

620  
M-31

15.11.93  
15.11

# МАТЕРИАЛЛАР ҚАРШИЛИГИДАН МАСАЛАЛАР ТЎПЛАМИ

В. К. КАЧУРИН таҳрири остида

*Олий техника ўқув юртлари  
талабалари учун ўқув қўлланма*

Бу  
БИ  
№  
Т  
КА  
141893

Тошкент  
«Ўзбекистон»  
1993

30.121  
М 31

МАТЕРИАЛЛАР  
ҚАРШИЛИГИДАН  
МАСАЛАЛАР  
ТУПЛАМИ

**Материаллар қаршилигидан масалалар тўплами:** Олий  
М 31 техника ўқув юрт. талабалари учун қўлл. [Н. М. Бе-  
ляев, Л. А. Белявский, Я. И. Купнис ва бошқ.; В. К. Ка-  
чурин таҳрири остида.].— Т.: Ўзбекистон, 1993.— 336 б.

ISBN 5-640-01275-7.

1. Беляев Н. М. ва бошқ.

Тўпланда материаллар қаршилиги курсининг барча асосий бўлим-  
лари: чўзилиш-сиқилиш, мураккаб зўриққан ҳолат ва мустақамлик  
назарияси, силжиш ва эзилиш, буралиш, эгилиш, мураккаб қаршилиқ,  
конструкциялар элементларининг устиворлиги, юкланишларнинг дина-  
мик ва узоқ муддат таъсирига тегишли масалалар берилган.

**Сборник задач по сопротивлению материалов:** Учеб-  
ное пособие для студентов вузов.

ББК 30.121я73

№ 11—93  
Навий номли Ўзбекистон  
Республикаси  
Давлат кутубхонаси.

К 2004030000—10  
М 351 (04) 93<sup>93</sup>

© «ЎЗБЕКИСТОН» нашриёти, 1993 й.



## РУСЧА НАШРИГА СЎЗ БОШИ

Тавсия қилинаётган ушбу «Масалалар тўплами» СССР ФА мухбир аъзоси марҳум Н. М. Беляевнинг «Материаллар қаршилигидан масалалар тўплами». (II—XI нашрлари) китобини бир неча марта қайта ишлаган ва тўлдирган муаллифлар томонидан тузилди. Бу «тўплам»да Н. М. Беляевга тегишли бир неча масала ҳам берилди, унинг «Тўплами»даги асосий структура ва умумий йўналиш сақланди. Шунинг учун Н. М. Беляевнинг шогирдлари ва ходимлари бўлган муаллифлар ўз устозларининг номини ёзишни ўз бурчлари, деб ҳисобладилар.

«Тўплам» асосан масалаларни талабаларнинг ўзлари ечишлари учун мўлжалланган. Шу туфайли, материаллар қаршилигини чуқурроқ ўрганувчилар учун қизиқарли бўлган анча мураккаб масалалар бунга киритилмади. Энг намунавий масалаларнинг ечими берилди. Ҳар хил шартларга эга бўлган масалалар билан бир қаторда деярли барча бўлимларда умумий шартга эга бўлган комплекс масалалар схемалар ёки рақамли маълумотларнинг кўп вариантлари билан берилди. Бу масалалар контрол ишлар ёки индивидуал уй топшириқлари учун мўлжалланади.

«Тўплам» материаллари авторлар орасида қуйидагича тақсимланади: Н. М. Беляев — баъзи бўлимлардаги айрим масалалар, Л. А. Беляевский — 12—15, 24, 25, 27—29-§ лар, Я. И. Кипнис — 9, 11, 16, 23, 26-§ лар, Н. Ю. Кушелев — 1—8, 43—45-§ лар ва иловалар, А. К. Синицкий — 30—35, 37-§ лар, В. К. Качурин баъзи бўлимлардаги айрим масалаларга мавзу берди ва «Тўплам» ни умумий таҳрирдан чиқарди.

*В. К. Качурин*

## БАРЧА МАСАЛАЛАР УЧУН УМУМИЙ МАЪЛУМОТЛАР

Агар масала шартида махсус кўрсатмалар бўлмаса, уни ечишда кўрсатилган катталикларнинг қуйидаги ўртача қийматларини қабул қилиш лозим:

|                                                               | СИ системасида<br>(Н/м <sup>2</sup> )      |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Пулатнинг чўзилиш ёки сиқилишдаги эластиклик модули . . . . . | $E = 2.10^{11}$                            |
| Алюминий ва дюралюминийнинг эластиклик модули . . . . .       | $E = 0.7.10^{11}$                          |
| Чўянинг эластиклик модули . . . . .                           | $E = 1.2.10^{11}$                          |
| Миснинг эластиклик модули . . . . .                           | $E = 1.10^{11}$                            |
| Ёғочнинг толалар бўйлаб эластиклик модули . . . . .           | $E = 1.10^{10}$                            |
| Пулатнинг силжишдаги эластиклик модули . . . . .              | $G = 8.10^{10}$                            |
| Пулатнинг ҳажмий огирлиги . . . . .                           | $\gamma = 7.8.10^4$<br>(Н/м <sup>2</sup> ) |
| Пулатнинг чизикли кенгайиш температура коэффиценти . . . . .  | $\alpha = 125.10^{-7}$                     |
| Миснинг чизикли кенгайиш температура коэффиценти . . . . .    | $\alpha = 165.10^{-7}$                     |
| Пулатнинг кўндаланг деформация коэффиценти . . . . .          | $\mu = 0,30$                               |

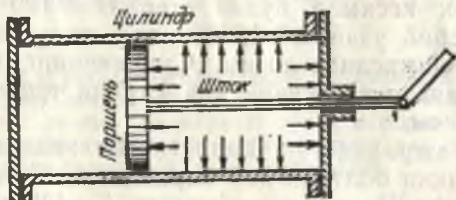


## 1 б о б.

### БУЙЛАМА ЧУЗИЛИШ ВА СИҚИЛИШ

#### 1- §. Статик аниқланадиган системалар

1.1. Буғ машинаси цилиндри поршенининг диаметри 40 см (расмга қ.) поршень штогининг диаметри 5,6 см. Буғнинг босими 10 ат (1 ат = 1 кг/см<sup>2</sup> = 9,81·10<sup>4</sup> Н/м<sup>2</sup>). Машинанинг бир юриши вақтидаги штокнинг энг катта қучланиши ва узунлигининг шунга яраша ўзгариши топилсин. Штокнинг узунлиги 75 см, штокнинг материали — пўлат.



1.1- масалага онд

Е ч и ш. Қуйидагича белгилаймиз: цилиндрининг диаметри  $D = 40$  см, штокнинг диаметри  $d = 5,6$  см, узунлиги  $l = 75$  см, буғнинг босими  $q = 10$  ат = 10 кг/см<sup>2</sup> = 9,81·10<sup>5</sup> Н/м<sup>2</sup>, эластиклик модули  $E = 2 \cdot 10^8$  кг/см<sup>2</sup> = 19,62·10<sup>10</sup> Н/м<sup>2</sup>. Поршень юзи:

$$F_1 = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 \cdot 40^2 = 1256 \text{ см}^2 = 0,1256 \text{ м}^2$$

Штокдаги қуч (чаптаги буғ) қуйидагича бўлади:

$$P = P_1 \cdot q = 1256 \cdot 10 = 12560 \text{ кг} = 0,1256 \cdot 9,81 \cdot 10^5 = 1,23 \cdot 10^5 \text{ Н (сиқилиш)}$$

Штокнинг қўндаланг кесим юзи:

$$F_2 = \frac{\pi d^2}{4} = 0,785 \cdot 5,6^2 = 24,65 \text{ см}^2 = 2,465 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Штокдаги қучланишни топамиз:

$$\sigma = \frac{P}{F_2} = \frac{12560}{24,65} = 510 \text{ кг/см}^2 = \frac{1,23 \cdot 10^5}{2,465 \cdot 10^{-3}} = 5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2.$$

Ш токининг қисқариши қуйидагига тенг:

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF^2} = \frac{12560 \cdot 75}{2 \cdot 10^6 \cdot 24,65} = 0,0191 \text{ см} = \frac{1,23 \cdot 10^5 \cdot 75 \cdot 10^{-2}}{19,62 \cdot 10^{10} \cdot 2,465 \cdot 10^{-3}} = 191 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

1.2. Агар поезд жойидан қўзғалаётганда кучланиш пўлатнинг оқувчанлик чегарасидан ошмаслиги лозим бўлса, темир йўл вагонлари тортқиси винги материали учун статик нагрузкани ҳисоблашда рухсат этилган кучланиш қандай бўлиши лозим? Оқувчанлик чегарасини  $\sigma_T = 0,6 \sigma_B$ , мустаҳкамлик чегарасини  $\sigma_B = 50 \text{ Н/мм}^2$  деб оламиз. Поезд жойидан тўсатдан қўзғалгандаги кучланиш аста-секин қўзғалгандагидан икки марга катта бўлишини ҳисобга олинг.

Жавоб:  $1500 \text{ Н/см}^2$ .

1.3. Баландлиги 3 м бўлган чўян устуннинг кўндаланг кесими ҳалқасимон бўлиб, ташқи диаметри 25 см, ички диаметри 20 см. Колонна 50 кН куч билан сиқилади. Кўндаланг кесим юзидаги кучланиш, абсолют ва нисбий сиқилиш нимага тенг?

Жавоб:  $\sigma = 283 \text{ Н/см}^2$ ;  $\Delta l = 0,71 \text{ мм}$ ;  $\epsilon = 2,36 \cdot 10^{-4}$ .

1.4. Ёғоч устуннинг кўндаланг кесими доира бўлиб, диаметри 20 см. Агар ундаги сиқувчи кучланиш 4 МПа дан ошмаса, устун қанча юк кўтара олиши мумкин?

Жавоб: 125,7 кН.

1.5. Думалоқ кесимли пўлат стержень 100 кН куч билан чўзилади. Нисбий узайиш  $1/2000$  дан ошмаслиги, кучланиш 120 МПа дан ошмаслиги лозим. Стерженьнинг шу шартларни қаноатлантирадиган энг кичик диаметрини топинг.

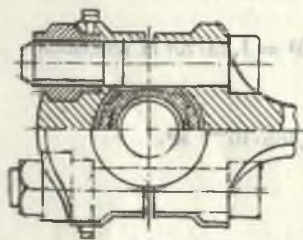
Жавоб: 3,57 см.

1.6. Шатун ажраладиган каллагининг иккала қисмини бириктирадиган икки болтдан ҳар бирининг диаметрини аниқланг (расмга қаранг). Шатундаги зуриқиш  $P = 128 \text{ кН}$ ; болт материали учун рухсат этилган кучланиш  $[\sigma] = 600 \text{ Н/см}^2$ .

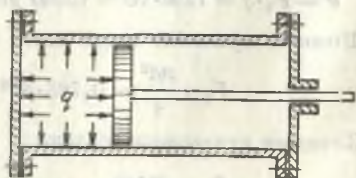
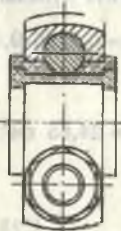
Жавоб: 37 мм.

1.7. Двигатель цилиндридаги иш босими (ташқи босимдан ортиқча босим)  $q = 10 \text{ ат}$ , цилиндрнинг ички диаметри 350 мм (расмга қаранг). Агар болт материали учун рухсат этилган кучланиш 40 МПа бўлса, қопқоқни цилиндр деворига маҳкамлаш учун диаметри 18 мм ли болтдан қанча керак бўлади?

Жавоб: 10 та болт.



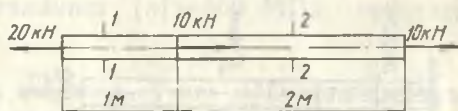
1.6- масалага онд



1.7- масалага онд



1.8. Агар пўлат стер-  
женнинг кўндаланг кесим  
юзаси  $4 \text{ см}^2$  бўлса, расм-  
да кўрсатилганидек юк-  
ланган пўлат стержень  
1—1 ва 2—2 кесимлари-  
даги кучланишни ва  
унинг тулиқ узайишини аниқланг.



1.8. масалага оид

Е ч и ш. Стерженьни 1—1 кесим билан ҳаёлан кесамиз ва масалан, ўнг қис-  
минини ташлаб юборамиз, чап қисминини ҳам ташлаб юбориш мумкин эди, одатда  
ечимни соддалаштириш учун стерженнинг кўпроқ куч қўйилган қисми ташлаб  
юборилади. Қолган чап қисмидаги қўйилган  $20 \text{ кН}$  кучни мувозанатлаш учун  
1—1 кесимдаги ички кучларнинг тенг таъсир этувчиси ҳам  $20 \text{ кН}$  га тенг бўли-  
ши ва ўнгга, яъни қолган қисмидан ташқи томонга йўналиши лозим. Шундай  
қилиб, 1—1 кесимда чўзувчи зўриқиш ҳам  $N_1 = 20 \text{ кН}$  га тенг. Шундай му-  
лоҳаза юритиб, 2—2 кесимдаги зўриқиш ҳам чўзувчи ва  $N_2 = 20 \text{ кН}$  га тенг  
эканлигини аниқлаймиз. Энди кучланишни топишимиз мумкин. 1—1 кесим-  
даги кучланиш

$$\sigma_{1-1} = \frac{N_1}{F} = \frac{20000}{4 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$$

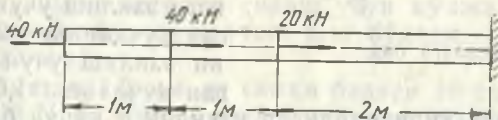
$$2-2 \text{ кесимда эса } \sigma_{2-2} = \frac{N_2}{F} = \frac{10000}{4 \cdot 10^{-4}} = 2,5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$$

Чап қисмдаги (1 м узунликдаги) зўриқиш ўнг қисмдаги (2 м узунликдаги)  
зўриқишга тенг бўлмаганлиги учун ҳар бир участкадаги деформацияни ало-  
ҳида-алоҳида топиш лозим. Стерженнинг тулиқ деформацияси айрим қисм-  
лардаги деформацияларни қўиш йўли билан (улар ҳар хил ишорали бўлса,  
алгебраик қўиш йўли билан) топилади. Ушбу ҳолда

$$\Delta l_1 = \Delta l_1 + \Delta l_2 = \frac{N_1 l_1}{EF} + \frac{N_2 l_2}{EF} = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 4 \cdot 10^{-4}} +$$

$$+ \frac{1 \cdot 10^4 \cdot 2}{2 \cdot 10^{11} \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = 0,00005 \text{ м} \approx 0,5 \text{ мм.}$$

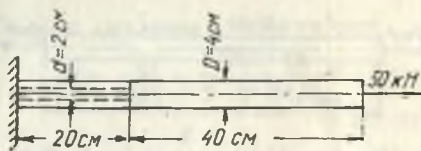
1.9. Расмда кўрсатилган пўлат стерженнинг барча участка-  
ларидаги кучланишларни ва унинг тулиқ деформациясини то-  
пинг. Стерженнинг кўндаланг кесими  $5 \text{ см}^2$ .



1.9. масалага оид

Жавоб: Чап участкада  $\sigma = 80 \text{ МПа}$ , ўрта участкада  $\sigma = 0$ , ўнг  
участкада  $\sigma = -40 \text{ МПа}$ ,  $\Delta l = 0$ .





1.10- масалага оид

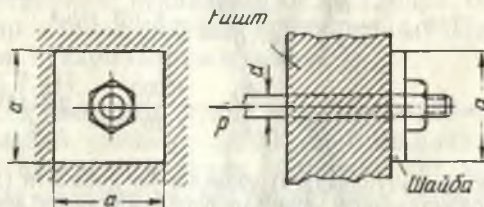
1.10. Расмда тасвирланган пўлат стерженнинг ўнг қисмидаги кесими яхлит думалоқ, чап қисмидаги кесими ҳалқасимон. Стерженнинг иккала қисмидаги кучланишларни ва унинг тулиқ узайишини топинг.

Жавоб: Чап участкада  $\sigma = 53,1$  МПа, ўнг участкада  $\sigma = 39,7$  МПа;  $\Delta l = 0,132$  мм.

1.11. Ҳалқасимон кўндаланг кесимли полиэтилен трубканинг ташқи диаметри 5 см, у 2400 Н куч билан чўзилган. Рухсат этилган кучланиш 3,4 МПа бўлса, деворнинг зарур қалинлигини аниқланг.

Жавоб: 5 мм.

1.12 Диаметри  $d = 30$  мм бўлган тортқи зўриқиш  $P$  билан чўзилган (расмга қаранг), бу зўриқиш унда 80 МПа кучланиш

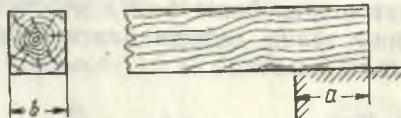


1.12- масалага оид

вужудга келтиради. Агар ғишт деворни эзиш, (маҳаллий сиқиш)га рухсат этилган кучланиш 1 МПа бўлса, квадрат шайбанинг  $a$  томони қанча см бўлиши лозим.

Жавоб: 24 см.

1.13. Эни  $b = 15$  см бўлган ёғоч брус ғишт деворга тиралади (расмга қаранг). Бруснинг



1.13- масалага оид

шу учи орқали деворга 30 кН босим узатилади. Агар брус ёғочини толаларига кўндалангига эзилиш учун рухсат этилган кучланиш 1,2 МПа, деворни эзилиш учун рухсат этилган кучланиш 1,0 МПа бўлса,

брусни деворга киритиладиган узунлик  $a$  қанча бўлиши керак? Босимни брус деворга тегиш юзаси бўйлаб бир текис тақсимланган деб фараз қилинади.

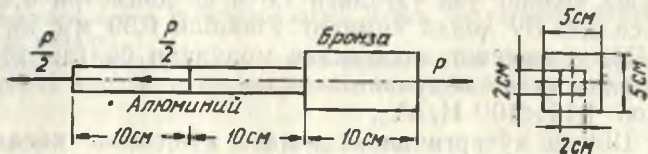
Жавоб: 20 см.

1.14. Брус 75 кН зўриқиш билан чўзилган, у диаметри 2 мм ли симлардан иборат. Тросдаги симларнинг қиялигини ҳисобга

олганда рухсат этилган кучланиш  $[\sigma] = 300 \text{ МПа}$ , тросдаги симлар сонини аниқланг.

Жавоб: 80 та сим.

1.15. Расмда кўрсатилган стержень ўзига қўйилган юк таъсирида 0,2 мм чўзилади. Алюминийнинг эластиклик модули



1.15- масалага онд

$0,75 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ , бронзаники  $1,1 \times 10^{11} \text{ Н/м}^2$  қабул қилинган. Юк қиймати  $P$  аниқлансин.

Жавоб: 36,7 кН.

1.16. Қўприкнинг пўлат фермасига синаш учун юк қўйилганда ферма элементларидан бирига қўйилган тензометр кўрсаткичлари орасидаги фарқ 12 мм га тенг бўлди. Тензометрнинг базаси (деформация ўлчанадиган узунлиги) 20 мм, унинг катталаш коэффициентини 1000, синалаётган элементдаги кучланишни аниқланг.

Ечим. Кучланишни Гук қонуни бўйича аниқлаймиз. Абсолют деформация тензометр кўрсатишлари фарқининг унинг катталаш коэффициентига бўлинганига тенг:

$$\Delta l = \frac{\Delta}{k} = \frac{12}{1000} = 0,012 \text{ мм.}$$

Нисбий деформация абсолют деформациянинг асбобнинг базасига нисбатига тенг:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{0,012}{20} = 0,0006.$$

Биз қидираётган кучланиш:

$$\sigma = E\epsilon \approx 2 \cdot 10^5 \cdot 0,0006 = 120 \text{ МПа}$$

1.17. Агар катталашини 1000, ҳисоблаш аниқлиги 0,11 мм бўлса, кучланиш эса камида 1,0 МПа аниқликда ўлчаниши лозим бўлса, пўлат детални синаш учун мўлжалланган тензометрнинг минимал базаси қанчага тенг бўлади.

Жавоб: 20 мм.

1.18. Диаметри 1,2 мм ли симни базаси 10 см ли тензометр ёрдамида 100 Н юк билан синаш пайтида узайиши 0,08 мм ни ташкил қилди. Сим материали нормал эластиклиги модули нимага тенг?

Жавоб:  $1,1 \times 10^{11} \text{ Н/м}^2$ .

1.19. 100 кН юкни ўлчаганда кўндаланг кесими 10 см<sup>2</sup> ли деталга қўйилган тензометр ҳисоблари фарқи 25 мм га тенг



бўлди. Тензометр базаси 100 мм, унинг катталаштириши 500. Шу деталь материалынинг эластиклик модули нимага тенг?

Жавоб:  $2 \times 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>.

1.20. Узунлиги 3 м ва диаметри 1,6 м ли пўлат симга маълум юк осилганда симнинг чўзилиши 1,5 мм га тенг бўлди. Кейин ўша юкнинг ўзи узунлиги 1,8 м ва диаметри 3,2 мм мис симга осилди. Бу ҳолда симнинг узайиши 0,39 мм ни ташкил қилди. Пўлат симнинг эластиклик модулини билган ҳолда мис симнинг эластиклик модулини аниқланг.

Жавоб:  $1,15 \times 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>.

1.21. Шахта кутаргичининг катаги кўндаланг кесим юзаси 100 мм<sup>2</sup> ва узунлиги катак оғирлиги билан юкланганда 100 м га тенг бўлган тросга осилган. Катакка 3500 Н руда юкланганда троснинг узайиши 3 см га тенг бўлди. Троснинг эластиклик модулини аниқланг.

Жавоб:  $1,75 \times 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>.

1.22. Намунани маълум юк билан чўзилишга синаш пайтида бўйлама деформацияни ўлчаётган тензометр № 1 ҳисоблари фарқи 10,4 мм га, кўндаланг деформацияни ўлчаётган тензометр № 2 ники эса 7,8 мм га тенг бўлди. Тензометр № 1 нинг базаси 20 мм, тензометр № 2 ники 60 мм. Иккала тензометрнинг катталаштириши бир хил. Пауссон коэффицентини топинг.

Жавоб: 0,25.

1.23. Диаметри 30 мм ли думалоқ кўндаланг кесимли пўлат стержень синаш машинасида 125 кН зуриқиш билан чўзилган. Тензометрлар ёрдамида 50 мм узунликда унинг узайиши ўлчанганда 0,43 мм чиққан, диаметри эса 0,007 мм га ўзгарган. Стержень материалынинг эластиклик модулини ва пуассон коэффицентини аниқланг.

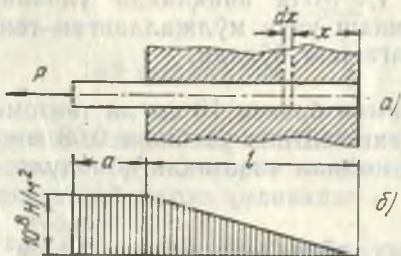
Жавоб:  $E = 2,06 \times 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>  $\mu = 0,271$ .

1.24. Модули  $E$  бўлган материалдан қилинган кўндаланг кесими  $F$  ли илгичка халқанинг  $q$  интенсивликдаги текис тақсимланган ички босим таъсирида  $D$  диаметрининг ўзгариш катталигини аниқланг.

Жавоб:  $\Delta D = \frac{qD^3}{2EF}$

1.25. Бетон деворга пўлат стержень қўйиб кетилган (расм, а).

Уни чиқариб олиш учун  $P = 20$  кН куч керак. Пўлат стерженьнинг узунлиги бўйича бир текис тақсимланган илашиш кучлари бунга тўсқинлик қилади. Стержень кўндаланг кесим юзаси 2 см<sup>2</sup>, узунлиги  $l = 40$  см,  $a = 15$  см. Стержень узунлиги бўйича кесимлардаги кучланишларнинг ўзгариш эпюрасини (графикини) ясаган ва узайишини топинг.



1.25-масалага онд



Ечи м. Стержень  $a$  узунликдаги қисмининг исталган кесимида кучланиш бир хил бўлиб, қуйидагига тенг

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{20000}{2 \cdot 10^{-4}} = 1 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$$

Стержень  $l$  узунликдаги қисмида мувозанатлик шартига кўра илашиш кучларининг тенг таъсир этувчиси  $P$  кучга тенглашиши керак. Масала шартига кўра бу куч  $l$  узунликда бир текис тарқалган. Демак, бу узунлик бирлигига куч  $P = P/l$  тўғри келади.

Стержень ўнг учидан  $x$  масофадаги кесимни олиб кўрамиз. Бунда кесимнинг ўнроғида илашиш кучларининг тенг таъсир этувчиси қуйидагига тенг бўлади:

$$N = px = \frac{P}{l} x.$$

Стерженьнинг чап қисмини ташлаб, мувозанатлик шартидан қолган ўнг қисмида кесимдаги зўриқиш  $N$  га тенглигини ҳосил қиламиз. Бунда стержень ўнг учидан  $x$  масофадаги кучланиш қуйидагига тенг бўлади:

$$\sigma(x) = \frac{N}{F} = \frac{Px}{lF},$$

Стерженьнинг ўнг учидан  $x=0$  бўлганда, улар нолга тенг бўлади, ўнг учидан  $l$  масофадаги кучланиш:

$$\sigma_l = \frac{Pl}{lF} = \frac{P}{F} = \frac{20 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-4}} = 10 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$$

Стержень узунлиги бўйича кучланишлар эпюраси расм, б да берилган. Стерженьнинг  $a$  узунликдаги қисмининг узайиши:

$$\Delta l_a = \frac{P_a}{EF} = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 7,5 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Стерженьнинг  $l$  узунликдаги қисми узайишини аниқлаш учун ўнг учидан  $x$  масофада стерженьнинг  $dx$  узунликдаги узлуксиз кичик қисмини ажратамиз. Бу кесимдаги зўриқиш олдин аниқланган эди. Шунда стержень узунлигининг шу узлуксиз кичик қисмининг узайиши қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta dx = \frac{N dx}{EF} = \frac{Px \cdot dx}{l \cdot EF}.$$

Стерженьнинг  $l$  узунликдаги қисмининг узайишини интеграллаш йўли билан ҳосил қиламиз:

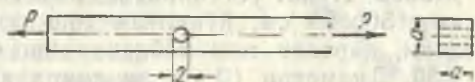
$$\Delta l_l = \int_0^l \Delta dx = \int_0^l \frac{Px dx}{lEF} = \frac{Pl}{2EF} = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 40 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Бутун стерженьнинг тўлиқ узайиши  $\Delta l$  қуйидагига тенг бўлади:

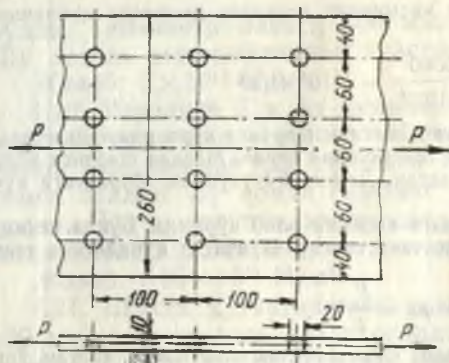
$$\Delta l = \Delta l_l + \Delta l_a = 1 \cdot 10^{-4} + 7,5 \cdot 10^{-5} = 1 \cdot 10^{-4} + 7,5 \cdot 10^{-5} = 17,5 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

1.26. Квадрат кўндаланг кесимли стержень  $P=1500$  Н кучлар билан чузилади (расмга қаранг). У очик тешик билан (диаметри 2 мм) бушашган. Стержень materiali учун рухсат этилган кучланиш 100 МПа бўлганда кесимнинг  $a$  томони қанчага тенг бўлиши лозим?

Жавоб: 5 мм.



1.26-масалага онд

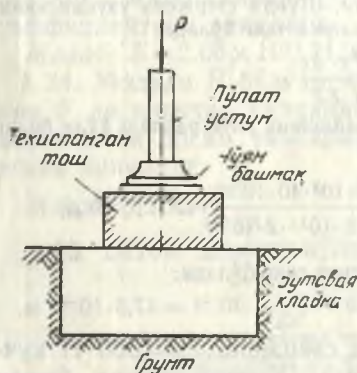


1.28- масалага онд

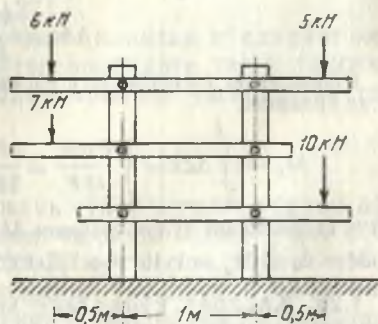
лёткалар ўтадиган, диаметри 20 мм ли тешиклар билан кучсизланган. Агар рухсат этилган кучланиш 160 МПа бўлса, полоса қандай энг катта юк билан чўзилиши мумкин?

Жавоб: 288 кН.

1.29. Расмда тасвирланган конструкция айрим қисмларининг кўндаланг кесимлари квадратлардан иборат. Маҳаллий қисиш эзишга рухсат этилган кучланишлар қуйидагича бўлганда кесимларнинг ўлчамини аниқланг: пўлат учун  $[\sigma_n] = 140$  МПа, чўян учун  $[\sigma_r] = 100$  МПа, тош йўниш учун  $[\sigma_r] = 4$  МПа, ҳарсанг тошдан терилган девор учун  $[\sigma_x] = 1,5$  МПа, тупроқ қум учун  $[\sigma_k] = 0,5$  МПа. Нагрузка  $P = 1000$  кН, конструкция қисмларининг ўз оғирлиги ҳисобга олинмасин.



1.29- масалага онд



1.30- масалага онд

Жавоб: Пўлат устуннинг кесими  $10 \times 10$  см, чўян бошмоқнинг кесими  $50 \times 50$  см, йўнилган тош пойдеворининг кесими  $82 \times 82$  см, ҳарсанг тош пойдеворнинг кесими  $142 \times 142$  см.

1.30. Диаметри 10 см ли доира кўндаланг кесимли иккита устун расмда кўрсатилганидек юкланган. Горизонтал элементлар устунларга шарнирли бириктирилган деб фараз қилайлик.



Иккала устуннинг юқори, ўрта ва пастки қисмлари кесимларидаги кучланишларни аниқланг.

Жавоб: Барча кучланишлар қисувчи ( $\text{Н/м}^2$ ).

Чап устунда

Ўнг устунда

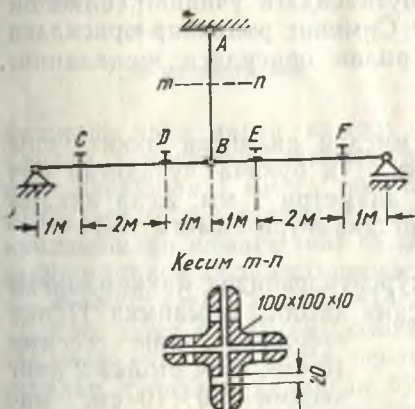
Юқори қисмида  $8,3 \cdot 10^5$   
 Ўрта қисмида  $21,6 \cdot 10^5$   
 Пастки қисмида  $15,3 \cdot 10^5$

Юқори қисмида  $5,7 \cdot 10^5$   
 Ўрта қисмида  $1,3 \cdot 10^5$   
 Пастки қисмида  $20,4 \cdot 10^5$

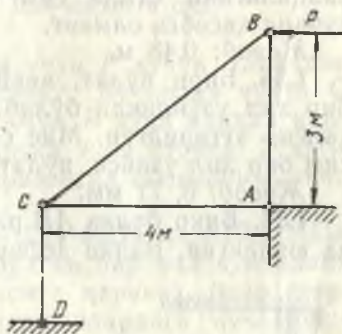
1.31. Парчин михлар ўтадиган тешиklar билан кучсизланган осма  $AB$  хавфли кесимидаги кучланишни аниқланг (расмга қаранг).  $C, D, E, F$  нуқталарда конструкцияга  $200 \text{ кН}$  дан босим тушади.

Жавоб:  $65,9 \text{ МПа}$ .

1.32.  $P = 100 \text{ кН}$  куч конструкцияга расмда кўрсатилганидек таъсир қилади. Барча стерженларнинг кўндаланг кесими бир хил бўлиб, иккита тенг ёнли бурчаклик  $80 \times 80 \times 8$  дан иборат.



1.31- масалага оид



1.32- масалага оид

Стерженлардаги кучланишни аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_{AB} = 30,5 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_{AC} = 40,6 \text{ МПа}$

$\sigma_{BC} = -50,9 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_{CD} = -30,5 \text{ МПа}$

1.33. Учларида жойлашган иккита арқон  $BAC$  ёрдамида ғўла  $A$  қия текислик  $BD$  да кутарилмоқда (расмга қаранг). Арқонларнинг пастки учлари расмда кўрсатилгандек маҳкамланган. Арқонларнинг юқори учларига  $P$  кучлар қўйилган. Агар ғўланинг оғирлиги  $3 \text{ кН}$ , арқон кўндаланг кесимининг иш юзаси  $1,17 \text{ см}^2$  ва унинг учун рухсат этилган кучланиш  $[\sigma] = 5,5$

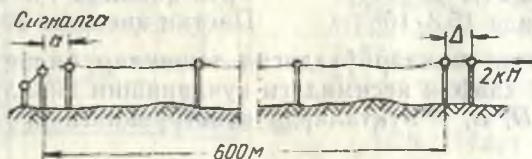


1.33- масалага оид

МПа бўлса, арқонларнинг мустаҳкамлигини текширинг. Ишқаланиш кучлари ҳисобга олинмайди.

Жавоб:  $\sigma = 4,15 \text{ МПа} < 5,5 \text{ МПа}$ .

1.34. Темир йўл сигналини ҳаракатга келтирадиган диаметри 5 мм ва узунлиги 600 мм бўлган пўлат сим расмда кўрсатилгандек роликларда жойлашган. Агар пўлат симнинг сигнал



1.34- масалага онд

олдидаги учининг силжиши  $a = 17,5 \text{ см}$  бўлса, зўриқиш 2 кН бўлганда пўлат симнинг сигнал буткасидаги учининг силжиши  $\Delta$  қанчага тенглигини аниқланг? Симнинг роликлар орасидаги салқилигини ҳамда сим билан ролик орасидаги ишқаланиш кучини ҳисобга олманг.

Жавоб: 0,48 м.

1.35. Бир пўлат, иккинчиси мисдан қилинган иккита сим бир хил узунликда бўлиб, бир хил ўқ бўйича чузадиган куч таъсир эттирилган. Мис симнинг диаметри 1 мм. Агар иккала сим бир хил узайса, пўлат симнинг диаметри нимага тенг?

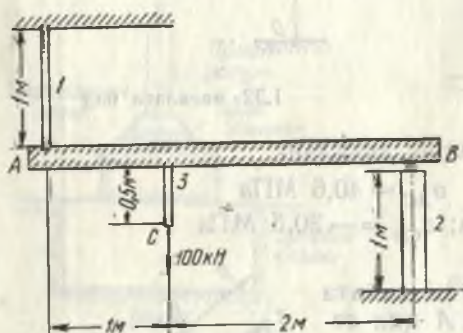
Жавоб: 0,71 мм.

1.36. Бикр балка  $AB$  расмда кўрсатилганидек маҳкамланган ва юкланган. Балка деформациясини ҳисобга олмаймиз. Пўлат

стержень 1 нинг кесими  $10 \text{ см}^2$ , ёғоч стойка 2 нинг кесими  $10 \times 10 \text{ см}$ , мис стержень 3 нинг кесими  $30 \text{ см}^2$ . Нуқта  $C$  нинг пасайишини аниқланг.

Жавоб:  $0,5 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ .

1.37. Узунлиги 5 м ли пўлат стержень 250 кН куч билан чузилган. Стерженьнинг ҳажми қанча катталашишини аниқланг. Ҳодиса эластик чегараларда ўтади.



1.36- масалага онд

Жавоб:  $2,5 \text{ см}^3 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ .

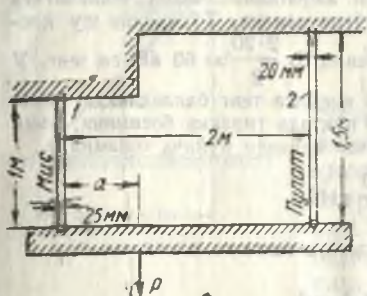
1.38. Думалоқ кесимли тортқилар 1 ва 2 га бикр брус горизонтал осилган (расмга қаранг). Бруснинг деформациясини ҳисобга олмаймиз. Деформациялангандан кейин ҳам горизонтал қолиши учун юк  $P$  тортқи 1 дан қанча масофа  $a$  да бўлиши ке-



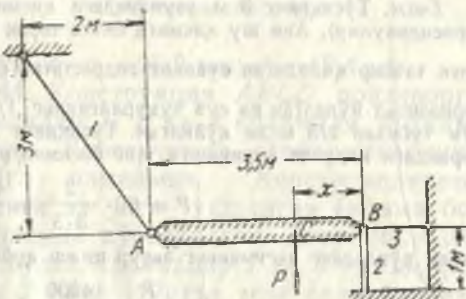
рак? Бу ҳолда, агар  $P=30$  кН бўлса, тортқилардаги кучланишлар нимага тенг бўлади?

Жавоб:  $a=1,08$  м,  $\sigma_1=33,0$  МПа,  $\sigma_2=44,0$  МПа.

1.39. Бикр брус  $AB$  расмда кўрсатилганидек юкланган ва маҳкамланган. Тортқи 1 пўлатдан қилинган, диаметри 25 мм ли думалоқ кесимли, стойка 2 ёғочдан қилинган,  $20 \times 20$  см квадрат кесимли, брус  $A$  учининг пасайиши  $B$  учининг паса-



1.38- масалага оид

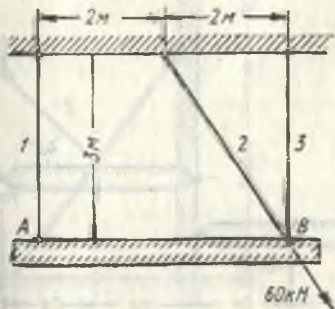


1.39- масалага оид

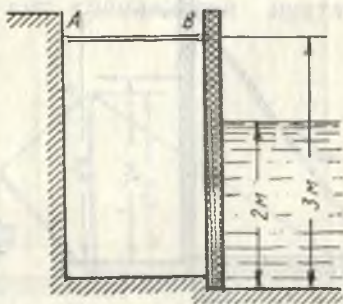
йишидан икки марта камроқ бўлиши учун  $P$  кучни таянчдан қандай  $x$  масофада жойлаштириш керак? Бу ҳолда нуқта  $C$  нинг пасайиши 1 мм га тенг бўлиши учун  $P$  кучи қандай қийматга эга бўлиши керак? Шунда тортқи 1 ва стойка 2 даги кучланишлар нимага тенг бўлади? Горизонтал стержень 3 нинг деформацияси ҳисобга олинмасин.

Жавоб:  $x=8,1$  см;  $P=414$  кН;  $\sigma_1=23,4$  МПа;  $\sigma_2=10,1$  МПа

1.40. Брус  $AB$   $10 \text{ см}^2$  юзага тенг бўлган бир хил кўндаланг кесимли учта стерженьга осилган (расмга қаранг). Агар стерженьлар пўлатдан қилинган бўлса, стерженьлардаги кучланишларни ҳамда  $A$  нуқтанинг кўчишини ва йўналишини аниқланг. Расмда кўрсатилганидек куч 60 кН стержень 2 бўйлаб йўналган.



1.40- масалага оид



1.41- масалага оид

**Жавоб:**  $\sigma_1 = \sigma_3 = 0$ ;  $\sigma_2 = 60$  МПа, нуқта А горизонтал силжийди ва силжиши 1,95 мм га тенг.

1.41. Ёғоч тиргаклар АВ (расмга қаранг) сув ўтказмайдиган тўсиқни сув таъсирида ағдарилишдан сақлаб туради. Тиргаклар ҳар 3 м дан кейин қўйилган. Агар ёғоч учун сиқилишга рухсат этилган кучланиш  $[\sigma] = 3,0$  МПа бўлса, тиргакнинг думалоқ кесимини танланг.

**Ечим.** Тўсиқнинг 3 м узунликдаги қисмини ажратамиз (чизма текислигига перпендикуляр). Ана шу қисмига битта тирак тўғри келади. Тўсиқнинг шу қисмига таъсир қиладиган сувнинг гидростатик босими  $3 \cdot \frac{2 \cdot 20}{2} = 60$  кН га тенг. У горизонтал йўналган ва сув чуқурлигининг  $1/3$  қисмига тенг баландликда, яъни сув тубидан  $2/3$  м да қўйилган. Тўсиқнинг В нуқтада тиракка босимини, яъни тиракдаги қисувчи зўриқишга тенг босимни рычаг қондаси бўйича топамиз.

$$P = 60 \cdot \frac{2}{3 \cdot 3} = \frac{40}{3} \text{ кН.}$$

Тирак кўндаланг кесимининг зарур юзаси қуйидагига тенг:

$$F = \frac{P}{[\sigma]} = \frac{4000}{3 \cdot 30} = 44,5 \text{ см}^2.$$

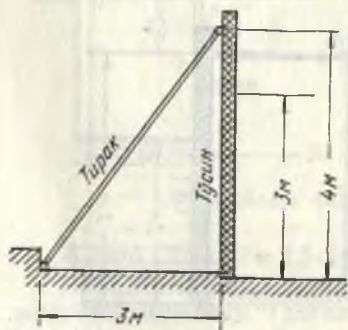
Тиракнинг диаметри:

$$d \geq 2 \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{44,5}{3,14}} = 7,5 \text{ см} = 74 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

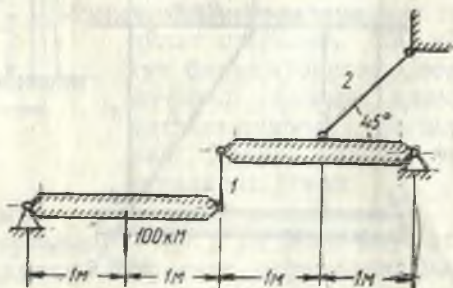
1.42. Сув ўтказмайдиган тўсиқни ағдарилишдан сақлаб турадиган қия тиргаклар орасидаги энг катта йўл қўйиладиган масофани аниқланг (расмга қаранг). Қия тиргаклар ёғочдан қилинган бўлиб, думалоқ кўндаланг кесимининг диаметри 15 см га тенг. Қия тиргаклар материалининг рухсат этилган кучланиши 2 МПа.

**Жавоб:** 1,88 м.

1.43. Тортқиқлар 1 ва 2 нинг думалоқ кўндаланг кесими диаметрини аниқланган (расмга қаранг). Қия тортқиқ материал учун рухсат этилган кучланишни 100 МПа деб олинг.

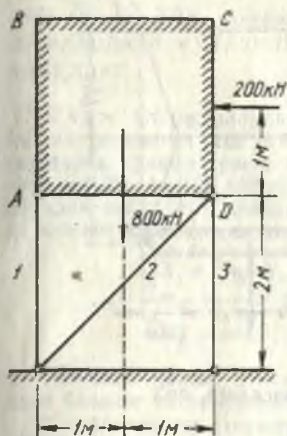


1.42-масалага оид

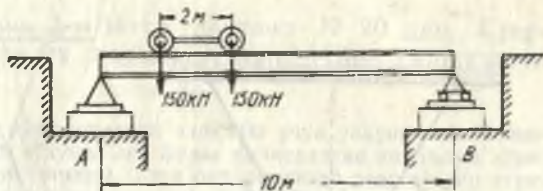


1.43-масалага оид





1.44- масалага оид



1.45- масалага оид

Жавоб:  $d_1 = 25,2$  мм;  $d_2 = 42,4$  мм.

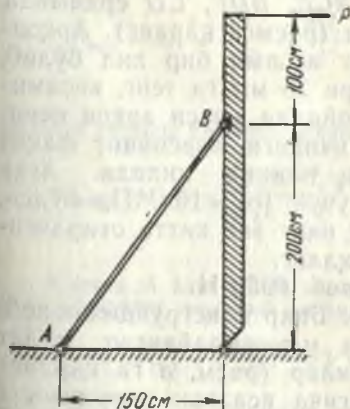
1.44. Конструкция ABCD пойдеворга стерженлар 1, 2 ва 3 ёрдамида маҳкамланган. Конструкция деформациясини ҳисобга олмаймиз. Конструкциянинг оғирлиги ва унга тушадиган ёнлама босим расмда кўрсатилган. Агар  $[\sigma] = 100$  МПа бўлса, стойкалар 1 ва 3 ҳамда қия тирак 2 нинг (тўртта тенг ёнли бурчакликдан иборат) кесимини танланг.

Жавоб: Стойка 1 нинг кесими — бурчаклик  $80 \times 80 \times 8$ , қия тирак 2 нинг кесими — бурчаклик  $63 \times 63 \times 6$ , стойка 3 кесими — бурчаклик  $32 \times 32 \times 4$ .

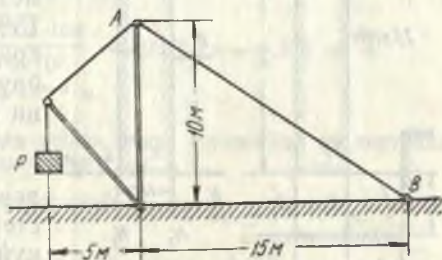
1.45. Кўприк балкаси ферма остидаги тош пойдевор A ва B га расмда кўрсатилгандек тиралади. Балка устида бир-бирига боғланган ва ҳар бири 150 кН дан бўлган юк ҳаракатланади. Агар ферма тагидаги тош пойдевор учун рухсат этилган кучланиш 0,9 МПа бўлса, пойдевор планда квадратлардан иборат бўлса, юкнинг энг ноқулай вазияти учун ферма ости пойдеворининг пландаги ўлчамларини аниқланг.

Жавоб:  $55 \times 55$  см =  $0,55 \times 0,55$  м.

1.46. Бикр стержень (расмга қаранг) куч  $P$  билан юкланган ва уни диаметри 20 мм ли думалоқ кўндаланг кесимдаги қия пўлат тортқи AB ағдарилиб кетишдан ушлаб туради. Энг катта йўл қўйиладиган юк  $P$  ни ва куч қўйиладиган нуқтанинг

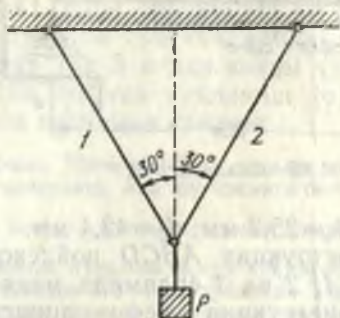


1.46- масалага оид

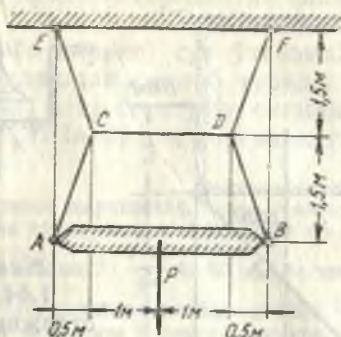


1.47- масалага оид

|     |         |
|-----|---------|
| Бу  | Т       |
| БИ. | КА      |
| №   | 61119.3 |



1.48- масалага оид



1.49- масалага оид

горизонтал кўчиш қийматини аниқланг. Тортқи материали учун рухсат этилган кучланиш 160 МПа га тенг.

Жавоб:  $P = 20,1 \text{ кН}$ ;  $\delta = 5 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

1.47. Расмда кўтариш крани кўрсатилган. Унинг тортқиси АВ кўндаланг кесими  $500 \text{ мм}^2$  ли пулат симарқон ҳисобланади. Симарқон учун рухсат этилган кучланиш 80 МПа га тенг. Тортқининг мустаҳкамлик шартига кура, краннинг юк кўтарувчанлиги (максимал юк  $P$  нинг қиймати) нимага тенг?

Жавоб: 66,7 кН.

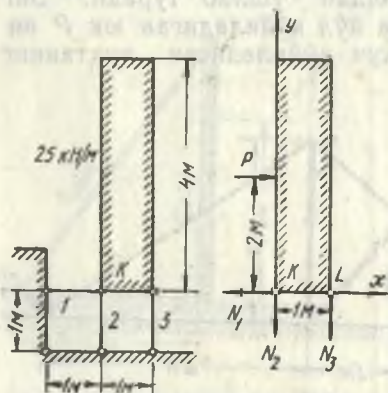
1.48. Юк  $P$  иккита стерженга расмда кўрсатилгандек осилган. Думалоқ кўндаланг кесимининг диаметри 30 мм бўлган стержень 1 нинг материали учун рухсат этилган кучланиш 160 МПа диаметри 40 мм бўлган думалоқ кўндаланг кесимли стержень 2 материалининг рухсат этилган кучланиши 60 МПа. Бу конструкция кўпи билан қанча юк  $P$  га чидаши мумкин?

Жавоб: 130 кН.

1.49. Оғирлиги  $P$  бўлган бикр брус АВ жут арқонлар системаси ACE, BDF, CD ёрдамида осилган (расмга қаранг). Арқонларнинг кесими бир хил бўлиб, диаметри 25 мм га тенг, кесимининг фойдали юзаси арқон периметри ичидаги юзасининг фақат 75% ини ташкил қилади. Агар арқон учун  $[\sigma] = 10 \text{ МПа}$  бўлса, брус  $P$  нинг энг катта оғирлигини аниқланг.

Жавоб: 6950 Н.

1.50. Бикр конструкцияни пойдеворга маҳкамлайдиган пулат стерженлар (расм, а га қаранг) қуйидагича ясалган: стержень 1 — тўртта бурчаклик  $50 \times 50 \times 5$  дан, стержень 2 — иккита швел-



1.50- масалага оид



лер № 12 дан стержень 3— битта двутавр № 20 дан. Стерженьлардаги кучланишни ва шарнир  $K$  нинг тўлиқ силжишини аниқланг.

