1.2	450	1.2	1.1	1.0	0.9
3	III	20a	13	1.3	500	1.3	1.2	1.1	1.0
4	IV	20	14	1.4	550	1.4	1.3	1.2	1.1
5	V	22a	15	1.5	600	1.5	1.4	1.3	1.2
6	VI	22	16	1.6	650	1.6	1.5	0.9	0.8
7	VII	24a	17	1.7	700	1.7	1.0	1.0	0.9
8	VIII	24	18	1.8	750	1.8	1.1	1.1	1.0
9	I	27a	19	1.9	800	1.9	1.2	1.2	1.1
10	II	27	20	2.0	850	2.0	1.3	1.3	1.2
11	III	16	11	1.1	900	1.1	1.4	0.9	0.8
12	IV	18	12	1.2	950	1.2	1.5	1.0	0.9
13	V	20a	13	1.3	1000	1.3	1.0	1.1	1.0
14	VI	20	14	1.4	400	1.4	1.1	1.2	1.1
15	VII	22a	15	1.5	450	1.5	1.2	1.3	1.2
16	VIII	22	16	1.6	500	1.6	1.3	0.9	0.8
17	I	24a	17	1.7	550	1.7	1.4	1.0	0.9
18	II	24	18	1.8	600	1.8	1.5	1.1	1.0
19	III	27a	19	1.9	650	1.9	1.0	1.2	1.1
20	IV	27	20	2.0	700	2.0	1.1	1.3	1.2
21	V	16	11	1.1	750	1.1	1.2	0.9	0.8
22	VI	18	12	1.2	800	1.2	1.3	1.0	0.9
23	VII	20a	13	1.3	850	1.3	1.4	1.1	1.0
24	VIII	20	14	1.4	900	1.4	1.5	1.2	1.1
25	I	22a	15	1.5	950	1.5	1.0	1.3	1.2
26	II	22	16	1.6	1000	1.6	1.1	0.9	0.8
27	III	24a	17	1.7	400	1.7	1.2	1.0	0.9
28	IV	24	18	1.8	450	1.8	1.3	1.1	1.0
29	V	27a	19	1.9	500	1.9	1.4	1.2	1.1
30	VI	27	20	2.0	550	2.0	1.5	1.3	1.2

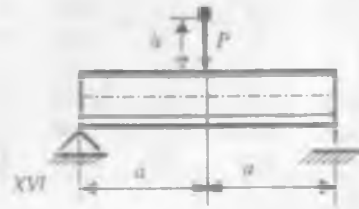
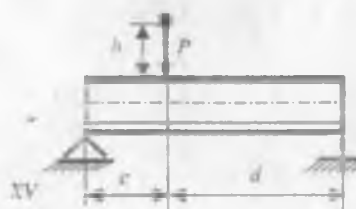
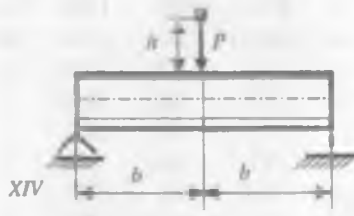
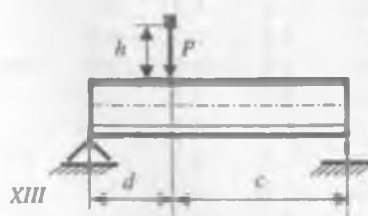
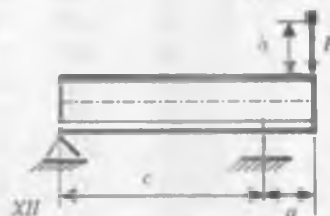
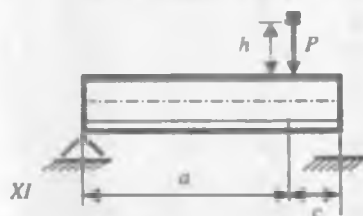
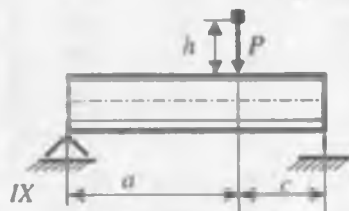
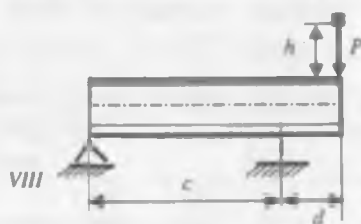
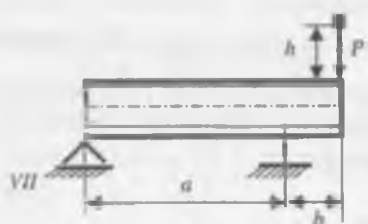
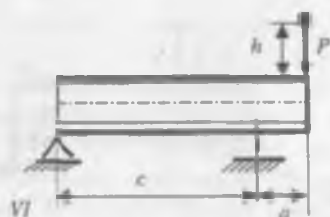
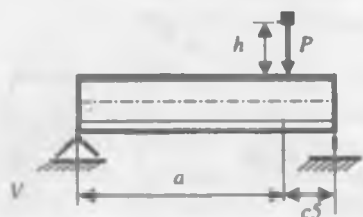
18. Зарба назарияси