**Ечи м.** Стерженьлардаги зўриқишларни аниқлаш учун уларни ҳаёлан кесамиз ва қирқилган жойларида чузувчи деб фараз қилинадиган номуалум зўриқишларни қуямиз (расм, 6 га қаранг). Горизонтал юкнинг тенг таъсир этувчиси  $P = 25 \times 4 = 100$  кН га тенг бўлиб, шарнир  $K$  дан 2 м баландга қўйилган. Шундан кейин стерженьлардаги зўриқишлар учун мувозанатлик тенгламасини ва юкнинг тенг таъсир этувчисининг мувозанатлик тенгламасини тузамиз:

$$\begin{aligned}\sum X &= P - N_1 = 0 & \text{бундан } N_1 &= P \\ \sum m_K &= -P \cdot 2 - N_3 \cdot 1 = 0. & N_3 &= -2P; \\ \sum m_L &= -P \cdot 2 + N_2 \cdot 1 = 0, & N_2 &= 2P.\end{aligned}$$

Шундай қилиб, стерженьлар 1 ва 2 учун зўриқишлар ишораси ҳақидаги бизнинг тасаввуримиз тўғри, стержень 3 учун эса нотўғри бўлиб чиқди. Сортаментдан стерженьларнинг қўндаланг кесимлари юзаларини аниқлаймиз.

Стержень 1 учун  $F_1 = 4 \times 4,80 = 19,2 \text{ см}^2 = 19,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;

Стержень 2 учун  $F_2 = 2 \times 13,3 = 26,6 \text{ см}^2 = 26,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;

Стержень 3 учун  $F_3 = 26,8 \text{ см}^2 = 26,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

Зўриқишлар қийматларини ва қўндаланг кесимлар юзаларини билган ҳолда стерженьлардаги кучланишларни ҳисоблаш мумкин.

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_1} = \frac{P}{F_1} = \frac{10000}{19,2} = 52,2 \text{ МПа};$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{F_2} = \frac{2P}{F_2} = \frac{2 \cdot 10000}{26,6} = 75,2 \text{ МПа};$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{F_3} = -\frac{28}{F_3} = -\frac{2 \cdot 10000}{26,8} = -74,7 \text{ МПа}.$$

Шарнир  $K$  нинг тўлиқ силжишини топиш учун олдин унинг горизонтал ва вертикал силжишларини аниқлаймиз. Бизнинг ҳолда горизонтал силжиш стержень 1 нинг узайишига тенг:

$$\Delta l_{\text{гор}} = \Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{EF} = \frac{\sigma_1 l_1}{E} = \frac{52,2 \cdot 100}{2 \cdot 10^5} = 0,0261 \text{ см} = 0,261 \text{ мм} = 261 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

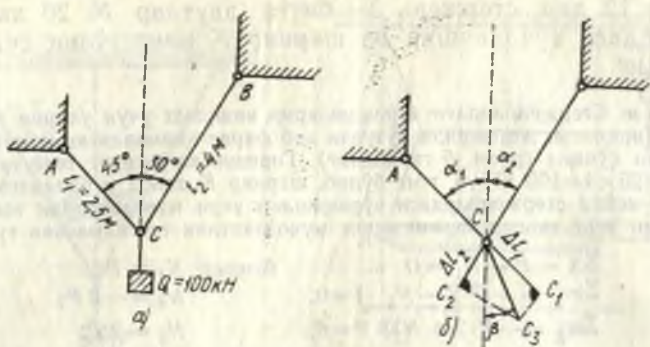
вертикал силжиш стержень 2 нинг узайишига тенг:

$$\Delta l_{\text{верт}} = \Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{EF_2} = \frac{\sigma_2 l_2}{E} = \frac{75,2 \cdot 100}{2 \cdot 10^5} = 0,0376 \text{ см} = 0,376 \text{ мм} = 376 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Шарнир  $K$  нинг тўлиқ силжишини топиш учун горизонтал ва вертикал силжишларнинг геометрик йигиндисини оламиз:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{гор}}^2 + \Delta_{\text{верт}}^2} = \sqrt{0,261^2 + 0,376^2} = 0,45 \text{ мм} = 45 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

1.51. Юк  $Q$  шарнир-стерженьли система  $ACB$  га осилган (расм, а га қаранг). Стержень  $AB$  дюралюминийдан, стержень



1.51- масалага оид

BC пулатдан ясалган. Пулат ва дюралюминий учун рухсат этилган кучланиш бир хил ва  $[\sigma] = 150 \text{ МПа}$  деб олинган. Стерженлар кундаланг кесимларининг юзасини танланг ҳамда нуқта C нинг горизонтал ва вертикал силжишларини топинг.

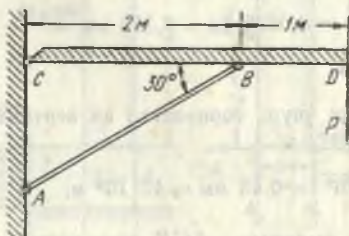
**Кўрсатма.** Нуқта C нинг силжишини аниқлаш учун унда стерженларни ажратамиз ва уларнинг янги узунликларни  $AC_1$  ва  $BC_1$  ни тасвирлаймиз, бунда эски узунликларни  $\Delta l_1 = CC_1$  ва  $\Delta l_2 = CC_2$  га катталаштирамиз (расм, б га қаранг). Нуқта C нинг янги вазиятини топиш учун узайтирилган стерженларни нуқта A ва B атрофида айлантириб, бир-бирига келтирамиз. Нуқта C<sub>1</sub> ва C<sub>2</sub> ёйлар C<sub>1</sub> C<sub>3</sub> ва C<sub>2</sub> C<sub>3</sub> бўйича силжийдн, бу ёйларни кичик бўлгани учун AC<sub>1</sub> ва BC<sub>2</sub> ларга перпендикуляр тўғри чизиклар деб қабул қилиш мумкин. Шунда кесма CC<sub>3</sub> биз қидираётган силжиш  $\Delta$  бўлади. Бу кесмаларни вертикал билан ташкил қилган бурчакни  $\beta$  билан белгилаб, тенгламалар системасини ҳосил қиламиз.

$$\Delta = \frac{\Delta l_1}{\cos(\alpha_1 - \beta)} = \frac{\Delta l^2}{\cos(\alpha_2 - \beta)}.$$

Шу тенгламалардан  $\beta$  ни, сўнгра  $\Delta$  ни ва унинг вертикал ҳамда горизонтал проекцияларини аниқлаймиз.

**Жавоб:**  $F_{AC} = 3,46 \text{ см}^2$ ;  $F_{BC} = 4,88 \text{ см}^2$ ;  
 $\Delta_{\text{гор}} = 2,6 \text{ мм}$ ;  $\Delta_{\text{верт}} = 5 \text{ мм}$ .

**1.52.** Бикр брус CD расмда кўрсатилгандек юкланган ва ёғоч қия тиргак AB билан мустаҳкамланган. Бруснинг деформацияси ҳисобга олинмасин.



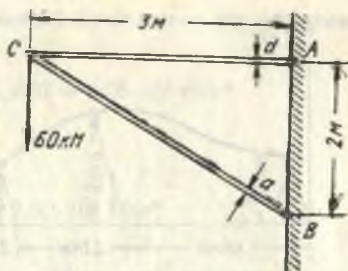
Нуқта D нинг пасайиши ўлчаб кўрилганда, у 3 мм га тенглиги аниқланди. Қия тиргакдаги кучланишлар нимага тенг? Агар қия тиргакнинг кундаланг кесими  $20 \times 20 \text{ см}$  ўлчамли квадрат бўлса, нагрузка P нимага тенг?

**Жавоб:**  $\sigma = 4,33 \text{ МПа}$   $P = 57,8 \text{ кН}$ .

1.52- масалага оид



1.53. Расмда тасвирланган кронштейнда стержень  $AC$  пўлатдан, стержень  $BC$  эса ёғочдан ясалган. Рухсат этилган кучланиш пўлат учун  $[\sigma] = 160$  МПа, ёғоч учун  $[\sigma] = 4$  МПа. Пўлат стерженнинг думалоқ кесими диаметри  $d$  ни ҳамда ёғоч стерженнинг квадрат кесими томони  $a$  ни танланг, тугун (узел)  $C$  нинг горизонтал, вертикал ва тўлиқ силжишини аниқланг.



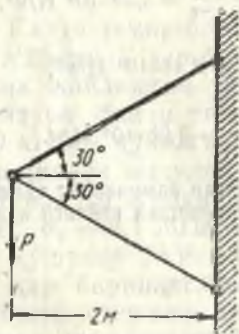
1.53- масалага онд

Жавоб:  $d = 27$  мм;  $a = 16,4$  см;

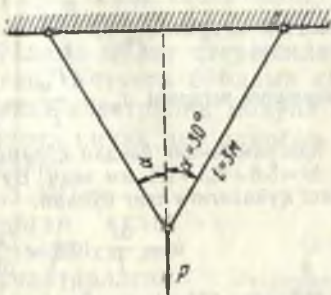
$$\Delta_{\text{верт}} = 6,2 \text{ мм}; \Delta = 6,64 \text{ мм}, \Delta_{\text{гор}} = 2,4 \text{ мм} = 24 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

1.54. Расмда тасвирланган кронштейн  $P$  кучи билан юкланган. Иккала стержень пўлатдан ясалган. Устки стержень иккита швеллер № 12 дан, пасткиси иккита двутавр № 24 дан иборат. Чўзилишга йўл қўйилган кучланиш 160 МПа, сиқишга йўл қўйилган кучланиш — 100 МПа. Энг катта йўл қўйилган нагрузка  $P$  ни ва нагрузка қўйилган узелнинг вертикал силжишини аниқланг.

Жавоб:  $P = 348$  кН,  $\Delta = 2,70$  мм  $= 27 \cdot 10^{-4}$  м.



1.54- масалага онд

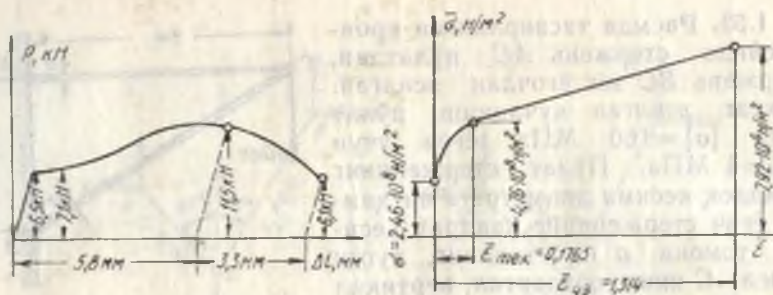


1.55- масалага онд

1.55. Кўндаланг кесими  $F = 1 \text{ см}^2$  бўлган бир хил тортқига юк  $P = 10$  кН осилган (расмга қаранг). Тортқилар модули  $E = 1 \times 10^5$  МПа бўлган бир хил материалдан ясалган. Юк осилган нуқтанинг силжишини аниқланг. Агар бурчак  $\alpha = 52^\circ$  бўлса, бу силжиш қандай ўзгаради?

Жавоб: 0,2 см. 2 марта катталашади.

1.56. Диаметри 6 мм ва каллаклар орасидаги узунлиги 30 мм бўлган пўлат стержень чўзилишга синалаётганда расм, а да тасвирланган диаграмма ҳосил бўлди. Узилиш жойида бўйиннинг диаметри 3,1 мм экан. Материалнинг шартли ва ҳақиқий характеристикаларини аниқланг ва ҳақиқий кучланишлар диаграммасини ясанг.



1.56-масалага оид

Ечим. Диаграммани кўздан кечириб (расм. а), биз шуни кўрамизки, пропорционаллик чегарасига  $P_n = 650 \text{ кг} = 6380 \text{ Н}$  нагрузка, оқувчанлик чегарасига эса  $P_{ок} = 710 \text{ кг} = 6970 \text{ Н}$  нагрузка, мустаҳкамлик чегарасига  $P_m = 1150 \text{ кг} = 11280 \text{ Н}$  ва узилиш моментига  $P_{уз} = 610 \text{ кг} = 5990 \text{ Н}$  нагрузка тўғри келар экан. Намунанинг дастлабки кўндаланг кесим юзаси

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 6^2}{4} = 28,3 \text{ мм}^2 = 2,83 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

га тенг бўлганлиги учун тегишли шартли (кўндаланг кесимнинг дастлабки юзасига келтирилган) механик характеристикалар қуйидагиларга тенг бўлади:

$$\text{пропорционаллик чегараси } \sigma_n = \frac{P_n}{F} = \frac{6380}{2,83 \cdot 10^{-5}} = 2,25 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2,$$

$$\text{оқувчанлик чегараси } \sigma_{ок} = \frac{P_{ок}}{F} = \frac{6970}{2,83 \cdot 10^{-5}} = 2,46 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2,$$

$$\text{мустаҳкамлик чегараси } \sigma_m = \frac{P_m}{F} = \frac{11280}{2,83 \cdot 10^{-5}} = 3,98 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2.$$

Уша программанинг ўзидан кўрамизки, узилган намунанинг тўлиқ қолдиқ узайиши  $\Delta l = 5,8 + 3,3 = 9,1 \text{ мм}$  экан. Бу ҳолда узилишдан кейинги нисбий қолдиқ узайиш қуйидагига тенг бўлади:

$$\sigma = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100 = \frac{9,1}{30} \cdot 100 = 30,3\%.$$

Узилиш жойидаги бўйиннинг кўндаланг кесим юзаси:

$$F_6 = \frac{\pi d_6^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3,1^2}{4} = 7,55 \text{ мм}^2 = 7,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Бунда узилишдан кейин кўндаланг кесим юзасининг нисбий қолдиқ кичрайтиши:

$$\psi = \frac{F - F_6}{F} = \frac{28,3 - 7,55}{28,3} = 0,731 = 73,1\%.$$

Энди ҳақиқий характеристикаларни аниқлашга ўтамиз. Бунинг учун бир текис чегаравий қолдиқ узайиш  $\Delta l_{тек}$  ни топиш лозим. Диаграммдан кўришиб турибдики, у  $\Delta l_{тек} = 5,8 \text{ мм}$  га тенг. Шунда чегаравий нисбий бир текис қолдиқ узайиш қуйидагини ташкил қилади:

$$\epsilon_m = \frac{\Delta l_{тек}}{l} = \frac{5,8}{30} = 0,193.$$



Мустаҳкамлик чегарасига тўғри келадиган ҳақиқий кучланишни шу формуладан аниқлаймиз:

$$\bar{\sigma}_m = \sigma_m (1 + \epsilon_m) = 3,98 \cdot 10^8 (1 + 0,193) = 4,76 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2.$$

Узлиш пайтидаги ҳақиқий кучланиш:

$$\sigma_{yz} = \frac{P_{yz}}{F_0} = \frac{5990}{7,55 \cdot 10^{-6}} = 7,92 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$$

Ҳақиқий чегаравий нисбий бир текис қолдиқ узайишни шу формуладан топамиз:

$$\epsilon_m = \ln(1 + \epsilon_m) = \ln(1 + 0,193) = 0,1765.$$

Узилишдаги нисбий ҳақиқий қолдиқ узайишни ушбу формуладан топамиз:

$$\bar{\epsilon}_{yz} = \ln \frac{1}{1 - \psi} = \ln \frac{1}{1 - 0,731} = 1,314.$$

Берилган ҳақиқий характеристикалар бўйича расм, б да кўрсатилган ҳақиқий кучланишлар диаграммасини ясаймиз.

## 2- §. Статик аниқланмайдиган системалар

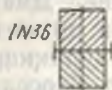
1.57. Калта темир-бетон устун кўндаланг кесимининг ўлчамлари  $25 \times 25$  см. У ҳар бирининг диаметри 20 мм дан бўлган ва симметрик жойлашган тўртта бўйлама пўлат стержендан иборат арматура билан таъминланган. Устунга бўйлама қисувчи кучи 600 кН юк қўйилган. Бетоннинг эластиклик модули пўлатнинг эластиклик модулидан 10 марта кичик деб олинган. Бетон ва арматурадаги зўриқишни аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_b = 8,1$  МПа,  $\sigma_a = 81,3$  МПа.

1.58. Қўштавр №36 дан қилинган калта устунча ҳар бирининг кесими  $20 \times 20$  см ли иккита бетон стержень билан кучайтирилган. Қўштаврда кучайтирилгунгача бўлган зўриқишни ҳам қўштавр ва бетон стерженларда кучайтирилгандан кейинги зўриқишни аниқланг (агар  $P = 1000$  кН бўлса). Босим, расмда кўрсатилганидек, абсолют бикр ястиқ А орқали узатилади. Пўлат ва бетон эластиклик модуллари нисбатини 10 га тенг деб олинг.

Жавоб: Кучайтирилгунга қадар  $\sigma_n = 161,5$  МПа, кучайтирилгандан кейин  $\sigma_n = -70,5$  МПа;  $\sigma_b = 7,05$  МПа.

1.59. Стерженларнинг расмда I, II ва III участкаларида кўрсатилган кесимлардаги зўриқишларни аниқланг. Ҳамма стерженларнинг учлари абсолют бикр маҳкамланган.



1.58- масалага оид



1.59-масалага онд

Жавоб:

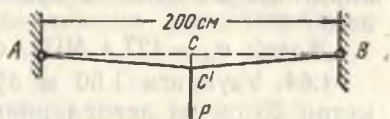
| Зўриқиш \ Схемалар | а              | б              | в              | г  | д               | е              | ж              | з              |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| $N_1$              | $\frac{3}{5}$  | $\frac{1}{3}$  | $\frac{1}{3}$  | 1  | $\frac{10}{11}$ | $\frac{2}{3}$  | $\frac{3}{7}$  | $\frac{1}{6}$  |
| $N_{II}$           | $-\frac{2}{5}$ | $-\frac{2}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | 0  | $-\frac{1}{11}$ | $-\frac{1}{3}$ | $\frac{3}{7}$  | $\frac{1}{6}$  |
| $N_{III}$          |                |                | $\frac{1}{3}$  | -1 |                 |                | $-\frac{4}{7}$ | $-\frac{5}{6}$ |

1.60. Диаметри 5 мм ли марказий пўлат сим ва уни ўраб турган диаметри 2,5 мм ли тўққизта мис симдан иборат троссдаги зўриқишни топинг. Симларни бир-бирига параллел деб олинг. Троссдаги чўзувчи зўриқиш 5000 Н га тенг.

Жавоб:  $\sigma_m = 60$  МПа,  $\sigma_n = 120$  МПа.



1.61. Юк қўйилгунга қадар қўзғалмас нуқталар  $A$  ва  $B$  орасига (расмга қаранг) кучланмаган ҳолатдаги диаметри 1 мм ли пўлат сим тортилган (симнинг хусусий оғирлиги ҳисобга олинмасин). Агар нуқта  $C$  нинг вертикал силжиши  $CC' = 4,5$  см бўлса, сим узунлигининг ўртасидаги нуқта  $C$  га қандай нагрузка  $P$  қўйиш керак ва бу ҳолда унда қандай кучланиш пайдо бўлади?



1.61-масалага оид

Ечим. Куч  $P$  қўйилгандан кейин сим битта ярмининг абсолют узайиши  $CB$  ва  $C'$   $B$  узунликлари фарқига тенг бўлади:

$$\Delta l = \sqrt{100^2 + 4,5^2} - 100 = 0,1 \text{ см} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Унинг нисбий узайиши

$$\epsilon = \frac{0,1}{100} = 0,001.$$

Бу ҳолда симдаги кучланишни Гук қонунидан фойдаланиб топамиз:

$$\sigma = E\epsilon = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,001 = 200,0 \text{ МПа}$$

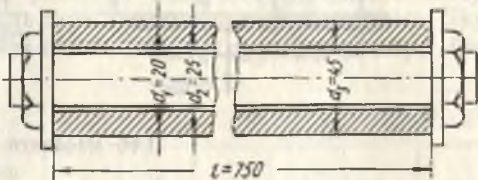
Кучланишни билган ҳолда симдаги зўриқишни аниқлаймиз:

$$N = \sigma \cdot F = 200 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 157 \text{ Н}$$

Нуқта  $C'$  куч  $P$  ва иккита зўриқиш  $N$  таъсирида мувозанатда туради. Кучлар учбурчаги ва  $C'$   $CB$  учбурчагининг ўхшашлигидан

$$\frac{P/2}{4,5} = \frac{N}{100,1} \quad \text{топамиз, бундан } P = 2 \cdot 4,5 \cdot \frac{N}{100,1} = 14,1 \text{ Н.}$$

1.62. Қўзғалмас нуқталар  $A$  ва  $B$  орасига (1.61-масаладаги расмга қаранг) диаметри 1 мм ли пўлат сим горизонтал равишда тарангланмай тортилган (симнинг хусусий оғирлиги ҳисобга олинмай-миз). Сим узунлигининг ўртасидаги нуқта  $C$  га юк  $P$  қўйилади. Симнинг узайиши 0,5% га етганда у узилади. Шу пайтда юк  $P$  нимага тенг, нуқта  $C$  нинг пасайиш катталиги ва симнинг мустаҳкамлик чегарасининг қиймати нимага тенг? Сим парчинланган бўлиб, узилиш пайтига қадар у фақат эластик деформацияланади деб ҳисобланг.



1.63-масалага оид

Жавоб:  $P = 157 \text{ Н}$ ,  $CC' = 10 \text{ см}$ ,  $\sigma_m = 1000 \text{ МПа}$ .

1.63. Мис найча орқали пўлат болт ўтказилган (расмга қаранг). Болт винтининг қадами 3 мм га тенг. Гайка 1/4 бурам

киритилганда болт ва найчада қандай кучланишлар пайдо бўлади?

Жавоб:  $\sigma_n = 127,4$  МПа.  $\sigma_m = 36,4$  МПа.

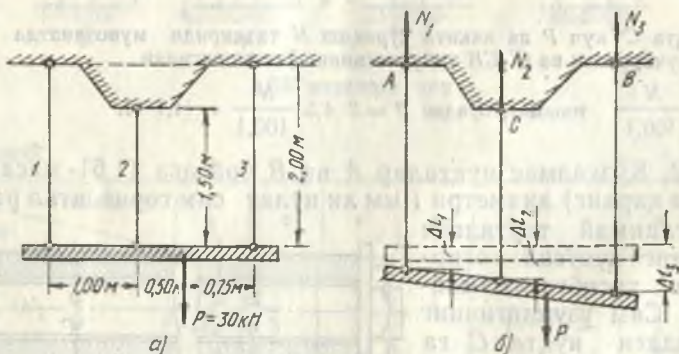
1.64. Узунлиги 1,50 м бўлган чўян цилиндрнинг ички диаметри 25 см ва деворларининг қалинлиги 25 мм. Цилиндрнинг ёплари қаттиқ қопқоқлар билан ёпилган бўлиб, уларнинг ўртасидан пўлат болт ўтказилган ва гайкалар билан қаттиқланган. Гайкалар шунчалик қаттиқланганки, болтдаги чўзувчи зўриқиш 200 кН га тенглашган. Сўнгра ҳар бир қопқоққа 200 кН ли чўзувчи зўриқиш қўйилади. Агар болтнинг иш узунлиги 150 см га, кўндаланг кесими 35 см<sup>2</sup> га тенг бўлса, болтдаги кучланишни аниқланг.

Жавоб: 69,2 МПа.

1.65. Иш пайтида ёрилиб кетган чўян дискни юмшоқ пўлатдан қилинган бандаж тортиб тузатиш мўлжалланмоқда. Дискнинг ташқи диаметри 80 см га тенг. Ўтқазини учун бандаж қиздирилади. Агар ўтқазгандан кейин бандаждаги кучланиш 100 МПа га тенглашиши лозим бўлса, қиздирилгунга қадар бандажнинг ички диаметри нимага тенг бўлиши керак? Дискнинг бандажга нисбатан залворлиги туфайли диск деформацияланмайди деб олинг.

Жавоб: 79,96 см =  $79,96 \cdot 10^{-2}$  м.

1.66. Бикр брус учта стерженьга осилган ва расм, а да кўрсатилгандек юкланган. Бруснинг деформациясини ҳисобга ол-



1.66- масалага оид

маймиз. Стержень 1 мисдан, кесими 1 см<sup>2</sup>, стержень 2 пўлатдан, кесими 1,5 см<sup>2</sup>, стержень 3 алюминийдан, кесими 2 см<sup>2</sup>. Стерженьлардаги кучланишларни аниқланг.

Ечим: Барча зўриқишлар чўзувчи бўлиб, стерженьларнинг деформациясидан кейин брус расм, б да тасвирланган янги вазиятни эгаллайди деб фараз қиламиз. Маълумки, ясси параллел кучлар системаси учун статикада фақат битта мувозанат тенгламаси мавжуд. Шу икки тенгламани тузамиз:

$$1) \sum m_A = -N_2 \cdot 1,00 - N_3 \cdot 2,25 + P \cdot 1,50 = 0;$$

$$2) \sum m_B = N_1 \cdot 2,25 + N_2 \cdot 1,25 - P \cdot 0,75 = 0.$$



Учинчи зарур тенгламани тузиш учун деформацияларни кўриб чиқамиз (расм, б). Расмда тасвирланган трапециядан қуйидаги муносабатни тузиш мумкин:

$$\frac{\Delta l_3 - \Delta l_1}{2,25} = \frac{\Delta l_2 - \Delta l_1}{1,00}.$$

Уни қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$1,25 \Delta l_1 - 2,25 \Delta l_2 + \Delta l_3 = 0.$$

Бу тенгламада деформацияларни зўриқишлар орқали ифодалаймиз:

$$1,25 \frac{N_1 \cdot 200}{10^3 \cdot 1} - 2,25 \frac{N_2 \cdot 150}{2 \cdot 10^6 \cdot 1,5} + \frac{N_3 \cdot 200}{0,7 \cdot 10^6 \cdot 2} = 0.$$

Қисқартирилгандан сўнг қуйидагини оламиз:

$$3) 2,5 N_1 - 1,125 N_2 + 1,43 N_3 = 0.$$

1, 2 ва 3 тенгламаларни биргаликда ечиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$N_1 = 0,018 P = 0,018 \cdot 30000 = 550 \text{ Н};$$

$$N_2 = 0,568 P = 0,568 \cdot 30000 = 17050 \text{ Н};$$

$$N_3 = 0,414 P = 0,414 \cdot 30000 = 12400 \text{ Н}.$$

Олинган қийматларни текшириб кўрамиз:

$$\sum N = 550 + 17050 + 12400 = 30000 \text{ Н} = P.$$

Стерженлардаги кучланишлар тегишлича қуйидагиларга тенг бўлади:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_1} = \frac{550}{1} = 550 \text{ Н/см}^2, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{F_2} = \frac{17050}{1,5} = 11350 \text{ Н/см}^2$$

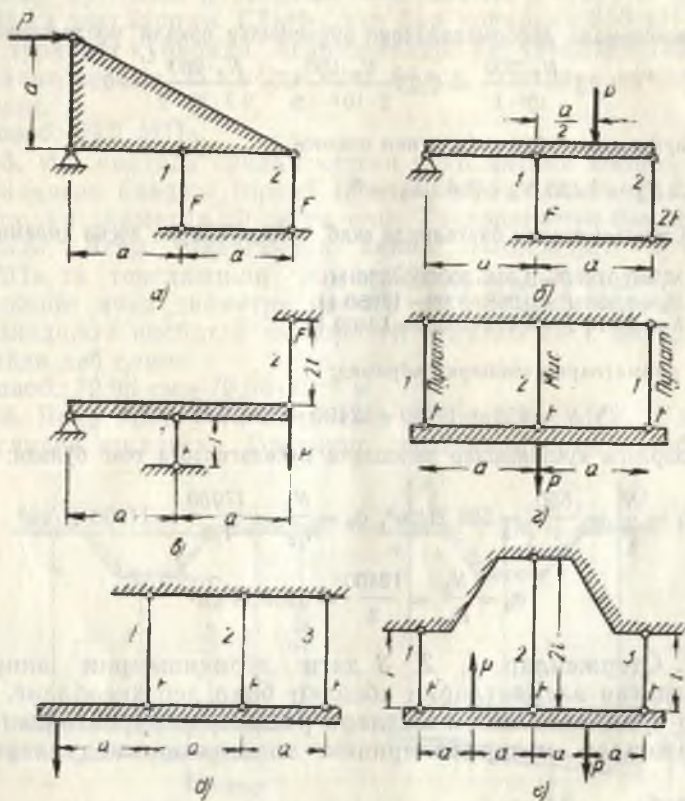
$$\sigma_3 = \frac{N_3}{F_3} = \frac{12400}{2} = 6200 \text{ Н/см}^2$$

1.67. Стерженлар 1, 2, 3 даги зўриқишларни аниқланг. Штрихланган элементларни абсолют бикр деб ҳисобланг. Стерженлар кўндаланг кесим юзалари расмларда кўрсатилган. Барча стерженлар материалларининг эластиклик модуллари бир хил.

Жавоб:

| Зўриқиш \ Схемалар | а              | б              | в              | г              | д              | е             |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| $N_1$              | $-\frac{1}{5}$ | $-\frac{1}{6}$ | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{2}{5}$  | $\frac{4}{3}$  | $\frac{1}{2}$ |
| $N_2$              | $-\frac{2}{5}$ | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{2}{3}$  | $-\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{3}$  | 0             |
| $N_3$              |                |                |                |                | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{2}$ |

1.68. Квадрат кўндаланг кесимли темир-бетон устун тўртта пўлат стержень билан арматураланган. Пўлат стерженьларнинг кўндаланг кесим юзаси устун кўндаланг кесим юзасининг 1% ини ташкил қилади. Бетон учун рухсат этилган кучланиш 6 МПа га, арматура учун 120 МПа га тенг. Пўлат ва бетон эластик-



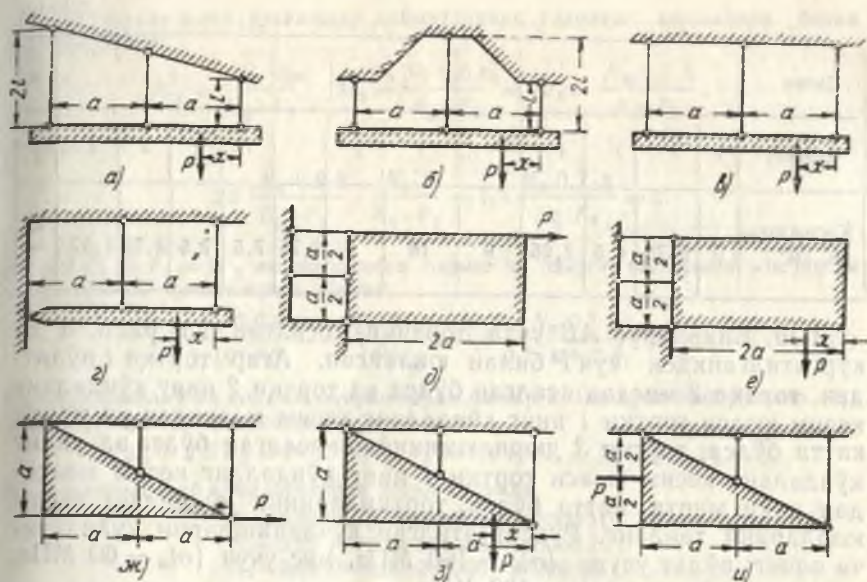
1.67- масалага оид

лик модулларининг нисбати 10 га тенг, устунга 1000 кН нагрук-ка тушади. Устун кесими томонлари ва стерженьларнинг диаметри қанчага тенг бўлиши лозим? Материалнинг ҳолатини эластик деб ҳисобланг.

Жавоб:  $a = 39$  см;  $d = 22$  мм  $= 22 \cdot 10^{-3}$  м.

1.69. Бирк брус кўндаланг кесими бир хил бўлган ва бир хил материалдан ясалган стерженьлар системаси ёрдамида маҳкамланган (расмга қаранг).





1.69- масалага оид

Улчам  $x$  нинг қийматлари:

| Вариант \ Схемалар | а              | б             | в             | г              | е   | з              |
|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-----|----------------|
| 1                  | 0              | 0             | 0             | 0              | 0   | 0              |
| 2                  | $\frac{a}{2}$  | $\frac{a}{2}$ | $\frac{a}{2}$ | $\frac{a}{2}$  | $a$ | $\frac{a}{2}$  |
| 3                  | $a$            | $a$           | $a$           | $a$            | $a$ | $a$            |
| 4                  | $\frac{3}{2}a$ |               |               | $\frac{3}{2}a$ |     | $\frac{3}{2}a$ |
| 5                  | $2a$           |               |               |                |     |                |

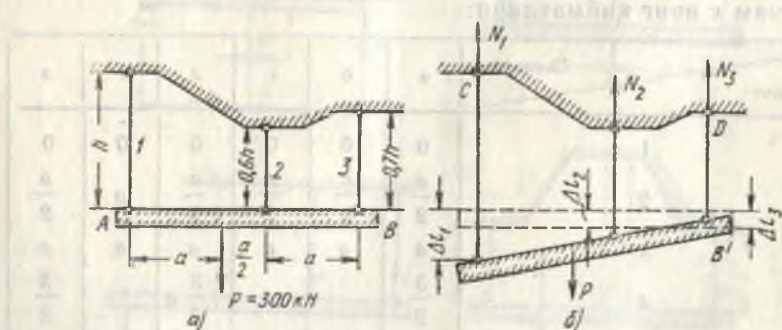
$P = 180$  кН ва  $[\sigma] = 160$  МПа деб олиб, стерженлар кўндаланг кесими юзсигини аниқланг.

Жавоб:

| Схема                        | а  |      |      |      |      | б     |      |     | в    |      |      |
|------------------------------|----|------|------|------|------|-------|------|-----|------|------|------|
| Вариант                      | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    | 1     | 2    | 3   | 1    | 2    | 3    |
| Кесим юзаси, см <sup>2</sup> | 10 | 6,87 | 3,75 | 6,24 | 8,75 | 10,12 | 7,33 | 4,5 | 9,37 | 6,56 | 3,75 |

| Схема                        | а |      |     |      | б | е  |   | ж    | з   |     |      |      | и    |
|------------------------------|---|------|-----|------|---|----|---|------|-----|-----|------|------|------|
| Вариант                      | 1 | 2    | 3   | 4    |   | 1  | 2 |      | 1   | 2   | 3    | 4    |      |
| Кесим юзаси, см <sup>2</sup> | 9 | 6,75 | 4,5 | 2,25 | 9 | 18 | 9 | 3,75 | 7,5 | 7,5 | 3,75 | 1,87 | 1,87 |

1.70. Бикр брус  $AB$  учта тортқига осилган ва расм,  $a$  да кўрсатилганидек куч  $P$  билан юкланган. Агар тортқи 1 пўлатдан, тортқи 2 мисдан ясалган бўлса ва тортқи 2 нинг кўндаланг кесим юзаси тортқи 1 нинг кўндаланг кесим юзасидан уч марта катта бўлса, тортқи 3 дюралюминийдан ясалган бўлса ва унинг кўндаланг кесим юзаси тортқи 1 нинг кўндаланг кесим юзасидан икки марта катта бўлса, тортқиларнинг кўндаланг кесим юзаларини танланг. Рухсат этилган кучлапишларни қуйидагича олинг: пўлат учун:  $[\sigma]_п = 160$  МПа, мис учун  $[\sigma]_м = 60$  МПа, дюралюминий учун  $[\sigma]_д = 120$  МПа.



1.70- масалага онд

Ечим. Учта тортқининг ҳаммаси чўзилган деб фараз қиламиз. Брус  $AB$  юклангандан кейин расм,  $b$  да тасвирланган янги вазият  $A'B'$  ни эгаллайди. Тортқилар осилган нуқталардаги тегишли реакцияларнинг йўналиши ҳам шу расмда тасвирланган. Мувозанат тенгламасини, яъни нуқталар  $C$  ва  $D$  га нисбатан моментлар йиғиндисини тузамиз:

$$\sum m_C = N_2 \cdot 1,5a + N_3 \cdot 2,5a - P \cdot a = 0, \quad (1)$$

$$\sum m_D = N_1 \cdot 2,5a + N_2 \cdot a - P \cdot 1,5a = 0 \quad (2)$$

Барча тортқиларнинг узайишини қуйидаги боғлиқлик билан боғлаш мумкин:

$$\frac{\Delta l_2 - \Delta l_3}{a} = \frac{\Delta l_1 - \Delta l_2}{1,5a}, \text{ бунидан } 2,5 \Delta l_2 - \Delta l_1 - 1,5 \Delta l_3 = 0.$$



Бу тенгламадаги узайишлар қийматларини уларнинг ифодалари билан алмаштирамиз:

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 \cdot h}{E_n \cdot F_1}, \quad \Delta l_2 = \frac{N_2 \cdot 0,6 h}{E_m \cdot F_2} \text{ ва } \Delta l_2 = \frac{N_3 \cdot 0,7 h}{E_g \cdot F_3}.$$

Шунда

$$2,5 \frac{N_2 \cdot 0,6 h}{E_m \cdot F_2} \cdot \frac{N_1 \cdot h}{E_n \cdot F_1} - 1,5 \frac{N_3 \cdot 0,7 h}{E_g \cdot F_3} = 0.$$

$F_2 = 3 F_1$  ва  $F_3 = 2 F_1$  лигини ҳисобга оламиз ва охириги тенгламага эластиклик модулларининг қийматларини қўямиз:

$$2,5 \frac{N_2 \cdot 0,6 h}{1 \cdot 10^5 \cdot 3 F_1} - \frac{N_1 \cdot h}{2 \cdot 10^5 F_1} - 1,5 \frac{N_3 \cdot 0,7 h}{0,7 \cdot 10^5 \cdot 2 F_1} = 0. \quad (3)$$

Қисқартиришлар ва соддалаштиришларни бажаргандан сўнг тенглалар (1), (2) ва (3) қуйидаги системага келтирилади:

$$1,5 N_2 + 2,5 N_3 = P \cdot 25 N_1 + N_2 = 1,5 P \cdot N_2 - N_1 - 1,5 N_3 = 0.$$

Бу системани ечиб қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$N_1 = 0,39 \quad P = 0,39 \cdot 300000 = 117000 \text{ Н};$$

$$N_2 = 0,52 \quad P = 0,52 \cdot 300000 = 156000 \text{ Н};$$

$$N_3 = 0,09 \quad P = 0,09 \cdot 300000 = 27000 \text{ Н}.$$

Мустаҳкамлик шартларидан келиб чиқилганда кўндаланг кесимларнинг қуйидаги юзалари етарли бўларди:

$$F \geq \frac{N_1}{[\sigma_n]} = \frac{117000}{160} = 7,32 \text{ см}^2, \quad F_2 \geq \frac{N_2}{[\sigma_m]} = \frac{156000}{60} = 26 \text{ см}^2,$$

$$F_3 \geq \frac{N_3}{[\sigma_g]} = \frac{2700}{120} = 2,25 \text{ см}^2.$$

Лекин юзаларни муносабатлари шартдаги берилганларни бажариш керак:  $\frac{F_2}{F_1} =$

$= \frac{26}{7,32} > 3$  ва  $\frac{F_3}{F_1} < 2$  бўлганлиги учун дастлабки юза сифатида  $F = 26 \text{ см}^2$  ни оламиз. Шунда

$$F_1 = \frac{F_2}{3} = \frac{26}{3} = 8,67 \text{ см}^2 \text{ ва } F_3 = \frac{2}{3} F_2 = \frac{2}{3} \cdot 26 \approx 17,33 \text{ см}^2$$

Бу юзаларнинг иккаласи ҳам мустаҳкамлик шартлари бўйича зарур юзалардан катта, бунга йўл қўйиш мумкин. Агар биз дастлабки юзалар сифатида мустаҳкамлик шартларидан олинган  $F_1$  ва  $F_3$  юзаларни қабул қилганимизда эди, берилган муносабатларга риоя қилинганда бошқа тортқилар кесим юзалари мустаҳкамлик шартларида йўл қўйилгандан кичик бўларди. Шундай қилиб, узил-кесил ушбуларни қабул қиламиз:  $F_1 = 8,67 \text{ см}^2$ ,  $F_2 = 26 \text{ см}^2$ ,  $F_3 = 17,33 \text{ см}^2$ .

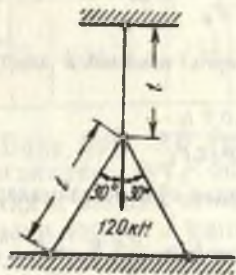
Стерженлар 2 ва 3 га тўлиқ юк тушмаслиги, статик аниқлаңмайдиган системалар учун характерли. Бундай системаларда, одатда, фақат энг кучсиз звеноларгина чегаравий кучланиш билан ишлайди. Бизнинг ҳолда бундай звено тортқи 2 ҳисобланади.

1.71. Бир нуқтада шарнирли бириктирилган учта стерженнинг кўндаланг кесими бир хил (расмга қаранг).  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$  деб олиб, кўндаланг кесим юзасини аниқланг.

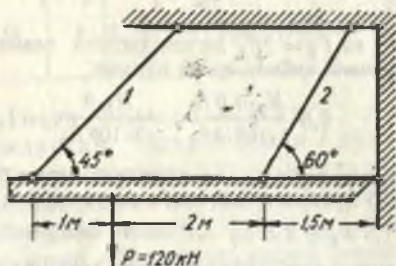
Жавоб:  $3 \text{ см}^2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

1.72. Бикр балкани тортқилар расмда кўрсатилгандек ушлаб туради. Биринчи тортқининг кўндаланг кесим юзаси иккинчисиникидан икки марта катта бўлиши лозим. Тортқиларнинг материали учун рухсат этилган кучланиш  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$  қабул қилинган. Тортқиларнинг кесим юзасини аниқланг.

Жавоб:  $F_1 = 7,5 \text{ см}^2$ ,  $F_2 = 3,75 \text{ см}^2$ .



1.71- масалага оид



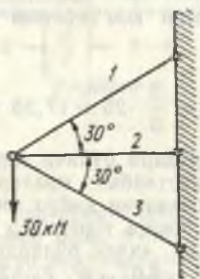
1.72- масалага оид

1.73. Кронштейннинг учта стержени бир хил материалдан ясалган (расмга қаранг). Биринчи стержень кесими  $2 \text{ см}^2$ , иккинчисиники  $3 \text{ см}^2$  ва учинчисиники  $4 \text{ см}^2$ . Стерженлардаги кучланишларни аниқланг.

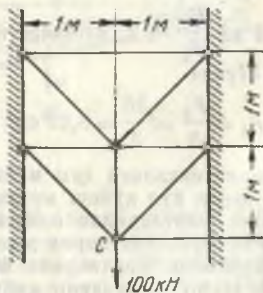
Жавоб:  $\sigma_1 = 126,8 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_2 = 26,8 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_3 = 86,4 \text{ МПа}$ .

1.74. Юзаси  $5 \text{ см}^2$  бўлган бир хил кўндаланг кесимли бешта пўлат стержендан иборат системадаги С нуқтанинг пасайишини аниқланг (расмга қаранг).

Жавоб:  $0,895 \text{ мм} \approx 895 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ .



1.73- масалага оид

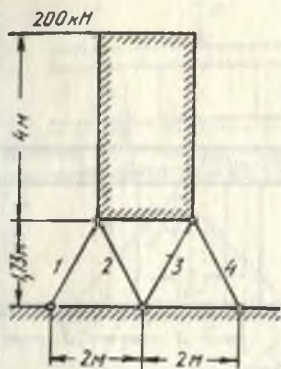


1.74- масалага оид

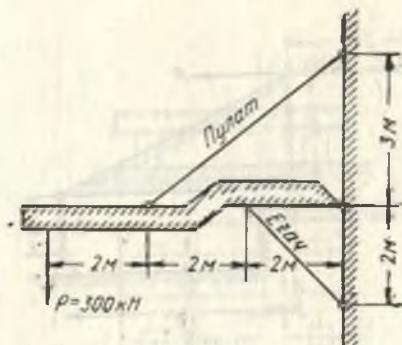
1.75. Бикр конструкцияни ушлаб турадиган тўртта стержень (расмга қаранг) бир хил материалдан ясалган ва бир хил, яъни  $F = 25 \text{ см}^2$  юзали кўндаланг кесимга эга. Улардаги кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_1 = 133,0 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_2 = 52,5 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_3 = 52,5 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_4 = -133,0 \text{ МПа}$ .





1.75- масалага онд



1.76- масалага онд

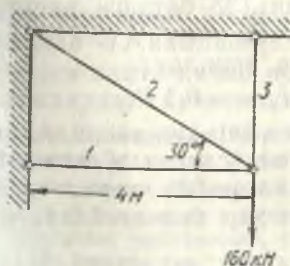
1.76. Бикр стержень деворга шарнир (расмга қаранг), пүлат тортқи ва ёғоч тирак ёрдамида маҳкамланган. Агар тирак кесим юзаси тортқи кесим юзасидан 10 марта катта бўлиши лозим бўлса, рухсат этилган кучланишлар эса пүлат учун  $[\sigma] = 160$ , МПа, ёғоч учун  $[\sigma] = 6$  МПа бўлса, тортқи ва тиракнинг кесимини танланг.

Жавоб:  $F_n = 50$  см<sup>2</sup>,  $F_c = 500$  см<sup>2</sup>.

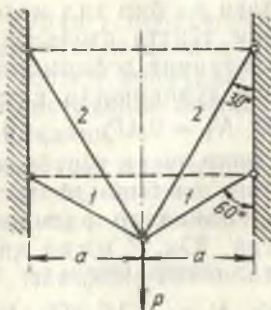
1.77. Расмда тасвирланган конструкцияда стержень 1 чўяндан ясалган ва  $[\sigma_c] = 80$  МПа, стержень 2 мисдан ясалган ва  $[\sigma_m] = 60$  МПа ҳамда стержень 3 пүлатдан ясалган ва  $[\sigma_n] = 120$  МПа. Стерженлар 1 ва 2 кўндаланг кесимларининг юзалари бир хил, стержень 3 ники эса икки марта кичик. Стерженларнинг кесимларини танланг.

Жавоб:  $F_1 = F_2 = 24,6$  см<sup>2</sup>,  $F_3 = 12,3$  см<sup>2</sup>.

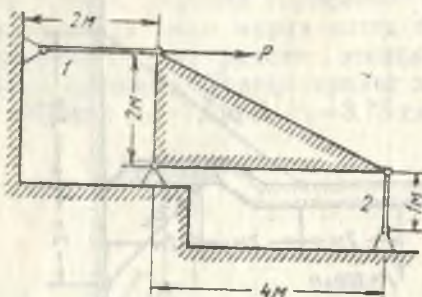
1.78. Расмда тасвирланган конструкцияда стержень 1 пүлатдан ясалган ва кесим юзаси  $F_n = 10$  см<sup>2</sup>, стержень 2 мисдан ясалган ва кесим юзаси  $F_m = 20$  см<sup>2</sup>, рухсат этилган кучланишлар: пүлат



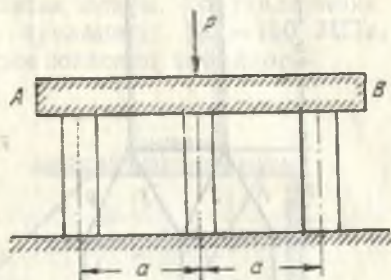
1.77- масалага онд



1.78- масалага онд



1.79- масалага оид



1.80- масалага оид

учун  $[\sigma] = 160$  МПа, мис учун  $[\sigma] = 60$  МПа, энг катта юкланиш  $P$  ни аниқланг.

Жавоб: 328 кН.

1.79. Бикр конструкция пойдезорга шарнир ва иккига стержень ёрдамида маҳкамланган (расмга қаранг). Стержень 1 пулатдан ясалган ва  $[\sigma_1] = 160$  МПа, стержень 2 чуьндан ясалган ва  $[\sigma_2] = 100$  МПа. Уларнинг кесим юзалари тегишлича  $F_1 = 30$  см<sup>2</sup>,  $F_2 = 50$  см<sup>2</sup>. Максимал йўл қўйиладиган юкланиш  $P$  ни аниқланг.

Жавоб: 1125 кН.

1.80. Ўртасига куч  $P = 1620$  кН қўйилган абсолют бикр балка АВ симметрик қўйилган учта калта стойкага таянади. Четдаги стойкалар бетондан қилинган ва квадрат кесим ўлчамлари  $30 \times 30$  см, ўртадаги стойка ёғочдан қилинган ва тўғри тўртбурчак кўндаланг ўлчамлари  $15 \times 30$  см. Стойкалардаги кучланишларни аниқланг.

Бетоннинг эластиклик модулини ёғочнинг эластиклик модулидан икки марта катта деб олинг.

Жавоб:  $\sigma_6 = 8$  МПа.  $\sigma_2 = -4$  МПа.

1.81. Квадрат плита бир хил кўндаланг кесимли, бир хил узунликдаги ва бир хил материалдан ясалган ҳамда симметрик жойлашган тўртта стойкага таянади (35-бетдаги расмга қаранг). Плитанинг деформацияланишини ҳисобга олмай, ҳар бир стойкадаги зўриқишлар катталигини аниқланг.

Жавоб:  $N_1 = 0,4P$ ,  $N_2 = 0,25 P$ ,  $N_3 = -0,1 P$ ,

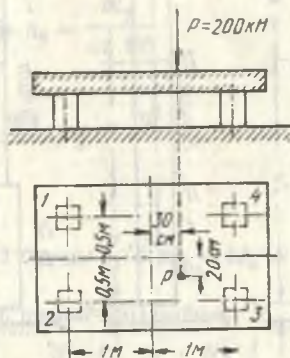
1.82. Бикр тўғри тўртбурчак плита бир хил кесимли, бир хил узунликдаги ва бир хил материалдан ясалган тўртта стойкага таянади. Стойкалар расмда кўрсатилганидек унинг четларида жойлашган. Юк  $P$  ҳосил қиладиган ҳар бир стойкадаги зўриқиш катталигини аниқланг.

Жавоб:  $N_1 = -15$  кН;  $N_2 = -45$  кН;  $N_3 = -85$  кН;  $N_4 = -55$  кН





1.81- масалага оид



1.82- масалага оид

1.83. Расмда кўрсатилган стерженларнинг I, II, III участкаларидаги кесимлардаги кучланишларни аниқланг.  $A$  ва  $B$  текисликлар мутлақо қимирламай туради.  $a = 0,5$  м,  $F = 100$  см<sup>2</sup>,  $P = 1500$  кН,  $\delta = 0,1$  мм деб олинг. Юк  $P$  қўйгунга қадар зазорлар  $\delta$  кўрсатилган ўлчамда туради. Юк қўйилгандан кейин улар беркилади.

Жавоб:

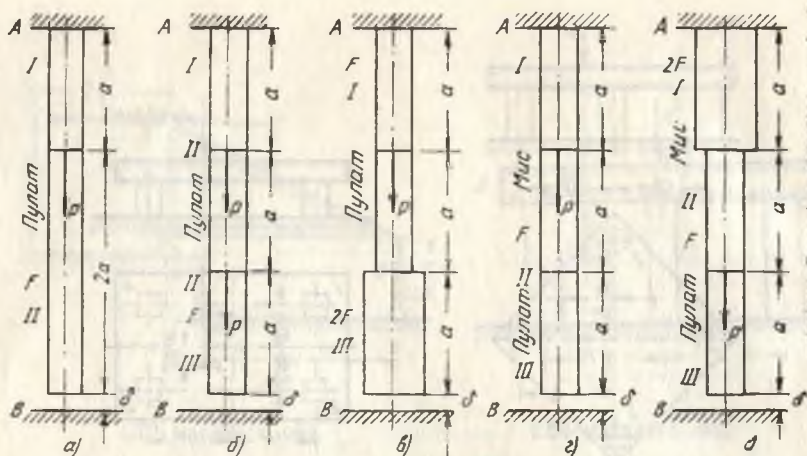
| Кучланиш \ Схемалар | a            | b      | в     | г     | д      |
|---------------------|--------------|--------|-------|-------|--------|
| $\sigma_I$          | 113,3        | 163,3  | 116,0 | 98,0  | 23,8   |
| $\sigma_{II}$       | -36,7        | 13,3   | -34,0 | -52,0 | 47,5   |
| $\sigma_{III}$      |              | -136,7 | -17,0 | -52,0 | -102,5 |
|                     | кучланиш МПа |        |       |       |        |

1.84. Бикр брус (расм, а га қаранг) пойдеворга шарнир  $C$  ҳамда кўндаланг кесими бир хил бўлган иккита пулат тортқи ёрдамида маҳкамланган. Чапки тортқи лойиҳадаги ўлчамидан  $\Delta = 5$  мм калта қилиб ясалган. Конструкция йиғилгандан кейин тортқиқлардаги кучланишларни аниқланг.

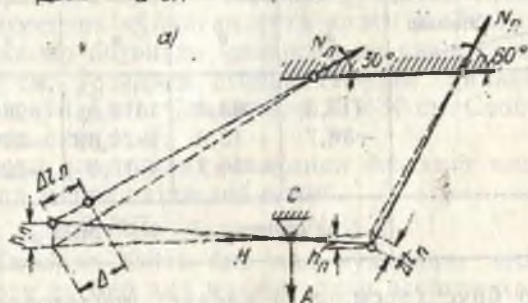
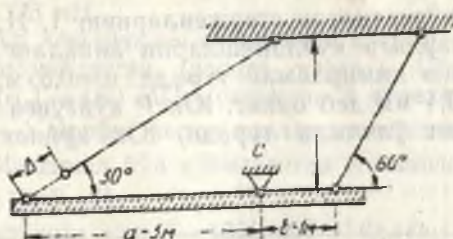
Ечим. Конструкция йиғилгандан кейин Бикр брус расм, б да тасвирланган қия вазиятни эгаллайди. Бунда чапки тортқи  $\Delta I_4$  катталиқка, ўнг тортқи эса  $\Delta I_5$  катталиқка узаяди. Маҳкамлаш нуқталарида  $N_4$  ва  $N_5$  реакциялар, шарнир  $C$  да эса  $A$  ва  $H$  реакциялар вужудга келади.

Мувозанат тенгламасини, яъни барча кучларнинг шарнир  $C$  га нисбатан моментлари йиғиндисини тузамиз:

$$N_4 \cdot a \sin 30^\circ - N_5 \cdot b \sin 60^\circ = 0$$



1.83- масалага оид



1.84- масалага оид

Бундан

$$N_3 = \frac{a \sin 30^\circ}{b \sin 60^\circ} N_1 = \frac{3 \cdot 0,5}{1 \cdot 0,866} N_1 = 1,73 N_1 \quad (a)$$

Қолган иккита мувозанат тенгламасига бизни қизиқтирмайдиган реакциялар  $A$  ва  $H$  киради. Шунинг учун биз уларни ёзмаймиз. Қўшимча тенглама тузиш учун деформацияларни кўриб чиқамиз. Расм, б дан кўриниб турибдики,  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{a}{b} = 3$ .



$$h_q = \frac{\Delta - \Delta l_q}{\sin 30^\circ} \text{ ва } h_f = \frac{\Delta l_f}{\sin 60^\circ}$$

Шундай қилиб,

$$\frac{(\Delta - \Delta l_q) \cdot \sin 60^\circ}{\sin 30^\circ \Delta l_f} = 3$$

ёки

$$\frac{\Delta - \Delta l_q}{\Delta l_f} = 3 \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = 3 \cdot \frac{0,5}{0,866} = 1,73 \text{ бундан } 1,73 \Delta l_f + \Delta l_q = \Delta \quad (б)$$

$\Delta l_q$  ва  $\Delta l_f$  ни зўриқишлар  $N_q$  ва  $N_f$  лар орқали ифодалаймиз:

$$\Delta l_q = \frac{N_q \cdot l_q}{EF} = \frac{N_q \cdot l}{EF \cdot \sin 30^\circ}, \Delta l_f = \frac{N_f \cdot l_f}{EF} = \frac{N_f \cdot l}{EF \cdot \sin 30^\circ}.$$

Тенглама (б) га топилган қийматларни  $\Delta l_q$  ва  $\Delta l_f$  ни қўямиз.

$$1,73 \frac{N_f \cdot l}{EF \cdot \sin 60^\circ} + \frac{N_q \cdot l}{EF \cdot \sin 30^\circ} = \Delta.$$

ёки

$$N_f + N_q = \frac{\Delta EF}{2l}. \quad (в)$$

Тенгламалар (а) ва (в) ларнинг иккала қисмини  $F$  га бўламиз ва қуйидагини ҳисобга оламиз:

$$\frac{N_q}{F} = \sigma_q \text{ ва } \frac{N_f}{F} = \sigma_f;$$

Шунда

$$\sigma_f = 1,73 \sigma_q, \quad \sigma_f + \sigma_q = \frac{\Delta E}{2l}.$$

Бу тенгламаларни биргаликда ечиб қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

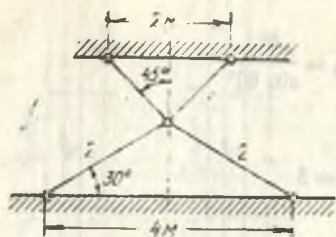
$$\sigma_q = 0,184 \frac{\Delta E}{l} = \frac{0,184 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 10^5}{200} = 92,0 \text{ МПа};$$

$$\sigma_f = 0,317 \frac{\Delta E}{l} = \frac{0,317 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 10^5}{200} = 158,5 \text{ МПа}.$$

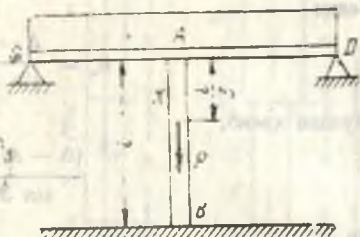
1.85. Расмда тасвирланган конструкцияда пўлат стерженлар 1 нинг ҳар қайсиси лойиҳадаги ўлчамидан 1 мм узунроқ қилиб ясалган. Уларнинг кесими  $F_1 = 25 \text{ см}^2$ , чўян стерженлар 2 нинг кесими эса  $F_2 = 40 \text{ см}^2$ . Конструкция йиғилгандан кейин стерженлардаги кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_1 = -32,1 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_2 = -28,4 \text{ МПа}$ .

1.86. Узунлиги  $l = 4 \text{ м}$  бўлган пўлат стержень  $AB$  пастки учи билан бикр пойдеворга тиралади, юқориги учи эса шип орасининг балкасига маҳкамланган (расмга қаранг).  $CD$  балканинг  $A$  нуқтадаги эгилувчанлиги коэффицент  $\alpha = 0,03 \text{ мм/кН}$  билан



1.85-масалага онд



1.86-масалага онд

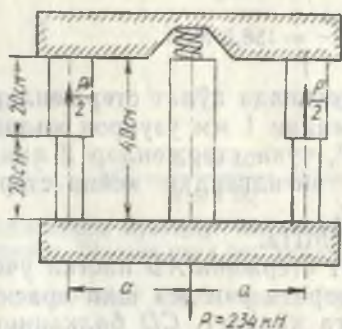
белгиланади, яъни  $A$  нуқтага қўйилган  $10 \text{ кН}$  куч таъсирида балка  $0,03 \text{ мм}$  га эгилади. Агар куч  $P=500 \text{ кН}$  стерженнинг кўндаланг кесим юзаси  $F=30 \text{ см}^2$  бўлса,  $AK$  ва  $KB$  участкаларда стержендаги кучланишлар нимага тенг?

Жавоб:  $\sigma_{AK} = 76,7 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{KB} = -90 \text{ МПа}$ .

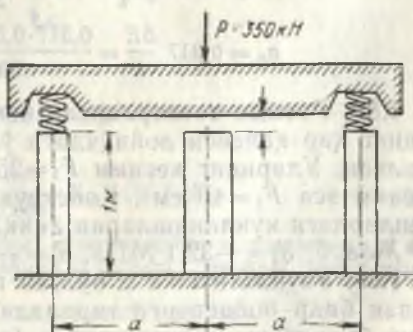
1.87. Иккита бикр брус расмда кўрсатилганидек учта стержень билан бириктирилган. Четдаги стерженлар пўлатдан ясалган ва юқори қисмининг кесим юзаси  $16 \text{ см}^2$ , пастки қисминики  $10 \text{ см}^2$ , ўртадаги стержень мисдан қилинган ва кесим юзаси  $20 \text{ см}^2$  га тенг. Уртадаги стерженнинг юқори учи билан юқори брус орасига эгилувчанлик коэффиценти  $\alpha = 1,25 \times 10^{-7} \text{ см/Н}$  бўлган пружина тарангланмай қўйилган. ( $10 \text{ Н}$  нагрузкага тўғри келадиган пружинанинг чўкиши.) Берилган нагрузкада бириктирувчи стерженлардаги кучланишларни аниқланг.

Жавоб: Пўлат стерженнинг юқори қисмида  $\sigma = -9 \text{ МПа}$ , пастки қисмида  $\sigma = 102,6 \text{ МПа}$ , мис стерженда  $\sigma = 14,4 \text{ МПа}$ .

1.88. Бикр брус учта стойкада туради (расмга қаранг). Четдаги стойкалар пўлатдан ясалган бўлиб, кўндаланг кесим юзаси бир хил ва  $20 \text{ см}^2$  га тенг, ўртадаги стойка чўяндан ясалган ва кесим юзаси  $50 \text{ см}^2$  га тенг. Четдаги стойкалар билан грунт орасига берилувчанлик коэффиценти  $\alpha = 5 \times 10^{-7} \text{ см/Н}$  бўлган бир хил пружиналар тарангланмай қўйилган. Нагрузка қўйил-



1.87-масалага онд



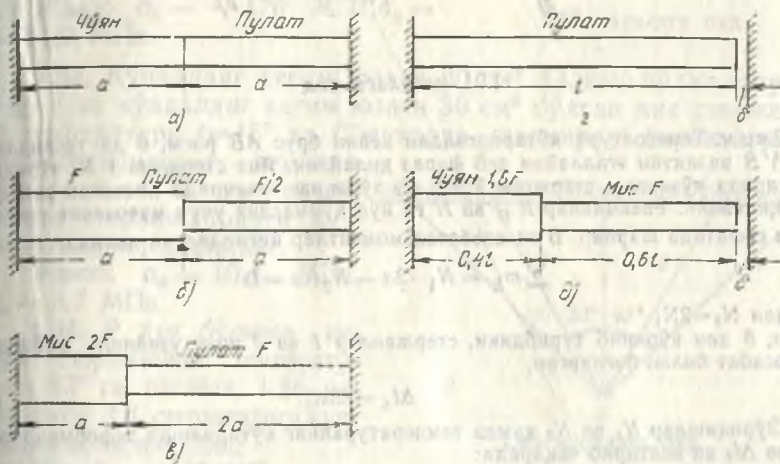
1.88-масалага онд



гунга қадар уртадаги стойка билан брус орасида  $\Delta = 0,5$  мм тирқиш бор эди. Стойкалардаги кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_n = -50$  МПа,  $\sigma_q = -30$  МПа

1.89. Расмда тасвирланган стерженлар  $t^\circ$  температурада қиздирилади. Орасида стерженлар жойлашган деворлар мутлақо берилурчан бўлмаса абсолют қиймат бўйича энг катта кучланишни аниқланг.  $E_q = 1 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>,  $E_n = 0,8 \cdot 10^{11}$ ,  $\alpha_q = \alpha_n$ ,  $t^\circ = 40^\circ$ ,  $l = 0,5$  м,  $\delta = 0,1$  мм деб олинг.



1.89- масалага онд

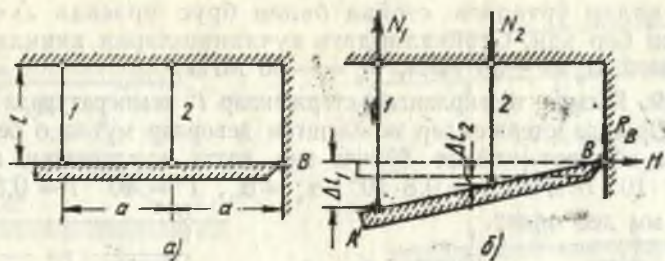
Жавоб:

| Схема                               | а    | б     | в     | с    | д    |
|-------------------------------------|------|-------|-------|------|------|
| Кучланишнинг абсолют катталиги, МПа | 66,7 | 133,3 | 102,0 | 60,0 | 39,6 |

1.90. Узунлиги 12,5 м бўлган пўлат рельслар  $+10^\circ$  температурада ётқизилади. Рельслар орасида  $a=4$  мм тирқиш қолдирилади. Бу тирқиш қандай температурада йўқолади? Қишда температура  $-40^\circ$  бўлганда бу тирқиш қанчага тенглашади? Ёзда температура  $+50^\circ$  бўлганда рельслар қандай кучланишларга учрайди?

Жавоб:  $\pm 35,6^\circ$ , 11,8 мм;  $-36$  МПа.

1.91. Бикр брус АВ ни ушлаб турадиган стерженлар 1 ва 2 нинг температураси (расмга қаранг) конструкция йиғилгандан сўнг  $60^\circ$  га кўтарилиши мумкин. Стержень 1 пўлатдан ясалган ва кесим юзаси 20 см<sup>2</sup>, стержень 2 мисдан ясалган ва кесим юзаси 80 см<sup>2</sup>. Бруснинг хусусий оғирлигини ҳисобга олмаган ҳолда стерженлар 1 ва 2 да вужудга келадиган кучланишларни аниқланг.



1.91- масалага оид

Ечи м. Температура кўтарилгандан кейин брус AB расм, б да тасвирланган A'B вазиятини эгаллайди деб фараз қилайлик. Яна стержень 1  $N_1$  зўриқиш таъсирида қўзилган, стержень 2 эса  $N_2$  зўриқиш таъсирида қисилган деб фараз қилайлик. Реакциялар  $R_B$  ва  $H$  га йўл қўймаслик учун мувозанат тенгламаси сифатида шарнир B га нисбатан моментлар йиғиндисини оламиз:

$$\sum m_B = N_1 \cdot 2a - N_2 \cdot a = 0$$

бундан  $N_2 = 2N_1$

Расм, б дан кўриниб турибдики, стерженьлар 1 ва 2 нинг узайиши қуйидаги муносабат билан боғланган.

$$\Delta l_1 = 2\Delta l_2. \quad (2)$$

Зўриқишлар  $N_1$  ва  $N_2$  ҳамда температуранинг кўтарилиши деформациялар  $\Delta l_1$  ва  $\Delta l_2$  ни келтириб чиқаради:

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 l}{E_n F_1} + \alpha_n l \cdot \Delta t \text{ ва } \Delta l_2 = -\frac{N_2 l}{E_m F_2} + \alpha_m l \cdot \Delta t,$$

Деформациялар қийматини тенглама (2) га қўямиз.

$$\frac{N_1 l}{E_n F_1} + \alpha_n l \cdot \Delta t = 2 \left( -\frac{N_2 l}{E_m F_2} + \alpha_m l \cdot \Delta t \right).$$

(1) шартни қўйиб, қисқартиришлар ва ўзгартиришларни бажариб қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$N_1 = \frac{2E_n \cdot F_1 (\alpha_m - \alpha_n) \cdot \Delta t}{1 + 4 \frac{E_n \cdot F_1}{E_m \cdot F_2}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 20 (165 \cdot 10^{-7} - 125 \cdot 10^{-7}) 60}{1 + 4 \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 20}{1 \cdot 10^5 \cdot 80}} = 64000 \text{ Н}$$

(1) шартдан:

$$N_2 = 2 N_1 = 2 \cdot 64000 = 128000 \text{ Н.}$$

$N_1$  ва  $N_2$  даги мусбат ишоралар зўриқишларнинг йўналиши тўғри танланганлигини ҳамда стержень 1 ҳақиқатдан қўзилган, стержень 2 эса қисилганлигини кўрсатади. Демак, кучланишлар қуйидагиларга тенг экан:

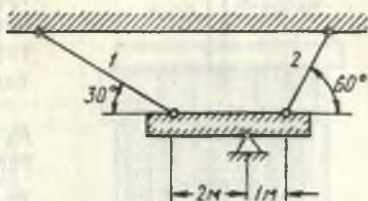
$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_1} = \frac{64000}{20 \cdot 10^{-4}} = 32 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = -\frac{N_2}{F_2} = -\frac{128000}{80 \cdot 10^{-4}} = -16 \text{ МПа}$$



1.92. Бикр брус (расмга қаранг) шарнирли таянчдан ташқари юзаси  $40 \text{ см}^2$  ли иккита пўлат тортқи билан тутиб турилади. Тортқиларни ўрнатгандан сўнг температура  $\Delta t = +20^\circ$  га кўтарилди. Тортқилардаги кучланишларни аниқланг.

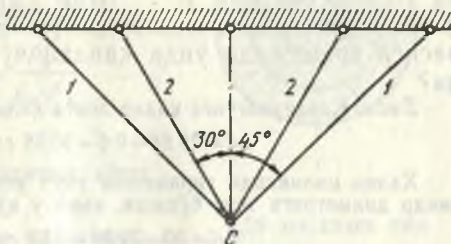
Жавоб:  $\sigma_1 = -470 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_2 = -54,2 \text{ МПа}$ .



1.92- масалага оид

1.93. Кўндаланг кесим юзаси  $20 \text{ см}^2$  бўлган пўлат стерженлар 1 ва кўндаланг кесим юзаси  $30 \text{ см}^2$  бўлган мис стерженлар 2 температура  $t = 15^\circ$  да  $C$  нуқтада шарнирли бириктирилган. Конструкциянинг температураси  $t_2 = -45^\circ$  га пасайганда стерженлардаги кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_n = 10,4 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_m = 5,7 \text{ МПа}$ .



1.93- масалага оид

1.94.  $P$  куч бўлмаса, лекин стерженнинг температураси  $40^\circ$  га пасайса, 1.86 масаладаги  $AB$  стержендаги кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $\sigma = 69 \text{ МПа}$ .

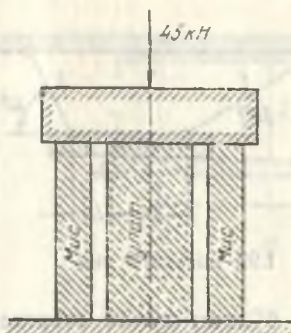
1.95. Кўндаланг кесими  $30 \text{ см}^2$  ва узунлиги  $40 \text{ см}$  бўлган инвар найча ва ўшандек ўлчамли мис найча  $0^\circ$  температурада бир-бирига учма-уч қўйилган. Сўнггра улар  $+45,5^\circ$  температурага қиздирилган ва улар умумий узунликларини ўзгартиришга имкон бермайдиган кучлар билан сиқилган. Бу кучларнинг катталиги қандай ва кўтарилган температурада найчалардан ҳар бирининг узунлиги қанча? Инвар учун  $\alpha = 0$  ва  $E = 2 \times 10^{11} \text{ Н/м}^2$ .

Жавоб:  $P = 150 \text{ кН}$ .  $l_m = 40,01 \text{ см}$ ;  $l_m = 39,99 \text{ см}$ .

1.96. Қўзғалмас  $A$  ва  $B$  нуқталар орасига  $t_0 = 0^\circ$  температурада диаметри  $1 \text{ мм}$  ли пўлат сим тарангламай осилган, унинг оғирлигини ҳисобга олмаймиз (1.61 масаладаги расмга қаранг). Симнинг температураси  $t_1 = +50^\circ$  гача кўтарилиши ва  $t_2 = -50^\circ$  гача пасайиши мумкин. Сим материали учун рухсат этилган кучланиш  $\sigma = 200 \text{ МПа}$ . Юқорида айтилган уч хил температурада симнинг ўртасидаги  $C$  нуқтага қандай нагрузка  $P$  ни осииш мумкинлигини аниқланг.

Жавоб:  $0^\circ$  да нагрузка  $P = 14 \text{ Н}$ ,  $-50^\circ$  да  $P = 3,2 \text{ Н}$ ,  $+50^\circ$  да нагрузка  $P = 17,9 \text{ Н}$ .

1.97. Юк  $P = 45 \text{ кН}$  бикр плита орқали юзаси  $15 \text{ см}^2$  ли яхлит пўлат цилиндрга ва юзаси  $20 \text{ см}^2$  ли ичи бўш мис цилиндрга таъсир қилади. Куч иккала цилиндрнинг ўқи бўйлаб таъсир қилади (расмга қаранг). Нагрузка қўйилгандан сўнг темпера-



1.97- масалага оид

тура  $30^\circ$  га кўтарилиши мумкин. Температура кўтарилгунга қадар ва кўтарилгандан кейинги нагрузка қандай тақсимланишини аниқланг.

*Жавоб:* Температура ўзгаргунга қадар  $P_n = 27$  кН,  $P_m = 18$  кН. Температура ўзгаргандан кейин  $P_n = 12,6$  кН,  $P_m = 32,4$  кН.

1.98. Қалинлиги 6 мм ли пўлат лента ҳалқани диаметри 30 см ли пўлат цилиндрга ўраш лозим. Лента ҳалқа цилиндр сиртида сирпана болаши учун лента ҳалқа температурасини қанча кўтариш керак? Агар цилиндрининг деформациясини ҳисобга олинмаса, лента ҳалқа худди цилиндрининг температурасига эришганда унда қандай чўзувчи кучланиш пайдо бўлади?

*Ечим.* Қиздирилгунга қадар лента ҳалқанинг ўрта диаметри

$$d = 29,88 + 0,6 = 30,58 \text{ см.}$$

Ҳалқа цилиндрда сирпаниши учун унинг ички диаметри ҳеч бўлмаса цилиндр диаметрига тенг бўлиши, яъни у қуйидагича катталаниши керак.

$$\Delta d = 30 - 29,98 = 0,02 \text{ см.}$$

Лента ҳалқанинг ўрта диаметри ҳам шу  $\Delta d$  катталаникка ошади. Шунда диаметрининг нисбий катталаниши:

$$\epsilon = \frac{\Delta d}{d} = \frac{0,02}{30,58} = 6,54 \cdot 10^{-4}.$$

Бу қиймат  $\epsilon$  ни температура кўтарилишидан диаметрининг нисбий катталанишига тенглаштирамиз

$$\epsilon = \alpha \cdot \Delta t,$$

бундан

$$\Delta t = \frac{\epsilon}{\alpha} = \frac{6,54 \cdot 10^{-4}}{125 \cdot 10^{-7}} = 52,2^\circ$$

Ҳалқа қиздирилган ҳолатда кийдирилгандан сўнг у аста-секин дастлабки температурасигача совиydi, яъни қиздирилган ҳолатдагига қараганда унинг температураси  $\Delta t = 52,2^\circ$  га пасаяди. Цилиндрнинг деформациясини ҳисобга олмаганимиз учун ҳалқа ўз диаметрини кичрайтира олмайди. Демак, ҳалқадаги кучланишларни аниқлаш учун ушбу формуладан фойдаланишимиз мумкин:

$$\sigma = E\alpha \cdot \Delta t = 2 \cdot 10^5 \cdot 125 \cdot 10^{-7} \cdot 52,2 = 130,8 \text{ МПа}$$

ёки

$$\sigma = E\epsilon = 2 \cdot 10^5 \cdot 6,54 \cdot 10^{-4} = 130,8 \text{ МПа.}$$

1.99. Калта чўян стержень пўлат найчага эркин киритилган, пўлат найча эса алюминий найчага эркин киритилган (расмга қаранг). Системани биқр плита орқали қисадиган куч  $P$  таъсирида стержень ва найчалардаги кучланишларни аниқланг (қундаланг деформациялар ҳисобга олинмасин).



Ечим. Юкланиш  $P$  чўян стержень, пўлат ва алюминий найчалар орасида тарқалади. Вертикаль бўйича барча кучлар проекциялари йиғиндисининг нолга тенглиги қуйидагини беради:

$$P_q + P_n + P_a = P.$$

Бу тенглама биз тузишимиз мумкин бўлган статиканинг ягона тенгласи. Деформацияларни кўриб чиқиш усулига муурожаат қиламиз. Учала стерженьнинг деформацияси, яъни калталашиши бир хил, яъни демак,

$$\Delta l_q = \Delta l_n = \Delta l_a$$

буидан иккита деформация тенгласини тузиш мумкин:

$$\Delta l_q = \Delta l_n \text{ ва } \Delta l_q = \Delta l_a.$$

Деформацияларни юклар орқали ифодалаймиз:

$$\frac{P_q \cdot l}{E_q \cdot F_q} = \frac{P_n \cdot l}{E_n \cdot F_n} \text{ ва } \frac{P_a \cdot l}{E_a \cdot F_a} = \frac{P_a \cdot l}{E_a \cdot F_a}$$

$$\frac{F_q}{P_q} = \sigma_q, \quad \frac{P_n}{F_n} = \sigma_n \text{ ва } \frac{P_a}{F_a} = \sigma_a \text{ эканлигини кўзда}$$

тутиб мувозанат тенгласини ҳамда деформация тенгламаларида кучларни кучланишлар орқали ифодалаймиз ва тенгламаларда узунлик  $l$  ни қисқартирамиз. Шунда мувозанат тенгласи ва деформация тенгламалари қуйидаги кўринишни олади:

$$\sigma_q \cdot F_q + \sigma_n \cdot F_n + \sigma_a \cdot F_a = P, \quad \frac{\sigma_q}{E_q} = \frac{\sigma_n}{E_n}; \quad \frac{\sigma_q}{E_q} = \frac{\sigma_a}{E_a}.$$

Бу учала тенглама биргаликда ечилса, кучланишларнинг қиймати топилади. Булар қуйидагиларга тенг:

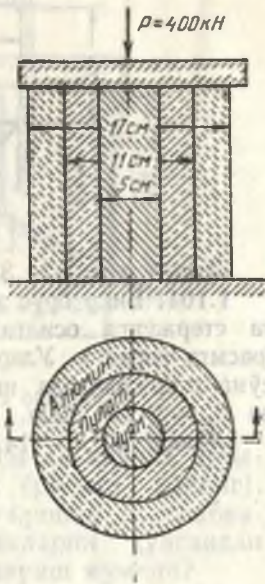
$$\sigma_q = \frac{P}{F \left( 1 + \frac{E_n \cdot F_n}{E_q \cdot F_q} + \frac{E_a \cdot F_a}{E_q \cdot F_q} \right)} = \frac{400000}{3,14 \cdot 2,5^2 \left( 1 + \frac{2}{12} \cdot \frac{5,5^2 - 2,5^2}{2,5} + \frac{0,7}{1,2} \cdot \frac{8,5^2 - 5,5^2}{2,5^2} \right)} = 18,0 \text{ МПа}$$

$$\sigma_n = \frac{E_n}{E_q} \cdot \sigma_q = \frac{2 \cdot 10^5}{1,2 \cdot 10^5} \cdot 18,0 = 30,0 \text{ МПа.}$$

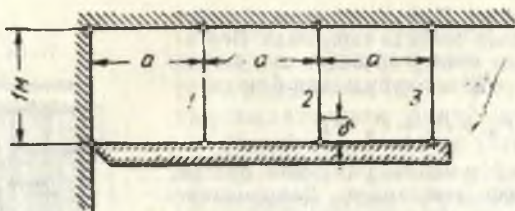
$$\sigma_a = \frac{E_a}{E_q} \cdot \sigma_q = \frac{0,7 \cdot 10^5}{1,2 \cdot 10^5} \cdot 18,0 = 10,5 \text{ МПа}$$

Барча кучланишлар қисувчи кучланишлардир.

1.100. Бикр брус қўидаланг кесим юзаси 20 см<sup>2</sup> дан бўлган учта пўлат стерженьга осилган. Уртадаги стержень лойиҳада кўрсатилганидан  $\delta = 0,5$  мм калтароқ ясалган (расмга қаранг). Конструкцияни йиғандан кейин стерженьларда пайдо бўладиган кучланишларни аниқланг.



1.99-масалага онд

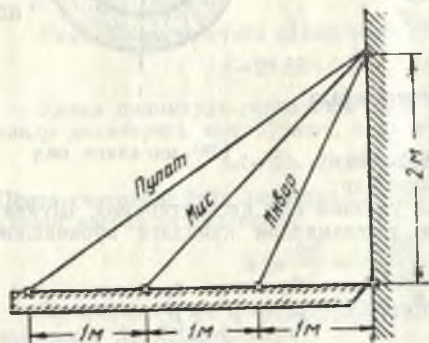


1.100- масалага оид

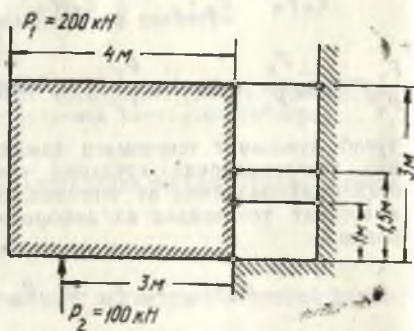
Жавоб  $\sigma_1 = -14,3$  МПа,  $\sigma_2 = 71,5$  МПа,  $\sigma_3 = -42,9$  МПа.

1.101. Бикр брус кўндаланг кесим юзаси  $10 \text{ см}^2$  дан бўлган учта стерженга осилган, стерженлар ҳар хил материалдан ясалган (расмга қаранг). Уларнинг температураси  $\Delta t = +30^\circ$  кутарилгандан сўнг стерженларда икучланишларни аниқланг. Инвар учун  $\alpha_u = 0$  ва  $E_n = 2 \cdot 10^5$  МПа.

Жавоб:  $\sigma_n = -14,2$  МПа,  $\sigma_m = -16,6$  МПа,  $\sigma_u = 52,7$  МПа.



1.101- масалага оид



1.102- масалага оид

1.102. Бикр конструкция пой деворга шарнир ҳамда кўндаланг кесим юзаси ва узунлиги бир хил бўлган учта тортқи ёрдамида маҳкамланган. Рухсат этилган кучланиш  $[\sigma] = 160$  МПа бўлганда тортқиларнинг кесим юзасини танланг.

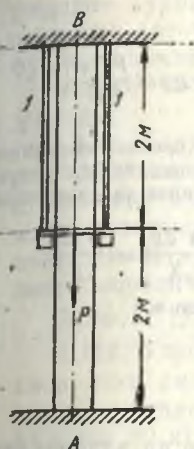
Жавоб:  $7,65 \text{ см}^2$ .

1.103. Бетон устун АВ нинг иккала учи қисилган (расмга қаранг). У ўзининг ўрта кесимида ўқ бўйлаб  $P = 320 \text{ кН}$  куч билан юкланган. Куч қўйилгандан сўнг бетон устуннинг юқори қисмида чўзувчи кучланиш  $0,5$  МПа дан ошмаслиги учун икки пўлат тортқи 1 нинг кесим юзаси қандай бўлиши керак? Бу ҳолда тортқилардаги ва устуннинг пастки қисмидаги кучланишлар нимага тенг бўлади? Чўзилиш ва қисилишда бетоннинг эластиклик модули бир хил қабул қилинган:  $E_b = 1,5 \times 10^5$  МПа.

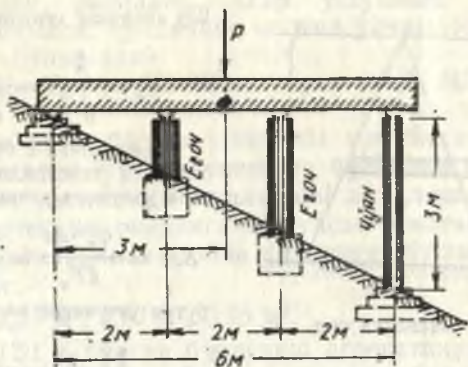
Жавоб:  $F = 2 \times 120 \text{ см}^2$ ,  $\sigma_t = 6,67$  МПа;  $\sigma_b = 0,5$  МПа.

1.104. Бикр балка олдин ўнг учи билан кесим юзаси  $100 \text{ см}^2$  бўлган чўян стойкага тиралиб, қўшимча тиракларга эга эмас





1.103- масалага онд



1.104- масалага онд

эди, сўнгра диаметри 25 см ли иккита думалоқ ёғоч тирак қўйилди (расмга қаранг). Агар чўян стойкадаги кучланиш дастлабки-сидек қолса, оралиқ тиракларни қўйгандан сўнг юкланишни қанча ошириш мумкин?

Жавоб: Юкланишни 41% ошириш мумкин.

### 3- §. Хусусий оғирлигини ҳисоблаш

1.105. Агар бир метр куб бетоннинг оғирлиги 24 кН, эластиклик модули  $2 \cdot 10^5$  МПа бўлса, баландлиги 10 м бўлган ўзгармас кесимли бетон устуннинг энг катта қисувчи зўриқишини ва тўлиқ калталашишини аниқланг.

Жавоб: 0,214 МПа; 0,06 мм.

1.106. Оғирлиги 16 кН бўлган подъёмник клетки  $h=140$  м чуқурликда икки троссга осиб қўйилган. Ҳар бир тросс кўндаланг кесим юзаси  $1,25$  см<sup>2</sup>, унинг погон метрик оғирлиги 15 Н га тенг. Тросс дастлабки синаб кўрилганда шу нарса аниқланганки, узунлиги 1 м бўлган тросс кесмаси 10 кН куч таъсирида 0,5 мм га уязаяди. Тросснинг юқори ва пастки учларидаги зўриқишлар қанчага тенг ва унинг тўлиқ узайиши қанча?

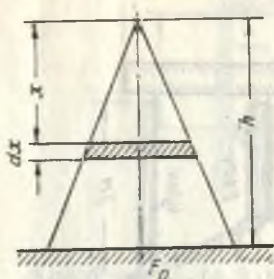
Жавоб:  $\sigma_y = 80,8$  МПа,  $\sigma_n = 64,0$  МПа,  $\Delta l = 6,35$  мм.

1.107. Расмда тасвирланган устуннинг кўндаланг кесим юзаси формула  $F_x = F_0 \frac{x}{h}$  га мувофиқ ўзгаради. Агар  $\gamma$  ва  $E$  маълум бўлса, устуннинг ўз хусусий оғирлигидан тўлиқ калталашишини аниқланг.

Ечим. Устун чўққисидан  $x$  масофада унинг узлуксиз кичик қисмида  $dx$  баландликни ажратамиз. Унинг ҳажми  $dV = F_x \cdot dx = F_0 \frac{x}{h} dx$ .

Устуннинг  $x$  баландликдаги юқори қисмининг ҳажми:

$$dV = F_x \cdot dx = F_0 \frac{x}{h} dx,$$



1.107- масалага оид

Шу қисмининг оғирлиги:

$$V_x = \int_0^x dV = \int_0^x F_0 \frac{x}{h} dx = \frac{F_0 \cdot x^2}{2h}$$

Баландлиги  $x$  бўлган юқоридаги қисмининг оғирлиги таъсирида  $dx$  баландликдаги устуннинг узлуксиз кичик ҳажмининг калталашиши:

$$\Delta dx = \frac{\Phi_x \cdot dx}{EF_x} = \frac{\gamma \cdot F_0 x^2 \cdot h \cdot dx}{2 \cdot h \cdot EF_0 X} = \frac{\gamma \cdot x dx}{2E}$$

бутун устуннинг калталашиши эса

$$\Delta h = \int_0^h \Delta dx = \int_0^h \frac{\gamma x dx}{2E} = \frac{\gamma h^2}{4E}$$

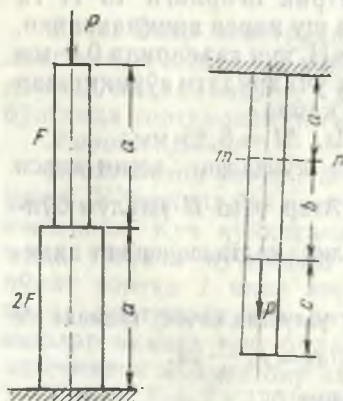
1.108. Агар материалнинг ҳажмий оғирлиги  $\gamma$  ва эластиклик модули  $E$  бўлса, асосининг радиуси  $R$  бўлган  $h$  баландликдаги конуснинг хусусий оғирлигидан тўлиқ калталашишини аниқланг.

Жавоб:  $\frac{\gamma h^2}{6E}$

1.109. Агар материалнинг ҳажмий оғирлиги  $\gamma$  ва эластиклик модули  $E$  маълум бўлса, расмда тасвирланган стерженнинг хусусий оғирлигини ҳисобга олиб, унинг тўлиқ калталашишини аниқланг.

Жавоб:  $\frac{3}{2} \frac{Pa}{EF} + \frac{3\gamma \cdot a^2}{2E}$

1.110. Агар материалнинг ҳажмий оғирлиги  $\gamma$  ва эластиклик модули  $E$  маълум бўлса, расмда тасвирланган кўндаланг кесими  $F$  бўлган кесим  $m-n$  нинг силжишини хусусий оғирлигини ҳисобга олиб аниқланг.



1.109- масалага оид 1.110- масалага оид

Жавоб:  $\frac{Pa}{EF} + \frac{\gamma(b+c)a}{E} + \frac{\gamma a^2}{2E}$

1.111. Юқори учидан вертикал осилган пўлат стержень фақат хусусий оғирлиги таъсирида қандай узунликда узилади? Пўлатнинг мустаҳкамлик чегарасини 500 МПа деб олинг.

Жавоб: 6,41 км.

1.112. Баландлиги 10 м бўлган ва 650 кН куч юкланган ғиштин устуннинг кўндаланг кесими ўлчамларини аниқланг. Устуннинг солиштирма оғирлиги 2, сиқилишга рухсат этилган кучланиш  $10^5$  Н/м<sup>2</sup>. Устуннинг юқори ва ўрта кесимла-



ридаги зўриқишларни аниқланг. Агар устуннинг хусусий оғирлиги ҳисобга олинмаса, кундаланг кесими улчамлари ҳисоб бўйича қанчага тенг булар эди?

Жавоб:  $90 \times 90$  см,  $\sigma_{10} = -0,8$  МПа,  $\sigma_{yp} = -0,9$  МПа,  $81 \times 81$  см,

1.113. Баландлиги 40 м бўлган, 1000 кН куч билан сиқилган, бир хил узунликдаги тўртта участкага бўлинган поғонали стойканинг кундаланг кесимлари юзаларини аниқланг. Стойка материалининг солиштирма оғирлиги 2, рухсат этилган кучланиш 0,8 МПа. Зўриқишларнинг стойка узунлиги бўйлаб тарқалиш эпюрасини ясанг.

Жавоб:  $1,67 \text{ м}^2$ ;  $2,23 \text{ м}^2$ ,  $2,97 \text{ м}^2$ ,  $3,95 \text{ м}^2$ .

1.114. Узунлиги 120 м бўлган бурғулаш агрегатининг штангаси ички диаметри 25 мм ли пулат трубадан иборат бўлиб, юқори учидан маҳкамлаб қўйилган ва пастки учига бўйлама чўзувчи 20 кН куч билан юкланган. Штанга деворининг қалинлигини икки ҳолат учун: хусусий оғирлигини ҳисобга олиб ва хусусий оғирлигини ҳисобга олмай аниқланг. Агар штангани унинг хусусий оғирлигини ҳисобга олмасдан лойиҳаланса, хусусий оғирлигини ҳисобга олингандаги ҳақиқий зўриқишлар рухсат этиладиган зўриқишлардан қанча фоиз юқори бўлади? Рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma] = 100$  МПа.

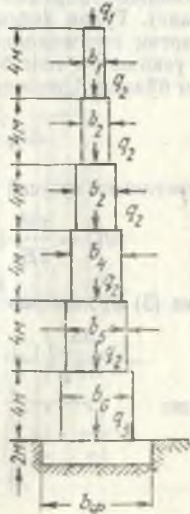
Жавоб: 2,5 мм; 2,3 мм; 9%.

1.115. Баландлиги 42 м бўлган ва  $P = 4000$  кН қисувчи куч юкланган кўприк таянчининг терими ҳажминини қуйидаги уч ҳол учун аниқланг: 1) ўзгармас кесимли таянч, 2) бир хил узунликдаги учта қисмдан иборат поғонали таянч ва 3) тенг қаршиликли брус кўринишидаги таянч. Таянч терими материалининг ҳажмий оғирлиги  $22 \text{ кН/м}^3$ , рухсат этиладиган кучланиш 1,2 МПа.

Жавоб:  $V_1 = 610 \text{ м}^3$ ,  $V_2 = 260 \text{ м}^3$ ,  $V_3 = 209 \text{ м}^3$

1.116. Расмда олти қаватли бино гиштин деворининг кундаланг қирқими кўрсатилган. Чордоқ ёпмаси ва томдан деворнинг ҳар погон метрига  $q_1 = 60 \text{ кН/м}$ , қаватлараро ёпмалардан  $q_2 = 40 \text{ кН/м}$  ва пастки қават полидан  $q = 30 \text{ кН/м}$  куч таъсир қилади. Бу кучлар девор ўқи бўйлаб йўналган. Девор ва пойдевор материалининг ҳажмий оғирлиги  $20 \text{ кН/м}^3$ . Агар рухсат этилган кучланиш  $[\sigma] = 0,6$  МПа бўлса, ҳар бир қаватдаги деворнинг энг кичик қалинлигини ва агар ерга рухсат этилган босим  $0,5$  МПа бўлса, пойдевор энини аниқ-узунроқ олиш мумкин?

Жавоб:  $b_1 = 11,5$  см;  $b_2 = 21$  см;  $b_3 = 32$  см;



1.116- масалага онд

$$b_4 = 44.5 \text{ см}; b_5 = 59, \text{ см}; b_6 = 76 \text{ см}; \\ b_n = 125 \text{ см}.$$

Теплотехника ҳисобларига асосан юқори қаватларнинг деворлари қалинлигининг ҳосил бўлган минимал ўлчамлари катталашади. Бундан ташқари, ҳамма ўлчамлар ғишларнинг стандарт ўлчамларига мувофиқлаштирилиши керак.

1.117. Кўндаланг кесими юзаси  $F$  ва узунлиги  $l=300$  м бўлган вертикал пўлат стержень 60 МПа кучланишда бўйлама куч  $P$  билан ишлайди. Стерженьнинг кесими ўлчамларини ҳам, унга тушадиган кучларни ҳам ўзгартирмаган ҳолда рухсат этиладиган кучланишни 65 МПа гача ошириш мумкин деб ҳисоблаб, стерженни узунроқ олиш талаб қилинади. Стерженни қанча узунроқ олиш мумкин?

Жавоб: 64,1 м.

1.118. Расм,  $a$  да тасвирланган стерженьнинг кўндаланг кесимларидаги энг катта чўзувчи зўриқишларини аниқланг. Стержень: материалнинг ҳажмий оғирлиги  $\gamma$ , эластиклик модули  $E$ . Стержень юқори қисмининг кўндаланг кесими юзаси  $F_1$  паст қисминики  $F_2$ .

Ечим. Устки реакцияни  $A$  ва пасткисини  $B$  билан белгилаймиз. Уларнинг иккаласи ҳам юқорига йўналган деб фараз қиламиз. Бу ҳолда ягона мувозанатлик тенгламаси — вертикал ўққа проекциялар йиғиндис — стерженьнинг оғирлиги реакциялар йиғиндисига тенглигини билдиради:

$$\gamma F_1 a + \gamma F_2 b = A + B. \quad (1)$$

Шундай қилиб, система статик аниқланмайдиган система экан. Энди деформацияларни кўриб чиқишга ўтамиз. Асосий системага ўтиш учун пастки таянчни ташлаб юборамиз. Асосий системага реакциялар  $B$  ни юклаймиз (расм,  $b$  га қаранг). Тулиқ деформациялар нолга тенг бўлган учун реакция  $B$  келтириб чиқарган стерженьнинг калталашиши унинг хусусий оғирлиги келтириб чиқарган узайишига тенг бўлиши лозим. Ана шу шарт қўшимча деформация тенгламаси бўлади. Стерженьнинг реакция  $B$  дан калталашиши:

$$\Delta l_B = \frac{B}{E} \left( \frac{b}{F_2} + \frac{a}{F_2} \right) = \frac{Bb}{EF_2} \left( 1 + \frac{a}{b} \frac{F_2}{F_1} \right). \quad (2)$$

Стерженьнинг хусусий оғирлигидан узайиши:

$$\Delta l_Q = \frac{\gamma b^2}{2E} + \frac{\gamma a^2}{2E} + \frac{\gamma F_2 b a}{EF_1} = \frac{\gamma b^2}{2E} \left[ 1 + \left( \frac{a}{b} \right)^2 + 2 \frac{a}{b} \cdot \frac{F_2}{F_1} \right] \quad (3)$$

(2) ва (3) ифодаларни тенглаштириб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{Bb}{EF_2} \left( 1 + \frac{a}{b} \cdot \frac{F_2}{F_1} \right) = \frac{\gamma b^2}{2E} \left[ 1 + \left( \frac{a}{b} \right)^2 + 2 \frac{a}{b} \frac{F_2}{F_1} \right]$$

бундан

$$B = \frac{\gamma b F_2}{2} \cdot \frac{1 + \left( \frac{a}{b} \right)^2 + 2 \frac{a}{b} \frac{F_2}{F_1}}{1 + \frac{a}{b} \frac{F_2}{F_1}};$$



(1) тенгламадан

$$A = \gamma F_1 a + \gamma F_2 b - B = \gamma F_1 a + \gamma F_2 b - \frac{\gamma b F_2}{2} \frac{1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2 + 2 \frac{a}{b} \frac{F_2}{F_1}}{1 + \frac{a}{b} \frac{F_2}{F_1}};$$

бир неча содда ўзгартиришлардан кейин қуйидагига эга бўламиз:

$$A = \frac{\gamma a F_1}{2} \cdot \frac{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2 + 2 \frac{b}{a} \frac{F_1}{F_2}}{1 + \frac{b}{a} \frac{F_1}{F_2}},$$

Энг катта қўзувчи кучланиш

$$\sigma_q = -\frac{A}{F_1} = -\frac{\gamma a}{2} \cdot \frac{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2 + 2 \frac{b}{a} \frac{F_1}{F_2}}{1 + \frac{b}{a} \frac{F_1}{F_2}},$$

Энг кичик сиқувчи кучланиш эса:

$$\sigma_q = -\frac{B}{F_r} = -\frac{\gamma b}{2} \cdot \frac{1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2 + 2 \frac{a}{b} \frac{F_2}{F_1}}{1 + \frac{a}{b} \frac{F_2}{F_1}}.$$

1.119. Расмда кўрсатилган ўлчамлардаги темир-бетон устун фақат хусусий оғирлиги билан юкланган. Агар темир-бетоннинг ҳажмий оғирлиги  $25 \text{ кН/м}^3$  бўлса, устун бетони ва арматурасидаги кучланишни аниқланг. Пулат арматура ва бетон эластиклик модулларининг нисбатини 15 га тенг деб олинг, арматуранинг диаметри 25 мм.

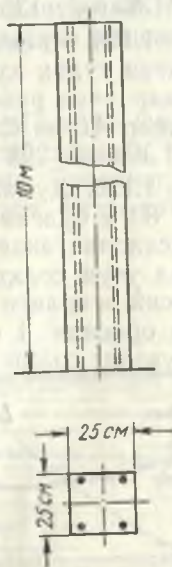
Жавоб:  $\sigma_b = -0,17 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_n = -2,55 \text{ МПа}$ .