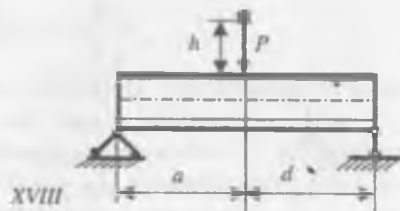
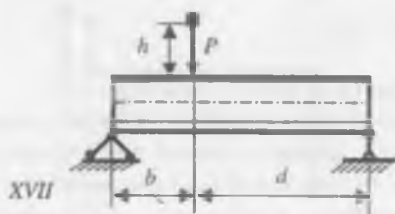
18.1'-масала. Иккита қўзғалмас шарнирли таянчларни устига эркин қўйиб қўйилган қўштавр кесимли тўсинга P юк h баландликдан тушиб урлади. Қўйидагиларни бажаринг: 1) тўсиннинг қўндаланг кесимларидаги энг катта нормал кучланишни аниқланг; 2) тўсинни ўнг томонидаги таянчни сиқилишга мойиллиги (1 кН куч таъсирида сиқилиши, $\frac{\text{мм}}{\text{кН}}$ бирлигида ўлчанади) α га тенг пружина билан алмаштирилса тўсинни қўндаланг кесимидаги энг катта нормал кучланиш қанча бўлишини топинг; 3) юқорида икки хил таянчлар учун олинган натижаларни солиштинг. Керакли маълумотларни 18.1-жадвалдан олинг.

Эслатма. Иккинчи банддаги топшириқни бажарганда пружинанинг сиқилиш деформацияси $\Delta_{\text{ст}} = \Delta f + \beta \Delta_{\text{ст}}$ формуладан топилади, бу ерда Δf иккита таянчлар устидаги тўсинни ташқи P куч қўйилган кесимининг бу куч статик усулда таъсир этганда пайдо бўладиган салқилиги; $\Delta_{\text{ст}}$ - пружинада P куч таъсирида ҳосил бўлган реакция кучидан вужудга келган сиқилиш; β - тўсинни ташқи P куч таъсирида чап томондаги таянч нуқтаси атрофида айланишидан ҳосил бўлган қўчиши билан пружинани P куч таъсирида эзилиши натижасидаги қўчишларни ўзаро боғловчи коэффициент (бу коэффициентни тўсинни чап томондаги таянч атрофида айланишидан ҳосил бўлган учбурчаклар ўхшашлиги шартидан аниқланади).