1.120. Ўзгармас кесимли бетон устун юқори ва пастки учлари билан қисиб қўйилган. Агар бетондаги қўзувчи кучланиш  $0,5 \text{ МПа}$  дан ошмаслиги лозим бўлса, устуннинг чегаравий узунлиги қанчага тенг бўлиши мумкин? Бетоннинг ҳажмий оғирлигини  $25 \text{ кН/м}^3$  деб олинг.

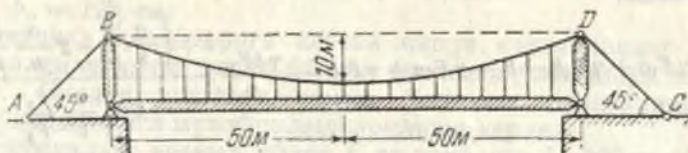
Жавоб: 40 м.

#### 4-§. Эластик иплар

1.121. Бир хил сатҳда осилган эластик ип ҳажм бирлиги оғирлиги  $80 \text{ кН/м}^3$  ва рухсат этилган кучланиши  $300 \text{ МПа}$  бўлган матери-



1.119- масалага оид



1.124- масалага оид

алдан ясалган. Агар  $\frac{f}{l} = \frac{1}{100}$  ва  $\frac{1}{10}$  бўлса, пролётларнинг чегаравий қийматларини аниқланг. Таянчларнинг кучланишлари ортишини ҳисобга олманг.

Жавоб: 300 м ва 3000 м.

1.122. Оғирлиги 10 Н/м бўлган трос бир-биридан 40 м ма-софада ётган бир хил сатҳдаги икки таянчга 1 м солқиликда осилган. Троснинг таранглигини қийматини аниқланг.

Жавоб: 2000 Н.

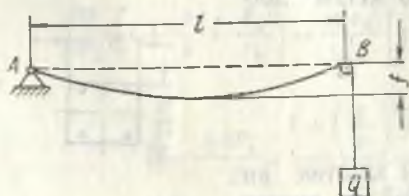
1.123. Осма кўприкни икки пўлат занжир тортиб туради. Занжирларнинг пролети 120 м га, солқилик стреласи эса 10 м га тенг. Кўприк конструкциясининг хусусий оғирлиги вақтинча-лик фойдали куч билан бирга 60 кН/м га тенг. Агар  $[\sigma] = 400$  МПа бўлса, ҳар бир занжирнинг зарур кўндаланг кесим юзасини аниқланг.

Жавоб: 135 см<sup>2</sup>.

1.124. Расмда тасвирланган осма кўприк занжирига туша-диган тўлиқ куч пролет бўйича тарқалган ва 50 кН/м га тенг. Улар учун рухсат этиладиган кучланиш 300 МПа бўлса, тор-тиқлар АВ ва CD ларнинг зарур кесимини аниқланг.

Жавоб: 295 см<sup>2</sup>.

1.125. Думалоқ кўндаланг кесими юзаси 0,5 см<sup>2</sup>, пролети  $l = 80$  м бўлган пўлат сим блок В орқали ташиланган ва расмда тасвирлангандек юк  $Q = 3500$  Н билан тортилган. Ушбу икки ҳол учун солқилик стреласи  $f$  ни аниқланг: 1) сим фақат ху-сусий оғирлиги билан юкланган ва 2) симнинг А ва В нуқталари орасида 1 см қалинликдаги муз қатлами яхлаб қолган. Музнинг солишитирма оғирлиги 0,9. Блокдаги ишқаланишни ҳи-собга олманг.

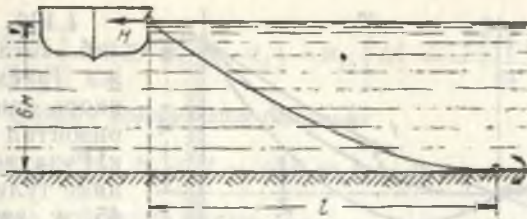


Жавоб:  $f_1 = 0,90$  м,  $f_2 = 2,07$  м.

1. 126. Бир хил сатҳдаги ик-ки таянчга осилган, пролети  $l$  ва солқилик стреласи  $f$  бўлган пў-лат-алюминий симли кабелнинг пўлат ва алюминий қисмларидаги тарангликни аниқланг. Кабель

1.125- масалага оид





1.127- масалага оид

пўлат қисмининг юзаси  $F_n$ , алюмин қисминики  $F_a$  ҳажмий оғирлик-лари ва эластик модуллари тегишлича:  $\gamma_n$ ,  $\gamma_a$ ,  $E_n$  ва  $E_a$

Жавоб: 
$$H_n = \frac{(\gamma_n F_n + \gamma_a F_a) l^2}{8 f \left(1 + \frac{E_a F_a}{E_n F_n}\right)}; \quad H_a = \frac{(\gamma_n F_n + \gamma_a F_a) l^2}{8 f \left(1 + \frac{F_n E_n}{F_a E_a}\right)}$$

1.127. Баржани тутиб турган якорь занжири пўлатдан ясалган, кесими  $5 \text{ см}^2$ . Якорни ўрнатиш нуқтасида у сув тубига горизонтал равишда тегиб туради (расмга қаранг). Агар якорни суғуриб оладиган горизонтал куч катталиги  $1000 \text{ Н}$  га тенг бўлса, баржадан якоргача бўлган масофа  $l$  ни аниқланг.

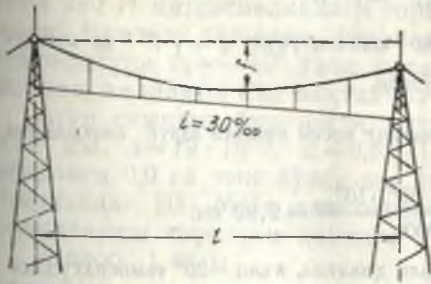
Жавоб:  $18,8 \text{ см}$ .

1.128. Кесими  $1 \text{ см}^2$  га тенг бўлган сим таянчлари орасидаги горизонтал масофа  $37 \text{ м}$  га тенг. Битта таянч иккинчисидан  $30 \text{ см}$  пастроқ ва симнинг энг паст нуқтаси паст таянчдан  $90 \text{ см}$  пастроқда ётади. Агар симнинг солиштирма оғирлиги  $0,08 \text{ Н/см}^3$  га тенг бўлса, пастки таянчдан симнинг энг паст нуқтасигача бўлган горизонтал масофани аниқланг.

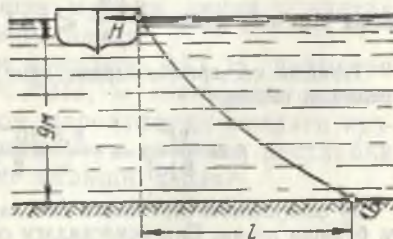
Жавоб:  $17,1 \text{ м}$ ,  $H = 1310 \text{ Н}$ .

1.129. Агар трос қиялиги  $i = 30\%$ , пролёт  $l = 75 \text{ м}$  ва юк  $q = 16 \text{ Н/м}$  бўлса, электр темир йўл симини тутиб турувчи троснинг пастки кесимидаги тарангликни аниқланг. Троснинг энг пасайган нуқтасининг вертикал бўйича юқорироқ ётган таянчи учидан масофаси  $f = 3 \text{ м}$ .

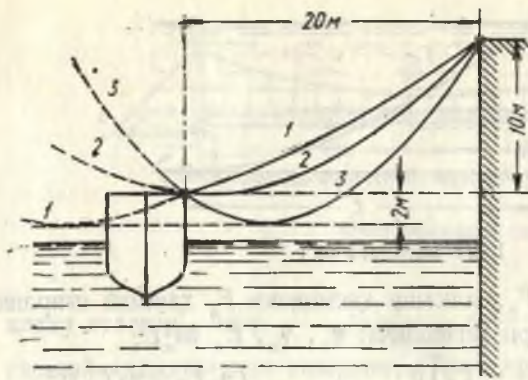
Жавоб:  $H = 6670 \text{ Н}$ .



1.129- масалага оид



1.130- масалага оид



1.131- масалага онд

1.130. Сувда сузиб кетаётган баржа (расмга қаранг) якорь занжирига горизонтал куч  $H = 360$  кН узатади. Занжирнинг тулиқ узунлиги 45 м, занжир баржага маҳкамланган нуқтасидан мунтазам сув тубигача бўлган вертикал масофа 9 м. Занжирнинг сувдаги погон оғирлиги 500 Н/м. Якорь билан занжир баржага осилган нуқтага

бўлган горизонтал масофани аниқланг.

Жавоб: 43,8 м.

1.131. Погон оғирлиги 30 Н/м, кесим юзаси 4 см<sup>2</sup> бўлган пўлат трос ёрдамида кема қирғоққа маҳкамлаб қўйилган (расмга қаранг). Трос 1, 2 ва 3 эгри чизиқлар бўйича солқиланиб турганда қандай кучлар кемани қирғоқдан нари суради. Эгри чизиқ 2 нинг пастки нуқтаси кеманинг чапки маҳкамланиш жойида, эгри чизиқ 1 нинг пастки нуқтаси чапки маҳкамланиш жойидан чапроқда, эгри чизиқ 3 нинг пастки нуқтаси эгри чизиқ 1 нинг пастки нуқтасидан ўнгрқда ва у бир сатҳда.

Жавоб.  $H_1 = 1480$  Н,  $H_2 = 600$  Н,  $H_3 = 250$  Н.

1.132. Пўлат сим бир сатҳда ётган ва бир-биридан 30 м нари бўлган икки нуқтага осилиши керак. Сим  $+35^\circ$  температурада осилади. Температура  $-25^\circ$  бўлганда кучланиш 300 МПа дан ошмаслиги учун дастлабки солқиш стреласи қанчага тенг бўлиши керак? Сим фақат хусусий оғирлиги билангина юкланган.

Ечи м. Сим учун мустаҳкамлик шarti қуйидагича

$$\sigma = \frac{H}{F} = \frac{ql^2}{8fF} \leq [\sigma],$$

Симга фақат хусусий оғирлиги таъсир қилгани учун  $q = \gamma \cdot F \cdot l$  ва мустаҳкамлик шarti бу ҳолда  $\frac{\gamma Fl^2}{8fF} \leq [\sigma]$  бўлади.

Тегишли қисқартиришлардан сўнг симнинг кесим юзасига зарур солқиланиш стреласини топамиз:

$$f = \frac{\gamma l^2}{8[\sigma]} = \frac{7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30^2 \cdot 10^4}{8 \cdot 3000} = 2,92 \text{ см.}$$

Бу солқиланиш стреласига сим хавфли ҳолатда, яъни  $-25^\circ$  температурада эга бўлиши лозим. Сим осилгандаги солқиланиш стреласини топиш учун унинг  $t_1 = -25^\circ$  ҳолатидан  $t_2 = +35^\circ$  ҳолатига ўтиши керак. Маълумки, симнинг икки ҳолати ўзаро қуйидаги куб тенгламалар билан боғланган:



$$H_2^3 + \left[ \frac{EFq_1^2 l^2}{24 H_1^2} + EF \alpha (t_2 - t_1) - H_2 \right] H_2^2 - \frac{EFq_2^2 l^2}{24} = 0.$$

Бу тенгламада қуйидаги алмашувларни бажарамиз:

$$H_2 = \frac{ql^2}{8f_2}, H_1 = H = [\sigma] F \text{ ва } q_1 = q_2 = q = \gamma \cdot F.$$

Бу ҳолда тенглама ушбу ҳолга киради:

$$f_2^3 - \frac{3}{8} l^2 \left[ \frac{\gamma^2 l^2}{24 [\sigma]^2} + \alpha (t_2 - t_1) - \frac{[\sigma]}{E} \right] f_2 - \frac{3 \gamma l^4}{64 E} = 0.$$

Рақамли қийматларни қўйгандан сўнг тенглама ушбу кўринишни олади:

$$f_2^3 - \frac{3}{8} \cdot 3000^2 \left[ \frac{7,8 \cdot 10^{-6} \cdot 3000^2}{24 \cdot 3000^2} + 125 \cdot 10^{-7} \cdot (35 + 25) - \frac{3000}{2 \cdot 10^6} \right] - \frac{3 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 3000^4}{64 \cdot 2 \cdot 10^6} = 0.$$

Қисқартиришлардан сўнг

$$f_2^3 + 2515 f_2 - 14850 = 0.$$

Бундан  $f_2 = 5,82$  см. Ана шу симнинг зарур дастлабки солқиланиш стреласи бўлади.

1.133. Кесими  $95 \text{ мм}^2$  бўлган кўп толали алюминий сим бир сатҳда ётган ва бир-биридан  $100 \text{ м}$  нарида турган таянчларга осилган. Симнинг солқиланиш стреласи  $4 \text{ м}$  га тенг. Агар симнинг погонметри оғирлиги  $2,57 \text{ Н}$ , чизиқли кенгайиш коэффициенти  $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}$ , эластиклик модули  $E = 0,63 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  бўлса, температура  $50^\circ$  га пасайганда кучланишларнинг катталашини топинг.

Жавоб: Кучланиш  $1,1 \text{ МПа}$  катталашди.

1.134. Бир хил сатҳда ётган ва бир-биридан  $l = 100 \text{ м}$  масофада турган иккита таянч орасига ёзда  $t_1 = +25^\circ$  температурада кўп толали пўлат-алюминий сим осилади. Сим кесимининг юзаси  $F = 120 \text{ мм}^2$ . Кейинчалик температура  $t_2 = -5^\circ$  гача пасаяди ва симнинг усти музлаб муз қатлами  $10 \text{ мм}$  га етади. Айни вақтда муз билан қопланган симнинг  $1 \text{ м}^2$  вертикал проекциясига  $240 \text{ Н}$  интенсивликдаги горизонтал шамол кучи таъсир қилади. Бундан ташқари, шу нарса кўзда тутиладики, қишда температура  $t_3 = -40^\circ$  гача пасайиши мумкин, лекин у вақтда музлаш ва шамол бир вақтда юз бермайди.

Агар симнинг бир погон метри оғирлиги  $4,91 \text{ Н}$ , диаметри  $15,2 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 19 \cdot 10^{-6}$ ,  $E = 0,82 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ , музнинг солиштирма оғирлиги  $0,9$  га тенг бўлса энг ёмон шароитларда симдаги кучланишнинг  $100 \text{ МПа}$  дан ошмаслиги учун симнинг дастлабки солқиланиш стреласи қанчага тенг бўлиши керак?

Жавоб:  $1,42 \text{ м}$ .

## МУРАККАБ ЗУРИҚҚАН ҲОЛАТ. МУСТАҲКАМЛИК НАЗАРИЯСИ

### 5-§. Кучланишларни аниқлашнинг аналитик ва график усуллари

2.1. Диаметри 6 см бўлган стержень ўз ўқи бўйлаб  $245 \cdot 10^3$  Н (25 т) куч билан чўзилган. Нормаль стержень ўқи билан  $30^\circ$  бурчакни ташкил қиладиган кесим бўйича нормал ва уринма кучланишлар қийматини аниқланг. Уринма кучланишлар қандай кесими бўйича максимумга эришишини аниқланг ва уларни қийматини ҳисоблаб топинг.

*Ечим.* Стержень ўқига перпендикуляр бўлган кесим бўйича кучланишни топамиз:

$$\sigma_0 = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi d^2/4} = \frac{4 \cdot 245 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0,06^2} = 867 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Қия кесим бўйича нормал ва уринма кучланишлар қуйидаги формулалардан аниқланади:

$$\sigma_\alpha = \sigma_0 \cos^2 \alpha = 867 \cdot 10^5 \cdot 0,866^2 = 650 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_0}{2} \sin 2\alpha = \frac{867 \cdot 10^5}{2} = 0,866 = 375 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Стержень ўқига  $45^\circ$  бурчак остидаги қия кесимлар бўйича уринма кучланишлар максимумга эришади. Уларнинг қиймати қуйидагига тенг:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_0}{2} = \frac{867 \cdot 10^5}{2} = 433 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

2.2. Ўлчами  $10 \times 10$  см бўлган квадрат кундаланг кесимли стержень ўқи бўйлаб 500 кН куч билан қисилган. Кундаланг кесимдаги ва кундаланг кесим билан  $30^\circ$  бурчак ҳосил қиладиган кесимдаги тўлиқ кучланишларни аниқланг.

*Жавоб:*  $p_0 = \sigma_0 = 50,0$  МПа;  $p_\alpha = 43,3$  МПа.

2.3. Томонларининг нисбати 5:1 бўлган тўғри тўртбучак кундаланг кесимли стержень ўқи бўйлаб 320 кН куч билан чўзилган. Рухсат этиладиган уринма кучланиш 80 МПа қабул қилинган. Кесим ўлчамларини аниқланг.

*Жавоб:*  $2 \times 10$  см.

2.4. Ўқи бўйлаб чўзилган стерженда унинг қия кесимларидан биридаги нормал кучланишлар 75 МПа га, уринма кучланиш-



лар 43,3 МПа га тенг. Берилган қия ва кўндаланг кесимлар орасидаги бурчакни ва энг катта нормал кучланишларни аниқланг.

Жавоб: 100 МПа; 30°.

2.5. Уқи бўйлаб чўзилган стержендаги энг катта нормал кучланиш 40 МПа га, қия кесимларан бири бўйича уринма кучланиш эса 17,3 МПа га тенг. Қия текисликнинг кўндаланг кесимга нисбатан бурчагини ва у бўйича таъсир қиладиган нормал кучланишнинг қийматини аниқланг.

Жавоб:  $\alpha_1 = 30^\circ$ ,  $\sigma_{\alpha 1} = 30$  МПа,

$\alpha_2 = 60^\circ$ ,  $\sigma_{\alpha 2} = 10$  МПа.

2.6. Улчами  $20 \times 20 \times 20$  см бўлган бетон кубикни сиқилишга синаш пайтида унинг емирилиши олдидан куч йўналишига нисбатан  $45^\circ$  бурчак остидаги қия кесими бўйича нормал кучланиши — 4,5 МПа га тенг бўлган. Кубик қандай куч таъсирида емирилган.

Жавоб: 360 кН.

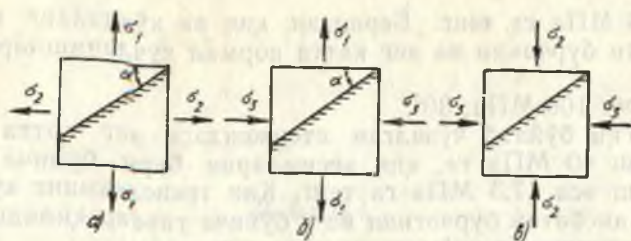
2.7. Конструкция элементининг танланган нуқтаси орқали ўтказилган кесимлардан бири бўйича тўлиқ кучланиш 60 МПа бўлиб, у шу кесимга  $60^\circ$  бурчак остида қия. Биринчи кесимга перпендикуляр бўлган иккинчи кесим бўйича нормал кучланиш нолга тенг. Шу нуқта орқали ўтказилган хавфли кесим бўйича энг катта нормал кучланишни аниқланг.

Жавоб: 65,4 МПа.

2.8. Берилган  $\sigma_1$  ва  $\sigma_2$  (расм, а) ёки  $\sigma_1$  ва  $\sigma_3$  (расм, б) ёки  $\sigma_2$  ва  $\sigma_3$  (расм, в) бўйича аналитик ёки график усулда  $\alpha$  бурчак остидаги кесимда  $\sigma_\alpha$  ва  $\tau_\alpha$  ларни аниқланг. Элементдаги энг катта уринма кучланишларни аниқланг.

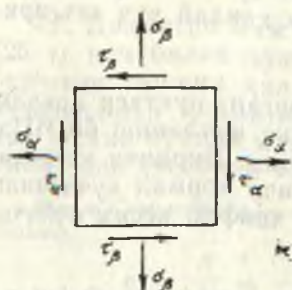
| Берилган қийматлар |                |                |                |            | Жавоб<br>$\sigma_\alpha$ , МПа |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|------------|--------------------------------|
| Вариант            | $\sigma_1$ МПа | $\sigma_2$ МПа | $\sigma_3$ МПа | $\alpha$   |                                |
| 1                  | 100,0          | 50,0           | 0              | 30         | 87,5                           |
| 2                  | 100,0          | 50,0           | 0              | —60        | 62,5                           |
| 3                  | 30,0           | 30,0           | 0              | ҳар қандай | 30,0                           |
| 4                  | 80,0           | 0              | —20,0          | 60         | 5,0                            |
| 5                  | 80,0           | 0              | —20,0          | —30        | 55,0                           |
| 6                  | 30,0           | 0              | —30,0          | 45         | 0                              |
| 7                  | 30,0           | 0              | —30,0          | 30         | 15,0                           |
| 8                  | 30,0           | 0              | —30,0          | —60        | —15,0                          |
| 9                  | 0              | 20,0           | —60,0          | 60         | —50,0                          |
| 10                 | 0              | 20,0           | —60,0          | —30        | —30,0                          |

2.9. Идиш деворидаги асосий кучланишлар 60 МПа ва 120 МПа га тенг. Нормали энг катта асосий кучланиш йўналишига нисбатан  $30^\circ$  бурчак ҳосил қиладиган кесим учун нормал ва уринма кучланишларни аниқланг. Деворга нормал бўлган, энг катта уринма кучланишли кесимнинг вазиятини аниқланг ва иккала кучланиш ясовчисини шу юза бўйича ҳисобланг.



2.8-масалага оид

Жавоб:  $\sigma_\alpha = 105,0$  МПа  $\tau_\alpha = 26,0$  МПа  
 $\tau_{\max} = 30,0$  МПа  $\sigma_{\max} = 90,0$  МПа



2.11-масалага оид

2.10. Ясси зўриққан ҳолатда турган элементнинг нуқтасидаги асосий кучланишлар 120 МПа ва 45 МПа га тенг. Тулиқ кучланиши кесимга нисбатан энг кичик бурчак билан қия бўлган кесимнинг вазиятини аниқланг.

Жавоб: Энг катта асосий кучланиш-ли кесимга нисбатан  $58^\circ 30'$  бурчак остида.

2.11. Берилган  $\sigma_\alpha$ ,  $\sigma_\beta$  ва ( $\tau_\beta = -\tau_\alpha$ ) лар бўйича (расмга қаранг) аналитик ёки график усулда асосий кучланишларнинг қиймати ва йўналишини аниқланг ва фақат асосий кучланишлар таъсирида бўлган элементни тасвирланг.

2.11-масалага оид

| Вариант | Берилган қийматлар, МПа |                |               | Жавоб         |
|---------|-------------------------|----------------|---------------|---------------|
|         | $\sigma_\alpha$         | $\sigma_\beta$ | $\tau_\alpha$ | $\tau_{\max}$ |
| 1       | 40,0                    | 20,0           | 10,0          | 44,1          |
| 2       | 50,0                    | 30,0           | -20,0         | 62,3          |
| 3       | -20,0                   | 30,0           | 20,0          | 37,0          |
| 4       | -40,0                   | 20,0           | -30,0         | 32,4          |
| 5       | -10,0                   | -20,0          | 10,0          | -3,8          |
| 6       | -20,0                   | -40,0          | -40,0         | -11,2         |
| 7       | 50                      | 0              | 20            | 57            |
| 8       | 0                       | 60             | 30            | 72,4          |
| 9       | -40                     | 0              | 20            | 8,3           |
| 10      | 0                       | -80            | 25            | 7,2           |
| 11      | 50                      | 50             | 10            | 60            |
| 12      | -40                     | -40            | -20           | -20           |
| 13      | 0                       | 0              | 25            | 25            |
| 14      | -60                     | 40             | 0             | 40            |



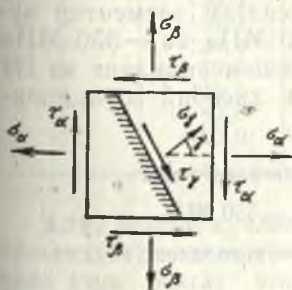
2.12. Ёқлари бўйича нормал ва уринма кучланишлар маълум бўлган элементдаги кўрсатилган (расмга қаранг) қия кесим бўйича аналитик ёки график усулда нормал  $\sigma_\gamma$  ва уринма  $\tau_\gamma$  кучланишларни аниқланг.

2.12- масалага оид

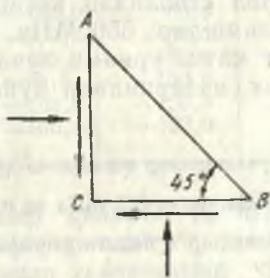
| Вариант | Берилган қийматлар |                |                 |                | Жавоб, МПа      |               |
|---------|--------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------|
|         | $\sigma_x$ МПа     | $\sigma_y$ МПа | $\tau_{xy}$ МПа | $\gamma^\circ$ | $\sigma_\gamma$ | $\tau_\gamma$ |
| 1       | 80                 | 0              | 40              | 30             | 25,4            | 54,6          |
| 2       | 60                 | 0              | 20              | -60            | 32,3            | -36,0         |
| 3       | 40                 | 0              | -20             | -30            | 12,7            | -27,3         |
| 4       | 20                 | 0              | -40             | 60             | 39,6            | 27,3          |
| 5       | -100               | 0              | 40              | -30            | -40,4           | 63,3          |
| 6       | -80                | 0              | 30              | 60             | -46,0           | -49,6         |
| 7       | -60                | 0              | -29             | 30             | -37,7           | -36,0         |
| 8       | -40                | 0              | -40             | -60            | -44,6           | -37,3         |
| 9       | 70                 | 20             | -30             | -30            | 31,5            | -36,6         |
| 10      | 60                 | 40             | -20             | 60             | 62,3            | 18,7          |
| 11      | 50                 | 30             | 10              | 30             | 36,3            | 13,7          |
| 12      | 40                 | 20             | 40              | -60            | 59,6            | -28,7         |
| 13      | 40                 | -60            | 20              | 30             | -2,3            | 53,3          |
| 14      | 50                 | -30            | 20              | -60            | -32,3           | -44,6         |
| 15      | 30                 | -50            | -20             | -30            | -7,3            | -44,6         |
| 16      | 20                 | -40            | -20             | 60             | -7,7            | 44,6          |
| 17      | -10                | -40            | 20              | -30            | -0,2            | -3,0          |
| 18      | -20                | -50            | 20              | 60             | -59,8           | 3,0           |
| 19      | -30                | -50            | -30             | 30             | -9,0            | -6,3          |
| 20      | -40                | -60            | -30             | -60            | -81,0           | 6,3           |

2.13. Расмда тасвирланган учбурчак элементнинг  $AC$  ва  $CB$  ёқлари бўйича бир хил қисувчи нормал кучланишлар — 50 МПа ва уринма кучланишлар таъсир қилади,  $AB$  ёққа эса юк қўйилмаган.  $AC$  ва  $CB$  ёқлар бўйича уринма кучланишлар қийматини ҳамда асосий кучланишларнинг қиймати ва йўналишини аниқланг.

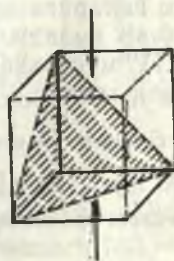
Жавоб:  $\tau = 50$  МПа;  $\sigma_1 = 0$ ;  $\sigma_3 = -100$  МПа.



2.12- масалага оид



2.13- масалага оид



2.14- масалага оид

2.14. Қирраси 10 мм ли кубик қисилишга синалган. Қиймати 63000 Н куч қўйилганда у октаэдр текислик бўйича, яъни унинг барча уч ёқларига бир хил қиялиқдаги текислик бўйича емирилган (расмга қаранг). Шу кесимдаги емирилиш пайтидаги нормал, уринма ва тўлиқ кучланишларни аниқланг.

Ечи м. Қўрилаётган кубикдаги асосий кучланишлар қуйидагига тенг:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 = -630 \text{ МПа.}$$

Октаэдр нормал кучланиш қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\sigma_{\text{окт}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} = \frac{630,0}{3} = -210 \text{ МПа.}$$

Октаэдр уринма кучланиш эса қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{окт}} &= \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \frac{\sqrt{2}}{3} |\sigma_3| = \\ &= \frac{\sqrt{2}}{3} 630,0 = 297 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Тўлиқ кучланиш қуйидагига тенг:

$$P_{\text{окт}} = \sqrt{\sigma_{\text{окт}}^2 + \tau_{\text{окт}}^2} = \sqrt{(-210)^2 + 297^2} = 363 \text{ МПа.}$$

2.15. Жадвалда кўрсатилган зўриққан ҳолатдаги элемент учун октаэдр нормал ва уринма кучланишларни аниқланг.

| Вариант | Берилган асосий кучланишлар, МПа |            |            | Жавоб, МПа            |                     |
|---------|----------------------------------|------------|------------|-----------------------|---------------------|
|         | $\sigma_1$                       | $\sigma_2$ | $\sigma_3$ | $\sigma_{\text{окт}}$ | $\tau_{\text{окт}}$ |
| 1       | 120                              | 100        | 80         | 100                   | 37,7                |
| 2       | 120                              | 100        | -80        | 46,7                  | 90                  |
| 3       | 120                              | 80         | -100       | 33,3                  | 95                  |
| 4       | 120                              | -80        | -100       | -20                   | 93,3                |
| 5       | 100                              | -80        | -120       | 20                    | 93,3                |
| 6       | 100                              | -80        | -120       | -33,3                 | 95                  |
| 7       | 80                               | -100       | -120       | -46,7                 | 90                  |
| 8       | -80                              | -100       | -120       | -100                  | 37,7                |

2.16. Пулат қурол стволдан кесиб ясалган элементар кубик ёқларига кучланишлар: 550 МПа, 420 МПа ва -350 МПа таъсир қилади. Энг катта уринма кучланишни аниқланг ва III ва IV мустаҳкамлик назариялари бўйича ҳисобий кучланишларни топинг.

Ечи м. Асосий кучланишлар тегишлича қуйидагиларга тенг:

$$\sigma_1 = 500 \text{ МПа, } \sigma_2 = 420 \text{ МПа ва } \sigma_3 = -350 \text{ МПа.}$$

Энг катта уринма кучланишлар қуйидаги формуладан топилади:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{550 + 350}{2} = 450 \text{ МПа}$$



III мустаҳкамлик назарияси бўйича ҳисобий кучланиш қуйидагига тенг

$$\sigma_{III} = \sigma_1 - \sigma_3 = 550 + 350 = 900 \text{ МПа.}$$

IV мустаҳкамлик назарияси бўйича ҳисобий кучланиш қуйидагига тенг:

$$\sigma_{IV} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} = 840 \text{ МПа.}$$

2.17. Кўрсатилган асосий кучланишларда ( $\mu = 0,3$ ) I ва II мустаҳкамлик назариялари бўйича ҳисобий кучланишларни топинг.

| Вариант | Берилган асосий кучланишлар, МПа |            |            | Жавоб, МПа              |               |
|---------|----------------------------------|------------|------------|-------------------------|---------------|
|         | $\sigma_1$                       | $\sigma_2$ | $\sigma_3$ | $\sigma_I$              | $\sigma_{II}$ |
| 1       | 120,0                            | 100,0      | 80,0       | 120,0                   | 166,0         |
| 2       | 120,0                            | 100,0      | -80,0      | 120,0                   | 146,0         |
| 3       | 120,0                            | -100,0     | 80,0       | 120,0                   | 160,0         |
| 4       | 120,0                            | -100,0     | -80,0      | 120,0                   | 174,0         |
| 5       | 80,0                             | 100,0      | -120,0     | +100,0<br>ёки<br>-120,0 | 174,0         |
| 6       | 100,0                            | -80,0      | -120,0     | +100,0<br>ёки<br>-120,0 | 160,0         |
| 7       | 80,0                             | 100,0      | -120,0     | +80,0                   | 146,0         |
| 8       | -80,0                            | -100,0     | -120,0     | -120,0                  | 66,0          |

2.18. Асосий кучланишлар берилганда III ва IV мустаҳкамлик назариялари бўйича ҳисобий кучланишларни топинг.

| Вариант | Берилган асосий кучланишлар, МПа |            |            | Жавоб, МПа     |               |
|---------|----------------------------------|------------|------------|----------------|---------------|
|         | $\sigma_1$                       | $\sigma_2$ | $\sigma_3$ | $\sigma_{III}$ | $\sigma_{IV}$ |
| 1       | 120,0                            | 100,0      | 80,0       | 40,0           | 34,6          |
| 2       | 120,0                            | 100,0      | -80,0      | 200,0          | 191,0         |
| 3       | 120,0                            | -100,0     | 80,0       | 220,0          | 203,0         |
| 4       | 120,0                            | -100,0     | -80,0      | 220,0          | 210,0         |
| 5       | 80,0                             | 100,0      | 120,0      | 220,0          | 211,0         |
| 6       | 100,0                            | -80,0      | -120,0     | 220,0          | 203,0         |
| 7       | 80,0                             | -100,0     | -120,0     | 20,0           | 191,0         |
| 8       | -80,0                            | -100,0     | -120,0     | 40,0           | 34,6          |

2.19. Асосий кучланишлар қиймати 15 МПа, 40 МПа, 60 МПа бўлганда чуён деталнинг мустаҳкамлигини текширинг. Шу маркали чуён учун рухсат этиладиган кучланишлар: чузилишдаги  $[\sigma_t] = 30$  МПа, сиқилишдаги  $[\sigma_{-}] = 100$  МПа. Морнинг мустаҳкамлик назариясига асосланг.

Ечилиш. Белгилаб оламиз:  $\sigma_1 = 15$  МПа,  $\sigma_2 = -40$  МПа,  $\sigma_3 = -60$  МПа.  
Мор буйича чузилишдаги мустаҳкамлик шарти қуйидаги кўринишни олади:

$$\sigma_1 - \sigma_3 \frac{[\sigma_1]}{[\sigma_-]} \leq [\sigma_+].$$

Бизнинг хол учун

$$15 + 60 \frac{30}{100} = 33 \text{ МПа} > 30 \text{ МПа}.$$

Бу эса бизни қаноатлантирмайди. Ҳисобий кучланиш рухсат этиладиган кучланишдан 10% ортиб кетди, бу эса мумкин эмас.

Агар биз ҳисобий қисувчи кучланишни ҳисоблаб топиб, уни ўзгартирилган шартга мувофиқ сиқилишга рухсат этиладиган кучланиш билан солиштириб кўрганимизда эди, биз худди шундай натижага эга бўлар эдик:

$$\sigma_1 \frac{[\sigma_-]}{[\sigma_+]} - \sigma_3 \leq [\sigma_-]$$

2.20. Жадвалдаги ҳоллар учун Морнинг мустаҳкамлик назарияси бўйича ҳисобий сиқувчи кучланишни аниқланг.

| Вариант | Берилган қийматлар |                |                           | Жавоб, МПа     |
|---------|--------------------|----------------|---------------------------|----------------|
|         | $\sigma_1$ МПа     | $\sigma_2$ МПа | $[\sigma_-] / [\sigma_+]$ | $\sigma_m$ МПа |
| 1       | 100                | -60,0          | 4                         | 100,0          |
| 2       | -10,0              | -70,0          | 5                         | 130,0          |
| 3       | 35,0               | -25,0          | 3                         | 130,0          |
| 4       | 30,0               | 10,0           | 4                         | 110,0          |
| 5       | 30,0               | 0              | 4                         | 120,0          |
| 6       | 0                  | -70,0          | 5                         | 70,0           |

## 6-§. Деформациялар. Потенциал энергия

2.21. Қозоннинг пўлат деворидаги асосий кучланишлар  $3 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup> ва  $6 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup> га тенг. Асосий нисбий деформацияларни аниқланг. Чизиқли кучланганлик ҳолатида  $\sigma_1$  йўналишда қандай кучланиш шу йўналишдаги худди шундай нисбий деформацияни келтириб чиқаради. Қозон девори материалининг 1 см<sup>3</sup> да тўпланган тўлиқ потенциал энергия запасини аниқланг.  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup> ва  $\mu = 0,3$  деб қабул қилинг.

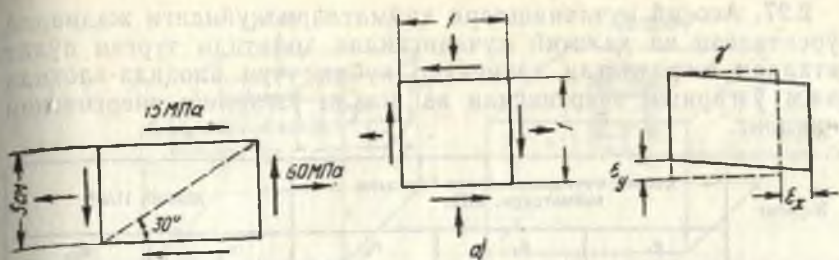
Жавоб:  $\epsilon_1 = 2,55 \cdot 10^{-4}$ ;  $\epsilon_2 = 0,6 \cdot 10^{-4}$ ;

$\sigma = 5,1 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>;  $u = 8,55 \cdot 10^{-3}$  Нм/м<sup>3</sup>

2.22. Пўлат листни 150 МПа кучланишда оддий чузилишга синаш пайтида 250 мм узунликда 0,2 мм га тенг чузилиш ўлчанган. Агар шу листни қўшимча равишда кўндаланг йўналишда худди шундай кучланиш билан юкланса, асосий деформациялар нимага тенг бўлади? Агар кўндаланг йўналишдаги қўшимча кучланишлар сиқувчи кучланишлар бўлса, ўша деформациялар нимага тенг бўлади?

Жавоб: Қўшимча чузувчи кучланишда:  $\Delta l_1 = \Delta l_2 = 0,14$  мм, қўшимча қисувчи кучланишда  $\Delta l_1 = 0,26$  мм,  $\Delta l_2 = 0,26$  мм.





2.23- масалага онд

2.25- масалага онд

2.23. Пулат деталдан қирқиб тайёрланган элемент ясси кучланганлик ҳолатида (расмга қаранг). Диагонал узунлигининг ўзгаришини аниқланг.

Жавоб:  $27 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 27 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ .

2.24. Поезд кўприкдан ўтаётган пулат балканинг нуқта-ларидан бирида тензометрлар ёрдамида горизонтал ва вертикал йўналишлардаги ўзгаришлар ўлчанган. Горизонтал йўналишда тензометр ҳисоблари фарқи  $+8 \text{ мм}$  бўлди (базаси  $20 \text{ мм}$  ва катталиши  $1000$ ), вертикал йўналишда тензометр ҳисоблари фарқи  $-12 \text{ мм}$  га тенг бўлди (базаси  $100 \text{ мм}$  ва катталиши  $1000$ ).

Горизонтал ва вертикал йўналишлардаги нормал кучланишларни аниқланг.

Жавоб: горизонтал йўналишда  $\sigma = 80 \text{ МПа}$ , вертикал йўналишда  $\sigma = 0$ .

2.25. Ясси кучланган ҳолатда турган пулат деталдан ажратилган элементнинг кучланган ҳолати расм, а да кўрсатилган. Унинг нисбий деформациялари (расм, б га қаранг):  $\epsilon_x = 5,32 \cdot 10^{-4}$ ,  $\epsilon_y = -1,82 \cdot 10^{-4}$ . Агар  $\nu = 1,19 \cdot 10^{-3}$  бўлса, асосий кучланишларнинг катталиги ва йўналишини аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_1 = 160 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_3 = -60 \text{ МПа}$ ;

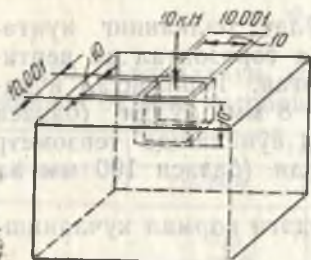
$\sigma_1$  горизонталга нисбатан соат стрелкаси йўналишида  $80^\circ$  бурилган.

2.26. Асосий кучланишлари катталиклари қуйидаги жадвалда кўрсатилган ва ҳажмий кучланганлик ҳолатида турган пулат элемент учун ҳажмий деформация модулини ва абсолют катталик бўйича энг катта нисбий деформацияларни аниқланг.

| Вариант | Асосий кучланишларнинг берилган қийматлари, МПа |     |     | Жавоб                            |
|---------|-------------------------------------------------|-----|-----|----------------------------------|
| 1       | +15                                             | +30 | +45 | $\epsilon_1 = 157 \cdot 10^{-6}$ |
| 2       | +15                                             | +30 | -45 | $\epsilon_3 = 293 \cdot 10^{-6}$ |
| 3       | +15                                             | -30 | -45 | $\epsilon_3 = 202 \cdot 10^{-6}$ |
| 4       | +15                                             | -30 | +45 | $\epsilon_3 = 240 \cdot 10^{-6}$ |
| 5       | -15                                             | -30 | -45 | $\epsilon_3 = 157 \cdot 10^{-6}$ |
| 6       | -15                                             | +30 | -45 | $\epsilon_1 = 240 \cdot 10^{-6}$ |
| 7       | -15                                             | -30 | +45 | $\epsilon_1 = 293 \cdot 10^{-6}$ |
| 8       | -15                                             | +30 | +45 | $\epsilon_1 = 202 \cdot 10^{-6}$ |

2.27. Асосий кучланишлари қийматлари қуйидаги жадвалда кўрсатилган ва ҳажмий кучланганлик ҳолатида турган пўлат деталдан ажратилган элементар кубик учун алоҳида-алоҳида ҳажм ўзгариши энергиясини ва шакли ўзгариши энергиясини аниқланг.

| Вариант | Асосий кучланишларнинг берилган қийматлари, МПа |            |            | Жавоб, Н/м²          |                      |
|---------|-------------------------------------------------|------------|------------|----------------------|----------------------|
|         | $\sigma_1$                                      | $\sigma_2$ | $\sigma_3$ | $\mu_x$              | $\mu_{ш}$            |
| 1       | 100                                             | 70         | 40         | 1,47                 | $5,85 \cdot 10^{-1}$ |
| 2       | 100                                             | 70         | — 40       | $5,58 \cdot 10^{-1}$ | 3,53                 |
| 3       | 100                                             | — 40       | — 70       | $3,33 \cdot 10^{-3}$ | 5,35                 |
| 4       | — 40                                            | — 70       | — 100      | 1,47                 | $5,85 \cdot 10^{-1}$ |



2.28. масалага онд

2.28. Қалин плита планида чуқурлиги 10 мм ва кўндаланг ўлчамлари  $10,001 \times 10,001$  мм бўлган квадрат чуқурча бор. Шу чуқурчага ўлчамлари  $10 \times 10 \times 10$  мм бўлган мис кубча солиниб, устига 10000 Н куч қўйилган (расмга қаранг). Чуқурчали плитани деформацияланмайди деб олиб, кубчадаги учала асосий кутланишни аниқланг. Мис учун кўндаланг деформация коэффициентини 0,32 га тенг деб олинг.

*Ечилиш:* Кубчанинг устки ва пастки қирралари бўйича қисувчи кучланишлар энг катта бўлади, шунинг учун уларни  $\sigma_3$  деб белгилаймиз. Улар қуйидагига тенг:

$$\sigma_3 = -\frac{P}{F} = -\frac{10000}{1} = -10000 \text{ Н/см}^2 \approx -100 \text{ МПа}$$

Планда чуқурча ва кубча симметрик бўлгани учун қолган икки асосий кучланишлар бир-бирига тенг.

$$\sigma_1 = \sigma_2$$

Тегишли нисбий деформациялар  $\epsilon_1$  ва  $\epsilon_2$  ҳам бир-бирига тенг. Улар қуйидагича аниқланади:

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = \frac{10,001 - 10}{10} = 1 \cdot 10^{-4}$$

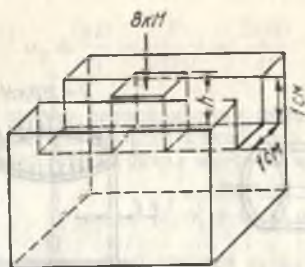
Ҳажмий кучланган ҳолатда нисбий деформация  $\epsilon_1$  нинг қиймати қуйидаги формуладан аниқланади:

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

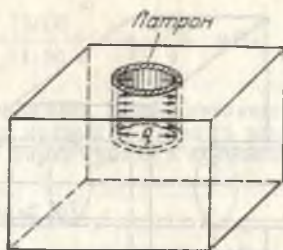
$\sigma_2 = \sigma_1$  ларни ўрнига қўйиб, бу тенгликни  $\sigma_1$  га нисбатан ечамиз.

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{E\epsilon_1 + \mu\sigma_3}{1 - \mu}$$





2.30-масалага онд



2.31-масалага онд

$\sigma_1$  ва  $\sigma_3$  ларнинг қиймагларини ўрнига қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{1 \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 10^{-4} - 0,32 \cdot 170}{1 - 0,32} = -32,4 \text{ МПа.}$$

2.29. Деформацияси ҳисобга олинмайдиган қалин платада маълум чуқурликда диаметри 2 см ли цилиндрик чуқурча ўйилган бўлиб, унга пўлат цилиндрик стержень зазорсиз зич тиқилган. Сўнгра шу стержень қисувчи куч 20 кН билан юкланган. Стержендаги барча уч асосий кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_1 = \sigma_2 = -27,3 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_3 = -63,8 \text{ МПа}$

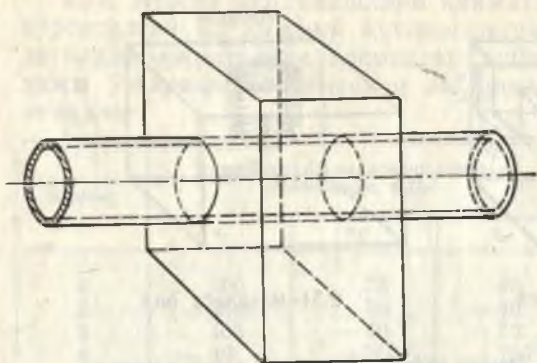
2.30. Деформацияланмайдиган қалин платада эни ва чуқурлиги 1 см дан бўлган очиқ ариқча ўйилган. Шу ариқчага пландаги ўлчами 1×1 см бўлган дуралюминий параллелепипед тиқилган. Сўнгра у расмда кўрсатилганидек юкланган. Параллелепипеддаги асосий кучланишларни аниқланг. Деформациялангандан сўнг унинг устки қирраси плитанинг юқори сиртига тегилашиб қолиши учун юк қўйилгунга қадар унинг баландлиги  $h$  қанча бўлиши лозим? Дуралюминий учун  $\mu = 0,33$ .

Жавоб:  $\sigma_1 = 0$ ;  $\sigma_2 = -26,4 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_3 = -80 \text{ МПа}$ ;  $h = 10,01 \text{ мм}$ .

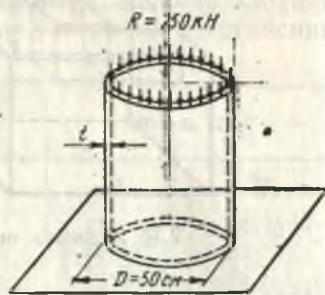
2.31. Абсолют бикр қалин платада цилиндрик уя пармалаб очилган. Унга юпқа деворли ичи бўш цилиндр тарзидаги мис патрон зазорсиз зич тиқилган (расмга қаранг.) Сўнгра патрон ичига суюқлик қўйилиб, поршень ёрдамида  $q = 100$  ат босимгача қисқлади. Патрон материалидаги асосий кучланишларни аниқланг. Патрон билан плата орасидаги ишқаланишни ҳисобга олманг. Патроннинг девори юпқа бўлгани учун унинг ўрта диаметри катталашади, буни ҳам ҳисобга олманг. Мис учун кўндаланг деформация коэффициенти 0,32 деб қабул қилинг.

Жавоб:  $\sigma_1 = 0$ ,  $\sigma_2 = -3,2 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_3 = -10 \text{ МПа}$ .

2.32. Абсолют бикр қалин платада думалоқ икки томони очиқ тешик пармаланган бўлиб, у орқали юпқа деворли жез найча ўтказилган (расмга қаранг). Найча тешикка шунчалик зич тиқилганки, ишқаланиш туфайли плата қалинлиги чегарасида найчанинг бўйлама деформацияланиши юз бермайди. Агар найча ичида босим  $q = 200$  ат бўлса, плата орқали ўтказилган



2.32- масалага онд



2.35- масалага онд

найча кесмасидаги асосий кучланишлар нимага тенг? Жез учун кўндаланг деформация коэффиценти  $\mu=0,32$ .

Жавоб:  $\sigma_1=0$ ,  $\sigma_2=-9,4$  МПа,  $\sigma_3=-20$  МПа

## 7- §. Юпқа деворли идишлар

2.33. Босим баландлиги 100 м бўлганда диаметри 120 см ли чуян водопровод трубагининг девори қалинлигини аниқланг. Чуян учун чўзилишга рухсат этиладиган кучланиш 20 МПа деб олинг.

Жавоб: 30 мм  $= 3 \cdot 10^{-2}$  м.

2.34. Ташқи диаметри 54 мм ва ички диаметри 50 мм ли винипласт водопровод трубазида босимнинг максимал баландлиги қанча бўлиши мумкин? Винипласт учун узоқ чўзилишга рухсат этиладиган кучланишни 80 МПа деб олинг.

Жавоб: 61,5 м.

2.35. Диаметри 50 см ли вертикал цилиндрик идишга 20 ат ички иш босими таъсир қилмоқда. Бундан ташқари, унга туби орқали торецига текис ёйилган вертикал кучлар таъсир қилади. Вертикал кучларнинг тенг таъсир этувчиси  $R=750$  кН. Бикр қобирғалар ва диафрагмалар (расмда кўрсатилмаган) конструкциянинг турғунлигини таъминлайди. Агар рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma]=80$  МПа бўлса ва IV мустаҳкамлик назарияси қабул қилинса, идиш деворининг қалинлиги  $t$  аниқлансин. Агар III мустаҳкамлик назарияси қабул қилинганда идишнинг девори  $t$  қанча бўлар эди?