18.1-масаланинг шакллари







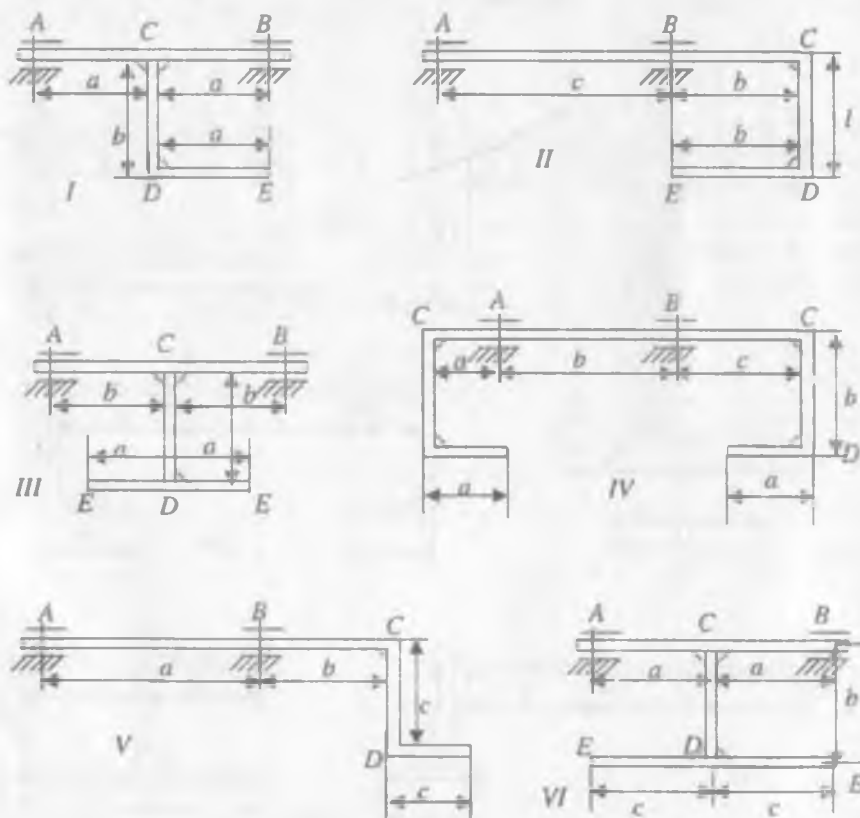
18.1-жадвал

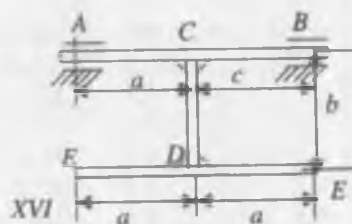
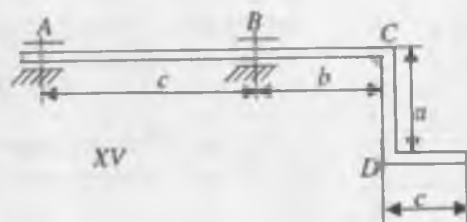
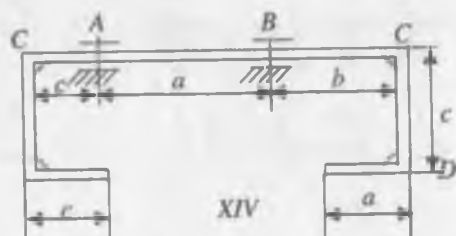
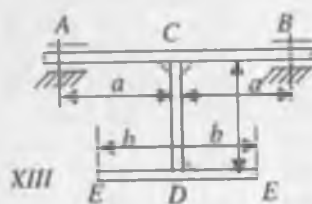
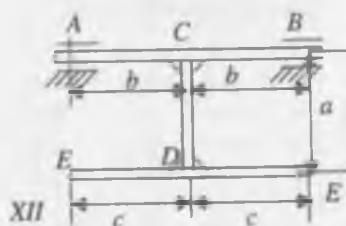
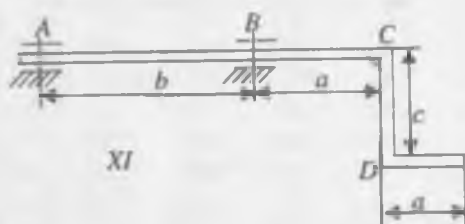
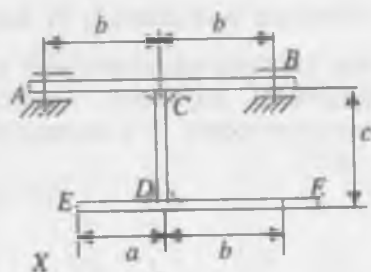
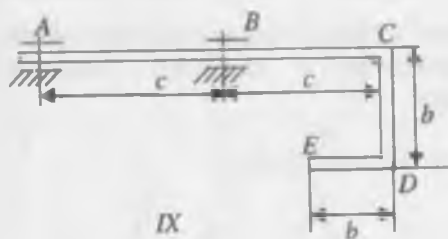
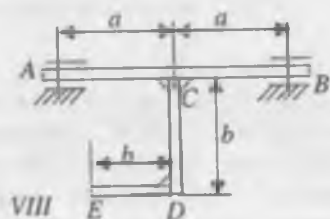
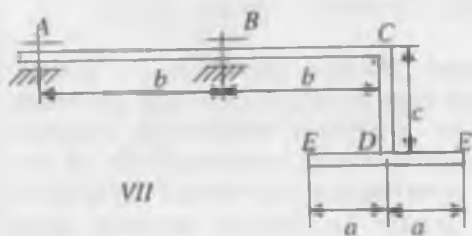
№	Шлак	Қуи- тавр	P	h	$10^3 \alpha$	a	b	c	d
				см	$\frac{M}{кН}$	м			
1	I	20	500	5	21	1.1	1.1	0.6	1.6
2	II	20a	600	6	22	1.2	1.2	0.7	1.7
3	III	24	700	7	23	1.3	1.3	0.8	1.8
4	IV	24a	800	8	24	1.4	1.4	0.9	1.9
5	V	27	900	9	25	1.5	1.5	1.0	2.0
6	VI	27a	1000	10	26	1.6	1.1	0.6	1.1
7	VII	30	1100	11	27	1.7	1.2	0.7	1.2