Ечи м. Ташкил этувчига перпендикуляр йўналган чўзувчи энг катта кучлавиш қуйидагига тенг:

$$\sigma_1 = \frac{qD}{2t} = \frac{2 \cdot 50}{2 \cdot t} = \frac{50}{t} \text{ МПа}$$

Ташкил этувчи бўйлаб йўналган кучланиш ички босим ва қисувчи куч ҳосил қилган кучланишларнинг алгебраик йиғиндисидан иборат бўлади:



$$\sigma_3 = \frac{qD}{4t} - \frac{R}{\pi D \cdot t} = \frac{2 \cdot 50}{4t} - \frac{75000}{3,14 \cdot 50 \cdot t} = -\frac{22,8}{t} \text{ МПа.}$$

Цилиндрик сиртга перпендикуляр йўналган оралиқ асосий кучланишни  $\sigma_2=0$  деб олиш мумкин. Шундай қилиб, биз ясси кучланган ҳолатга эга бўламиз. Бу ҳолда IV назария бўйича мустаҳкамлик шарти қуйидаги кўринишни олади:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2} - \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma].$$

Бу тенгламага илгари олинган  $\sigma_1$  ва  $\sigma_3$  ифодаларни ва  $[\sigma]$  қийматни қўйсак,

$$\sqrt{\left(\frac{50}{t}\right)^2 + \left(-\frac{22,8}{t}\right)^2} - \left(-\frac{50,0}{t} - \frac{22,8}{t}\right) \leq 80,0$$

Бу тенгсизликдан  $t \geq 0,805$  см келиб чиқади.  $t=8$  мм деб қабул қиламиз.

Агар III мустаҳкамлик назарияси қўлланилганда эди мустаҳкамлик шарти қуйидаги кўринишни оларди:

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

Бизнинг ҳолда

$$\frac{50}{t} + \frac{22,8}{t} \leq 80.$$

бундан

$$t \geq 0,973 \text{ см} \approx 10 \text{ мм} \approx 1 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

IV мустаҳкамлик назариясини қўллаш натижасида конструкция енгиллашади.

2.36. Иш босими 10 ат таъсирида бўлган диаметри 250 см ли пулат қозон деворининг мустаҳкамлигини текшириш. Деворнинг қалинлиги 12 мм, унинг учун рухсат этиладиган кучланиш 90 МПа га тенг. IV мустаҳкамлик назариясини қўлланг.

Жавоб:  $\sigma_{IV} = 90$  МПа

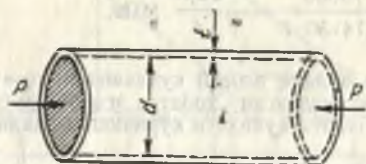
2.37. Қозон цилиндрлик қисмининг диаметри 200 см, у иш босими 16 ат таъсирида турибди. III мустаҳкамлик назариясига асосланиб, рухсат этиладиган кучланиш 100 МПа учун қозон деворининг қалинлиги  $t$  ни танланг. Агар IV мустаҳкамлик назарияси қўлланилганда эди қозоннинг девори қандай қалинликда бўлиши керак бўлар эди?

Жавоб: III мустаҳкамлик назарияси бўйича  $t=16 \cdot 10^{-3}$  м, IV мустаҳкамлик назарияси бўйича  $t=14$  мм  $=14 \cdot 10^{-3}$  м.

2.38. Кислород баллонлари ташқи диаметри 25 см ва деворининг қалинлиги 10 мм ли пулат цилиндрлик идишлардан иборат. Агар баллондаги иш босими 30 ат га етса, баллон деворининг мустаҳкамлик запаси қанча бўлади? Мустаҳкамлик чегараси 510 МПа га тенг деб қабул қилинган. IV мустаҳкамлик назариясини қўлланг.

Жавоб: 15.

2.39. Диаметри  $d=50$  мм ли, думалоқ кўндаланг кесимли пулат стержень деворининг қалинлиги  $t=1$  мм ли титан қотишмасидан қилинган найсимон филоф ичига олинган (расмга қаранг). Стерженьни  $P=240$  кН кучлар қисиб турибди. Стержень



2.39- масалага оид

ва найдаги асосий кучланишларни аниқланг. Стержень билан най орасидаги ишқаланишни ҳисобга олманг. Титанининг эластиклик модулини  $E = 1,2 \cdot 10^5$  МПа деб қабул қилинг.

*Ечи ми.* Стерженьнинг цилиндрик юзасидан ҳаёлан элсментар кубчани қирқиб оламиз. Кубчанинг қирралари бирга тенг. Унинг икки қирраси стерженнинг кўн-

даланг кесимига параллел, икки қирраси эса стерженнинг цилиндрик юзасига параллел. Кўндаланг кесимга параллел бўлган қирралар бўйича кучланишлар қисувчи ва абсолют қиймат бўйича энга катта ҳисобланади. Уларни  $\sigma_3$  билан белгилаймиз. Улар қуйидагига тенг.

$$\sigma_3 = -\frac{P}{F_n} = -\frac{4P}{\pi d^2} = -\frac{4 \cdot 20000}{3,14 \cdot 5^2} = -121,8 \text{ МПа}$$

Стержень бўйлама йўналишда қисилганда кўндаланг йўналишда кенгайди ва найсимон ғилофни чўзади, натижада унда интенсивлиги  $q$  бўлган ички босим ҳосил қилади. Ўз навбатида най ҳам стерженга ўшандек интенсивликдаги ёнлама қисувчи босим билан таъсир қилади. Шундай қилиб, бизнинг элсментар кубчадаги иккинчи асосий кучланиш қуйидагига тенг бўлади:

$$\sigma_2 = -q.$$

Ниҳоят, тангенциал ва радиал йўналишларда нисбий деформациялар бир хил бўлганлиги туфайли (доира периметри ҳар доим худди диаметридаги нисбий деформацияга эга бўлади) кубчадаги охириги асосий кучланиш ҳам —  $q$ :

$$\sigma_1 = \sigma_2 = -q.$$

Найсимон ғилоф юпқа деворли цилиндрдан иборат. Ички босим  $q$  бўлганда цилиндр ясовчисига перпендикуляр равишда чўзувчи кучланишлар қуйидагига тенг

$$\sigma_0 = \frac{qd}{2l},$$

бундан

$$q = \frac{2l\sigma_0}{d}.$$

Ясовчига параллел кучланишлар найчада бўлмайди, чунки бу йўналишда юкланиш йўқ (стержень билан найча орасидаги ишқаланиш кучини нолга тенг деб қабул қилинган):

Маълумки, юпқа деворли стерженларда учинчи йўналишдаги (найча сиртига перпендикуляр) кучланишлар нолга тенг деб олинади. Шундай қилиб, найчани чизикли кучланган ҳолатда деб қабул қилиш мумкин.

Кучланишлар  $\sigma_0$  қийматини аниқлаш учун деформацияларни куриб чиқишга мурожаат қиламиз. Деформация бир жинсли бўлганда пулат стержень диаметридаги нисбий деформация стержендан қирқиб олинган кубчанинг ўша йўналишдаги нисбий деформацияси билан бир хил.

$$\epsilon_n = \epsilon_2 = \frac{1}{E_n} [\sigma_2 - \mu_n (\sigma_1 + \sigma_3)] = \frac{1}{E_n} [-q - \mu_n (-q + \sigma_3)].$$



Титан найча диаметрининг нисбий деформацияси ўз навбатида унинг параметридаги нисбий деформация билан бир хил бўлиб,  $\epsilon_r = \frac{\sigma_n}{E_r}$ ;  $\epsilon_n = \epsilon_r$  га тенг. Бу тенгликка деформациялар қийматини қўямиз.

$$\frac{1}{E_n} [-q - \mu_n (-q + \sigma_3)] = \frac{\sigma_0}{E_r}$$

ҳамда  $q$  нинг ўрнига унинг ифодасини  $\sigma_0$  орқали алмаштирамиз:

$$\frac{1}{E_n} \left[ -\frac{2\epsilon\sigma_0}{d} - \mu_n \left( -\frac{2\epsilon\sigma_0}{d} + \sigma_3 \right) \right] = \frac{\sigma_0}{E_r}$$

Бу тенгламани  $\sigma_0$  га нисбатан ечиб ва ҳамма миқдорларнинг сонли қийматларини ўрнига қўйиб кучланиш  $\sigma_0$  нинг қийматини топамиз.

$$\sigma_0 = \frac{-\mu_n \sigma_3}{2 \frac{\epsilon}{d} (1 - \mu_n) + \frac{E_n}{E_r}} = \frac{0,3 \cdot 121,8}{2 \frac{0,1}{6} (1 - 0,3) + \frac{2 \cdot 10^5}{1,2 \cdot 10^5}} = 21,5 \text{ МПа.}$$

Пўлат стержендаги биринчи ва иккинчи асосий кучланишлар қуйидагига тенг бўлади:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = -q = -\frac{2\epsilon\sigma_0}{d} = -\frac{2 \cdot 0,1 \cdot 21,5}{5} = -0,86 \text{ МПа}$$

**2.40.** Деворининг қалинлиги 1 мм бўлган диаметри 30 см ли пўлат найча бетонга тўлдирилган. Найчадаги бетон ўз ўқи йўналишида 600 кН куч билан сиқилган. Бетондаги асосий кучланишларни ва найча деворидаги чўзувчи кучланишни топинг. Бетоннинг эластиклик модули  $0,14 \cdot 10^5$  МПа, унинг кўндаланг деформация коэффиценти 0,18. Найча деворларининг қалинлиги катта ва унинг деформацияларининг ҳисобга олмаслик мумкин деб олинган ҳол учун ҳам шу масалани ечинг.

**Жавоб:** 1)  $\sigma_1 = \sigma_3 = -0,135$  МПа;  $\sigma_2 = -8,5$  МПа;  $\sigma_{тр} = 20,2$  МПа;

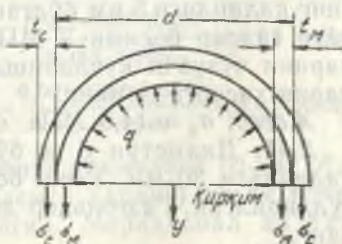
2)  $\sigma_1 = \sigma_2 = -1,86$  МПа,  $\sigma_3 = -8,5$  МПа.

**2.41.** Ички диаметри 50 мм ва ташқи диаметри 56 мм бўлган 50 мм узунликдаги пўлат найчага диаметри 50 мм бўлган ушанча узунликдаги алюминий цилиндр тиқилган. Цилиндр ўз ўқи бўйлаб 200 кН куч билан сиқилган. Алюминий цилиндрнинг қапча калталашинини аниқланг. Пўлат найчанин ички диаметри алюминий цилиндрнинг диаметридан 0,1% катта деб олинган ҳол учун ҳам шу миқдорни топинг. Алюминийнинг кўндаланг деформация коэффиценти 0,36 деб олинг.

**Жавоб:** 1)  $\Delta l = -0,066$  мм =  $-66 \cdot 10^{-6}$  м.

2)  $\Delta l = -0,071$  мм =  $-71 \cdot 10^{-6}$  м.

**2.42.** Ташқи диаметри  $d = 50$  см ва деворларининг қалинлиги  $t_m = 4$  мм бўлган ичи бўш мис цилиндрга деворларининг қалинлиги  $t_n = 2$  мм бўлган ичи бўш пўлат цилиндр тиқилган. Агар мис учун  $[\sigma_m] = 40$  МПа, пўлат учун



2.42- масалага оид

$[\sigma_n] = 160$  МПа бўлса, шу идишдаги рухсат этилган энг катта ички босимни аниқланг. Цилиндрлар ўқиға параллел кучланишларни ҳисобга олманг.

*Ечи м.* Иккала цилиндрининг диаметрлари ва периметрларидаги нисбий деформациялар бир хил.

$$\epsilon_n = \epsilon_m;$$

бу ҳолда

$$\frac{\sigma_n}{E_n} = \frac{\sigma_m}{E_m}$$

бундан

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_m} = \frac{E_n}{E_m} = \frac{2 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} = 2.$$

Идишни диаметрал бўйлама кесим билан (расмға қаранг) икки қисмға бўламиз ва бир қисмининг мувозанатлик шартини барча кучлар проекцияларининг қирқиш текислигига перпендикуляр ўқға проекциялари йиғиндиси кўринишида тузамиз:

$$2 \sigma_m t_m l + 2 \sigma_n t_n l - q l \cdot d = 0.$$

(мис цилиндрининг ташқи ва ички диаметрлари орасидаги фарқни ҳисобга олманг). Биз  $\sigma_n = 2 \sigma_m$  эканлигини ҳисобга оламиз

$$2 \sigma_m t_m l + 4 \sigma_m t_n l - q l \cdot d = 0,$$

бундан

$$q = \frac{2 \sigma_m (t_m + 2 t_n)}{d}.$$

Рухсат этиладиган босимни аниқлашда мис цилиндри кўзда тутиш лозим, чунки пулат цилиндрида босим таъсирида вужудга келадиган кучланиш  $[\sigma_n]$  рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma_n] \approx 160$  МПа га тенг бўлади, мис цилиндри

даги кучланиш  $\sigma_m$  ушбу  $\frac{[\sigma_n]}{2} = 80$  МПа га тенг бўлади. Бу эса мис учун рухсат этиладиган  $\sigma_m = 40$  МПа дан катта.  $\sigma_m = [\sigma_m]$  деб олсак, у ҳолда

$$q = \frac{2 [\sigma_m] (t_m + 2 t_n)}{d} = \frac{2 \cdot 40 (0,4 + 2 \cdot 0,2)}{50} = 1,28 \text{ МПа}.$$

2.43. Ички диаметри 100 мм ва деворининг қалинлиги 2 мм бўлган алюминий қотишмасидан тайёрланган цилиндр деворининг қалинлиги 5 мм бўлган чуян филоф ичига олинган. Цилиндрдаги газлар босими 3 МПа га тенг. Цилиндр ва филоф деворларини чузувчи кучланишларни аниқланг. Бўйлама кучланишларни ҳисобга олманг.

*Жавоб:*  $\sigma_a = 14,5$  МПа;  $\sigma_c = 24,8$  МПа.

2.44. Диаметри 5 м бўлган сферик газгольдер деворининг қалинлиги 30 мм. У иш босими  $6 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup> остидаги газ билан тўлдирилган. Газгольдер деворидаги чузувчи кучланишни аниқланг.

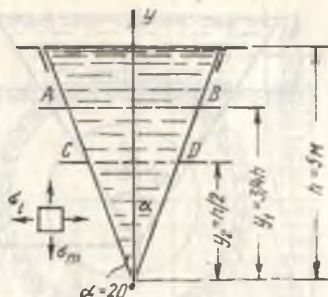
*Жавоб:*  $25 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>.



2.45. Қалинлиги 1 мм ли поли-  
этилен плёнкадан тайёрланган диа-  
метри 1 м ли ҳаво шари — зон-  
тинг юпқа сферик қобғи қандай  
максимал иш босимиға (ташқи бо-  
симдан ортиқча босимға) чидайди?  
Юқори босимли полиэтилен учун  
[ $\sigma$ ] = 5 МПа деб олинган.

Жавоб: 0,2 ат.

2.46. Деворининг қалинлиги  $t =$   
 $= 4$  мм бўлган конус идишнинг  
ҳавфли кесимидаги асосий кучла-  
нишларни аниқланг (расмға қар-  
анг). Идиш юқори томонидан осиб  
қўйилган ва сувга лиммо-лим тўлдирилган.



2.46- масалага оид

Ечи м. Маълумки, меридионал йўналишдаги кучланиш  $\sigma_m$  ва тенгенционал  
йўналишдаги кучланиш  $\sigma_t$  ни аниқлаш учун қуйидаги формулалар мавжуд.

$$\sigma_m = \frac{\gamma \operatorname{tg} \alpha}{2 t \cos \alpha} \left( n - \frac{2}{3} y \right) y \text{ ва } \sigma_t = \frac{\gamma \operatorname{tg} \alpha}{t \cos \alpha} (h - y) y.$$

бунда  $\gamma$  суюқликнинг ҳажмий оғирлиги,  $y$  — конус чўққисидан кучланиш аниқ-  
ланадиган кесимгача бўлган масофа.

Ана шу  $y$  масофага қараб шу кучланишларнинг максимумини топамиз. Бу-  
нинг учун  $y$  бўйича  $\sigma_m$  ва  $\sigma_t$  лар учун ҳосилаларни нулга тенглаймиз:

$$\frac{d\sigma_m}{dy} = \frac{\gamma \operatorname{tg} \alpha}{2 t \cos \alpha} \left( h - \frac{4}{3} y \right) = 0,$$

бундан  $y_1 = \frac{3}{4} h$  (AB) кесимда) ва

$$\frac{d\sigma_t}{dy} = \frac{\gamma \operatorname{tg} \alpha}{t \cos \alpha} (h - 2y) = 0,$$

бундан  $y_2 = \frac{h}{2}$  (CD кесимда).

Шундай қилиб, биз икки ҳавфли кесимга эга бўламиз.

AB кесимда

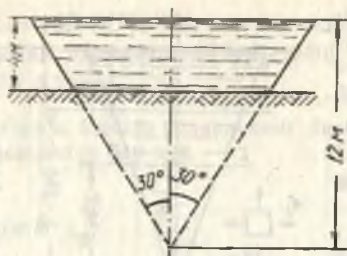
$$(\max) \sigma_m = \frac{\gamma \operatorname{tg} \alpha}{2 t \cos \alpha} \left( h - \frac{2}{3} \cdot \frac{3}{4} h \right) \frac{3}{4} h = \frac{3 \gamma h^2 \operatorname{tg} \alpha}{16 t \cos \alpha} = \frac{3 \cdot 0,001 \cdot 500^2 \cdot 0,364}{16 \cdot 0,4 \cdot 0,940} = 4,54 \text{ МПа};$$

CD кесимда

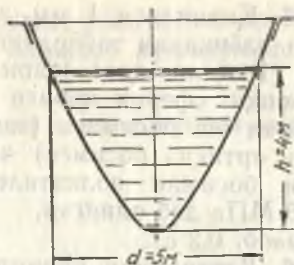
$$\sigma_m = \frac{\gamma \operatorname{tg} \alpha}{2 t \cos \alpha} \left( h - \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{2} \right) \frac{h}{2} = \frac{\gamma h^2 \operatorname{tg} \alpha}{6 t \cos \alpha} = \frac{0,001 \cdot 500^2 \cdot 0,364}{6 \cdot 0,4 \cdot 0,940} = 4,03 \text{ МПа}$$

$$\max \sigma_t = \frac{\gamma \operatorname{tg} \alpha}{t \cos \alpha} \left( h - \frac{h}{2} \right) \frac{h}{2} = \frac{\gamma h^2 \operatorname{tg} \alpha}{4 t \cos \alpha} = \frac{0,001 \cdot 500^2 \cdot 0,364}{4 \cdot 0,4 \cdot 0,940} = 6,05 \text{ МПа}.$$

2.47. Нефтни сақлаш учун деворининг қалинлиги 10 мм бўл-  
ган ва кичик асосига таянадиган (расмға қаранг) кесик конус  
қўринишидаги идишдан фойдаланилган. Меридионал ва тан-  
генционал йўналишлардан энг катта кучланишларни аниқланг.



2.47- масалага оид



2.48- масалага оид

Нефтнинг солиштира оғирлигини 0,95 га тенг деб қабул қилинг.

Жавоб:  $\sigma_m = -5,9$  МПа;  $\sigma_t = 20,3$  МПа

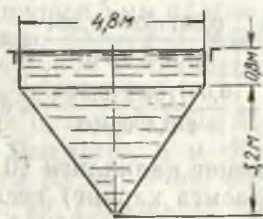
2.48. Деворининг қалинлиги 2 мм бўлган, юқори томонидан осиб қўйилган параболонд шаклдаги идишнинг (расмга қаранг) мустаҳкамлигини III назария бўйича текширинг. Идиш  $h$  сатҳгача суюқлик билан тўлдирилган. Суюқликнинг солиштира оғирлиги 1,1. Девор материали учун рухсат этиладиган кучланиш 20 МПа га тенг. Идишнинг мустаҳкамлигини суюқликнинг юқори сатҳ баландлигида текширинг.

Жавоб  $\sigma_{III} = 15,8$  МПа  $< [\sigma] = 20$  МПа.

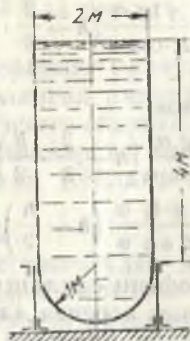
2.49. Бензин сақланадиган идиш шакли айланиш жисмидан иборат бўлиб, ўлчамлари расмда келтирилган. У юқори томонидан осиб қўйилган ва бензинга лиқ-лиқ тўлдирилган. Бензиннинг солиштира оғирлиги 0,7, идиш деворининг қалинлиги 5 мм. Идишнинг цилиндрик конус қисмлари туташган жойдаги деворининг мустаҳкамлиги махсус ҳалқа белбоғ билан таъминланган. Идиш деворидаги меридионал ва тангенциал йўналишлардаги энг катта нормал кучланишларни аниқланг.

Жавоб: тах  $\sigma_m = 3,95$  МПа;  $\sigma_t = 5,25$  МПа

2.50. Туби ярим сферик шалдаги вертикал цилиндрик идиш сувга лиммо-лим тўлдирилган (расмга қаранг). Ён



2.49- масалага оид



2.50- масалага оид

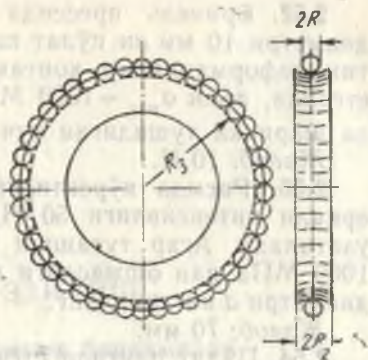


деворлари ва тубининг қалинлиги 2 мм. Идишнинг цилиндр ва сферик қисмларидаги энг катта нормал кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $\max \sigma_{\text{цил}} = 20 \text{ МПа}$ ;  
 $\max \sigma_{\text{сфер}} = 12,5 \text{ МПа}$ .

## 8-§. Контакт кучланишлар

2.51. Схемаси расмда курсатилган пулат шарикли подшипникдаги ҳисобий кучланишларни IV мустаҳкамлик назарияси бўйича аниқланг. Шарикнинг радиуси  $R_1 = 2,5 \text{ мм}$ , новнинг радиуси  $R_2 = 3 \text{ мм}$ , ҳалқанинг радиуси  $R_3 = 30 \text{ мм}$ . Подшипникнинг энг кўп куч туғадиган шаригидаги босим  $P = 400 \text{ Н}$ .



2.51-масаллага онд

Ечим. Зарур ҳисоблаш формулалари, графиклар ва жадваллар Н. М. Белявнинг «Материаллар қаршилиги» курси дарслиги IX боб да келтирилган. Бундан кейин ўшаларга илова қилинади.

Уриниш эллипс тенгламасини коэффициентларини топамиз:

$$A = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2,5} - \frac{1}{3} \right) = 0,035,$$

$$B = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2,5} + \frac{1}{30} \right) = 0,2165.$$

Шунда  $A$  нинг  $B$  га нисбати қуйдагича бўлади:

$$\frac{A}{B} = \frac{0,035}{0,2165} = 0,1615.$$

Шу нисбат бўйича курснинг 10- жадвалидан  $\alpha$  ни топамиз.

$$\alpha = 0,772.$$

Энг катта нормал кучланишни ҳисоблаймиз

$$\sigma_{\max} = \alpha \sqrt[3]{\frac{PE^2(R_2 - R_1)^2}{(R_1 R_2)^2}} = 0,772 \sqrt[3]{\frac{400(2 \cdot 10^8)^2(3 - 2,5)^2}{(2,5 \cdot 3)^2}} = 3210 \text{ МПа}.$$

Материал ичидаги хавфли нуқтада ҳисобий кучланиш ушбуга тенг  $\sigma_{IV} = 0,6 \sigma_{\max} = 0,6 \cdot 3210 = 1930 \text{ МПа}$ . Курсдаги 92- расмдаги графикдан  $\frac{A}{B} = 0,615$  нисбатлар қиймати бўйича коэффициентлар  $n$  ни топамиз:

$$n_1 = 0,23 \text{ ва } n_2 = 0,24.$$

Шунда уриниш эллипс марказидаги ҳисобий кучланиш қуйдагига тенг бўлади:

$$\sigma_{IV} = n_1 \sigma_{\max} = 0,23 \cdot 3210 = 740 \text{ МПа}.$$

Уша эллипснинг катта ярим ўқи учиди ҳисобий кучланиш эса қуйдагига тенг бўлади:

$$\sigma_{IV} = n_2 \sigma_{\max} = 0,24 \cdot 3210 = 770 \text{ МПа}.$$

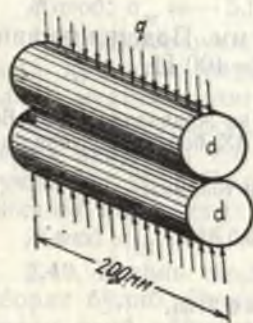
2.52. Бринель прессида синалаётган ясси пўлат деталга диаметри 10 мм ли пўлат шарикни ботирганда деталдаги пластик деформациялар контакт кучланиш энг катта қийматга етганда, яъни  $\sigma_{\max} = 1000$  МПа бўлганда бошланади. Шу пайтда шарикка тушадиган куч қийматини аниқланг.

Жавоб: 10 Н.

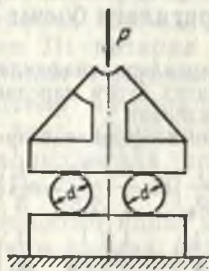
2.53. Расмда кўрсатилган иккита бир хил пўлат цилиндр орқали интенсивлиги 50 Н/м бўлган текис тақсимланган куч узатилади. Агар туташиш сирти бўйича энг катта кучланиш 1000 МПа дан ошмаслиги лозим бўлса, цилиндрларнинг зарур диаметри  $d$  ни аниқланг.

Жавоб: 70 мм.

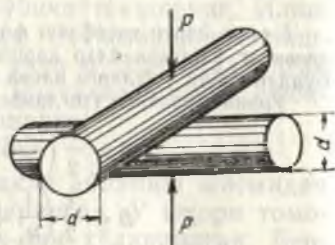
2.54. Пўлат плитада ётган, диаметри  $d = 100$  мм ва узунлиги  $l = 900$  мм бўлган иккита пўлат цилиндрлик катокли куприкси-



2.53- масалага оид



2.54- масалага оид



2.55- масалага оид

мон ферманинг шарнирли-қўзғалувчан таянчига тушаётган энг катта рухсат этиладиган босим  $P$  ни аниқланг (расмга қаранг). Котокларнинг таянч сиртларидаги энг катта рухсат этиладиган кучланиш 1100 МПа га тенг.

Жавоб: 3110 кН.

2.55. Расмда кўрсатилганидек  $P = 10$  кН куч билан юкланган бир хил диаметрли пўлат цилиндрлар бир-бирига тўғри бурчак остида тегиб турибди. Цилиндрларнинг зарур минимал диаметрини аниқланг. Туташиш сиртидаги энг катта рухсат этиладиган кучланиш қиймати 1200 МПа га тенг.

Жавоб: 232 мм.

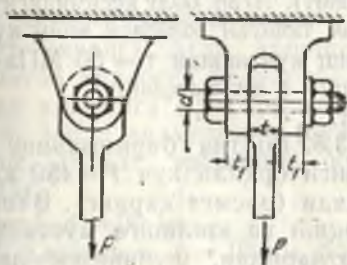


## СИЛЖИШ ВА ЭЗИЛИШ

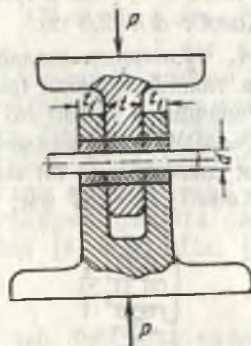
## 9-§. Болтли ва парчинмихли бирикмалар

3.1. Пўлатни қирқиш ва эзилишга мустаҳкамлиги шартларидан келиб чиқиб, расмда тасвирланган болтли бирикма тортқисига қўйиш мумкин бўлган рухсат этиладиган юк  $P$  қийматини аниқланг. Рухсат этиладиган кучланишлар: кесишишга  $[\tau] = 80$  МПа ва эзилишга  $[\sigma] = 240$  МПа. Бирикма элементларининг ўлчамлари:  $d = 50$  мм;  $t = 90$  мм;  $t_1 = 12$  мм.

Жавоб:  $P = 240$  кН.



3.1- масалага оид



3.2- масалага оид

3.2. Думалоқ стерженларни қирқишга синаш учун пресслардан бирининг қўзгалувчан ва қўзгалмас траверсалари орасига жойлаштириладиган мослама ишлатилади (расмга қаранг). Агар қирқишда синаладиган пўлатнинг вақтинчалик қаршилиги  $\tau_v = 300$  МН/м<sup>2</sup> бўлса, кучи 600 кН бўлган прессда қирқилиши мумкин бўлган пўлат стерженнинг энг катта диаметрини аниқланг. Бундай стерженни синашда зўғоталарнинг қўйма втулкаларида қандай эзиш кучланишлари вужудга келишини аниқланг. Зўғоталарнинг қалинлиги  $t = 0,03$  м,  $t_1 = 0,02$  м.

Ечи м. Стержень икки кесими бўйича қирқилади. Диаметри  $d$  бўлган стер-  
женни қирқиш учун зарур куч  $P = 2 \frac{\pi d^2}{4} \tau_b$ , бундан диаметр  $d = \sqrt{\frac{2P}{\pi \tau_b}}$ .

Пресснинг кучи тонналарда берилганлиги учун СИ системасига ўтказиб,  
қўйидагини ҳосил қиламиз:

$$P = 60 \text{ Т} \approx 60 \cdot 9807 \text{ Н} \approx 0,59 \text{ МН}.$$

Демак,

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,59}{3,14 \cdot 300}} \approx 0,036 \text{ м}.$$

Зўғоталарнинг жуда мустаҳкам қўйма втулкаларида вужудга келадиган эзиш куч-  
лаиши  $\sigma_c = \frac{P}{td} = \frac{0,59}{0,03 : 0,036} \approx 0,546 \text{ МН/м}^2$ .

Болт материалида ҳам худди шундай кучланиш вужудга келади. СИ бир-  
ликлар системасида жавоб қўйидагича бўлади.

$$d = 3,6 \text{ см}; \quad \sigma_s \approx 556 \text{ МПа}.$$

3.3. Куч  $P = 120 \text{ кН}$  билан юкланган тирсакли ричагни  $A$  нуқ-  
тада шарнирли пўлат болт ва  $B$  нуқтада роликли таянч тутиб туради.  
Пўлат учун рухсат этиладиган қирқиш ва эзиш кучланишлари  $[\tau] =$   
 $= 120 \text{ МПа}$  ва  $[\sigma_s] = 250 \text{ МПа}$  бўлса, болтнинг зарур диаметрини  
аниқланг. Ричаг таянчлари орасидаги масофа  $l = 75 \text{ см}$ , ўлчам  $a =$   
 $= 50 \text{ см}$ , қалинлик  $t = 3 \text{ см}$ .

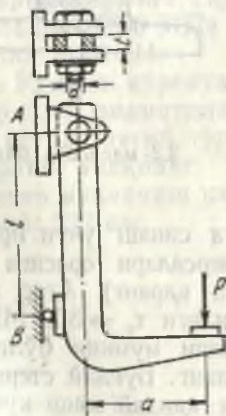
Кўрсатма. Болтга тушадиган босимни ричагнинг мувозанатлик шартидан  
келиб чиқиб  $A$  нуқтадаги тўлиқ реакция сифатида аниқланг.

Жавоб:  $d = 2,8 \text{ см}$ .

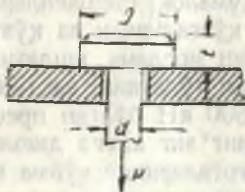
3.4. Чўзилишга ишлайдиган  $d = 100 \text{ мм}$  диаметрли болт каллагини  
листга таяниб турибди (расмга қаранг). Агар болт кесимидаги чўзув-  
чи кучланиш  $\sigma = 100 \text{ МПа}$ , каллак таянган юзадаги эзиш кучлани-  
ши  $\sigma_s = 40 \text{ МПа}$  ва каллакни қирқиш кучланиши  $\tau = 50 \text{ МПа}$  бўлса,  
каллак диаметри  $D$  ни ва баландлиги  $t$  ни аниқланг.

Жавоб:  $D = 187 \text{ мм}$ ;  $t = 50 \text{ мм}$ .

3.5. Болтли бирикманинг пўлат  
валиги орқали куч  $P = 480 \text{ кН}$  уза-  
тилади (расмга қаранг). Валикнинг  
қирқиш ва эзилишга мустаҳкамлик  
шартларидан, шунингдек листлар-  
нинг чўзилишга мустаҳкамлик шар-  
тидан келиб чиқиб валикнинг зарур

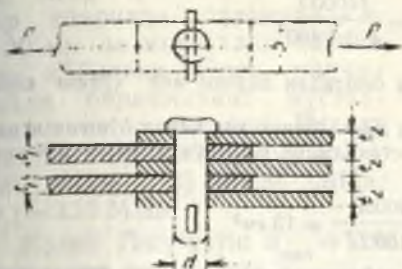


3.4- масалага онд

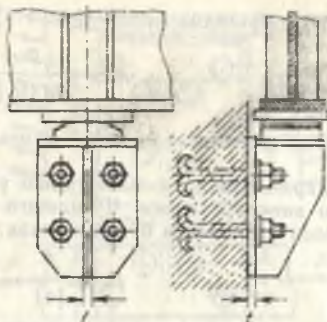


3.3- масалага онд





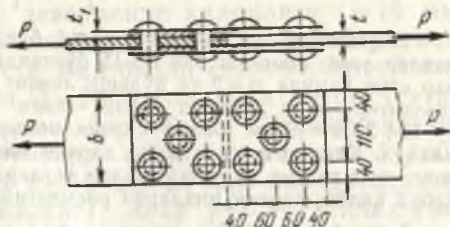
3.5- масалага оид



3.6- масалага оид

диаметрини ва листлар кесимининг улчамлари ( $b$ ,  $t_1$  ва  $t_2$ ) ни аниқданг. Пулат учун рухсат этиладиган кучланишлар: чўзилишга  $[\sigma] = 160$  МПа; қириқилишга  $[\tau] = 95$  МПа ва эзилишга  $[\sigma_s] = 250$  МПа.

Жавоб:  $d = 40$  мм;  $b = 102,5$  мм;  $t_1 = 24$  мм;  $t_2 = 16$  мм.



3.7- масалага оид

3.6. Қалинлиги  $t = 16$  мм бўлган листлардан қилинган кронштейн деворга тўртта анкер болтлар билан маҳкамланган (расмга қаранг). Агар кронштейн унга босим  $P = 230$  кН ни узатадиган краности балкасини тутиб турса, болтларнинг қирқиш ва эзилишга мустақамлик шартидан келиб чиқиб болтларнинг зарур диаметрини (бўйлама кучларни ҳисобга олмай) аниқланг. Рухсат этиладиган кучланишлар  $[\tau] = 80$  МПа,  $[\sigma_s] = 240$  МПа.

Жавоб:  $d = 30$  мм.

3.7. Қалинлиги  $t = 10$  мм бўлган ва ҳар бирининг қалинлиги  $t_1 = 6$  мм ли икки устқўйма билан ёпилган икки листнинг туташган жойи  $P = 240$  кН куч билан чўзилади (расмга қаранг). Агар рухсат этиладиган кучланишлар: парчин михлар учун — қирқишга  $[\tau] = 100$  МПа, эзишга  $[\sigma_s] = 240$  МПа ва листларни чўзишга  $[\sigma] = 160$  МПа бўлса, диаметри  $d = 20$  мм ли парчин михлар сонини аниқланг ва уларни планда жойлаштиринг.

Еч и м. Парчин михлар икки қирқимли. Қирқишга мустақамлик шартидан келиб чиқиб, уларнинг зарур сони

$$n \geq \frac{P}{2 \frac{\pi d^2}{4} [\tau]} = \frac{2 \cdot 240000}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 1000} \approx 4.$$

Эзилишга мустаҳкамлик шартига кўра қуйидагича бўлиши талаб қилинади:

$$n \geq \frac{P}{td[\sigma_3]} = \frac{240000}{1 \cdot 2 \cdot 2400} = 5.$$

Туташган жойнинг ҳар қайси томонига бештадан парчин мих қўйиш керак экан.

Уларни планда жойлаштириш учун листларнинг эни қанча бўлиши кераклигини аниқлаш лозим. Чўзилишга мустаҳкамлик шартига кўра лист кесими нн юзаси қуйидагича бўлиши керак:

$$F_n \geq \frac{P}{[\sigma]} = \frac{240000}{16000} = 15 \text{ см}^2$$

Листнинг иш кенглиги (парчин мих ўтадиган тешикларнинг кучсизлантиришини чиқариб ташлаганда) қуйидагича бўлиши керак:

$$b_n = \frac{F_n}{t} = \frac{15}{1} = 15 \text{ см.}$$

Листнинг тўлиқ эни  $b = b_n + md$ , бунда  $m$  — кўндаланг кесимдаги парчин михлар сони; листнинг эни  $b \geq 15$  бўлганда, кўндаланг қатордаги парчин михлар сони камида  $m = 2$  та бўлиши лозим; шунда кесимни иккита тешик кучсизлантиради ва листнинг тўлиқ энини қуйидагича олиш керак бўлади:  $b = 15 + 2 \times 2 = 19$  см. Бешта парчин михни шахмат тартибида жойлаштирган маъқул. Қадами  $a = 3b$  ҳамда парчин михлар тешиклари ўқларидан листларнинг четларигача ва устқўймалар четларигача бўлган масофани  $c = 2d$  деб қабул қилиб, парчин михларни расмдагидек қилиб жойлаштирамиз.

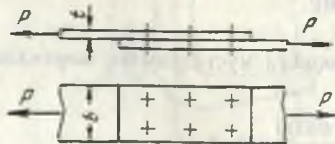
3.8. Агар 3.7. масаладаги маълумотларни ўзгартирмай олинса, ўшта икки лист туташган жойда диаметри  $d = 20$  мм ли парчин михнинг сони қанча бўлиши керак? Лекин бунда икки лист туташган жой иккита устқўйма билан эмас, балки қалинлиги  $t = 12$  мм ли битта устқўйма билан ёпилган. Барча михларни планда жойлаштиринг.

**Жавоб:** Туташувнинг ҳар қайси томонида 8 тадан парчин мих бўлиши керак.

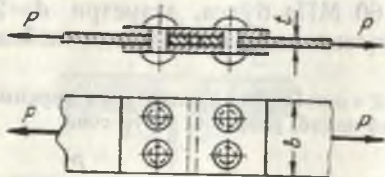
3.9. Қалинлиги  $t = 10$  мм бўлган икки лист диаметри  $d = 20$  мм ли олтита парчин мих билан устма-уст бириктирилган (расмга қаранг). Агар рухсат этиладиган кучланишлар: чўзилишга  $[\sigma] = 160$  МПа, қирқишга  $[\tau] = 120$  МПа ва эзилишга  $[\sigma_3] = 320$  МПа бўлса, рухсат этиладиган чўзувчи кучлар  $P$  ни ва листнинг зарур эни  $b$  ни аниқланг.

**Жавоб:**  $P = 226$  кН,  $b = 180$  мм.

3.10. Қалинлиги  $t = 6$  мм ли икки устқўйма билан ёпилган кесими  $10 \times 150$  мм бўлган икки листнинг туташган жойи



3.9- масалага онд

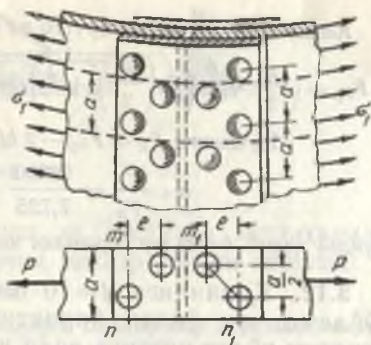


3.10- масалага онд



$P = 125$  кН куч билан чўзилади. Агар туташув жойининг ҳар томонида диаметри  $d = 20$  мм ли иккитадан парчин мих қўйилган бўлса, парчин михли бирикманинг мустаҳкамлигини текширинг. Рухсат этилган кучланишлар:  $[\sigma] = 160$  МПа,  $[\tau] = 100$  МПа,  $[\sigma_3] = 320$  МПа.

Жавоб: Лист учун:  $\sigma_{\max} = 114$  МПа  $< 160$  МПа. Парчин михлар учун:  $\tau = 99,6$  МПа  $< 100$  МПа,  $\sigma_3 = 312$  МПа  $< 320$  МПа.



3.11- масалага оид

3.11. Диаметри  $D = 1,5$  м, деворининг қалинлиги  $t = 10$  мм бўлган цилиндрик пўлат қозоннинг бўйлама чоки ҳар бирининг қалинлиги  $t = 6$  мм ли икки устқўйма билан ёпилган. Устқўймалар қозон деворига диаметри  $d = 20$  мм ли икки қатор (туташувнинг икки томонида) парчин мих билан бириктирилган. Парчин михлар шахмат тартибида жойлаштирилган бўлиб, икки қатор орасидаги масофа  $e = 45$  мм ва ҳар бир қатордаги қадам  $a = 100$  мм (расмга қаранг). Агар рухсат этиладиган кучланишлар: пўлат учун чўзилишга  $[\sigma] = 120$  МПа, қирқишга  $[\tau] = 80$  МПа, эзилишга  $[\sigma_3] = 240$  МПа, учма-уч бириктирилган жойининг мустаҳкамлигини текширинг (қозон ичидаги бугнинг босими  $q = 12$  ат).

Ечим: Ясовчига перпендикуляр йўналган қозон деворидаги нормал кучланишлар  $\sigma_2 = \frac{qD}{2t}$  туташув жойини чўзадиган кучга айланади. Эни  $a = 10$  см бўлган полосани унда икки парчин мих жойлашадиган қилиб кесиб олиб, шу полосани чўзадиган кучлар қийматини ва икки қирқимли иккита шарчин мих қабул қиладиган кучлар қийматини топамиз:

$$P = \sigma_1 \cdot F = \frac{qD}{2t} \cdot dt = \frac{120 \cdot 150}{2} \cdot 10 = 90000 \text{ Н.}$$

Парчин михларнинг қирқиш ва эзилишга мустаҳкамлигини текшириш натижа-сида қуйидагилар ҳосил бўлади:

$$\tau = \frac{2P}{\pi d^2 \cdot n} = \frac{2 \cdot 90000}{3,14 \cdot 2^2 \cdot 2} = 71,5 \text{ МПа} < 80 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_3 = \frac{P}{tdn} = \frac{90000}{1 \cdot 2 \cdot 2} = 225 \text{ МПа} < 240 \text{ МПа.}$$

Қозон деворини  $m - n$  кесим бўйича (битта парчин мих тешиги кучсизлантирган) чўзилишга мустаҳкамлигини ҳамда иккита тешик кучсизлантирган  $m_1 - n_1$  илонизисмон шартли кесим бўйича мустаҳкамлигини ҳам текшира-миз.

Кесим  $m - n$ . Кесим нетто юзаси:  $F_n = (a - d) \cdot t = (10 - 2) \cdot 1 = 8 \text{ см}^2$ . Кучланиш  $\sigma = \frac{P}{F_n} = \frac{90000}{8} = 11250 \text{ Н/см}^2 = 112,5 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа.}$

Кесим  $m_1 - p_1$ . Кесим брутто ва нетто юзаси:

$$F_{6p} = \left( \frac{a}{2} + \sqrt{\left( \frac{a}{2} \right)^2 + c^2} \right) t = \left( \frac{10}{2} + \sqrt{5^2 + 4,5^2} \right) \cdot 1 = 11,725 \text{ см}^2,$$

$$\text{Кучланиш } F_{II} = F_{6p} - 2td = 11,725 - 2 \cdot 1 \cdot 2 = 7,725 \text{ см}^2.$$

$$\sigma = \frac{P}{F_{II}} = \frac{90000}{7,725} = 116,5 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа}.$$

Шундай қилиб, барча мустаҳкамлик шартларига риоя қилинди.

**3.12.** Қалинлиги  $t=10$  мм ли листлардан тайёрланган ва бўйлама чок билан бириктирилган, диаметри  $D=1$  м ли цилиндрлик пулат қозонга ички иш босими  $q=12$  ат таъсир қилади. Чокни устқўйма ёпиб туради. Устқўйма қозон деворига диаметри  $d=28$  мм бўлган ва туташув жойининг ҳар қайси томонига икки қатордан жойлаштирилган парчин михлар билан маҳкамланган (3.11-масаладаги расмга қаранг).

Агар ҳар бир қатордаги парчин михлар қадами  $a=100$  мм, қаторлар орасидаги масофа  $c=50$  мм бўлса, учма-уч бирикманинг мустаҳкамлигини текширинг. Рухсат этиладиган кучланишларни 3.11-масаладагидек қабул қилинг.

Жавоб:  $\sigma = 78 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа};$

$\tau = 72 \text{ МПа} < 80 \text{ МПа};$

$\sigma_s = 130 \text{ МПа} < 240 \text{ МПа}.$

**3.13.** Пулат стропила фермасининг ҳар бири иккита тенг ёшли бурчаклик  $80 \times 80 \times 8$  мм ли тираклари пастки белбоғга қалинлиги  $t=8$  мм ли косинка ёрдамида бириктирилади (расмга қаранг). Тираклардаги кучлар  $N_1=N_2=140$  кН га тенг.

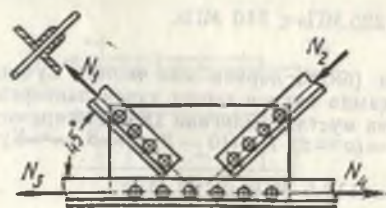
Агар рухсат этиладиган кучланишлар: қирқингга  $[\tau] = 100$  МПа ва эзилишга  $[\sigma_s] = 260$  МПа бўлса, ҳар қайси тиракни косинкага бириктириш учун мўлжалланган диаметри  $d=17$  мм ли зарур парчин михлар сонини аниқланг.

2) Агар тиракларнинг белбоғга қиялик бурчаги  $45^\circ$ , белбоғнинг кесими  $75 \times 75 \times 6$  мм ли икита бурчакликдан иборат бўлса, косинкани ферманинг пастки белбоғига бириктириш учун зарур парчинмихлар сонини ҳам аниқланг.

Жавоб:  $n_1=4; n_2=6.$

**3.14.** Икита бурчаклик  $80 \times 80 \times 8$  мм дан иборат стропила фермасининг пастки белбоғидаги туташув жойи худди шундай бурчаклардан қилинган иккита устқўйма ва қалинлиги 8 мм

ли косинка билан ёпилган. Улар диаметри  $d=20$  мм ли парчин михлар ёрдамида бириктирилган (расмга қаранг). Белбоғ кучсизлантирилган кесимда нормал кучланишлар  $\sigma_{\max} = 140$  МПа ни вужудга келтирадиган кучлар таъсирида ҳузилади. Агар рухсат этиладиган кучланишлар  $[\tau] = 100$



3.13- масалага онд





3.14- масалага онд

МПа,  $[\sigma_s] = 240$  МПа бўлса, қирқиш ва эзилишга мустаҳкамлик шартларидан келиб чиқиб, зарур парчин михлар сонини аниқланг ва уларни туташув жойида жойлаштиринг.

*Қўрсатма.* Горизонтал токчалардаги парчин михлар бир қирқимли, вертикал токчалардаги тўрт қирқимли.

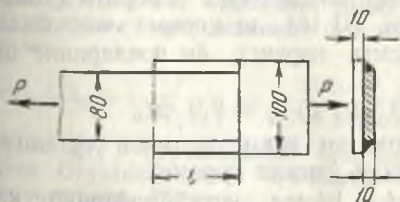
*Жавоб:*  $N = 300$  кН, туташув жойининг ҳар томонида тахминан 10 қирқиш юзаси ва 8 эзилиш юзаси бўлиши талаб қилинади. Бунга бешта парчинмих билан эришилади. Горизонтал токчаларда  $n_1 = 2$  (икки эзилиш юзаси), вертикал токчаларда  $n_2 = 3$  ( $2 \times 3 = 6$  эзилиш юзаси).

### 10- §. Пайванд бирикмалар

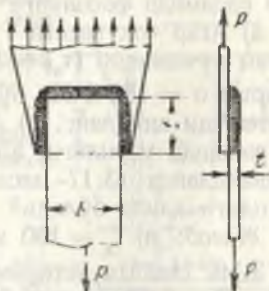
3.15. Кесими  $10 \times 80$  мм ва  $10 \times 100$  мм бўлган икки полосани устма-уст бириктириш учун мўлжалланган ён чокларнинг зарур узунлигини аниқланг (расмга қаранг). Полосаларни бўйлама кучлар чўзишга интилади. Рухсат этиладиган кучланишлар: полосаларни чўзишга  $[\sigma] = 160$  МПа, чокларни қирқишга  $[\tau_s] = 90$  МПа, ҳар бир чокнинг боши ва охирида 5 мм дан пайвандланмай қолган жой бўлиши мумкинлигини ҳисобга олинг ( $l = l_{\text{хис}} + 25$  мм).

*Жавоб:*  $l_x = 10,2$  см;  $l = 11,2$  см.