8	VIII	30a	1200	12	28	1.8	1.3	0.8	1.3
9	IX	33	1300	13	29	1.9	1.4	0.9	1.4
10	X	36	1400	14	30	2.0	1.5	1.0	1.5
11	XI	20	500	5	21	1.1	1.1	0.6	1.6
12	XII	20a	600	6	22	1.2	1.2	0.7	1.7
13	XIII	24	700	7	23	1.3	1.3	0.8	1.8
14	XIV	24a	800	8	24	1.4	1.4	0.9	1.9
15	XV	27	900	9	25	1.5	1.5	1.0	2.0
16	XVI	27a	1000	10	26	1.6	1.1	0.6	1.1
17	XVII	30	1100	11	27	1.7	1.2	0.7	1.2
18	XVIII	30a	1200	12	28	1.8	1.3	0.8	1.3
19	III	33	1300	13	29	1.9	1.4	0.9	1.4
20	IV	36	1400	14	30	2.0	1.5	1.0	1.5
21	V	20	500	5	21	1.1	1.1	0.6	1.6
22	VI	20a	600	6	22	1.2	1.2	0.7	1.7
23	VII	24	700	7	23	1.3	1.3	0.8	1.8
24	VIII	24a	800	8	24	1.4	1.4	0.9	1.9
25	IX	27	900	9	25	1.5	1.5	1.0	2.0
26	X	27a	1000	10	26	1.6	1.1	0.6	1.1
27	XI	30	1100	11	27	1.7	1.2	0.7	1.2
28	XII	30a	1200	12	28	1.8	1.3	0.8	1.3
29	XIII	33	1300	13	29	1.9	1.4	0.9	1.4
30	XIV	36	1400	14	30	2.0	1.5	1.0	1.5

19. Ўзгарувчан кучланишлар. Чидамлилиқни ҳисоблаш

19.1'-масала. Синиқ стержен AB ўқи атрофида ω бурчак тезлиги билан айланаётган валикка маҳкамланган. Валикни ва синиқ стерженни ташкил этувчиларининг кўндаланг кесимлари юзалари ўзаро тенг. Қуйидагиларни аниқланг: 1) синиқ стерженни CD ва DE ташкил этувчиларида инерция кучи таъсирида ҳосил бўладиган эғувчи моментлар эпюраларини қуринг (валикнинг инерция кучи эътиборга олинмайди); 2) агар $[\sigma] = 160 \text{ Мпа}$, $\gamma = 78 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$ бўлса, валикни бир минутда айланишлари сонининг рухсат этилган қиймати қанча бўлишини аниқланг (валикни диаметри d га тенг). Керакли маълумотларни 19.1-жадвалдан олинг.

19.1-масаланинг шакллари





Эслатма. Ҳисоблашларни соддалаштириш учун ҳамма кучланишларни горизонтал стержендаги ёйилган кучнинг интенсивлиги q орқали ифодалаб олиш тавсия этилади. Инерция кучларининг горизонтал ва вертикал уқлардаги ташкил этувчиларини, таянчлардаги реактив кучларни, ҳамда эгувчи момент эпюрасининг ординаталарини q ва a, b, c лар орқали ифодаланг.

19.1-жадвал

№	Шакл	a	b	c	d	№	Шакл	a	b	c	d
		M						M			
1	I	0.10	0.1	0.5	0.1	16	II	0.10	0.1	0.5	0.1
2	II	0.15	0.2	0.6	0.2	17	I	0.15	0.2	0.6	0.2
3	III	0.20	0.3	0.7	0.3	18	II	0.20	0.3	0.7	0.3
4	IV	0.25	0.4	0.8	0.4	19	III	0.25	0.4	0.8	0.4
5	V	0.30	0.5	0.9	0.5	20	IV	0.30	0.5	0.9	0.5
6	VI	0.35	0.6	1.0	0.6	21	V	0.35	0.6	1.0	0.6
7	VII	0.40	0.7	0.5	0.7	22	VI	0.40	0.7	0.5	0.7
8	VIII	0.45	0.8	0.6	0.8	23	VII	0.45	0.8	0.6	0.8
9	IX	0.50	0.9	0.7	0.9	24	VIII	0.50	0.9	0.7	0.9
10	X	0.55	1.0	0.8	1.0	25	IX	0.55	1.0	0.8	1.0
11	XI	0.60	0.6	0.9	0.6	26	X	0.60	0.6	0.9	0.6
12	XII	0.10	0.7	1.0	0.7	27	XI	0.10	0.7	1.0	0.7
13	XIII	0.15	0.8	0.8	0.8	28	XII	0.15	0.8	0.8	0.8
14	XIV	0.20	0.9	0.9	0.9	29	XIII	0.20	0.9	0.9	0.9
15	I	0.25	1.0	1.0	1.0	30	XIV	0.25	1.0	1.0	1.0