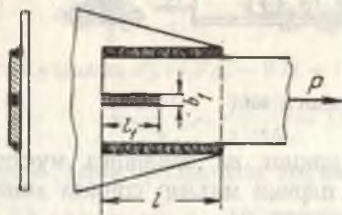
3.16. Кесимнинг ўлчамлари  $b = 0,1$  м, ва  $t = 0,01$  м бўлган ва  $P = 15 \cdot 10^4$  Н куч билан чўзилаётган пулат полоса бир олди ва икки ён томонидаги чоклар билан шаклдор листга устма-уст пайвандланади (расмга қаранг). Чокларнинг қирқимга рухсат этадиган кучланиши  $[\tau_s] = 9 \times 10^7$  Н/м<sup>2</sup> бўлса, полосани шаклдор листга маҳкамлаш учун зарур бўладиган ён чокларнинг энг кам узунлигини аниқланг.



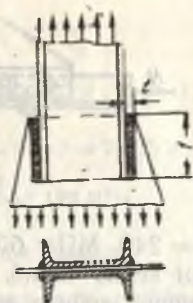
3.15- масалага онд



3.16- масалага онд



3.17- масалага оид



3.18- масалага оид

*Ечи м.* Олд чокларнинг мустаҳкамлиги қирқимга шартли равишда текширилади. Барча чоклар қабул қиладиган куч уларнинг иш кесими бўйича бир текис тақсимланади деб қабул қилинган. Демак,

$$\tau_s = \frac{P}{0,7t(b+2l_x)} \leq [\tau_s],$$

бундан ён чокларнинг узунлиги ҳисобланади

$$l_x \geq \frac{1}{2} \left( \frac{P}{0,7t[\tau_s]} - b \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{15 \cdot 10^4}{0,7 \cdot 0,01 \cdot 9 \cdot 10^7} - 0,1 \right) = 0,069 \text{ м.}$$

Чокнинг лойиҳадаги узунлигини (чокнинг фақат бир томонида пайвандланмай қолган жой бор деб ҳисоблаб) қуйидагича олиш керак:

**3.17.** Кесими  $0,01 \times 0,24$  м бўлган пўлат полоса ўлчамлари  $b = 0,02$  м ва  $l_1 = 0,1$  м бўлган иккита ён ва битта қирқма чок ёрдамида шаклдор листга устма-уст пайвандланади. Агар полоса  $P = 360$  кН куч билан чўзилса, чокнинг қирқимга рухсат этиладиган кучланиши  $[\tau_s] = 8 \times 10^4$  кН/м<sup>2</sup> бўлса, ён чокларнинг зарур узунлигини аниқланг. Чокларнинг кучсизланганлигини ҳисобга олманг.

*Жавоб:*  $l = 0,2$  м.

**3.18.** Иккита швеллер № 12 дан иборат ферма стойкаси ён чоклар ёрдамида фасонкага пайвандланади (расмга қаранг).

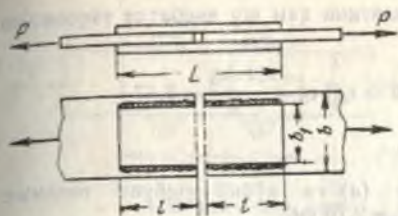
а) Агар чок катети  $t = 10$  мм, чокнинг қирқимга рухсат этиладиган кучланиши  $[\tau_s] = 100$  МПа, стойка кесимидаги нормал кучланишлар  $\sigma = 153$  МПа бўлса, чокларнинг зарур иш ва лойиҳа узунликларини аниқланг. б) Агар ҳар бир швеллернинг деворига қўшимча равишда узунлиги 85 мм ва эни 10 мм ли қирқма чок билан пайвандланса (3.17- масаладаги расмга қаранг), ён чокларнинг иш узунлиги қанча бўлади?

*Жавоб:* а)  $l_x = 150$  мм,  $l = 160$  мм; б)  $l_x = 8,9$  см.

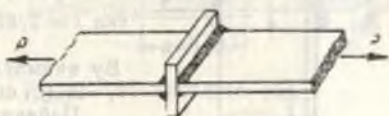
**3.19.** Иккита устқўйма билан ёпилган икки листнинг туташган жойи  $P = 240$  кН куч билан чўзилади (расмга қаранг).

а) Агар листларнинг қалинлиги  $t = 10$  мм, устқўймаларнинг қалинлиги  $t_1 = 8$  мм, чокларнинг қирқимга рухсат этиладиган кучланиши  $[\tau_s] = 100$  МПа бўлса, устқўймаларни бириктириш учун за-





3.19- масалага оид



3.20- масалага оид

рур ён чокларнинг узунлигини аниқланг. Ҳар бир чокнинг фақат бир учигади 5 мм узунликда пайвандланмай қолган жойни ҳисобга олинг. б) Пайвандлаб уланган жойи ўлчамларини (устқўйманинг эни ва узунлигини) парчинмихли бирикма ўлчамларига (3.7- масаладаги маълумотларга қаранг) солиштиринг. Парчин миҳли бирикма ўрнига пайванд бирикмадан фойдаланганда қанча металл тежалишини чамалаб кўринг.

Жавоб: а)  $l = 112$  мм; б) пайванд чок учун  $a = 150$  мм,  $b_1 = 130$  мм,  $L = 225$  мм, парчинмихли бирикма учун  $b_1 = 190$  мм ва  $L = 400$  мм). Фақат листларнинг асосий металини тежаш 21% ни ташкил қилади.

3.20. Кесими  $80 \times 8$  мм бўлган пўлат полосанинг пайвандлаб бириктирилган жойи қистирма ёрдамида крестсимон қилиб бириктирилган. Қистирма полосага расмда курсатилганидек тўртта олд чоклар билан пайвандланган. Агар чок катети  $t = 10$  мм, полоса кесимидаги чўзувчи кучланишлар  $\sigma = 150$  МПа бўлса, чоклар кесимидаги кучланишлар қийматини аниқланг. Чок учларидаги пайвандланмай қолган чоклар ҳисобига чокнинг кучсизланиб қолишини ҳисобга олинг.

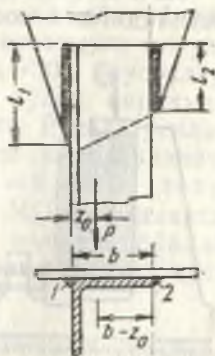
Жавоб:  $\tau_s = 90,5$  МПа.

3.21. Ўлчамлари  $110 \times 110 \times 8$  мм бўлган тенг ёнли бурчакликни шаклдор листга пайвандлаш учун зарур ён чоклар узунлигини аниқланг. Чокларнинг қирқимиға рухсат этиладиган кучланиши  $[\tau_s] = 100$ , МПа. Бурчаклик  $P = 200$  кН куч билан чўзилади, чокларнинг катетлари  $t = 8$  мм (расмга қаранг).

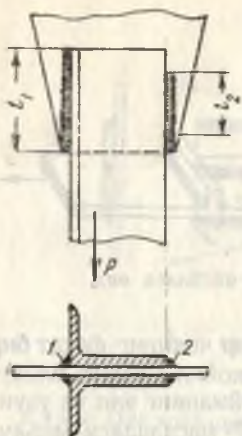
Ечи м. Иккала ёй чокларнинг умумий узунлиги уларнинг қирқимға мустақамлик шартидан аниқланишин мумкин:

$$l = l_1 + l_2 \geq \frac{P}{0,7 t [\tau_s]} = \frac{200 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 1000} = 35,8 \text{ см. (a)}$$

Чўзувчи куч  $P$  бурчакликнинг оғирлик марказига қўйилган. Оғирлик маркази бурчаклик четидан  $z_0 = 3$  см нарида туради.  $P$  кучнинг таъсир қизиги чап ва ўнг чоклардан ҳар хил масофада ўтганлиги учун уларнинг ҳар бирига тўғри келадиган куч улуши чокларгача бўлган масофаға тескари пропорционал:  $P_1 : P_2 = (b - z_0) : z_0$ .



3.21- масалага оид



3.23- масалага оид

Чокларнинг узунлигини ҳам шу нисбатда тақсимлаш керак:

$$l_1:l_2 = (b - z_0); z_0 = \frac{11-3}{3} = 2,67$$

ёки  $l = 2,67 l_2 \dots$

Бу қийматларни (а) га қўйиб ушбунни топамиз:  
 $l_1 = 26,05$  см ва  $l_2 = 9,75$  см.

Пайвандланмай қолган жойни ҳисобга олиб, лойи-  
 ҳа узунлигини  $l_1 = 27$  см ва  $l_2 = 11$  см деб оламиз.

3.22 Олдинги масала маълумотларидан фойдаланиб, ён чокларнинг ҳисобий узунлигини аниқланг. Бунда бурчаклик тоқчаси олд томонидан қўшимча чок билан пайвандланади. Шартли равишда олд чок  $b$  узунлик бўйича силжишга бир текис ишлайди деб қабул қилинган.

Жавоб:  $l_1 = 18,05$  см;  $l_2 = 6,75$  см.

3.23. Ўлчамлари  $125 \times 80 \times 12$  мм бўлган ҳар хил ёнли иккита бурчакликдан иборат пайванд ферма стержеи қалинлиги  $t = 12$  мм ли ён чоклар ёрдамида шаклдор листга маҳкамланган (расмга қаранг). Стержень кесимидаги чузувчи кучланишлар  $\sigma = 150$  МПа. Чокларнинг қирқимга рухсат этиладиган кучланишлари  $[\tau_3] = 110$  МПа.

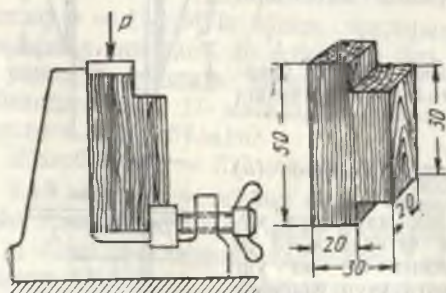
а) Чокларнинг зарур иш узунликлари  $l_1$  ва  $l_2$  ни аниқланг.

б) Барча ён чокларнинг узунликлари бир хил бўлиши учун бурчакликларнинг четларини бириктирадиган чоклар 1 нинг катетлари қалинлигини қандай ўзгартириш керак?

Жавоб: а)  $l_1 = 25,2$  см,  $l_2 = 12,8$  см,  $t = 2,36$  см.

## 11- §. Уйиқлар, шпонкалар ва конструкцияларнинг бошқа элементлари

3.24. Ёғочни силжишга синаш учун пресслардан бирига ўрнатиладиган мосламадан фойдаланилади (расмга қаранг).

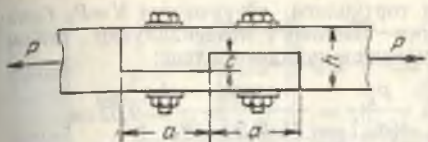


3.24- масалага оид

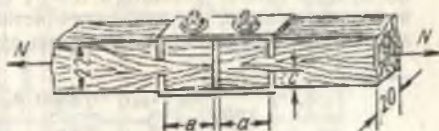
Агар намуналарнинг толалари бўйлаб синишга вақтинчалик қаршилиги 12 МПа га етиши мумкин бўлса, пресс қандай куч ҳосил қилиши лозим. Синаш пайтида вужудга келадиган энг катта эзилиш кучланишлари қийматини ҳам топинг (расмда намунанинг ўлчамлари мм да берилган).

Жавоб:  $P = 7200$  Н;  $\sigma_3 = 36$  МПа.

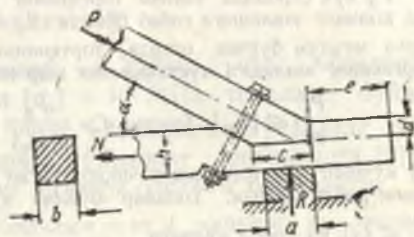




3.25- масалага оид



3.26- масалага оид



3.27- масалага оид

3.25. Ўлчамлари  $b = 0,12$  м ва  $h = 0,18$  м бўлган тўғри тўртбурчак кесимли иккита брус чўзилишга ишлайди ва узаро чуқурлиги  $c = \frac{h}{4}$  бўлган тўғри тиш билан бириктирилган (расмга қаранг). Агар рухсат этиладиган кучланишлар: чўзилишга  $[\sigma] = 10^7$  Н/м<sup>2</sup>, толалар бўйича синишга  $[\tau] = 1 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> ва толалар бўйича эзилишга  $[\sigma_y] = 8 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> бўлса, рухсат этиладиган чўзувчи куч  $P$  (ньютонларда) ни ва ўйиқлар ўлчамини аниқланг. Ўйиқни тортадиган болтлар ҳисобга олинмайди.

Жавоб:  $P = 4,32 \cdot 10^4$  Н;  $a \approx 0,36$  м.

3.26. Кесими  $20 \times 22$  см<sup>2</sup> бўлган бруслардан иборат ферма белбоғининг туташии жойи пўлат устқўймалар билан ёпилган. Устқўймаларнинг букилган токчалари бўлиб, брусларга ботиб туради (расмга қаранг). Агар толалар бўйлаб синишга рухсат этиладиган кучланишлар  $[\tau] = 1$  МПа, эзилишга рухсат этиладиган кучланишлар  $[\sigma_y] = 5$  МПа, белбоғдаги чўзувчи куч  $N = 50$  кН бўлса, устқўймалар токчасининг ботиш чуқурлиги  $c$  ва устқўйманинг зарур ўлчами  $a$  ни аниқланг. Тортувчи болтлар ҳисобга олинмайди.

Жавоб:  $a = 25$  см,  $c = 5$  см.

3.27. Тортқили стропила таянчи тортқига олд уйиқ ёрдамида бириктирилган (расмга қаранг). Агар тиргакдаги қисувчи куч  $P = 70$  кН, томнинг қиялик бурчаги  $\alpha = 30^\circ$ , брусоклар кесимининг ўлчамлари  $b = 15$  см ва  $h = 20$  см бўлса, бирикманинг зарур ўлчамлари ( $a, d, e, c$ ) ни аниқланг. Рухсат этиладиган кучланишлар: толалар бўйлаб чўзилиш ва қисилишга  $[\sigma] = 10$  МПа, толалар бўйлаб эзилишга  $[\sigma_y] = 8$  МПа, толаларнинг кўндалангига эзилишига  $[\sigma_{90}] = 2,5$  МПа, толаларга  $30^\circ$  бурчак остида эзилган  $[\sigma_{30}] = 5$  МПа ва толалар бўйлаб синишга  $[\tau] = 1$  МПа. Бириктирувчи болт ва ишқаланиш кучлари ҳисобга олинмайди.

Ечим:  $P$  кучини икки ташкил этувчи, яъни вертикал ва горизонтал ташкил этувчиларга ажратиб қуйидагини оламиз:

$$P_1 = P \sin \alpha = 70000 \cdot 0,5 = 35000 \text{ Н. } P_2 = P \cos \alpha = 70000 \cdot 0,865 = 60550 \text{ Н.}$$

Бу кучлар таянч реакцияси  $R=P_1$  ва тортқидаги чўзувчи куч  $N=P_2$  билан мувозанатлашади.  $P_1$  куч таянч ястикқа толаларга перпендикуляр таяниш юзаси бўйича тортқининг эсади. Эзиш кучланиши қуйидагига тенг:

$$\sigma_s = \frac{P_1}{ab} \leq [\sigma_{90}], \text{ бундан } a \geq \frac{P_1}{b[\sigma_{90}]} = \frac{35000}{15 \cdot 2,50 \cdot 10^3} = 9,33 \text{ см.}$$

Тиргакнинг тортқига таяниш нуқтаси ҳам шундай узунлик  $c$  га эга бўлиши лозим. Конструктив жиҳатидан у анча катта олинади.

$P_2$  куч стропила таянчи торецининг тортқига тегиб турадиган жойда вертикал юзанинг эзилишига сабаб бўлади ( $F_s = b \cdot d$ ), бунда тиргакнинг эзилиши толаларга маълум бурчак остида, тортқининг эзилиши толалар бўйлаб юз беради. Тиргакнинг эзилишига мустаҳкамлик шартига кўра қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{P_2}{bd} \leq [\sigma_{30}], \text{ бундан } d \geq \frac{P_2}{b[\sigma_{30}]} = \frac{60550}{15 \cdot 500} = 8,07 \text{ см.}$$

Шу кучнинг ўзи тортқининг чиқиб турган учда ( $e$  узунликда) синдирувчи кучланишни пайдо қилади. Толалар бўйлаб қисилишга мустаҳкамлик шартига кўра

$$\frac{P_2}{be} \leq [\tau] \text{ ни ҳосил қиламиз.}$$

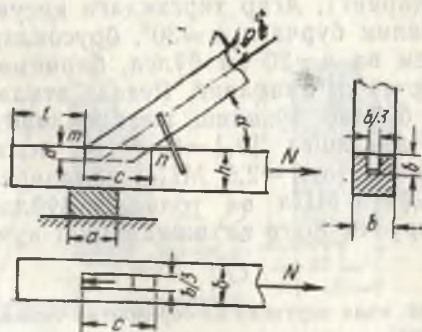
Демак,

$$e \geq \frac{P_2}{b[\tau]} = \frac{60550}{15 \cdot 100} = 40,4 \text{ см.}$$

3.28. Стропила фермасининг таянч узели кесими  $h = 20$  см,  $b = 18$  см бўлган бруслардан қилинган. Улар эни  $1/3 b$  бўлган чиққнли ўйиқ ёрдамида бириктирилган. Стропила таянчи тортқига  $\alpha = 40^\circ$  бурчак остида қия туради ва унга  $P = 30$  кН куч таъсир қилади (расмга қаранг). Агар рухсат этиладиган кучланишлар: толалар бўйлаб эзилишга  $[\sigma_s] = 8,5$  МПа, толаларга кўндалангига эзилишга  $[\sigma_{90}] = 2,5$  МПа, толаларга бурчак остида эзилишга  $[\sigma_{40}] = 4,5$  МПа ва толалар бўйлаб синишга  $[\tau] = 80$  Н/см<sup>2</sup> бўлса, бирикманинг энг кичик зарур ўлчамлари ( $a, d, c, l$ ) ни аниқланг.  $m$  —  $n$  чизик бўйича ишқаланишни ҳисобга олманг.

Жавоб:  $a = 4,3$  см,  $c = 6,4$  см,  $d = 8,5$  см,  $l = 17$  см.

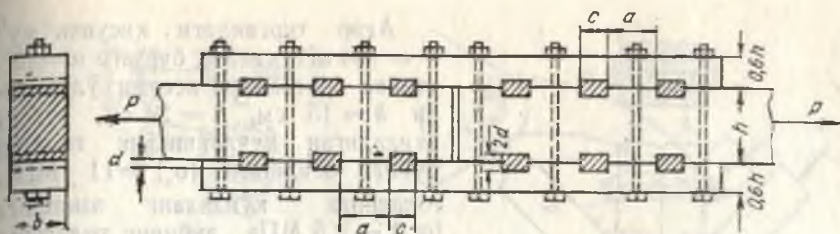
Конструктив жиҳатдан  $a$  ва  $c$  ўлчамлар одатда ҳисобдагидан каттароқ олинади.



3.28- масалага оид

3.29. Ўлчамлари  $b = 16$  см ва  $h = 20$  см бўлган қайин дарахти ёғочидан қилинган икки бруснинг туташган жойи олти-та дуб, шпонка ва қайин устқўйма ёрдамида ўланган (расмга қаранг). Агар брус-оклар  $P = 120$  кН куч билан чўзилса, шпонкаларнинг зарур ўлчамларини, шунингдек улар орасидаги масофани аниқланг. Брус-окларнинг чўзилишга мускамлигини ҳам текширинг.





3.29- масалага оид

Рухсат этиладиган кучланишлар: а) қайин учун: чўзилишга  $[\sigma] = 10$  МПа, торецида эзилишга  $[\sigma_s] = 10$  МПа, толалари бўйлаб синишга  $[\tau] = 100$  Н/см<sup>2</sup>. б) дуб учун: толаларига кўндаланг эзилишга  $[\sigma_{90}] = 2,5$  МПа ва толаларига кўндаланг қирқилишга  $[\tau] = 1,2$  МПа. Тортувчи болтларнинг таъсири ҳисобга олинмайди.

**Қўрсатма.** Дуб шпонкаларнинг ўлчамлари  $c$  ва  $d$  қирқишга ва эзилишга мустаҳкамлик шартига кўра аниқланади, бунда  $P$  куч шпонкалар орасида тенг тақсимланади деб қаралади, шпонкалар ораси  $a$  битта шпонка узатадиган куч

$P_0 = \frac{P}{n}$  гаъсирида толалар бўйлаб синишга қайиннинг мустаҳкамлик шартига кўра аниқланади.

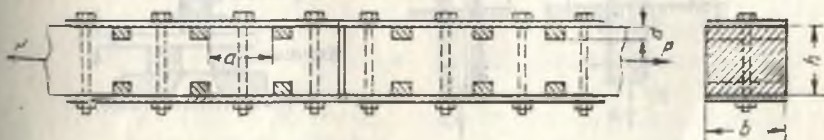
**Жавоб:**  $c = 10,4$  см;  $d = 5,0$  см;  $a = 12,5$  см;  $\sigma = 9,4$  МПа.

3.30. Ўлчами  $20 \times 20$  см бўлган квадрат кесимли иккита бруснинг туташган жойи иккита пўлат устқўйма билан ёпилган. Устқўймаларга призматик шпонкалар (ҳар қайси устқўймада олтитадан шпонка) парчинланган. Шу шпонкалар брусокларга  $d = 2$  см чуқурликда ботиб туради (расмга қаранг).

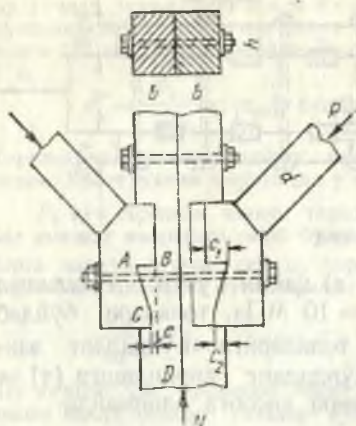
Ёғочнинг чўзилиш ва эзилишга мустаҳкамлик шартига кўра туташув жойи орқали узатилиши мумкин бўлган рухсат этиладиган чўзувчи куч  $P$  қийматини аниқланг. Рухсат этиладиган кучланишлар: чўзилишга  $[\sigma] = 12$  МПа, толалар бўйлаб синишга  $[\tau] = 1,2$  МПа ва эзилишга  $[\sigma_s] = 10$ , МПа. Шпонкалар орасида куч тенг тақсимланади деб ҳисоблаб, шпонкалар орасидаги масофа  $a$  ни ҳам топинг. Тортувчи болтларни ҳисобга олманг.

**Жавоб:**  $P = 240\,000$  Н,  $a = 16,7$  см.

3.31. Ёғоч кўприк тиргаклари иккита брусокдан иборат стойкага дуб ёстиқлар ёрдамида тиралади. Ёстиқлар стойкага  $c_1$  ва  $c_2$  чуқурликда ботиб туради (расмга қаранг). Ботиқларнинг чуқурлиги  $c_1$  ва  $c_2$  ҳар хил ( $e = c_1 - c_2 = 1$  см) бўлгани учун тиш ВАС ни синишдан асрайди (синиш юзасининг изи пунктир билан кўрсатилган  $BD$  чизиққа силжийди).



3.30- масалага оид



3.31-масалага оид

Агар тиргакдаги қисувчи куч  $P = 184 \text{ кН}$ , қиялик бурчаги  $\alpha = 45^\circ$ , стойка брусоклари кесими ўлчамлари  $b = 15 \text{ см}$ ,  $h = 24 \text{ см}$ , рухсат этиладиган кучланишлар: толалар бўйлаб эзилишга  $[\sigma_s] = 11 \text{ МПа}$ , толаларга кўндаланг эзилишга  $[\sigma_{90}] = 2,5 \text{ МПа}$ , дубнинг толаларга  $45^\circ$  бурчак остида эзилишга  $[\sigma_{45}] = 7 \text{ МПа}$  ва толалар бўйлаб синишга  $[\tau] = 1,2 \text{ МПа}$  бўлса, ёстиқнинг зарур узунлиги  $a$  ни ҳамда ботиқлар чуқурлиги  $c_1$  ва  $c_2$  ни аниқланг. Ёстиқнинг эзилишга мустаҳкамлик шартига кўра тиргакнинг энг кичик диаметрини топинг,

*Кўрсатма.* Ёстиқнинг узунлиги  $a$  толалар бўйлаб синишга мустаҳкамлик шартидан, стойкага бўйлама куч узатиладиган умумий юза эса ( $F = (c_1 + c_2) h$ ) эзилишга мустаҳкамлик шартидан аниқланади.

*Жавоб:*  $a = 45 \text{ см}$ ;  $c_1 \approx 3 \text{ см}$ ;  $c_2 = 2 \text{ см}$ ;  $d = 18,3 \text{ см}$ .

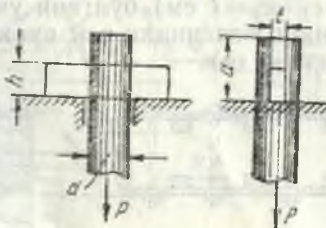
3.32.  $P = 180 \text{ кН}$  куч билан чузиладиган думалоқ пўлат стержень деталга тўғри тўртбурчак кесимли чека ёрдамида маҳкамланган (расмга қаранг). Чузилишга, қирқилиш ва эзилишга мустаҳкамлик шартидан стержень диаметри  $d$  ни, унинг қуйруқ қисми узунлиги  $a$  ни, шунингдек чека кўндаланг кесимининг ўлчамлари  $t$  ва  $h$  ни аниқланг (эзилишга ишлашини ҳисобга олманг). Рухсат этиладиган кучланишлар:

$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ ;  $[\tau] = 100 \text{ МПа}$  ва  $[\sigma_s] = 320 \text{ МПа}$

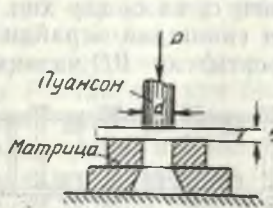
*Жавоб:*  $d = 4,62 \text{ см}$ ;  $t = 1,22 \text{ см}$ ;  $h = 7,4 \text{ см}$ ;  $a = 9,33 \text{ см}$ .

3.33. Қалинлиги  $t$  бўлган листда думалоқ тешик босим билан очилиши керак. Унинг торецидаги эзилиш кучланиши қирқиладиган металлнинг қирқилишга вақтинчалик қаршилиқдан тўрт марта катталик шартидан келиб чиқиб, пуансоннинг энг кичик диаметрини аниқланг. Тешик очиш штампининг схемаси расмда кўрсатилган.

*Жавоб:*  $d = t$ .

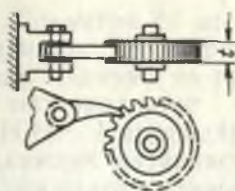


3.32-масалага оид



3.33-масалага оид





3. 34- масалага оид

3.34. Агар храповик гилдирагининг тишларига тормозланиш пайтида тушадиган нормал босим  $P=32000$  Н бўлса, тишларнинг мустаҳкамлигини текширинг. Тиш ўлчамлари (расмга қаранг): асосининг эни  $a=24$  мм, қалинлиги  $t=20$  мм, тиш баландлиги  $h=16$  мм.

Қирқилиш ва эзлишга мустаҳкамлик шартига кўра собачка тираладиган болтнинг зарур диаметрини ҳам аниқланг. Рухсат этиладиган кучланишлар: қирқиншга  $[\tau]=70$  МПа, эзлишга  $[\sigma_s]=120$  МПа.

Жавоб:  $\tau=66,7$  МПа  $< 70$  МПа;  $\sigma_s=100$  МПа  $< 120$  МПа;  $d=1,33$  см.

## IV боб

### БУРАЛИШ

#### 12- §. Думалоқ кесимли стерженларнинг буралиши

4.1. Буровчи момент  $M = 16$  кНм ни узатадиган думалоқ кесимли яхлит пўлат валнинг диаметрини аниқланг. Силжишга рухсат этиладиган кучланиш  $[\tau] = 80$  МПа, вал узунлигининг 1 мга тўғри келадиган рухсат этиладиган бураш бурчаги  $[\varphi] = 0,6^\circ$ .

Еч и м. Валнинг мустаҳкамлик шартига кўра  $\tau_{\max} = \frac{M_0}{W_p} \leq [\tau]$ , бундан  $W_p = \frac{\pi r^3}{2}$ , ушбуни топамиз:

$$r = \sqrt[3]{\frac{2 M_0}{\pi [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1600000}{\pi \cdot 8000}} = 5,0 \text{ см.}$$

Валнинг бикрлик шартига кўра

$$\varphi = \frac{M_0 \cdot l}{G J_p} \leq [\varphi], \text{ бундан } J_p = \frac{\pi r^4}{2}, G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа, ҳисоблаб топамиз:}$$

$$[\varphi] = 0,6 \quad \frac{\pi}{180} = \frac{\pi}{300}.$$

$$r = \sqrt[4]{\frac{2 M_0 \cdot 300 \cdot l}{G \cdot \pi^2}} = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 1600000 \cdot 100 \cdot 300}{8 \cdot 10^4 \cdot 9,86}} = 5,9 \text{ см.}$$

Жавоб;  $d \geq 11,8$  см.

4.2. Вал сиртидаги кучланиш  $\tau_{\max} = 80$  МПа, вал сиртидан радиусининг чорак масофасидаги кўндаланг кесимда уринма кучланишлар нимага тенг?

Жавоб: 60 МПа.

4.3. Диаметри 10 см ва узунлиги 6 м бўлган яхлит пўлат вал  $4^\circ$  бурчакка буралган. Энг катта уринма кучланиш нимага тенг?

Жавоб: 46,5 МПа.

4.4. Агар рухсат этиладиган кучланиш  $[\tau] = 100$  МПа бўлса, диаметри 20 мм бўлган думалоқ кесимли пўлат стерженнинг юк кўтарувчанлиги  $[M_0]$  ни аниқланг. Стерженнинг 100 см узунликдаги участкасининг буралиш бурчаги қиймати нимага тенг?

Жавоб: 15,7 кНсм; 0,125 рад.



4.5. Диаметри 20 мм ли думалоқ кесимли пўлат намуна пўлат валининг диаметри 40 мм бўлган машинада буралишга синалади. Намуна ва валнинг умумий геометрик ўқи бор. Намуна материалининг чўзилишдаги мутаносиблик чегараси  $32000 \text{ Н/см}^2$ . Намунадаги энг катта уринма кучланиш учинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб аниқлаш керак бўлган силжишдаги мутаносиблик чегарасига етган пайтда машина валидаги уринма кучланишларнинг энг катта қиймати қанча?

Жавоб:  $2000 \text{ Н/см}^2$ .

4.6. Диаметри 25 мм ли юмшоқ пўлат стержень 60 кН куч билан чўзилганда 20 см узунликда  $0,122 \text{ мм}$  узаяди. Уша валнинг ўзи 20 кН·см буровчи момент билан юкланганда 20 см узунликда  $0,75^\circ$  бурчакка буралади.  $E$ ,  $G$ ,  $\mu$  қийматларни аниқланг.

Жавоб:  $2 \cdot 10^7 \text{ Н/см}^2$ ;  $8 \cdot 10^6 \text{ Н/см}^2$ ; 0,25.

4.7. Узунлиги 20 см ва диаметри 20 мм бўлган пўлат намуна буралишга синалганда шу нарса аниқланадики, буровчи момент  $16320 \text{ Н·см}$  да буралиш бурчаги  $0,026 \text{ рад}$  га тенг. Буровчи момент  $27000 \text{ Н·см}$  бўлганда эластиклик чегарасига эришилади. Силжишдаги эластиклик модули ва буралишдаги эластиклик чегараси қийматларини аниқланг.

Жавоб:  $8 \cdot 10^6 \text{ Н/см}^2$ ;  $1720 \text{ Н/см}^2$ .

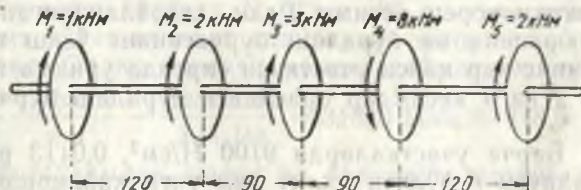
4.8. Диаметри 10 мм бўлган пўлат стержень синаш қурилмасида буралади. Буровчи момент  $150 \text{ Н·см}$  дан поғонама-поғона катталашади. Икки кесимнинг буралиш бурчагини ўлчайдиган асбоблар кўрсатишлари ўсиши фарқининг ўртача қиймати  $3,8 \text{ мм}$  га тенг. Кесимлар орасидаги масофа  $100 \text{ мм}$ . Асбоб шкаласининг 1 мм  $1/200 \text{ рад}$  ни билдиради. Силжишдаги эластиклик модули нимага тенг?

Жавоб:  $8,05 \cdot 10^6 \text{ Н/см}^2$ .

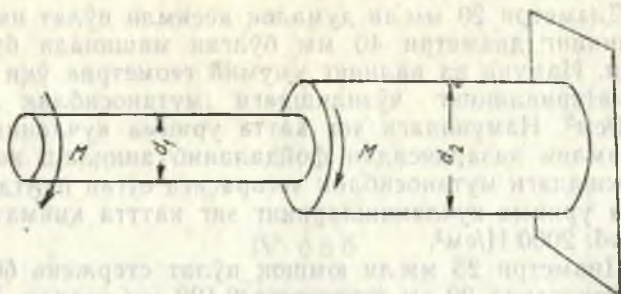
4.9. Пўлат валга бешта шкив орқали расмда кўрсатилган жуфт кучлар таъсир қилади. Буровчи момент эпюрасини ясанг,  $[\tau] = 9000 \text{ Н/см}^2$  бўлганда вал диаметрини танланг ва валнинг ўнгдаги охириги кесимининг чапдаги кесимига нисбатан бурилиш бурчаги катталигини аниқланг. Сўнгра биринчи ва тўртинчи жуфт кучларнинг ўрнини алмаштиринг ва шу ҳол учун масалани ечинг.

Расмдаги узунлик ўлчамлари см ларда берилган.

Жавоб: 7 см; 0,366 рад, 7,7 см; 0,073 рад.



4.9- масалага онд



4.11-масалага оид

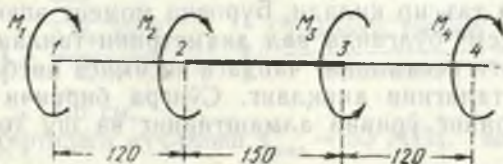
4.10. Бир хил боровчи моментларда бир хил буралиш бурчакли қилиб лойиҳаланган бир хил узунликдаги пўлат ва алюминий қотишмаларидан ясалган яхлит валларнинг оғирликларини таққосланг. Алюминий қотишмасининг силжишдаги эластиклик модули  $2,7 \times 10^6$  Н/см<sup>2</sup>, унинг ҳажмий оғирлиги 2,6.

Жавоб: Пўлат вал алюминий валга қараганда 75% оғир.

4.11. Ўнг учи қисиб қўйилган думалоқ кўндаланг кесимли стерженга иккита бир хил боровчи жуфт кучлар  $M$  қўйилган (расмга қаранг). Стержень чап участкасининг диаметри 40 мм, ўнг участкасининг диаметри 60 мм, ўнг участкадаги энг катта уринма кучланиш 8000 Н/см<sup>2</sup>, стерженнинг чап участкасидаги энг катта уринма кучланиш нимага тенг?

Жавоб: 13500 Н/см<sup>2</sup>.

4.12. Пўлат валга боровчи жуфт кучлар қўйилган:  $M_1 = 114,20$  кНм,  $M_2 = 271,6$  кНм,  $M_3 = 500$  кНм. Вал участкаларининг узунликлари см расмда кўрсатилган. Валнинг четки участкалари диаметри 40 мм, ўрта участкаси диаметри 60 мм.



4.12-масалага оид

Валнинг чапки торец кесими 1 дан ҳисобланадиган боровчи момент эпюрасини ва буралиш бурчагининг ўсиш графигини ясанг. Валнинг ҳар қайси участкаси сиртида уринма кучланишлар ҳамда 2 ва 4 кесимлар орасидаги буралиш бурчагини ҳисобланг.

Жавоб: Барча участкаларда 9100 Н/см<sup>2</sup>, 0,0113 рад.

4.13. Радиуси  $r$  бўлган яхлит вал унга кийдирилган труба билан кучайтирилган. Трубанинг ички радиуси  $r$  ва ташқи радиуси  $R$ . Вал ва труба бир хил материалдан ясалган бўлиб,



худди яхлитдек ишлайди. Валнинг юк қўтарувчанлиги икки марта ортиши учун  $R:r$  нисбат нимага тенг бўлиши керак?

Жавоб: 1,26.

4.14. Ташқи диаметри  $d_1 = 75$  мм ва ички диаметри  $d_2 = 50$  мм бўлган 1 м узунликдаги ичи бўш пўлат вал 3500 Нм моментли жуфт куч таъсирида  $1^\circ$  га буралади. Валдаги энг катта уринма кучланишлар нимага тенг? Силжишдаги эластиклик модули қийматини аниқланг.

Ечи м. Энг катта уринма кучланиш

$$\tau_{\max} = \frac{M_s \cdot r_1}{J_p}, \quad J_p = \frac{\pi}{32} (d_1^4 - d_2^4) = 249 \text{ см}^4;$$

$$\tau_{\max} = \frac{350000}{249} \cdot 3,75 = 5270 \text{ Н/см}^2.$$

Силжиш учун эластиклик модулини буралиш бурчаги формуласидан топамиз.

$$G = \frac{M_s \cdot l}{\varphi \cdot J_p} = \frac{350000 \cdot 100 \cdot 180}{\pi \cdot 249} = 8,05 \cdot 10^6 \text{ Н/см}^2.$$

4.15. Узунлиги 1,8 м бўлган ичи бўш пўлат вал учларига  $M = 6$  кНм моментли икки жуфт кучлар юкланган. Агар буралиш бурчаги  $2^\circ$  дан ошиши мумкин бўлмаса, уринма кучланиш  $7000 \text{ Н/см}^2$  бўлса, валнинг ташқи ва ички диаметрларини аниқланг.

Жавоб: 90,4 мм, 72,4 мм.

4.16. Ичи бўш валнинг ташқи диаметри ички диаметридан икки марта катта. Бу вал силжишга рухсат этиладиган кучланиш  $6000 \text{ Н/см}^2$  бўлганда лойиҳадаги яхлит валдан 20% енгил. Буровчи моментлар бир хил бўлганда ичи бўш валдаги энг катта уринма кучланишлар нимага тенг?

Жавоб:  $5810 \text{ Н/см}^2$ .

4.17. Буровчи момент ва рухсат этиладиган кучланишлар бир хил бўлганда ўлчамлари шунга мослаб танланган икки валнинг оғирликларини таққосланг. Биринчи вал — яхлит, иккинчиси трубасимон, ички диаметрининг ташқи диаметрига нисбати 0,6 га тенг.

Жавоб  $P_T : P_n = 0,702$ .

4.18. Агар айланишлар сони 180 айл/мин, рухсат этиладиган кучланиш  $4800 \text{ Н/см}^2$  ва валнинг 1 м узунлигига рухсат этиладиган буралиш бурчаги  $1^\circ$  бўлса, 80 от кучи қувват узатадиган яхлит пўлат валнинг диаметрини аниқланг.

Қўрсатма. Олдин буровчи момент қийматини ҳисоблаймиз:

$$M_6 = \frac{225000 \cdot N}{\pi \cdot n} = \frac{225000 \cdot 80}{3,14 \cdot 180} = 31850 \text{ Н/см} = 318,5 \text{ кН/см}.$$

Сўнгра мустаҳкамлик шарти ва биқирлик шартига кўра валнинг зарур диаметрини топамиз.

Жавоб: 7 см.

4.19. Диаметри 90 мм бўлган вал 90 от кучи қувват узатади. Агар рухсат этиладиган уринма кучланиш  $6000 \text{ Н/см}^2$  бўлса, валнинг чегаравий айланишлар сонини аниқланг.

Жавоб: Камиди 75 айл/мин.

4.20. Диаметри 90 мм бўлган яхлит пулат вал 150 айл/мин тезликда 50 от кучи қувват узатади. Валнинг шкивлар орасидаги узунлиги 4 м. Валдаги энг катта уринма кучланишни ва бир шкив иккинчисига нисбати буриладиган бурчакни аниқланг.

Жавоб:  $1670 \text{ Н/см}^2$ ,  $1^\circ 4'$ .

4.21. Думалоқ кесимли яхлит вал маълум тезликка мослаб лойиҳаланган. Сўнгра унинг тезлигини 20 марта оширишга қарор қилинди. Бошқа маълумотлар ўзгармай қолгани ҳолда валнинг диаметри қандай ўзгаради?

Жавоб: 2,71 марта камайд.

4.22. Яхлит кесимли валнинг диаметрини аниқлаш учун  $d = k \sqrt[3]{N:n}$  формуладан фойдаланиш мумкин. Агар рухсат этиладиган кучланишлар  $[\tau] = 60; 80$  ва  $100 \text{ МПа}$  бўлса,  $k$  қандай қийматга тенг?

Жавоб: 8,5; 7,7; 7,1.

4.23. Чиғир  $P = 16 \text{ кН}$  юкни  $v = 0,6 \text{ м/с}$  тезликда кўтаради. Чиғир вали фақат буралишга ишлайди деб ҳисоблаб ва зарарли қаршиликларни ҳисобга олмай, 200 айл/мин тезликда айланадиган чиғир яхлит валининг диаметрини тапланг. Рухсат этиладиган кучланиш  $[\tau] = 4500 \text{ Н/см}^2$ .

Қўрсатма. Вал узатадиган қувват:  $A = P \cdot v = 16 \cdot 0,6 = 9,6 \text{ кН/с}$  Валнинг айланиш сони  $\omega = 20,9 \text{ рад/с}$ , буровчи момент  $M_6 = A : \omega = 460 \text{ Нм}$ . Валнинг диаметри унинг мустаҳкамлик шартидан аниқланади.

Жавоб: 37 мм.

4.24. Ташқи диаметри  $d_1 = 100 \text{ мм}$  ва ички диаметри  $d_2 = 50 \text{ мм}$  бўлган ичи бўш пулат вал 80 айл/мин тезликда айланганда 2,7 м узунликда  $1,8^\circ$  бурчакка бурилади. У қандай қувватин узатади? Валдаги энг катта уринма кучланишлар нимага тенг?

$$\text{Ечи м. } N = \frac{M_6 \cdot \pi \cdot n}{225 \cdot 000}, \quad M_6 = \frac{\varphi \cdot J_p \cdot G}{l}, \quad \varphi = \frac{\pi}{180}, \quad J_p = \frac{15}{32} \pi r_1^4,$$

эканлигини билган ҳолда қуйидагини ёзишимиз мумкин:

$$N = \frac{\pi \cdot 15 \cdot \pi \cdot r_1^4 \cdot G \cdot \pi \cdot n}{180 \cdot 32 \cdot l \cdot 225000} = \frac{\pi^3 \cdot 15 \cdot 5^4 \cdot 8 \cdot 10^8 \cdot 80}{180 \cdot 32 \cdot 270 \cdot 225000} = 95,6 \text{ от кучи.}$$

$\tau_{\max}$  нинг қиймати қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\tau_{\max} = \frac{M_6 \cdot r_1}{J_p} = \frac{\varphi \cdot G \cdot r_1}{l} = \frac{\pi \cdot 8 \cdot 10^8 \cdot 5}{100 \cdot 270} = 4560 \text{ Н/см}^2.$$

4.25. Агар валдаги уринма кучланиш  $6000 \text{ Н/см}^2$ , унинг ички диаметри ташқи диаметрининг 0,6 улушича бўлса, 100 айл/мин



тезликда 7000 квт қувват узатадиган ичи бўш пўлат валнинг диаметрини аниқланг.

Жавоб: 40,5 см ва 24,8 см.

4.26. Турбина қувватини аниқлаганда у айлантирадиган пўлат валнинг буралиш бурчаги ўлчаб кўрилди. Валнинг 6 м узунлигида бу бурчак  $1,2^\circ$  га тенг бўлди. Валнинг ташқи ва ички диаметрлари 25 см ва 17 см. Валнинг айланиш тезлиги 250 айл/мин. Вал пўлатдан ясалган. Вал узатадиган қувватни ва унда ҳосил бўладиган уринма кучланишларни аниқланг.

Жавоб: 2160 квт;  $3490 \text{ Н/см}^2$ .

4.27. Автомобилнинг кардан вали икки хил иш тартибда бир хил қувват — 23 от кучи узатади. Биринчи ҳолда валнинг айланиш тезлиги 108 айл/мин, иккинчи ҳолда эса 60 айл/мин. Агар вал ички диаметрининг ташқи диаметрига нисбати 0,9 га тенг бўлса, рухсат этиладиган уринма кучланиш  $[\tau] = 4000 \text{ Н/см}^2$  бўлса, валнинг ташқи диаметри қанча бўлиши керак? Катта тезликдан кичик тезликка ўтганда валдаги энг катта уринма кучланиш қандай ўзгаради?

Жавоб:  $d = 10$  см; 1,8 марта ортади ва рухсат этиладиган қийматга эришади.

4.28. Трубанинг ўртача диаметри 30 см, деворининг қалинлиги  $t = 8$  мм. Трубага буровчи момент  $M = 11,5 \text{ кНм}$  таъсир қилганда унинг материалида вужудга келадиган уринма кучланишлар қийматини аниқланг.

Қўрсатма. Юпқа деворли трубаларни бураганда ички ва ташқи сиртлари яқинидаги уринма кучланишлар бир-бирдан жуда кам фарқ қилади. Шунинг учун ҳисоблашни кучланишларнинг ўртача қийматларида бажариш керак. Буни қуйидаги формуладан аниқлаш мумкин:

$$\tau = \frac{M_0 \cdot r_{\text{ср}}}{J_p},$$

бунда  $r_{\text{ср}}$  — ҳалқасимон кесимнинг ўртача радиуси.

Ҳалқасимон кесимнинг қутбий энергия моментиин ҳам қуйидаги тақрибий формуладан аниқлаш мумкин:

$$J_p = \int_F \rho^2 dF = r_{\text{ср}}^2 \cdot 2\pi \cdot r_{\text{ср}} \cdot t = 2\pi \cdot r_{\text{ср}}^3 \cdot t.$$

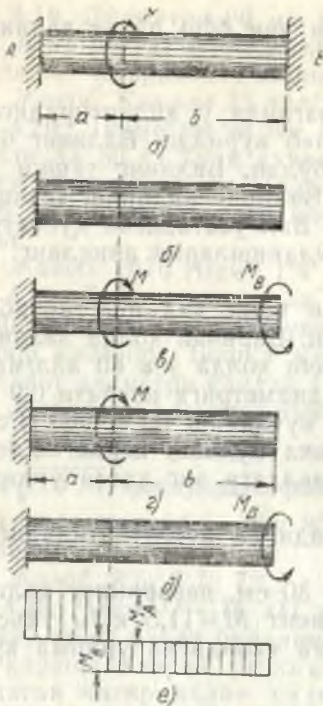
Трубадаги кучланишларнинг ўртача қиймати формуласи қуйидаги кўринишларни олади:

$$\tau = \frac{M_0}{2\pi \cdot r_{\text{ср}}^2 \cdot t}.$$

Жавоб:  $\tau = 1015 \text{ Н/см}^2$ ; қутбий инерция моменти аниқ ҳисоблаганда энг катта кучланиш  $\tau_{\text{max}} = 1045 \text{ Н/см}^2$ .

4.29. Ўртача диаметри 12,5 см бўлган юпқа деворли пўлат трубанинг учларига шу трубани 625 кН/см момент билан бурайдиган кучлар жуфти қўйилган. Уринма кучланишлар  $8000 \text{ Н/см}^2$  дан ошиб кетмаслиги учун труба деворларининг қалинлиги қанча бўлиши керак? Трубанинг 1 м узунлигида буралиш бурчаги нимага тенг?

Жавоб: 0,32 см, 0,016 рад.



4.32- масалага онд

4.30. Пулат труба вал 100 айл/мин тезликда айланганда 75 квт қувват узатади. Деворларнинг қалинлиги кесимнинг ўртача диаметри 1/50 улушини ташкил қилади. Ҳар 3 м узунликка буралиш бурчаги  $1^\circ$  дан ортиб кетмаслиги учун шу диаметр қийматини аниқланг. Бунда уринма кучланишлар нимага тенг бўлади?

Жавоб: 17,8 см, 4180 Н/см<sup>2</sup>.

4.31. Узунлиги 1,8 м, ўртача диаметри 30 см, деворининг қалинлиги 3 мм бўлган пулат труба вал 100 айл/мин тезликда айланади. Агар вал деворидаги ўртача уринма кучланиш 6300 Н/см<sup>2</sup> бўлса, у қандай қувват узатади? Валнинг буралаш бурчаги нимага тенг?

Жавоб: 2,75 квт, 0,542°.

4.32. Думалоқ кесимли стержень учларидан қисиб қўйилган. Оралиқ кесимга моменти  $M=12000$  Нм бўлган кучлар жуфти қўйилган (расмдаги  $a$  схемага қаранг). Масофа  $b=2a$ . Агар унинг диаметри 8 см бўлса, стерженьдаги энг катта уринма кучланишлар нимага тенг?