1	Чузилиш ва сиқилиш.....	4
2	Кучланганлик ҳолати назариялари.....	34
3	Стерженларнинг кесиш ва эзилишга мустаҳкамлигини ҳисоблаш.....	45
4	Текис кесим юзаларининг геометрик характеристикалари.....	57
5	Буралишда валларнинг мустаҳкамлигини текшириш...	73
6	Туғри эгилишда кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини қуриш. Тусинлар кундаланг кесимлари юзини танлаш.....	96
7	Туғри эгилишда бош кучланишларни аниқлаш ва тўсинларнинг мустаҳкамлигини тула текшириш	108
8	Туғри эгилишда деформацияларни ҳисоблаш. Бошланғич параметрлар усули.....	114
9	Туғри эгилишда статик аниқмас тўсинлар мустаҳкамлигини текшириш. Ўзгарувчан кесимли тўсинлар...	120
10	Туғри эгилишда куп таянчли балкаларни ҳисоблаш. Қийшиқ эгилиш.....	127
11	Синиқ стерженлар ва рамалар мустаҳкамлигини текшириш.....	139
12	Эгри стерженлардаги ички кучлар эпюраларини қуриш.....	156
13	Тусинларнинг эгилиш, чузилиш ва сиқилишга мустаҳкамлигини текшириш.....	164
14	Марказий бўлмаган чузилиш ва сиқилиш.....	171
15	Буралиш билан эгилишни биргаликдаги таъсири.....	173
16	Сиқилган стерженлар устиворлигини текшириш.....	184
17	Динамик кучлар таъсиридаги стерженлар мустаҳкамлигини текшириш.....	186
18	Зарба назарияси.....	188
19	Ўзгарувчан кучланишлар. Чидамлиликни ҳисоблаш.....	191

1. Мансуров К.М. Материаллар қаршилиги курси. Тошкент. Уқитувчи, 1983
2. Беляев Н.М. ва бошқалар. Материаллар қаршилигидан масалалар тушлари. Б. Қорабоев таржимаси. Тошкент. Ўзбекистон. 1993.
3. Қорабоев Б., Лексашев Ю. Материаллар қаршилигида қисқача курс. Тошкент. Ўзбекистон, 1998.
4. Ўрозбоев М.Т. Материаллар қаршилиги. I, II-қисмлар. Тошкент. Уқитувчи, 1973.
5. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Физматгиз, 1960.
6. Сопротивление материалов. Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников всех специальностей технических высших учебных заведений, кроме строительных. М.: Высшая школа, 1985.
7. Сборник задач по сопротивлению материалов. Под ред. Вольмира А.С. М.: Наука, 1984.
8. Ицкович Г.М. Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 1982.
9. Миролубов И.Н., Енгаличев С.А., Сергиевский Н.Д. и др. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов. М.: Высшая школа, 1985.
10. Винокур А.И. Сборник задач по сопротивлению материалов. М.: Высшая школа, 1990.
11. Эшонов М.С., Қорабоев Б.Қ., Мелиева З. Материаллар қаршилиги бўйича ҳисоблаш-лойиҳалаш ишлари, I-қисм. Тошкент. ТТЕСИ, 1975.
12. Қорабоев Б.Қ. Материаллар қаршилиги бўйича ҳисоблаш-лойиҳалаш ишлари. Тошкент. ТТЕСИ, 1976.
13. Сборник задач по сопротивлению материалов. Под ред. Уманского А.А. М.: Наука, 1973.
14. Лексашев Ю.Ф. Расчетно-проектировочные работы по сопротивлению материалов. Ташкент. ТИТЛП, 1976.

МАҲАМАТРАСУЛ ЭРГАШОВ

МАТЕРИАЛЛАР ҚАРШИЛИГИ ҲИСОБЛАШ-ЛОЙИҲАЛАШ ИШЛАРИ

Тошкент — «Молия» — 2003

Муҳаррир	— М. Миркомиллов
Техник муҳаррир	— Л. Ибрагимов
Компьютерда саҳифаловчи	— Р. О. Ҳайдаров

Босишга рухсат этилди 03.06.2003 й. Бичими 60x84 1/16
«TimesUZ» ҳарфида териблиб, офсет усулида босилди.
Босма табағи 12,25. Нашриёт ҳисоб табағи 11,63. Адади 1000.
Буюртма №60.

«Молия» нашриёти, 700000, Тошкент. Я. Колас кучаси 16-уй.
Шартном, №12-03.

Fan va texnologiyalar markazining bosmaxonasida чоп этилди.
Тошкент ш. Олмазор, 171 уй.