*Кўрсатма.* Статиканинг тенгламаси:  $M_A + M_B = M$ . Система статик аниқланмайдиган. Стерженьнинг асосий (статик аниқланадиган) системаси сифатида  $b$  схемани қабул қиламиз. Бу схемани жуфтлар  $M$  ва  $M_B$  билан юкланганда ( $a$  схема) ва  $\varphi_B = 0$  да  $a$  схема  $a$  схемага эквивалент бўлиб қолади. Энди стерженьга  $M$  жуфт ( $a$  схема) ва  $M_B$  жуфт ( $b$  схема) таъсирини алоҳида-алоҳида кўрамиз.  $a$  схемадаги

$B$  кесим  $\varphi_B^* = \frac{M \cdot a}{GJ_p}$  бурчакка бурилади,  $b$  схемадаги ўша кесим  $\varphi_B'' = -\frac{M_B(a+b)}{GJ_p}$  га (бошқа томонга) бурилади. Лекин  $\varphi_B = \varphi_B^* + \varphi_B'' = 0$  бўлганлиги учун ушбуни топамиз:

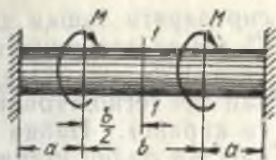
$$M_B = \frac{a}{a+b} \cdot M, \quad M_A = \frac{b}{a+b} \cdot M.$$

Буровчи момент эпюрасини ( $e$ ) ясаймиз. Эпюралар кўриниб турибдики, чап участкада уринма кучланишлар ўнг участкадагидан катта экан.

Жавоб: 7950 Н/см<sup>2</sup>.

4.33. Учларидан қисилган думалоқ кесимли стержень бирига тенг ва бир томонга йўналган жуфт кучлар таъсирида. Улардан ҳар бирининг моменти 8000 Н м дан (расмга қаранг). Статик аниқланмаслигини исбот қилинг ва стерженьнинг ўрта





4.33- масалага оид



4.34- масалага оид

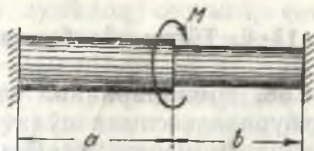
кесими 1—1 нинг бурилиш бурчагини аниқланг. Стерженнинг диаметри 10 см, ҳар қайси чекка участканинг узунлиги  $a=60$  см, ўрта участканинг узунлиги  $b=80$  см.

Жавоб:  $M_A = M_B = 8000$  Н/м;  $21^\circ$ .

4.34. Учларидан қисилган думалоқ кесимли стерженга бир-бирига тенг ва қарама-қарши томонга йўналган жуфт кучлар қўйилган. Ҳар қайсисининг momenti 10 000 Нмдан (расмга қаранг). Агар рухсат этиладиган кучланиш (силжишга)  $6000$  Н/см<sup>2</sup> бўлса, стерженнинг диаметрини аниқланг. Стержень ўрта кесимининг бурилиш бурчаги нимага тенг?

Жавоб: 8,27 см; 0.

4.35. Учларидан қисилган стержень чап қисмининг диаметри 6 см, ўнг қисминики 5 см. Стерженнинг умумий узунлиги  $a+b=3,3$  м (расмга қаранг). Стерженнинг диаметри ўзгарган жойга қўйилган буровчи момент стерженнинг ҳар қайси қисмида бир хил энг катта уринма кучланиш ҳосил қилиши шартига кўра  $a$  ва  $b$  ўлчамларини аниқланг.



4.35- масалага оид

Жавоб:  $a=1,8$  м;  $b=1,5$  м.

4.36. Ташқи диаметри 7,5 см бўлган мис найча ўшандек ички диаметрли пўлат найча ичига жойлаштирилган. Иккала найча деворларининг қалинлиги 3 ммдан. Найчаларнинг учлари бир-бирига қаттиқ маҳкамланган бўлиб, маҳкамланиш жойига ҳар қайсисининг буровчи momenti 1000 Нмдан бўлган жуфт кучлар қўйилган. Найчаларнинг узунлиги 3 м. Миснинг силжишдаги эластиклик модули  $4 \times 10^6$  Н/см<sup>2</sup>. Найчалар орасида буровчи момент қандай тақсимланади? Найчалар қандай бурчакка буралади? Найчалар деворидаги энг катта уринма кучланишлар қанчага тенг?

Қўрсатма. Мис найчага тўғри келадиган буровчи моментни  $M_m$  пўлат найчага тўғри келадигани  $M_n$  билан белгилаймиз. Статиканинг тенгламаси бу икки моментни қўйилган жуфт кучлар momenti билан боғлайди. Найчалар учларидан бир-бирига қаттиқ маҳкамланганлиги учун уларнинг бураланиш бурчаклари бир хил бўлиши керак.

Жавоб: 282 Нм ва 718 Нм,  $1,38^\circ$ ; 1150 Нм/см<sup>2</sup> ва 2500 Н/см<sup>2</sup>.

4.37. Диаметри 25 мм бўлган думалоқ кесимли пўлат стерженда цилиндрик чиқиқлар А ва В бор. Чиқиқларнинг ён



4.37- масалага оид

сиртларига ташқи диаметри 75 мм ва деворининг қалинлиги 1,25 мм бўлган пўлат най зич тегиб туради (расмга қаранг). Найни кийдиришдан олдин стержень моментлари  $M_0 = 75$  Нм бўлган жуфт кучлар билан буралган. Най иккала чиқиққа

пайвандлангандан кейин стержень учларидаги буровчи моментлар таъсири тўхтатилган. Стержень билан най орасида қандай қийматдаги моментлар таъсирлашади? Стержень ва найда энг катта уринма кучланишлар қанчага тенг?

**Қўрсатма.** Чиқиқлар  $A$  ва  $B$  деформацияланмайди деб ҳисоблаймиз. Кучлар жуфти  $M_0$  стерженьни бураган бурчак  $\varphi_0$  шу кучлар жуфти олингандан сўнг най буралган қийматга кичраяди. Демак, стержень  $\varphi_e = \varphi_0 - \varphi_n$  (1) бурчакка бурилганлигича қолади. Стержень билан най орасидаги таъсирлашув моментлари тенглиги иккинчи тенглама (2) ни беради. Бу тенгламаларни биргаликда ечиб, моментларнинг таъсирлашув қиймати топилади, сўнгга уринма кучланиш аниқланади.

**Жавоб:**  $M_n = M_e = 68,5$  Нм;  $J_c \cdot J_n = 0,0975$ ;  $2230$  Н/см<sup>2</sup>;  $660$  Н/см<sup>2</sup>.

### 13- §. Тўғри тўртбурчак кесимли стерженларни бураш

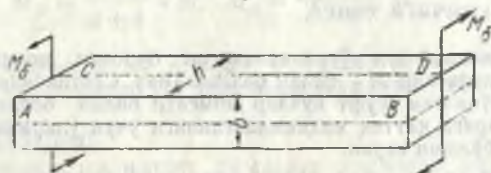
4.38. Томонларининг ўлчамлари 2 см ва 3 см бўлган тўғри тўртбурчак кесимли пўлат стержень (расмга қаранг) ҳар қайсисининг моменти 20 кНсм бўлган икки буровчи жуфт кучлар билан юкланган. Стерженнинг сиртида  $AB$  ва  $CD$  чизиқлар бўйича кўндаланг кесимда вужудга келадиган уринма кучланишлар қийматини ҳисобланг. Стерженнинг 1 м узунликдаги буралиш бурчаги қийматини аниқланг.

**Қўрсатма.** Тўғри тўртбурчак кесимли стерженларни буралишга ҳисоблашда қуйидаги маълумотлардан фойдаланилади:

тўғри тўртбурчакнинг буралишдаги инерция моменти  $J_c = \alpha \cdot b^4$ , буида  $b$  — тўғри тўртбурчакнинг томонлари икки ўлчамадан кичик.

Тўғри тўртбурчакнинг буралишдаги қаршилиқ моменти  $W_c = \beta b^3$ .

Стержень узун томонининг ўртасидаги кесимда вужудга келадиган энг катта уринма кучланиш



4.38- масалага оид



$$\tau_{\max} = \frac{M_6}{W_6}.$$

Стержень калта томони ўртасидаги энг катта уринма кучланиш

$$\tau_{\max} = \gamma \cdot \tau_{\max}'.$$

Кoeffициентлар  $\alpha$ ,  $\beta$  ва  $\gamma$  нисбат  $n/b$  қийматига боғлиқ.

Бу кoeffициентларнинг қийматлари қуйидаги жадвалда келтирилган.

| $\frac{n}{b}$ | 1     | 1,5   | 1,75  | 2,0   | 2,5   | 3,0   | 4,0   | 6,0   | 8,0   | 10,0  |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\alpha$      | 0,140 | 0,294 | 0,375 | 0,457 | 0,622 | 0,790 | 1,123 | 1,789 | 2,456 | 3,123 |
| $\beta$       | 0,208 | 0,346 | 0,418 | 0,493 | 0,645 | 0,801 | 1,128 | 1,789 | 2,456 | 3,123 |
| $\gamma$      | 1,0   | 0,859 | 0,820 | 0,795 | 0,766 | 0,753 | 0,745 | 0,743 | 0,742 | 0,742 |

Ечим. Бу масала учун  $n/b = 1,5$ , жадвалдан кoeffициентлар қийматларини топамиз:  $\alpha = 0,294$ ,  $\beta = 0,346$  ва  $\gamma = 0,859$

$$\text{Энг катта кучланиш } \tau_{\max}' = \frac{20000}{0,346 \cdot 8} = 7220 \text{ Н/см}^2.$$

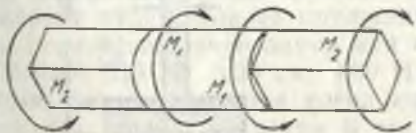
$$\text{Калта томони ўртасидаги кучланиш: } \tau_{\max} = 0,859 \cdot 7220 = 6200 \text{ Н/см}^2.$$

$$\text{Буралиш бурчаги: } \varphi = \frac{M_6 \cdot l}{GJ_6} = \frac{20000 \cdot 100}{8 \cdot 10^6 \cdot 0,294 \cdot 16} = 0,0532 \text{ рад}$$

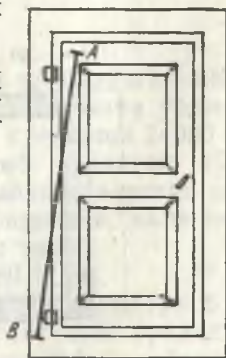
4.39. Стержень ўрта участкасида думалоқ кесимга, четки участкаларида донра ичига чизилган квадрат кесимга эга. Стерженга буровчи жуфт кучлар  $M_1 = 110 \text{ кН} \cdot \text{см}$  ва  $M_2$  таъсир қилади (расмга қаранг). Ўрта ва четки участкалардаги энг катта уринма кучланишлар бир хил бўлиши учун буровчи жуфт кучлар  $M_2$  қанчага тенг бўлиши керак? Кесимнинг кескин ўзгарган жойларида тўпланган кучланишларни ҳисобга олманг.

Жавоб: 30 кНсм.

4.40. Эшик пружинаси (расмга қаранг) квадрат  $6 \times 6 \text{ мм}$  кесимли  $AB$  пулат чивикдан ясалган. Чивикнинг юқори учи  $A$  эшикка, пастки учи  $B$  эшик ёндорига маҳкамланган. Эшикни  $90^\circ$  буриш учун эшик дастасидан қанча куч  $P$  билан тортиш кераклигини ҳамда эшик очиқ турганда чивик материалидаги энг катта кучланиш  $500 \text{ МПа}$  дан ошиб кетмаслиги учун чи-



4.39- масалага оид



4.40- масалага оид

виқни олдин қанча бураш кераклигини ҳисобланг. Чивикнинг узунлиги 2 м. Эшикнинг эни 1 м.

*Жавоб:* 22,5 Н; 87°.

4.41. Тезлик 120 айл/мин бўлганда 100 от кучи қувват узатадиган вал кўндаланг кесими квадратининг томонлари ўлчамини аниқланг. Уринма кучланишлар  $4500 \text{ Н/см}^2$  дан ошмаслиги керак.

*Жавоб:* 86 мм.

4.42. Доира кесимли яхлит вал узунлигининг шундай улушидан қисилганки, унинг қисилган жойдаги кесими доирага тенг квадрат шаклини олган. Валнинг квадрат қисмидаги энг катта кучланишлар доира қисмидагидан неча марта катта? Валнинг бутун узунлиги бўйича буровчи момент бир хил. Кесими шакли ўзгарадиган жойдаги кучланишлар тўпланишини ҳисобга олманг.

*Жавоб:* 1,35 марта.

4.43. Доира ва квадрат кўндаланг кесимли иккита бир хил мустаҳкамликдаги валларнинг оғирликларини аниқланг.

*Жавоб:* 0,81.

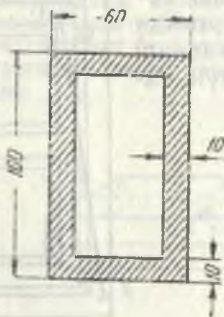
4.44. Стерженнинг тўғри тўртбурчак кўндаланг кесими эни 4 см. Ундаги энг катта уринма кучланишлар диаметри 5 см ли доира кўндаланг кесимли стержендагига тенг бўлиши учун кесимнинг баландлиги қанча бўлиши керак? Иккала стержень бир хил буровчи моментли жуфт кучлар билан юкланган.

*Жавоб:* 6,5 см.

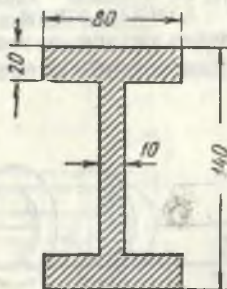
4.45. Тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли стержень буровчи моменти 600 Нм дан бўлган иккита жуфт кучлар билан юкланган. Силжишга рухсат этиладиган кучланиш  $[\tau] = 14000 \text{ Н/см}^2$ . Агар эни 20 мм бўлса, кўндаланг кесим баландлиги қанча бўлиши керак?

*Жавоб:* 4,28 см.

4.46. Уринма кучланишлар  $[\tau] = 10\,000 \text{ Н/см}^2$  бўйича мустаҳкамлик шартига кўра тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли ичи бўш стержень учун рухсат этиладиган буровчи момент



4.46- масалага оид



4.47- масалага оид



қийматини аниқланг. Стержень ұлчамлари расмда мм ларда кўрсатилган.

*Кўрсатма.* Масалани ечишда Н. М. Беляевнинг «Материаллар қаршилиги» дарслигидаги маълумотлардан фойдаланинг, 17-жадвал.

*Жавоб:* 900 кНсм.

4.47. Двутавр кесимли пўлат стержень (ўлчамлари расмда кўрсатилган, мм) стержень учларига қўйилган ва ҳар қайсиси 1000 Нм дан бўлган икки кучлар жуфти таъсирида. Энг катта уринма кучланишлар нимага тенг, улар қаерда пайдо бўлади? Стерженнинг 100 см узунлигида буралиш бурчаги нимага тенг?

*Кўрсатма.* Н. М. Беляевнинг: «Материаллар қаршилиги» дарслигидаги маълумотлардан фойдаланинг (218—219 бетлар).

*Жавоб:* 5000 Н/см<sup>2</sup>, ташқи сирти яқинида токчалар ўртасида вужудга келади, 0,032 рад.

#### 14-§. Кичик қадамли винтли пружиналар

4.48. Диаметри 20 мм бўлган думалоқ кесимли цилиндрик пўлат винтли пружина 1000 Н ўқ бўйлаб йўналган куч билан қисилган. Пружина ўрамларининг ўрта диаметри 160 мм, ўрамлар сони 8. Пружина стерженидаги энг катта уринма кучланишни, чўкиш катталигини ва пружина деформациясининг тўлиқ потенциал энергиясини аниқланг.

*Ечим.* Стержендаги энг катта уринма кучланиш:

$$\tau_{\max} = \frac{P}{F} + \frac{M_6}{W_p} = \frac{P}{\pi r^2} + \frac{2PR}{\pi r^3} = \frac{1000}{\pi} (1 + 16) = 5410 \text{ Н/см}^2,$$

Пружинанинг чўкиши:

$$\lambda = \frac{4PR^3n}{Gr^4} = \frac{4 \cdot 1000 \cdot 8^3 \cdot 8}{8 \cdot 10^6 \cdot 1^4} = 2,048 \text{ см.}$$

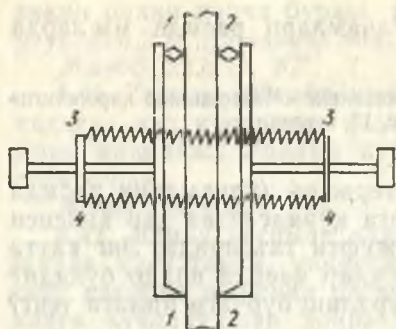
Пружина деформациясининг тўлиқ потенциал энергияси:

$$U = \frac{P \cdot \lambda}{2} = 1024 \text{ Н} \cdot \text{см.}$$

4.49. Диаметри 6 мм ли пўлат симдан тайёрланган цилиндрик винтли пружина 10 ўрамдан иборат. Пружина ўрамининг ташқи диаметри 66 мм. Энг катта уринма кучланиш 24000 Н/см<sup>2</sup> дан ошмайдиган стержендаги ўқ бўйлаб йўналган чўзувчи кучни аниқланг. Шунда пружинанинг узайиши, эластик деформациянинг тўлиқ иши ва пружинанинг бикрлиги, яъни пружинани 1 см чўзиш учун зарур куч нимага тенг?

*Жавоб:* 323 Н; 5,38 см; 869 Н·см; 60 Н/см.

4.50. Винтли пружина ҳосил қилиш учун диаметри 5 см ли барабанга шунча диаметри 6 мм ли пўлат сим ўралиши керакки, 90 Н нагрузка таъсирида пружина 2,5 см чўксин. Бунинг учун зарур сим узунлигини аниқланг (пружина учларининг узунлигини ва ўрамларнинг қиялигини ҳисобга олманг).



4.51- масалага оид

Симнинг пружина учлари орасидаги буралиш бурчаги нимага тенг?

Жавоб 361 см;  $51^{\circ}15'$ .

4.51. Кўзгули ўлчаш асбоблари қурилмасининг намунада синаш пайтида асбоб пластинкалари 1—1 ва 2—2 (расмга қаранг) намунага струбциналар ёрдамида қисилади. Струбциналарда иккита бир хил цилиндрик пўлат пружина 3—3 ва 4—4 бор. Агар пружиналарни 10 мм га қисганда тирак винтнинг пластинкага босими 4 Н бўлиши керак бўлса, пружиналардан ҳар қайсиси қанчадан ўрамга эга бўлиши керак? Бунда пружиналарда қандай максимал уринма кучланишлар вужудга келади? Пружина симининг диаметри 0,5 мм, ўрамининг диаметри 4 мм.

Жавоб: 49 ўрам,  $17300 \text{ Н/см}^2$ .

4.52. Буферга ишлатиладиган пўлат винтли пружина ўрамларининг ўрта диаметри 20 см. Пружина 5 см га чўкканда у 500 Нм энергияни ютиши лозим. Шу билан бирга пружина стерженидаги энг катта уринма кучланиш  $17500 \text{ Н/см}^2$  дан ошмаслиги керак. Пружина стерженининг диаметрини ва ўрамлар сонини аниқланг.

Ечи м. Пружинанинг потенциал энергияси  $U = \frac{P \cdot \lambda}{2} = 50000 \text{ Н/см}$ , бундан  $P = 20000 \text{ Н}$ .

Пружина стержени материалдаги энг катта кучланиш:

$$\tau_{\max} = \frac{P}{\pi r^2} + \frac{2PR}{\pi r^3} = 17500 \text{ Н/см}^2.$$

Бу формулага  $P$  нинг сон қийматларини қўйиб, ушбуни ҳосил қиламиз:

$$r + 2R = 2,75 r^2.$$

Бирин-кетин танлаш йўли билан  $r = 2 \text{ см}$  эканлигини топамиз.

Ўрамлар сони

$$n = \frac{\lambda Gr^4}{4PR^3} = \frac{5 \cdot 8 \cdot 10^8 \cdot 2^4}{4 \cdot 20000 \cdot 10^3} = 8.$$

4.53. Агар олдинги масалага қуйидаги ўзгаришлар киритсак, яъни пружина 1000 Нм энергияни ютиши лозим бўлса, пружина стерженининг диаметри ва ўрамлар сони қанча марта ўзгаради?

Жавоб: Диаметр 1,27 марта, ўрамлар сони 11 гача ортади.

4.54. Цилиндрик винтли пружина 2000 Н юк таъсирида турибди. Унинг бу юкдаги тўлиқ чўкиши (ўрамларнинг бирига тегиши) 8 см. Силжишга рухсат этиладиган кучланиш  $18000 \text{ Н/см}^2$ . Пружина ясашда пўлат сим диаметри 16 см ли



барабанга ўралади. Сим диаметрини, пружина ўрамлар сонини ва тўлиқ баландлигини аниқланг. Бундай пружинанинг назарий оғирлиги нимага тенг?

*Қўрсатма.* Пружина ўрамининг радиусини  $R_0 + r$  орқали ифодаланг, бунда  $R_0$  — барабан радиуси. Мустақамлик шартига кўра ушбу тенглама ҳосил бўлади:

$$R_0 + 1,5r = 14,13r^3$$

*Жавоб:* 17,4 мм; 7 ўрам; 20 см; 72 Н.

4.55. Диаметри 7,5 см бўлган ва дастлабки куч  $P_0$  остида пружина билан қисилган сақлаш клапани 8 ат босимда пружина 2 см қисилгандан сўнг очилиши керак. Бутунлай юксиз турган пружина ўрамлари орасидаги масофа 5 мм, клапан очик турганда эса пружина 16 мм га тенг запас деформацияни сақлайди. Пружина ўрамларининг ўрта диаметри 6 см, пружина пўлат стерженининг диаметри 12 мм. Зарур ўрамлар сонини, дастлабки куч катталигини ва пружина стерженидаги энг катта уринма кучланишни аниқланг.

*Ечиш.* Клапандаги босим 8 ат га етганда клапан пружинага ўзатадиган куч  $P = 3532$  Н, дастлабки куч  $P$  таъсирида пружина қуйидагича чўкиши керак.

$$\lambda_0 = 0,5n - 1,6 - 2 = 0,5n - 3,6 \text{ (см)}.$$

Куч  $P_0$  дан чегаравий қиймат  $P$  гача катталашганда пружинанинг чўкиши 2 см га ошади. Пружинанинг чўкиши формуласини икки марта ёзамиз:

$$2 = \frac{4(P - P_0)R^3 \cdot n}{Gr^4}, \quad (1)$$

$$0,5n - 3,6 = \frac{4P_0 \cdot R^3 n}{Gr^4}. \quad (2)$$

Бу икки тенгламани биргаликда ечиб,  $n = 12,1 \approx 12$  ва  $\lambda = 2,45$  см ни ҳосил қиламиз, сўнгра мутаносиб пропорция  $(P = P_0):P_0 = 2:2,45$  дан  $P$  қийматини топамиз.

*Жавоб:* 12 ўрам; 1940 Н; 34300 Н/см<sup>2</sup>.

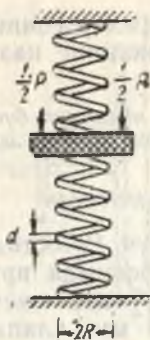
4.56. Цилиндрик винтли пружина стержени сифатида юпқа деворли пўлат найча хизмат қилади. Пружина шундай катталикдаги ўқ бўйлаб йўналган куч билан юкланганки, пружина стерженидаги уринма кучланишнинг ўрта қиймати 30 000 Н/см<sup>2</sup> га тенг. Металлнинг 10 Н га тўғри келадиган потенциал энергияни аниқланг. 4.28 га тегишли курсатмадан фойдаланинг.

$$\text{Жавоб: } \frac{\tau_{\text{сп}}^2}{2G \cdot \gamma} = 72,2 \text{ Н} \cdot \text{м/Н}.$$

4.57. Квадрат кесими  $10 \times 10$  мм бўлган ва пўлатдан ясалган цилиндрик винтли пружинада 12 ўрам бор. Ўрамларнинг ўрта радиуси 5 см. Агар синишга рухсат этиладиган кучланиш 28 000 Н/см<sup>2</sup> бўлса, пружинага қўйилиши мумкин бўлган энг катта кучни аниқланг. Шу куч таъсир этганда пружина қанчага чўкади?

*Жавоб:* 1120 Н; 9,42 см.

4.58. Ташқи диаметри 20 см ва деворининг қалинлиги 2 см бўлган пўлат труба қадами 3 см (плюс қирққиш йўли қалин-



4.60- масалага оид

лиги) бўлган цилиндрик винт йўлли қилиб қирқилган. Натижада 10 ўрамли пружина ҳосил бўлган. Сўнгра бу пружинага ўқ йуналишида 9000 Н куч осилган ва у пружинани чўзган. Пружина қанча узайган, ундаги энг катта уринма кучланиш қанчага тенг ва пружинанинг тўлиқ потенциал энергияси қанча?

Жавоб: 10,9 см; 30760 Н/см, 49050 Н/см.

4.59. Диаметри 3 см бўлган доира кесимли цилиндрик пўлат винт пружина ичига кесимнинг диаметри 2 см бўлган иккинчи пружина жойлаштирилган. Ташқи пружинанинг ўртача диаметри 16 см, иккинчисини 10 см, иккала пружинанинг баландлиги бир хил ва

ҳар қайсиси ўнтадан ўрамга эга. Пружинага 20 000 Н нагрузка таъсир қилади ва иккала пружинани бир хил чўктиради. Ҳар бир пружинага қанча нагрузка тушади, улар қанчага чўқади ва ҳар қайси пружинадаги энг катта уринма кучланиш қанча?

Жавоб: 11040 ва 8960 Н; 5,6 см; 18220 ва 31390 Н/см<sup>2</sup>.

4.60. Ўрамларининг ўртача радиуси бир хил ( $R=10$  см) бўлган икки пружина доира кесимининг диаметри  $d=2$  см ли пўлат симдан ясалган. Пружиналар икки қўзғалмас текисликлар орасига қўйилган. Расмда кўрсатилганидек пружиналар орасига нагрузка плитаси қўйилган бўлиб, у пружиналарнинг учларига қаттиқ маҳкамланган. Плита орқали пружиналарга пастга йўналган нагрузка  $P=4500$  Н узатилади. Плита оғирлигини ҳисобга олмай туриб, пружиналар орасида нагрузка қандай тақсимланганлигини аниқланг. Юқоридаги пружинада тўртта ўрам, пастдагисида бешта ўрам бор. Плитанинг вертикал силжиши қанчага тенг? Ҳар қайси пружина стерженидаги уринма кучланиш қандай катталикка эришади?

Жавоб: 2500 ва 2000 Н; 5 см; 16720 ва 13380 Н/см<sup>2</sup>.

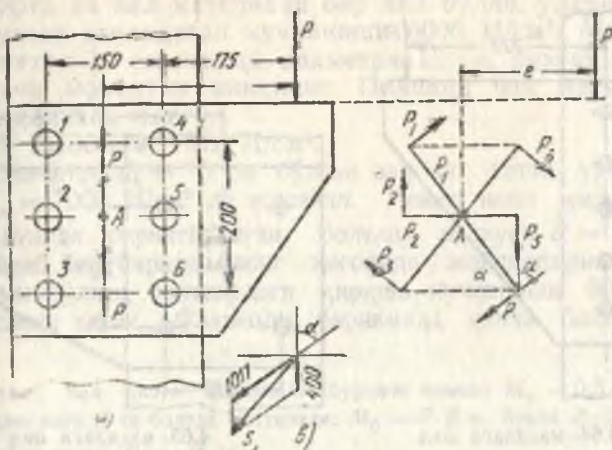
4.61. Доира кесимининг диаметри 2 см бўлган конуссимон пўлат рессора 4000 Н куч билан қисилади. Пружина устки ўрами ўқининг радиуси 4 см, пасткисиники 20 см. Агар пружина 6,5 см га чўкадиган бўлса, пружина стерженидаги энг катта уринма кучланишларни аниқланг.

Кўрсатма. Конуссимон пружиналарнинг ҳисоби Н. М. Беляевнинг дарслигида берилган, 210-бет.

Жавоб: 26750 Н/см<sup>2</sup>; 8 ўрам.

4.62. Пассажир вагонининг кузови бутун жиҳозлари билан бирга 180 кН келади ва у квадрат кесими  $3 \times 3$  см бўлган 32 та конуссимон пўлат пружиналар устида туради. Ҳар қайси пружинадаги ўрамлар сони 6 та. Статик юклангандаги синишга рухсат этиладиган кучланиш 20 000 Н/см<sup>2</sup>. Ўрамнинг энг катта радиуси 12 см, энг кичиги 6 см. Агар ҳар қайси йўловчи ўз юки билан бирга ўртача 1000 Н деб олинса, вагонга қанча





4.63- масалага оид

пассажирни сиғдириш мумкин? Буш вагон пружиналарни ўртача қанча чўктиради? Пассажирлар бор вагончи?

Жавоб: 104 киши; 1,9 см ва 3 см.

#### 15- §. Силжиш ва буралишга ишлайдиган конструкциялар

4.63. Устунга олти парчин мих билан маҳкамланган кронштейн (расмга қаранг)  $P=24000$  Н куч билан юкланган. Энг кўп куч таъсир қиладиган парчинмихга тўғри келадиган тўлиқ кучни аниқланг.

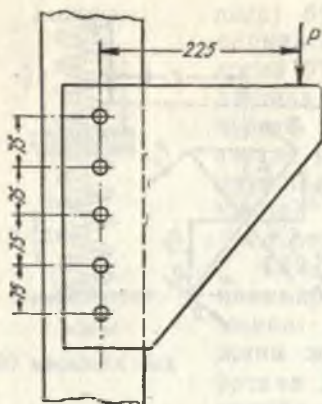
Ечи м. Куч  $P$  ни парчин михли бирикма  $A$  марказига келтирамиз. Бир чизқча чизилган куч  $P$  олти парчин мих ўртасида тенг тақсимланади. Улар ҳар қайсисига пастга томон вертикал йўналган куч  $P_0=4000$  Н тўғри келади. Иккита чизқча чизилган кучлар  $P$  эса жуфт  $P$  е ни ҳосил қилади. Бу жуфт парчин михли бирикмани бурайдиган буралган стерженга ўхшатиб бунда ҳам кучлар жуфти  $P$  е ҳосил қиладиган  $P$  куч парчин михнинг  $A$  марказидан масофа  $\rho_k$  га пропорционал ва ҳар қайсиси ўз радиусига ( $\rho_k$  га) перпендикуляр йўналган. Расмдан кўришиб турибдики,  $\rho_1 = 12,5$  см,  $\rho_2 = 7,5$  см,  $e = 250$  мм  $= 25$  см. Айтилганлардан шу парса келиб чиқадики.  $P_1 : P_2 = 12,5 : 7,5$ ;  $P_1 = \frac{5}{3} P$  экан (расм, б га қаранг). Демак.  $P_1 = P_3 = P_4 = P_6$  ва  $P_2 = P_5$ . Парчин михли бирикмани бурайдиган момент  $M_6 = P \cdot e = \sum P_6 \cdot \rho_6$ .

Сон қийматларини қўйиб қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

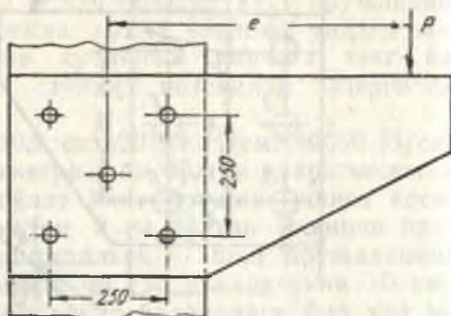
$$24000 \cdot 25 = 4 \cdot \frac{5}{3} \cdot P_2 \cdot 12,5 + 2P_2 \cdot 7,5.$$

Тенгламадан ушбуни топамиз:  $P_2=6100$  Н,  $P_1=10170$  Н.

Ўртадаги парчин михлар 2 ва 5 дан энг кўп юкланган парчин мих 5 ҳисобланади, у тўлиқ куч  $S_5 = P_5 + P_0 = 6100 + 4000 = 10100$  Н ни қабул қилади.



4.64- масалага оид



4.65- масалага оид

Четдаги тўртта парчин михлардан энг кўп юклангани 4 ва 6 ҳисобланади (расм, б ва в).  $\cos \alpha = 0,6$  бўлганда бу парчин михлардаги тўлиқ куч

$$S_4 = S_6 = \sqrt{10170^2 + 4000^2} + 2 \cdot 10170^2 \cdot 4000 \cdot 0,6 = 13000 \text{ Н.}$$

Демак, ҳар қайсиси тўлиқ куч  $S = 1300 \text{ Н}$  ни қабул қиладиган парчин михлар 4 ва 6 энг кўп юкланган экан.

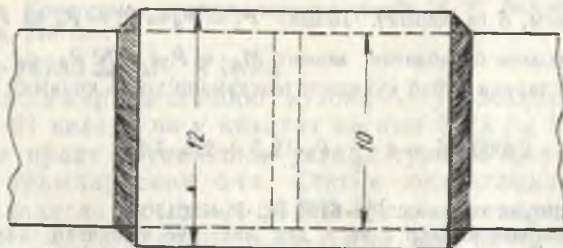
4.64. Расмда тасвирланган парчин михли бирикма  $P = 35 \text{ кН}$  кучдан тушадиган нагрукани қабул қилади. Парчин михларнинг диаметри 20 мм. Парчин михлар якка қирқишга ишлайди. Энг кўп юк тушадиган парчин михдаги уришма кучланишлар қиймати аниқланг.

Жавоб:  $7040 \text{ Н/см}^2$ .

4.65. Қалин пўлат листдан қилинган кронштейн пўлат устунга вертикал куч  $P = 30\,000 \text{ Н}$  ни расмда кўрсатилган болтли бирикма орқали узатади. Болтлар якка қирқишга ишлайди, уларнинг диаметри 23 мм. Қирқишга рухсат этиладиган кучланиш  $10\,000 \text{ Н/см}^2$ . Консолнинг рухсат этиладиган чиқариш ўлчами  $e$  қанча?

Жавоб: Кўпи билан 87 см.

4.66. Диаметри 10 см бўлган яхлит вал буралишга ишлайди. Унда туташув жойи труба муфта билан ёпилган. Муфтанинг икки ёни валга пайвандланган (104-расмга қа-



4.66- масалага оид



ранг). Муфта ва вал материали бир хил бўлиб, уларнинг силжишга рухсат этиладиган кучланиши  $6000 \text{ Н/см}^2$ . Муфтанинг ички диаметри 10 см, ташқи диаметри 12 см, рухсат этиладиган буровчи моментни аниқланг. Пайванд чок материалида кучланиш қанчага тенг?

Жавоб: 10530 Нм,  $7920 \text{ Н/см}^2$ .

4.67. Диаметри  $d_0 = 10 \text{ см}$  бўлган вал энг катта уринма кучланиш  $\tau_{\max} = 7000 \text{ Н/см}^2$  да ишлайди. Унинг икки қисми болтли фланец ёрдамида бириктирилган. Болтлар радиуси  $R = 10 \text{ см}$  ли айлана бўйлаб бир-биридан тенг масофада жойлаштирилган. Диаметри 20 мм бўлган болтлардаги қирқиш кучланиши  $6000 \text{ Н/см}^2$  дан ошмаслиги керак. Фланецли бирикмада қанча болт бўлиши керак?

Қўрсатма. Вал қабул қиладиган буровчи момент  $M_0 = 0,5 \pi r_0^2 \tau_{\max}$  фланецли бирикмага  $n$  та болтда узатилади:  $M_0 = P \cdot R \cdot n$ . Бунда  $P$ —битта валга тўғри келадиган куч:  $P = \pi r_0^2 [\tau]$ .

Жавоб: 8 болт.

4.68. Икки труба фланецлар ёрдамида диаметри 40 мм ли олтига болт билан бириктирилган. Болтлар айланада хорда бўйича бир-биридан 28 см масофада жойлашган. Болтлардаги якка қирқишга рухсат этиладиган кучланиш  $6000 \text{ Н/см}^2$ . Бу бирикма қанча буровчи моментни узатиши мумкин? Агар қалинлиги 16 мм бўлса, фланец деворга болтларнинг эзиш кучланиши қанча?

Жавоб: 90,4 кН·м,  $11770 \text{ Н/см}^2$ .

4.69. Диаметри 80 мм ва 100 мм бўлган икки яхлит вал фланецлар ёрдамида тўртта болт билан бириктирилган. Диаметри 20 мм ли болтлар икки ўзаро перпендикуляр диаметрларда валлар ўқидан 10 см масофада жойлашган. Бирикма 8000 Нм буровчи моментни узатади. Валларнинг ҳар қайсисидаги энг катта уринма кучланишларни ва болтлардаги уринма кучланишларни аниқланг.

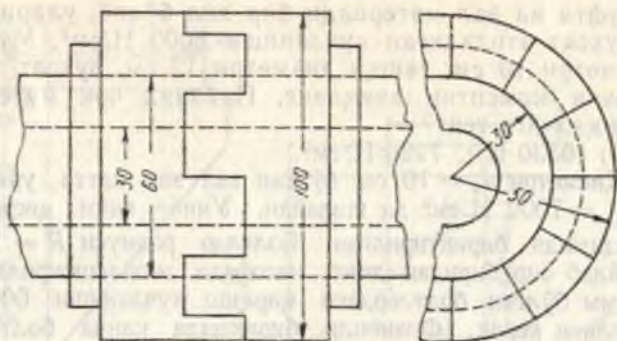
Жавоб: 7950; 4080 ва  $6360 \text{ Н/см}^2$ .

4.70. Буровчи момент 250 кНсм ни узатадиган фланецли бирикмада радиуси 7,5 см ли айлана бўйлаб диаметри 25 мм ли тўртта симметрик болт қўйилган. Болтлардан бири ишдан чиқди. Қолган уч болтнинг ҳар қайсисига қанча нагрузка тўғри келишини ва улардаги уринма кучланишлар нимага тенглигини аниқланг.

Қўрсатма. Қолган учта болтдаги огирлик марказини ва уларда вужудга келадиган кучларни топиш керак. Бундай ҳол 4.68-масалада тушунтирилган эди. Учта болтдаги кучлар momenti (уларнинг огирлик марказига нисбатан) буровчи моментга, тенг таъсир этувчи куч эса нолга тенг.

Жавоб: Битта диаметр учларида жойлашган икки болтга энг кўп нагрузка тушади:  $P' = P'' = 13170 \text{ Н}$ ;  $P''' = 8330 \text{ Н}$ .

Болтлардаги кучланишлар тегишлича 2690 ва  $1700 \text{ Н/см}^2$ .



4.72- масалага оид

4.71. Вални 200 айл/мин тезликда айлантирадиган шкив диаметри 75 мм ли яхлит валга 125 от кучи узатади. Шкив валга кесими  $10 \times 10$  мм ва узунлиги 100 мм бўлган шпонка ёрдамида бириктирилган. Шпонкадаги уринма кучланишларни ва шпонканинг ариқча деворига эзилиш кучланишини аниқланг.

Жавоб:  $11940 \text{ Н/см}^2$ ;  $23880 \text{ Н/см}^2$ .

4.72. Ташқи диаметри 60 мм, ички диаметри 30 мм бўлган ичи буш валнинг икки қисми ташқи диаметри 100 мм, ички диаметри 60 мм ли кулачокли муфта билан бириктирилган (расмга қаранг). Вал материалидаги энг катта уринма кучланишлар  $[\tau]$  га тенг. Агар кучланишни ҳар бир тиш асоси кесими бўйича бир текис тақсимланган деб ҳисобланса, бу кучланишларнинг қандай қисмини синдирувчи кучланиш  $\tau$  ташкил қилади.

Жавоб:  $\tau = 0,396 [\tau]$ .



## ЯССИ ШАҚЛЛАРНИНГ ГЕОМЕТРИК ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

### 16-§. Симметрия ўқларига эга бўлган кесимларнинг геометрик характеристикалари

5.1. Тўғри тўртбурчак юзасининг  $x$  ва  $y$  ўқларига нисбатан ўқ ва марказдан қочма инерция моментларини ҳисобланг. Ўқлар тўғри тўртбурчакнинг  $b=24$  см,  $h=80$  см ўлчамли икки томонига мос тушади.

Жавоб:  $J_x = \frac{bh^3}{3} = 216000 \text{ см}^4$ ;

$$J_y = \frac{b^3 \cdot h}{3} = 138200 \text{ см}^4$$

$$J_{xy} = \frac{b^2 \cdot h^2}{4} = 129600 \text{ см}^4.$$

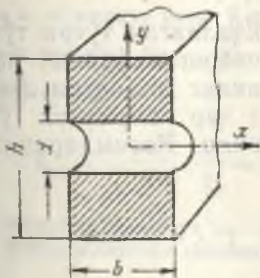
5.2. Думалоқ тешик билан кучсизланган тўғри тўртбурчак брус кесимининг бош марказий инерция моментлари ва қаршилиқ моментлари катталигини аниқланг (расмга қаранг). Ўлчамлар қуйидагича:  $b=12$  см,  $h=20$  см,  $d=5$  см.

Жавоб:

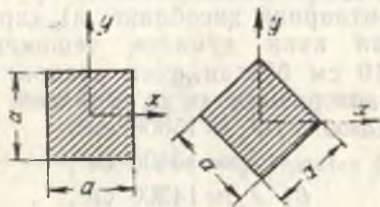
$$J_x = 7875 \text{ см}^4; J_y = 2160 \text{ см}^4;$$

$$W_x = 787,5 \text{ см}^3; W_y = 360 \text{ см}^3.$$

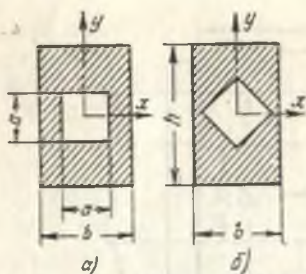
5.3. Ўқ  $x$  ни горизонтал қолдирган ҳолда (расмга қаранг) кесимини  $45^\circ$  бурчакка бурилса, томонлари  $a$  га тенг бўлган



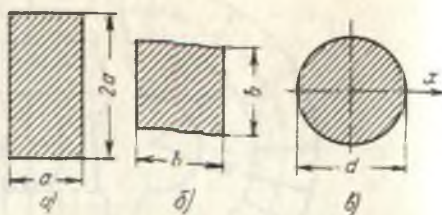
5.2-масалага оид



5.3-масалага оид



5.4- масалага оид



5.5- масалага оид

квадратнинг  $x$  ўққа нисбатан инерция моменти ва қаршилиқ моменти қандай ўзгаради?

**Жавоб:** Инерция моменти ўзгармайди, қаршилиқ моменти 41% кичраяди.

5.4. Расмда кўрсатилган ичи бўш тўғри тўртбурчак кесимнинг бош марказий инерция моментлари, бош инерция радиуслари ва қаршилиқ моментларини ҳисобланг. Ўлчамлар:  $b = 12$  см,  $h = 20$  см,  $a = 6$  см. Агар расм, б да кўрсатилганидек ички квадрат бўшлиқ  $45^\circ$  бурчакка бурилса, кесимнинг бу характеристикалари қандай ўзгаради?

**Жавоб:**

а)  $J_x = 7892 \text{ см}^4$ ;  $J_y = 2772 \text{ см}^4$ ;  $i_x \approx 6,16$  см;  
 $W_x = 789,2 \text{ см}^3$ ;  $W_y = 462 \text{ см}^3$ ;  $i_y \approx 3,69$  см.

б) ўзгармайди.

5.5. Агар уччала кесим юзаси  $F$  бир хил бўлса (расмга қаранг) тўғри тўртбурчак, квадрат ва доиранинг кесимлари инерция моментлари катталигини марказий ўқ  $x$  га нисбатан таққосланг.

**Кўрсатма.** Шаклларнинг инерция моментларини кесим юзаси орқали ифодаланг.

**Жавоб:**

а)  $J_x = 0,167 \cdot F^2$ ;

б)  $J_x = 0,0833 \cdot F^2$ ;

в)  $J_x = 0,0797 \cdot F^2$ .

5.6. Қуйидаги икки вариантда лойиҳаланган тўғри тўртбурчак шаклли икки каналли трубанинг бош марказий инерция моментларини ҳисобланг: а) ҳар бирининг диаметри  $d = 10$  см бўлган икки думалоқ тешикли, б) ҳар бирининг ўлчами  $10 \times 10$  см бўлган икки квадрат тешикли. Кесимларининг ўлчамлари расмда мм да берилган.

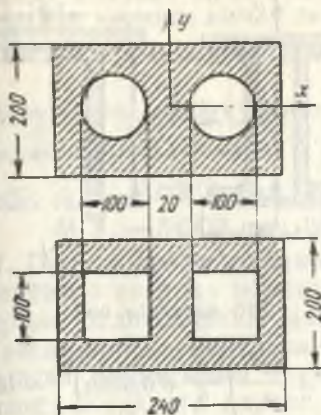
**Жавоб:** а)  $J_x \approx 15000 \text{ см}^4$ ,

$J_y \approx 16400 \text{ см}^4$ ;

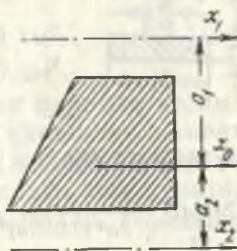
б)  $J_x \approx 14300 \text{ см}^4$ ,

$J_y \approx 14200 \text{ см}^4$ .



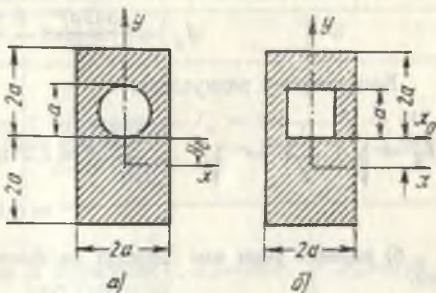


5.6- масалага оид



5.7- масалага оид

5.7. Юзаси  $F$  бўлган кесимнинг  $x_2$  ўққа нисбатан инерция моменти катталигини аниқланг. Унинг  $x_1$  ўқига нисбатан инерция моменти берилган (расмга қаранг). Кесимларнинг оғирлик марказидан  $x_1$  ва  $x_2$  ўқларгача бўлган масофа  $a_1$  ва  $a_2$  ларга тенг.



5.8- масалага оид

Жавоб  $J_{x_2} = J_{x_1} + F(a_2^2 - a_1^2)$ .

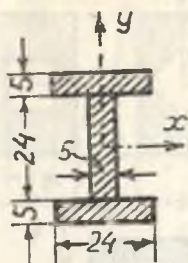
5.8. Қуйидаги икки вариантда лойиҳаланган тўғри тўртбurchак кесимли трубанинг бош марказий инерция моментларини ва бош инерция радиусларини таққосланг (расмга қаранг): а) думалоқ тешикли ва б) кесим баландлиги бўйича бир хил жойлашган квадрат тешикли. Кесимларнинг энг кичик қаршиликлар моментларини марказий ўқ  $x$  га нисбатан ҳисобланг.

Ечи м. а) вариант учун: Кесим юзаси  $F = 8a^2 - \frac{\pi a^2}{4} = 7,215a^2$ , тўғри тўртбurchакнинг марказий ўқи  $x_0$  дан трубанинг оғирлик марказигача бўлган масофа  $y_c = \frac{S_{x_0}}{F}$ , буида

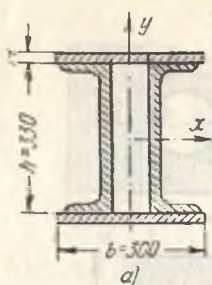
$$S_{x_0} = -\frac{\pi a^2}{4} \cdot \frac{a}{2} = -\frac{\pi a^3}{8} \text{ ва } y_c = -\frac{\pi a^3}{8 \cdot 7,215a^2} = -0,055a.$$

Кесимнинг марказий ўқ  $x_0$  га нисбатан инерция моментини параллел ўқларга ўтиш формулаларидан ҳисоблаймиз:

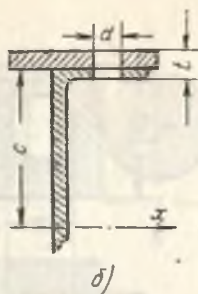
$$[J_x = \sum (J_{x_0} + F \cdot c^2)]$$



5.9- масалага оид



5.10- масалага оид



$$J_x = \left[ \frac{2a(4a)^3}{12} + 8a^2 (0,055a)^2 \right] - \left[ \frac{\pi a^4}{64} + \frac{\pi a^2}{4} \left( \frac{a}{2} + 0,055a \right)^2 \right] = 10,33 a^4.$$

Вертикал ўқ  $y$  га нисбатан инерция моменти

$$J_y = \frac{4a(2a)^3}{12} - \frac{\pi a^4}{64} = 2,62 a^4.$$

Бош инерция радиуслари:

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} = \sqrt{\frac{10,33}{7,215} a^2} = 1,2 a; \quad i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} = \sqrt{\frac{2,62}{7,215} a^2} = 0,6 a$$

б) вариант учун ҳам шундай ҳисоблаш ишларини бажариб, ушбунни топа-миз:

$$F = 7a^2; \quad y_c = 0,07a; \quad J_x = 10,3a^4; \quad J_y = 2,59a^4; \quad i_x = 1,22a; \quad i_y = 0,61a.$$

Кесимларнинг бош ўқ  $x$  га нисбатан қаршиликлар моментлари:

$$а) W_x = \frac{J_x}{y_{max}} = \frac{10,33a^4}{2,055a} = 5,027 a^3; \quad б) W_x = \frac{J_x}{y_{max}} = \frac{10,3a^4}{2,07a} = 4,976a^3.$$

5.9. Ёғоч балка бир-бирига двутавр кўринишида елимланган бир хил тахтадан иборат (расмга қаранг). Агар ҳар қайси тахта кесимининг ўлчамлари  $5 \times 24$  см бўлса, двутавр юзасининг бош марказий инерция моментлари ва қаршилик моментларини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } J_x = 56660 \text{ см}^4; \quad J_y = 11770 \text{ см}^4;$$

$$W_x = 3330 \text{ см}^3; \quad W_y = 980 \text{ см}^3.$$

5.10. Иккита швеллер № 33 дан иборат бўлган ва  $300 \times 14$  мм ўлчамли листлар билан ёпилган йиғма балка (расмга қаранг) икки вариантда лойиҳаланади: а) пайвандлаб — листлар швеллерлар токчасига ён чоклар билан пайвандланади, б) парчинлаб — листлар швеллерлар токчасига диаметри  $d = 23$  мм ли парчин михлар ёрдамида пайвандланади. Иккала вариант учун кесимнинг  $x$  ўққа нисбатан инерция моментини ва қаршилик моментини ҳисобланг ва натижаларни таққосланг.



*Кўрсатма.* Кесимнинг парчин миҳлар учун очилган тешиклардан кучсила-  
нишини ҳисоблаш мақсадида расм, б да штрихланмаган тўртта тешикнинг  $x$  ўққа  
нисбатан инерция моментини ушбу формуладан ҳисобланг:  $\Delta J_x = 4 \left( \frac{dt^3}{12} + dtc^2 \right)$ ,  
тешикларнинг хусусий инерция моментларини  $\left( \frac{dt^3}{12} \right)$  ҳисобга олмаса ҳам бўлади.  
Бутун кесимнинг инерция моменти  $J_n = J_{бр} - \Delta J$ .

*Жавоб:* а)  $J_x = 40800 \text{ см}^4$ ;  $W_x = 2280 \text{ см}^3$ ,

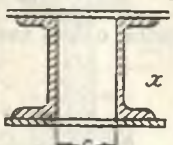
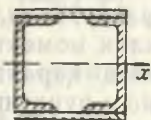
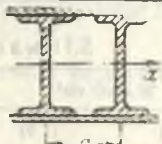
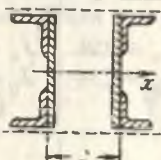
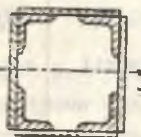
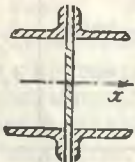
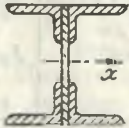
б)  $J_x = 34300 \text{ см}^4$ ;  $W_x = 1920 \text{ см}^3$ .

**5.11.** Прокат профиллардан тузилган пайванд кесимларнинг  
бош марказий инерция моментларини, қаршилик моментларини  
ва инерция радиусларини аниқланг (жадвалга қаранг). Тар-  
кибий кесимнинг элементлари биргаликдаги иши пунктир билан  
кўрсатилган бириктириш элементлари билан таъминланади.

*Жавоб:* Жадвалга қаранг.

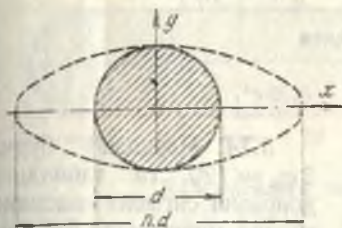
5.11 масалага

| Схема<br>номери | Кесим схемаси | Кесим таркиби (мм)                                                      |                                                                        | Жавоб $\text{см}^4$                 |                                 |
|-----------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
|                 |               | Вариант а)                                                              | Вариант б)                                                             | а)                                  | б)                              |
| I               |               | 2 бурчаклик<br>$100 \times 100 \times 10$<br>$\delta = 10$              | 2 бурчаклик<br>$80 \times 80 \times 8$<br>$\delta = 8$                 | $J_x = 358$<br>$J_y = 784$          | $J_x = 147$<br>$J_y = 323$      |
| II              |               | 2 бурчаклик<br>$80 \times 80 \times 8$<br>$\delta = 8$                  | 2 бурчаклик<br>$100 \times 100 \times 10$<br>$\delta = 10$             | $J_x = 232$<br>$J_y = 411$          | $J_x = 568$<br>$J_y = 998$      |
| III             |               | 4 бурчаклик<br>$125 \times 125 \times 10$<br>$\delta = 10$<br>$h = 400$ | 4 бурчаклик<br>$100 \times 100 \times 10$<br>$\delta = 8$<br>$h = 300$ | $J_x = 28\,000$<br>$J_y = 2960$     | $J_x = 12\,500$<br>$J_y = 1990$ |
| IV              |               | 4 бурчаклик<br>$140 \times 90 \times 10$<br>лист $12 \times 240$        | 4 бурчаклик<br>$110 \times 70 \times 8$<br>лист $200 \times 10$        | $J_x = 10\,400$<br>$J_y = 4070$     | $J_x = 5170$<br>$J_y = 1630$    |
| V               |               | 2 швеллер<br>№ 36<br>Қўштаквр № 14                                      | 2 швеллер<br>№ 30<br>Қўштаквр № 14                                     | $J_x = 21\,680$<br>$J_y = 1160\,00$ | $J_x = 11\,660$<br>$J_y = 8566$ |

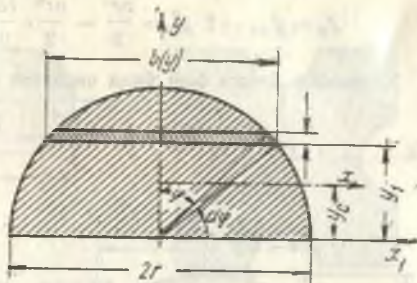
| 1    | 2                                                                                   | 3                                                                                             | 4                                                                                                | 5                           | 6                              |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| VI   |    | 2 швеллер<br>№ 22<br>$c=100$<br>2 лист                                                        | 2 швеллер<br>№ 16<br>$c=100$<br>2 лист                                                           | $J_x=11\ 630$<br>$J_y=6740$ | $J_x=4320$<br>$J_y=3880$       |
| VII  |    | $280 \times 10$<br>2 швеллер<br>№ 36<br>2 лист<br>$240 \times 12$                             | $250 \times 8$<br>2 швеллер<br>№ 22<br>2 лист<br>$280 \times 10$                                 | $J_x=41570$<br>$J_y=13070$  | $J_x=11\ 630$<br>$J_y=11\ 380$ |
| VIII |    | 2 құштавр<br>№ 14<br>$240 \times 8$<br>$c=120$                                                | 2 құштавр<br>№ 30<br>$300 \times 12$<br>$c=150$                                                  | $J_x=3250$<br>$J_y=3180$    | $J_x=31\ 700$<br>$J_y=11\ 300$ |
| IX   |    | 4 бурчаклик<br>$50 \times 50 \times 5$<br>2 лист<br>$200 \times 6$<br>$c=130$                 | 4 бурчаклик<br>$90 \times 90 \times 8$<br>2 лист<br>$220 \times 8$<br>$c=160$                    | $J_x=2260$<br>$J_y=2170$    | $J_x=5850$<br>$J_y=8600$       |
| X    |    | 4 бурчаклик<br>$70 \times 70-7$<br>4 листа<br>$200 \times 6$                                  | 4 бурчаклик<br>$100 \times 100 \times 10$<br>4 лист<br>$300 \times 10$                           | $J_x=5940$<br>$J_y=5940$    | $J_x=31\ 190$<br>$J_y=31\ 190$ |
| XI   |   | 4 бурчаклик<br>$140 \times 90 \times 10$<br>лист<br>$240 \times 10$                           | 4 бурчаклик<br>$160 \times 100 \times 12$<br>лист<br>$300 \times 12$                             | $J_x=4060$<br>$J_y=4070$    | $J_x=8880$<br>$J_y=6110$       |
| XII  |  | 4 бурчаклик<br>$80 \times 80 \times 8$<br>2 тоқча девор<br>$180 \times 10$<br>$600 \times 10$ | 4 бурчаклик<br>$100 \times 100 \times 10$<br>2 тоқча девор<br>$240 \times 10$<br>$900 \times 10$ | $J_x=89\ 615$<br>$J_y=1595$ | $J_x=297\ 380$<br>$J_y=3680$   |

5.12 Расмда пунктир билан кўрсатилганидек, айлана барча нуқталарининг абсциссаларини  $n$  марта оширилса, доира кесимнинг бош марказий инерция моментлари ва қаршилиқ моментлари қандай ўзгаришини аниқланг.





5.12- масалага оид



5.13- масалага оид

Жавоб:  $J_x - n$  марта;  $J_y - n^3$  марта;  
 $W_x - n$  марта;  $W_y - n^2$  марта катталашади.

5.13. Ярим доира юзасининг оғирлик маркази вазиятини аниқланг ва бош марказий инерция ўқларига нисбатан инерция моментларини ҳисобланг (расмга қаранг).

Ечиш. Қўшимча ўқ  $x_1$  дан кесимнинг оғирлик марказигача бўлган масофа қуйидаги формуладан аниқланади:

$$y_C = \frac{S_{x_1}}{F},$$

бунда

$$S_{x_1} = \int_F y_1 dF, \text{ ва } F = 0,5 \pi r^2.$$

Юзанинг статик моменти  $S_{x_1}$  ни ҳисоблаш учун элементар полоса  $dF = b(y) dy$  ни ажратиб оламиз. Шунда  $S_{x_1} = \int_0^r b(y) y_1 dy_1$ .

Қутбий координаталарга ўтиб, қуйидагини топамиз:

$$b(y) = 2r \sin \varphi, \quad y_1 = r \cos \varphi, \quad dy_1 = -r \sin \varphi d\varphi.$$

Интеграл белгиси остига олиб ва унинг пойдан  $r$  гача ўзгарганда бурчак  $\frac{\pi}{2}$  дан 0 гача ўзгаришини ҳисобга олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$S_{x_1} = -2r^3 \int_{\frac{\pi}{2}}^0 \sin^2 \varphi \cdot \cos \varphi d\varphi = 2r^3 \frac{\sin^3 \varphi}{3} \bigg|_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{2}{3} r^3.$$

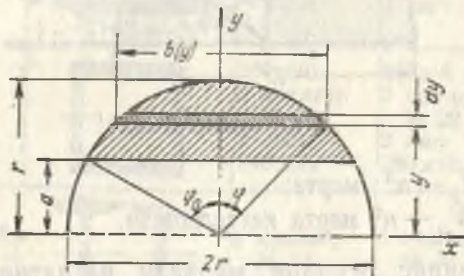
демак, 
$$y_C = \frac{2r^3}{3 \cdot 0,5 \pi r^2} = \frac{4r}{3\pi}$$

Ярим доиранинг марказий ўқ  $x$  га нисбатан инерция моментини аниқлаш учун параллел ўқларга ўтиш формуласидан фойдаланамиз. Ярим доиранинг қўшимча ўқ  $x_1$  га нисбатан инерция моменти доиранинг ўша ўққа нисбатан инерция моменти ярмига тенг, яъни  $J_{x_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi r^4}{8}$  эканлигини билиб, қуйидагини топамиз:

$$J_x = J_{x1} - F \cdot y_C^2 = \frac{\pi r^4}{8} - \frac{\pi r^2}{2} \cdot \frac{16r^2}{9\pi^2} = \frac{\pi r^4}{8} \left(1 - \frac{64}{9\pi^2}\right) \approx 0,11r^4$$

Кесимнинг бошқа бosh ўққа нисбатан моменти

$$J_y = 0,5 \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi r^4}{8} = 0,39 r^4.$$



5.14- масалага оид

**5.14.** Марказий бурчак  $2\varphi_0 = 120^\circ$  га таянадиган доиравий сегмент юзасининг айлана марказидан ўтадиган  $x$  ва  $y$  ўқларга нисбатан инерция моментларини ҳисобланг (расмга қаранг).

*Қўрсатма.*  $\Sigma$  қ  $x$  дан иктирий масофа  $y$  да эни  $b(y)$  ва баландлиги  $dy$  бўлган элементар полосани ажратиб олиб, бунда  $b(y) = 2r \sin \varphi$ ,  $y = r \cos \varphi$  ва  $dy = -r \sin \varphi d\varphi$  қуйидагини топамиз:

$$\begin{aligned} J_x &= \int_F y^2 dF = -2r^4 \int_{\varphi_0}^0 \sin^3 \varphi \cos^2 \varphi d\varphi = \frac{r^4}{2} \int_0^{\varphi_0} \sin^2 2\varphi d\varphi = \\ &= \frac{r^4}{2} \left( \frac{\varphi_0}{2} - \frac{\sin 4\varphi_0}{8} \right). \end{aligned}$$

Сегментнинг кўриб чиқилаётган юзасининг бошқа ўқ  $y$  га нисбатан инерция моментини асоси  $dy$  ва баландлиги  $b(y)$  бўлган элементар полосалар (гўри тург-бурчаклар) инерция моментлари йиғиндиси сифатида ҳисоблаш мумкин:

$$\begin{aligned} J_y &= \int_{y_1}^r \frac{b^3(y) dy}{12} = \frac{8r^3}{12} \int_{\varphi_0}^0 \sin^3 \varphi (-r \sin \varphi) d\varphi = \frac{2r^4}{3} \int_0^{\varphi_0} \sin^4 \varphi d\varphi = \\ &= \frac{2r^4}{3} \left( \frac{3}{8} \varphi_0 - \frac{\sin \varphi_0}{4} + \frac{\sin 4\varphi_0}{32} \right). \end{aligned}$$

Жавоб:  $J_x = \frac{r^4}{16} (4\varphi_0 - \sin 4\varphi_0) \approx 0,315 r^4;$

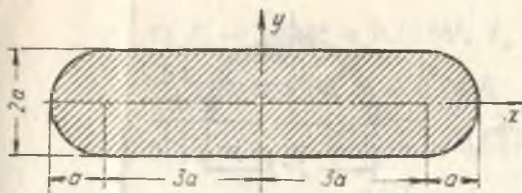
$$J_y = \frac{r^4}{48} (12\varphi_0 - 8\sin 2\varphi_0 + \sin 4\varphi_0) \approx 0,11 r^4.$$

**5.15.** Расмда кўрсатилган кўприк таянчининг кесими бош марказий инерция моментлари ва қаршилик моментлари катталигини топинг. 5.13 масала ечимигаги натижалардан фойдаланинг.

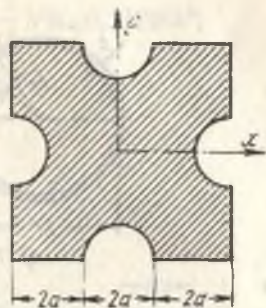
Жавоб:  $I_x \approx 4,785 a^4;$   $J_y = 73 a^4;$

$$W_x \approx 4,785 a^3 \quad W_y = 13,3 a^3.$$





5.15- масалага онд



5.16- масалага онд

5.16. Квадрат шаклидаги ҳамда тўртта симметрик жойлашган  $a$  радиусли ярим доиравий ўйиқлари бўлган кесим юзасининг бош марказий инерция моментларини ва бош инерция радиусларини аниқланг (расмга қаранг). 5.13 масала ечимидagi натижалардан фойдаланинг. Ўқлар  $x$  ва  $y$   $45^\circ$  бурилганда кесимнинг бу характеристикалари қандай ўзгаради?

Жавоб: 1)  $J_x = J_y \approx 86,2 a^4$ ;  $i_x = i_y \approx 1,7 a$ .

2) ўзгармайди.

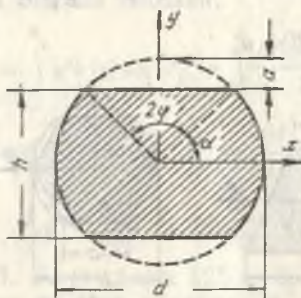
5.17. Кўприк тўсини диаметри  $d = 2r = 24$  см бўлган ғўладан қилинган, унинг икки томони  $a = 3,5$  см чуқурликда йўнилган (расмга қаранг). 5.14 масала ечимидagi натижалардан фойдаланиб, тўсиннинг марказий ўқ  $x$  га нисбатан инерция моментини ва қаршилик моментини аниқланг.

Кўрсатма. Ҳар қайси йўнилган сигментларнинг инерция моментини радиус ва марказий бурчак  $2\phi$  орқали ифодаланг.

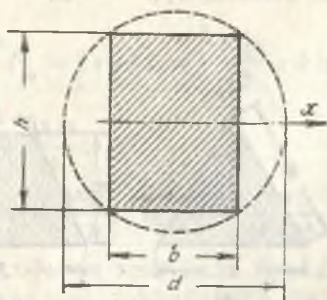
Жавоб:  $J_x = \frac{r^4}{8} (4\alpha - \sin 4\alpha) = 8140 \text{ см}^4$ ;

$W_x \approx 0,56 r^3 = 958 \text{ см}^3$ .

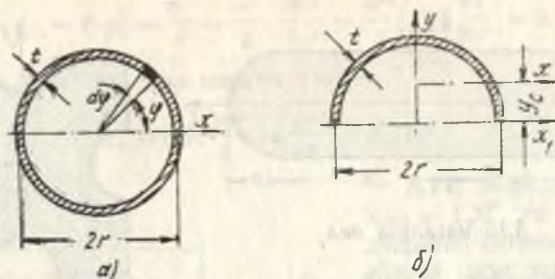
5.18. Диаметри  $d$  бўлган думалоқ ғўладан тўғри тўртбурчак кесимли тўсин тайёрлаш керак. Унинг марказий ўқ  $x$  га нисбатан қаршилик momenti энг катта қийматга эга бўлсин. Шу шартга кўра кесимнинг  $b$  ва  $h$  ўлчамларини аниқланг (расмга қаранг).



5.17- масалага онд



5.18- масалага онд



5.19- масалага онд

Жавоб:  $b = \frac{d}{3} \sqrt{3}$ ;  $h = \frac{d}{3} \sqrt{6}$ ;  $\frac{h}{b} = \sqrt{2}$

5.19. Қуйидаги кесимларнинг бош марказий инерция моментлари катталигини аниқланг: а) юпқа деворли доирaviй цилиндр, б) юпқа деворли ярим цилиндр (расмга қаранг), бунда деворларнинг қалинлиги  $t$  радиус  $r$  га нисбатан анча кичиклигини ҳисобга олинг.

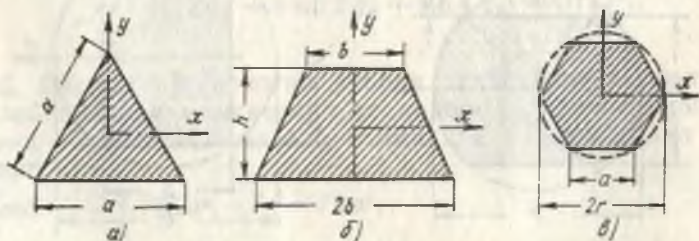
Қўрсатма. Ҳалқанинг қутбий инерция моменти  $J_p = \int_F \rho^2 dF$  ни ҳисоблаб олиш тавсия қилинади. Бунда  $dF = t \cdot r d\varphi$  билан ифодаланг.

Жавоб: а)  $J_x = J_y = \pi r^3 t$ ;

б)  $y_c = \frac{2r}{\pi} \approx 0,637 r$ ,  $J_x \approx 0,3 r^3 \cdot t$ ,  $J_y \approx 1,57 r^3 \cdot t$ .

5.20. Қуйидаги юзаларнинг бош марказий инерция моментларини ва бош инерция радиусларини ҳисобланг: а) тенг ёнли учбурчак, б) тенг ёнли трапеция ва в) радиуси  $r$  бўлган доирага ички чизилган мунтазам олтибурчаклик.

Жавоб: а)  $I_x = I_y = \frac{a^4 \sqrt{3}}{96} \approx 0,018 a^4$ ,  $i_x = i_y = \frac{a}{2\sqrt{6}} \approx 0,204 a$ ;



5.20- масалага онд



$$6) J_x = \frac{13}{108} bh^3 = 0,12 bh^3, J_y = \frac{5}{16} b^3 h \approx 0,312 b^3 h^3;$$

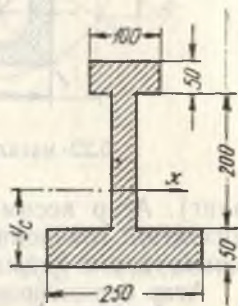
$$i_y = 0,456b, i_x = 0,283h;$$

$$в) J_x = J_y = \frac{5r^4\sqrt{3}}{16} \approx 0,54 r^4;$$

$$i_x = i_y = \frac{r\sqrt{30}}{12} \approx 0,456 r.$$

521. Токчасининг эни ҳар хил бўлган қўштавр (расмга қаранг, мм) учун кесимнинг оғирлик маркази вазиятини аниқланг ҳамда шакл юзасининг марказий  $x$  ўққа нисбатан инерция моментини ва энг кичик қаршилиқ моментини ҳисобланг. Деворнинг қалинлиги 25 мм.

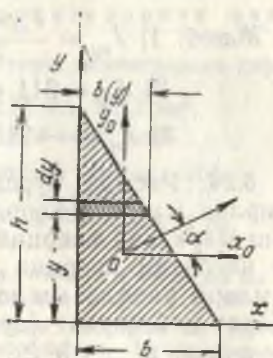
Жавоб:  $y_C = 10,8$  см;  $J_x = 25470$  см<sup>4</sup>;  $W_x = 1330$  см<sup>3</sup>.



5.21-масалага оид

#### 17-§. Носимметрик кесимларнинг геометрик характеристикалари

5.22. Учбурчак юзасининг  $x$  ва  $y$  ўқларига нисбатан ўқ ва марказдан қочма инерция моментлари катталикларини топинг. Ўқлар учбурчак катетларига тўғри келади. Олинган натижалардан фойдаланиб, учбурчакнинг ўқлар  $x_0$  ва  $y_0$  га нисбатан ўқ ҳамда марказдан қочма инерция моментларини ҳам аниқланг ва шаклининг бош инерция ўқлари вазиятини топинг.



5.22-масалага оид

Қўрсатма. Юзаси  $dF = b(y) dy$  бўлган элементар полосани ажратиб, инерция моментларини интеграл сифатида ҳисобланг.

$$J_x = \int_0^h y^2 b(y) dy; J_y = \int_0^h \frac{b^3(y)}{3} dy; J_{xy} = \int_F x y dF = \int_0^h \frac{b(y)}{2} \cdot y \cdot b(y) dy.$$

$$\text{Жавоб: } J_x = \frac{hb^3}{12}; J_y = \frac{hb^3}{12}; J_{xy} = \frac{b^2 h^2}{24};$$

$$J_{x_0} = \frac{bh^3}{36}; J_{y_0} = \frac{hb^3}{36}; J_{x_0 y_0} = -\frac{b^2 h^2}{72}; \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{bh}{h^2 - b^2}.$$

5.23. Ўлчамлари  $125 \times 125 \times 10$  бўлган тенг ёнли прокат бурчаклиги кесими юзасининг бурчаклик токчаларига параллел бўлган марказий ўқлар  $x$  ва  $y$  га нисбатан марказдан қочма инерция momenti катталигини топинг (илова, 1-жадвалга қа-

Шундай қилиб,  $J_{xC} = 1272 \text{ см}^4$ ,  $J_{yC} = 201 \text{ см}^4$  ва  $J_{yC} x_C = -268 \text{ см}^4$ .  
Ўқларга  $x_C$  ва  $y_C$  га бош ўқларнинг қиялик бурчаги қуйидаги шартдан аниқланади:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2J_{xC} y_C}{J_{yC} - J_{xC}} = \frac{-2 \cdot 268}{201 - 1272} = 0,501.$$

Бундан

$$2\alpha_0 = 26^\circ 31', \alpha_0 = 13^\circ 18', \sin \alpha_0 = 0,23, \cos \alpha_0 = 0,973 \\ \sin 2\alpha_0 = 0,443.$$

3. Бош марказий инерция моментларни ҳисоблаш.

Бурилган ўқларга ўтиш формулалардан фойдаланиб, қуйидагиларни оламиз:

$$J_x = J_{xC} \cos^2 \alpha_0 + J_{yC} \sin^2 \alpha_0 - J_{xC} y_C \sin 2\alpha_0 = 1272 \cdot 0,973^2 + 201 \cdot 0,23^2 + \\ + 268 \cdot 0,443 = 1336 \text{ см}^4,$$

$$J_y = J_{xC} \sin^2 \alpha_0 + J_{yC} \cos^2 \alpha_0 + J_{xC} y_C \sin 2\alpha_0 = 1272 \cdot 0,23^2 + 201 \cdot 0,973^2 - \\ = 268 \cdot 0,443 = 137 \text{ см}^4.$$

Ўша қийматлар  $J_x$  ва  $J_y$  ни олиб, тригонометрик функцияларни ўз ичига олмайдиган формулалардан ҳам фойдаланиш мумкин:

$$J_{\max}^{\min} = 0,5 (J_{xC} + J_{yC}) \mp \sqrt{(J_{xC} - J_{yC})^2 + 4J_{xC} y_C^2}.$$

Арифметик амалларни текшириш ( $J_x + J_y = J_{xC} + J_{yC} = \text{const}$ ):

$$J_x + J_y = 1336 + 137 = 1473 \text{ см}^4, J_{xC} + J_{yC} = 1272 + 201 = 1473 \text{ см}^4.$$

Бош инерция ўқларининг вазияти расмда кўрсатилган. Бурчак  $\alpha_0 > 0$  бўлгани учун уни  $x$  ўқдан бошлаб соат сгелкасига тескари йўналишда бош ўқ  $x$  гача қўямиз. Агар  $J_{xC} y_C < 0$  бўлса, инерция моменти унга нисбатан энг катта қийматга эришадиган сош ўқ биринчи квадрат орқали ўтади. Топилган катталикларни таққослаб,  $J_x = J_{\max} = J_1$ ,  $J_y = J_{\min} = J_2$  эканлигини кўрамыз.

Кесимнинг бош инерция моментларини Мор доирасидан фойдаланиб (расм, б), график тарзда ҳам аниқлаш мумкин. Танланган масштабда нуқталарнинг координатлари  $D_\alpha$  ( $OE = J_{xC}$ ,  $ED_\alpha = J_{xC} y_C$ ) ва  $D_\beta$  ( $OE_1 = J_{yC}$ ,  $E_1 D_\beta = -J_{yC} x_C$ ) ни қўйиб, худди берилган  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xy}$  ва  $\sigma_y$ ,  $\tau_{yx}$  бўйича бош кучланишларни график тарзда аниқлагандагидек Мор доирасини ясаймиз.

4. Кесимнинг инерция эллипсини ясаш.

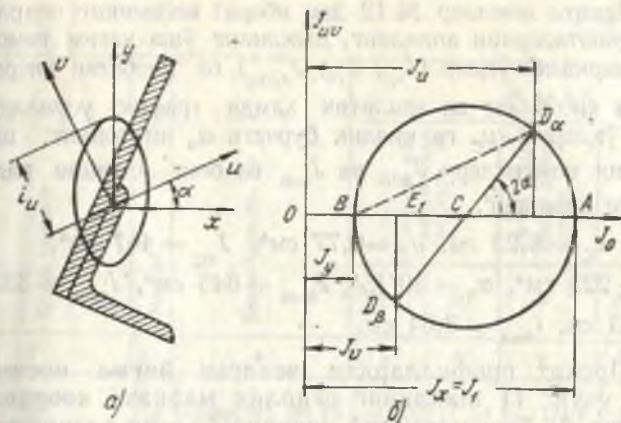
Инерция эллипсининг тенгламаси  $\frac{x^2}{i_y^2} + \frac{y^2}{i_x^2} = 1$ , бунда  $i_x$  ва  $i_y$  кесимнинг инерция радиуслари эллипсининг ярим ўқлари ҳисобланади:

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} = \sqrt{\frac{1336}{35,6}} = 6,12 \text{ см}, i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} = \sqrt{\frac{137}{35,6}} = 1,96 \text{ см}.$$

Инерция радиусларини ўша масштабдаги тегишли ўқларга перпендикуляр қўйиб, уларда худди ярим ўқлардагидек инерция эллипсини ясаймиз (расмга қаранг).

5.26. 5.25 масалада кўрилган кесим учун аналитик (бурилган ўқларга ўтиш формулалари бўйича) ва график (Мор доираси ёрдамида ва эллипс бўйича) усулларда бош ўқларга  $\alpha = 30^\circ$  бурчакка қия (расм, а) ўқлар  $u$  ва  $v$  га нисбатан инерция моментлари катталигини аниқланг.





5.26-масалага оид

**Кўрсатма.** Мўр донраси диаметридагидек бош марказий инерция моментлари фарқларига қурилади (5.25 масалага қаранг).

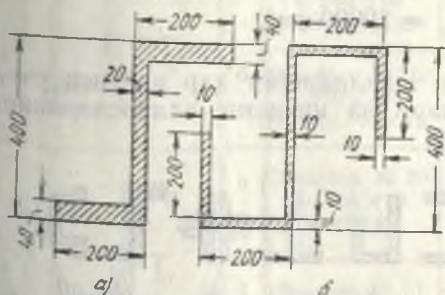
Инерция эллипсиди инерция радиуси  $i_u$  ўқидан ўша ўққа параллел эллипс уринмасигача масофа сифатида ўлчанади.  $J_u = i_u^2 \cdot F$ .

**Жавоб:**  $J_u = 1035 \text{ см}^4$ ;  $J_v = 438 \text{ см}^4$ ;  $J_{uv} = 518 \text{ см}^4$ .

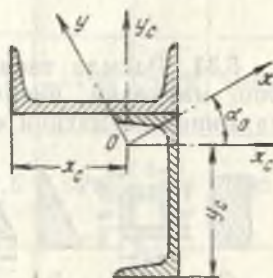
График ечими расмда кўрсатилган.

5.27. Расмда тасвирланган юпқа деворли (а) ва қайрилма токчали қалин деворли (б) зетсимон кесимлар учун бош марказий инерция ўқлари вазиятини топинг. Бош инерция моментларини ва бош инерция радиусларини аниқланг. Расмдаги ўлчамлар мм да берилган.

**Жавоб:** а)  $\alpha_0 = -226^\circ 5'$ ,  $J_x = 70900 \text{ см}^4$ ,  $J_y = 5400 \text{ см}^4$ ;  
 $i_x = 17,7 \text{ см}$ ,  $i_y = 4,9 \text{ см}$ ;  
 б)  $\alpha_0 = -39^\circ 25'$ ,  $J_x = 36100 \text{ см}^4$ ,  $J_y = 6900 \text{ см}^4$ ;  
 $i_x = 17,65 \text{ см}$ ,  $i_y = 7,7 \text{ см}$ .



5.27-масалага оид



5.28-масалага оид

5.28. Иккита швеллер №12 дан иборат кесимнинг оғирлик маркази координаталарини аниқланг, шаклнинг ўша кесим томонларига параллел марказий ўқлар ( $J_{x_c}$ ,  $J_{y_c}$ ,  $J_{x_c y_c}$ ) га нисбатан инерция моментларини ҳисобланг ва аналитик ҳамда график усулларда бош ўқларнинг ўқлар  $x_c \cdot y_c$  га қиялик бурчаги  $\alpha_0$  ни топинг, шаклнинг бош инерция моментлари  $J_{\min}$  ва  $J_{\max}$  ва бош инерция радиуслари катталигини аниқланг.

Жавоб:  $x_c = 8,23$  см,  $y_c = 9,77$  см<sup>4</sup>,  $J_{y_c} = 467$  см<sup>4</sup>;

$J_{x_c y_c} = -223$  см<sup>4</sup>,  $\alpha_0 = 30^\circ 15'$ ,  $J_{\max} = 845$  см<sup>4</sup>,  $J_{\min} = 332$  см<sup>4</sup>,  
 $J_{\max} = 5,63$  см,  $i_{\max} = 3,54$  см.

5.29. Прокат профиллардан ясалган йиғма носимметрик кесимлар учун: 1) шаклнинг оғирлик маркази координаталарини топинг, 2) бош марказий инерция ўқлари вазиятини аниқланг, 3) аналитик ва график усулларда (Мор доирасини ясаб) кесимнинг бош инерция моментлари, бош инерция радиусларини аниқланг ва инерция эллипсини ясанг. Кесимларнинг шакллари ва мм даги ўлчамлари жадвалдаги расмларда келтирилган.

Жавоб. Жадвалга қаранг (рақамлар яхлитланган).

5.30. Асоси  $b = 30$  см, баландлиги  $h = 40$  см ва ён томонининг вертикалга қиялик бурчаги  $\varphi = 45^\circ$  бўлган параллелограмм учун юзанинг марказий ўқлар  $x_c$  ва  $y_c$  га нисбатан ўқ ва марказдан қочма инерция моментларини аниқланг. Ўқ  $x_c$  асосга параллел, бош инерция ўқлари йўналишини топинг ва бош инерция моментлари катталигини ҳисобланг. Масалани олдин ҳарфлар тарзида ечиб, кейин рақамли қийматларини ҳисобланг.

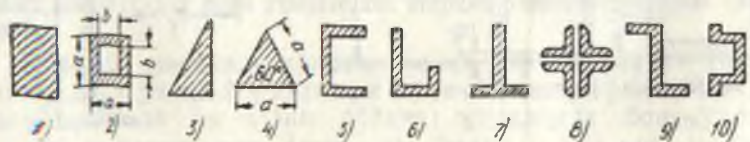
Жавоб:  $J_{x_c} = \frac{bh^3}{12} = 160000$  см<sup>4</sup>,  $J_{y_c} = \frac{bh}{12} (h^2 \operatorname{tg}^2 \varphi + b^2) = 25000$  см<sup>4</sup>

$J_{x_c y_c} = \frac{bh^3}{12} \operatorname{tg} \varphi = 160000$  см<sup>4</sup>,

$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\operatorname{tg} \varphi}{(b/h)^2 + \operatorname{tg}^2 \varphi - 1} = 3,55$ ,  $\alpha = 38^\circ 8'$ ,  $J_{\max} = 371000$  см<sup>4</sup>,

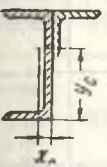
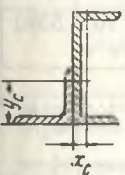
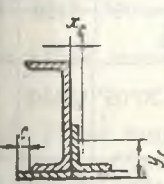
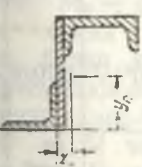
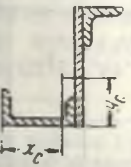
$J_{\min} = 39000$  см<sup>4</sup>.

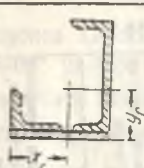
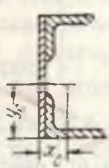
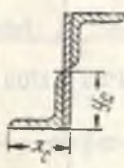
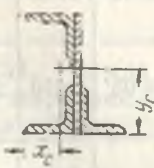
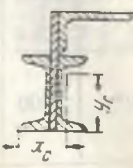
5.31. Расмда тасвирланган шаклларнинг ҳар қайсиси учун бош марказий инерция ўқлари ва инерция эллипсларининг тахминий вазиятини кўрсатинг.



5.31- масалага оид



| Схема номери | Қисим схемаси                                                                      | Вариант | Қесим таркиби, мм                                    | Ж л в о б |       |          |            |            |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------|-----------|-------|----------|------------|------------|
|              |                                                                                    |         |                                                      | $x_c$     | $y_c$ | $\alpha$ | $J_{\max}$ | $J_{\min}$ |
|              |                                                                                    |         |                                                      |           |       |          |            |            |
| 1            | 2                                                                                  | 3       | 4                                                    | 5         | 6     | 7        | 8          | 9          |
| 1            |   | a       | Швеллер № 18<br>L 80×80×8                            | -0,37     | 11,51 | -11°40'  | 1565       | 245        |
|              |                                                                                    | б       | Швеллер № 24<br>L 125×125×12                         | -1,95     | 16,10 | -15°50'  | 4390       | 1155       |
| 2            |   | a       | Швеллер № 18 а<br>L 90×90×8                          | 0,33      | 6,50  | -13°30'  | 1730       | 320        |
|              |                                                                                    | б       | Швеллер № 24<br>L 100×100×10                         | 0,40      | 8,46  | -11°     | 4200       | 580        |
| 3            |   | a       | Швеллер № 20<br>л. 200×10<br>L 100=100×10;<br>c = 12 | 0,48      | 5,45  | 17°10'   | 2885       | 1065       |
|              |                                                                                    | б       | Швеллер № 30;<br>л. 260×12<br>L 140×140×12;<br>c = 0 | 0,84      | 8,0   | 11°55'   | 11700      | 3000       |
| 4            |  | a       | Швеллер № 14;<br>л. 240×10<br>L 125×80×10            | 0,93      | 11,35 | -28°50'  | 6175       | 855        |
|              |                                                                                    | б       | Швеллер № 16;<br>240×10<br>L 160×100×12              | 0,21      | 10,5  | -34°05'  | 7070       | 2060       |
| 5            |  | a       | Швеллер № 20;<br>л. 180×10<br>L 80×80×8              | 16,55     | 7,5   | 35°05'   | 4660       | 1080       |
|              |                                                                                    | б       | Швеллер № 14;<br>л. 180×10<br>L 110×110×8            | 13,4      | 8,8   | -40°     | 3300       | 600        |

| 1  | 2                                                                                   | 3                                                                                                                               | 4                                | 5                                | 6                                     | 7                                  | 8                               | 9 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|
| 6  |    | <div><div>a Швеллер № 30;<br/>л. 200×10<br/>└ 100×100×10</div><div>b Швеллер № 24;<br/>л. 240×10<br/>└ 100×110×8</div></div>    | <div>12,05</div> <div>13,9</div> | <div>9,15</div> <div>6,67</div>  | <div>—2125</div> <div>44°</div>       | <div>10980</div> <div>7500</div>   | <div>3020</div> <div>3300</div> |   |
| 7  |    | <div><div>a Швеллер № 16;<br/>л. 240×10<br/>└ 125×80×10</div><div>b Швеллер № 20;<br/>л. 300×12<br/>└ 125×80×12</div></div>     | <div>1,30</div> <div>1,21</div>  | <div>14,0</div> <div>17,3</div>  | <div>—17°15′</div> <div>—13°10′</div> | <div>4370</div> <div>8870</div>    | <div>520</div> <div>790</div>   |   |
| 8  |    | <div><div>a Швеллер № 16;<br/>л. 240×10<br/>└ 140×140×10</div><div>b Швеллер № 14;<br/>л. 240×10<br/>└ 125×125×10</div></div>   | <div>16,0</div> <div>14,2</div>  | <div>10,7</div> <div>10,7</div>  | <div>37°15′</div> <div>31°10′</div>   | <div>6310</div> <div>5380</div>    | <div>1180</div> <div>910</div>  |   |
| 9  |    | <div><div>a л. 240×10;<br/>└ 100×100×10<br/>└ 160×100×10</div><div>b л. 240×10;<br/>└ 90×90×8<br/>└ 180×110×10</div></div>      | <div>3,55</div> <div>3,85</div>  | <div>11,0</div> <div>9,9</div>   | <div>9°30′</div> <div>16°05′</div>    | <div>5580</div> <div>5420</div>    | <div>1140</div> <div>1280</div> |   |
| 10 |   | <div><div>a л. 300×12<br/>2└ 140×140×12</div><div>b л. 400×12<br/>2└ 160×160×12</div></div>                                     | <div>14,6</div> <div>16,6</div>  | <div>15,0</div> <div>20,0</div>  | <div>20°05′</div> <div>16°25′</div>   | <div>13350</div> <div>28500</div>  | <div>1080</div> <div>1680</div> |   |
| 11 |  | <div><div>a л. 300×12;<br/>└ 140×140×12<br/>2└ 90×90×9</div><div>b л. 300×12;<br/>└ 160×110×12<br/>2└ 110×110×8</div></div>     | <div>7,6</div> <div>9,87</div>   | <div>14,7</div> <div>14,85</div> | <div>10°15′</div> <div>12°50′</div>   | <div>127000</div> <div>13770</div> | <div>1300</div> <div>1330</div> |   |
| 12 |  | <div><div>a 2 швеллер №12;<br/>л. 240×10<br/>└ 160×100×10</div><div>b 2 швеллер №16;<br/>л. 360×10<br/>└ 160×100×12</div></div> | <div>1,91</div> <div>1,71</div>  | <div>13,1</div> <div>19,0</div>  | <div>—18°40′</div> <div>— 6°55′</div> | <div>5720</div> <div>17000</div>   | <div>900</div> <div>1300</div>  |   |



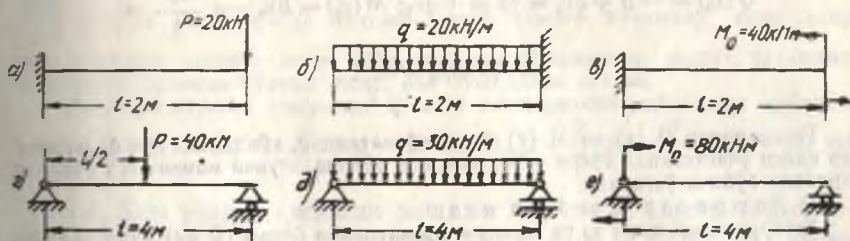
# ЯССИ ЭГИЛИШ. ИЧКИ ЗУРИҚИШ ВА КУЧЛАНИШЛАР

## 18-§. Кўндаланг кучлар ва эгувчи моментларнинг эпюралари

6.1. Юкланиш схемалари расмда кўрсатилган тўсинлар учун кўндаланг кучлар ва эгувчи моментлар эпюраларини\* ясанг.

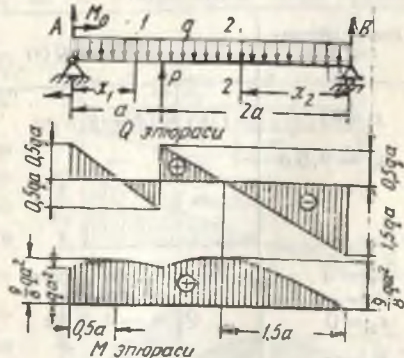
Жавоб:

| Схема           | а         | б          | в        | г        | д        | е         |
|-----------------|-----------|------------|----------|----------|----------|-----------|
| Q, кН<br>M, кНм | 20<br>-40 | -40<br>-40 | 00<br>40 | 20<br>40 | 60<br>60 | -20<br>80 |



6.1-масалага оид

6.2. Икки таянчда турган қу-  
лочи  $l = 3a$  бўлган  $q$  интенсив-  
ликдаги тенг тақсимланган юк,  
моменти  $M_0 = qa^2$  ли кучлар  
жуфти ҳамда тўпланган куч  
 $P = qa$  билан юкланган балка  
учун (расмга қаранг)  $Q(x)$  ва  $M(x)$   
ифоданинг ҳарфлар тарзида ту-  
зинг,  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг  
ва  $q = 20$  кН/м,  $a = 2$  м бўлса,  
абсолют қиймат бўйича энг кат-  
та бўлган эгувчи момент ва кўн-  
даланг куч катталикларини ҳи-  
собланг.



6.2-масалага оид

\* Бу ерда ва бундан кейин жавобларда  $Q$  ва  $M$  эпюралар ординаталари абсолют қиймат бўйича энг катта қийматда берилган. Ишоралар уларнинг нуналишини кўрсатади.

Еч и м. 1) Таянч реакцияларни аниқлаш.

$A$  ва  $B$  нуқталарда таянчларнинг реакцияларини юқорига йўналтириб (горизонтал реакция  $H_A$  нолга тенг),  $A$  ва  $B$  таянчларга нисбатан моментлар тенгламасини тузамиз:

$$\sum M_B = 0; -A \cdot 3a - M_0 - P \cdot 2a + 3qa \cdot 1,5a = 0.$$

бундан

$$A = \frac{1}{3a} (-qa^2 - 2qa^2 + 4,5 qa^2) = 0,5 qa.$$

$$\sum M_A = 0; B \cdot 3a + Pa - 3qa \cdot 1,5a - M_0 = 0, B = 1,5 qa.$$

$$\text{Текшириш: } \sum Y = 0; A + B + P - 3qa = 0.$$

2)  $Q(x)$  ва  $M(x)$  нинг аналитик ифодаларни тузиш.

Куч  $P$  балкани шундай икки қисмга бўладики, уларнинг чегарасида  $Q$ ,  $M$  ифодалар ҳар хил бўлади. Бу ифодаларни тузиш учун кучлар орасидаги икки кесимни қўриб чиқиш лозим: кесим 1—1 биринчи участкада  $P$  кучдан чапроқда ва кесим 2—2 ундан ўнгроқда. Бунда балканинг кичикроқ куч қўйилган қисмини қўриб чиқиш ва тенглама иложи борича соддароқ бўладиган қилиб координатлар бошини танлаш керак,  $x_1$  ни  $A$  таянчдан бошлаб,  $x_2$  ни  $B$  таянчдан бошлаб ҳисоблаймиз. Тенгламалар  $Q(x)$  ва  $M(x)$  қуйидаги кўринишни олади:

$$1\text{- участка учун } (0 \leq x_1 \leq a); Q(x_1) = A - qx_1 = 0,5 qa - qx_1,$$

$$M(x_1) = Ax_1 + M_0 - \frac{qx_1^2}{2} = 0,5 qax_1 + qa^2 - q \frac{x_1^2}{2};$$

$$2\text{ участка учун } (0 \leq x_2 \leq 2a):$$

$$Q(x_2) = -B + qx_2 = 1,5 qa + qx_2; M(x_2) = Bx_2 - q \frac{x_2^2}{2} = 1,5 qax_2 - \frac{qx_2^2}{2};$$

Тенгламалар  $Q(x)$  ва  $M(x)$  шуни кўрсатадики, кўндаланг куч балканинг ҳар қайси участкасида тўғри чизиқ қондаси бўйича, эгувчи момент эса квадрат парабола бўйича ўзгаради.

3) Эпюралар  $Q$  ва  $M$  ни ясаш.

Ўзгарувчилар  $x_1$  ва  $x_2$  га маълум қийматларни бериб ( $Q(x)$  учун ҳар бир участкада камида иккита,  $M(x)$  учун эса камида учта) функциялар  $Q(x)$  ва  $M(x)$  графикларини ясаймиз. Ҳисоблар жадвал шаклида бажарилган.

| Кесим абсцисс-<br>салари | Кўндаланг куч $Q(x)$            | Эгувчи момент $M(x)$                                                |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| $x_1 = 0$                | $Q_1 = A = 0,5 qa$              | $M_1 = M_0 = qa^2$                                                  |
| $x_1 = 0,5 a$            | —                               | $M_1 = qa^2 + 0,5 qa \cdot 0,5 - \frac{qa^2}{2} = \frac{9}{8} qa^2$ |
| $x_1 = a$                | $Q_1 = 0,5 qa - qa = -0,5 qa$   | $M_1 = qa^2 + 0,5 qa^2 - \frac{qa^2}{2} = qa^2$                     |
| $x_2 = 0$                | $Q_2 = -1,5 qa$                 | $M_2 = 0$                                                           |
| $x_2 = a$                | —                               | $M_2 = 1,5 qa^2 - \frac{qa^2}{2} = qa^2$                            |
| $x_2 = 2a$               | $Q_2 = -1,5 qa + 2 qa = 0,5 qa$ | $M_2 = 1,5 qa \cdot 2a - \frac{q(2a)^2}{2} = qa^2$                  |



Жадвалда келтирилган қийматларга кўра  $Q$  ва  $M$  эпюралар ясалган. Қўядаланг кучлар ва эғувчи моментларнинг мусбат қийматларини юқорига ўлчаб қўямиз (баъзи курсларда  $M$  эпюранн балканинг қўзилган толаларида яшаш, яъни моментларнинг мусбат қийматларини пастга қўйиш қабул қилинган).

Эпюра  $Q$  икки параллел қия тўғри чизиклар билан тасвирланади. Эпюра  $M$  параболик эгри чизиклар билан чегараланган, шу билан бирга эғувчи моментнинг энг катта қиймати  $Q=0$  бўлган кесимларга тўғри келади. Биринчи участкада  $M_{\max} = \frac{9}{8} qa^2$  ( $x_1 = 0,5 a$  да). Иккинчи участкада энг катта моментни топиш учун тенглама  $M(x_2)$  максимумга текшираимиз:

$$\frac{dM(x_2)}{dx^2} = 0 = -Q_2 \text{ (манфий ишора } x_2 \text{ ўқни чапга йўналганлигидан)}$$

$$\frac{dM}{dx_2} = 1,5 qa - qx_2 = 0 \text{ бундан } x_2 = 1,5 a.$$

Бу қийматни тенглама  $M(x_2)$  га қўйиб, қуйидагини оламиз:

$$M_{\max} = 1,5 qa \cdot 1,5 a - \frac{q \cdot (1,5 a)^3}{2} = \frac{9}{8} qa^2,$$

яъни биринчи участкадагидек қиймат ҳосил бўлади. Олинган эпюраларнинг кўриниши расмда кўрсатилган. Шунга эътибор берамизки, эпюра  $Q$  да куч остидаги кесимда куч  $P=qa$  катталигида сакраш бор, эпюра  $M$  да эса таянч кесимда, яъни жуфт кучлар қўйилган кесимда  $M$  катталикида сакраш ҳосил қиламиз. Эпюра  $M$  ни чекловчи эгри чизикларнинг характери дифференциал боғлиқлик

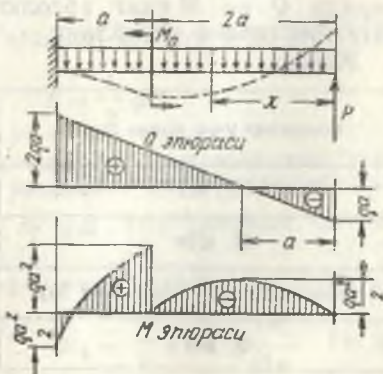
$\frac{d^2M}{dx^2} = q$  га мос.  $q < 0$  бўлгани учун (пастга йўналган), яъни эпюранинг эгрилиги манфий, демак эгри чизикнинг қавариқлиги мусбат ординаталар  $M$  томонга йўналган бўлиши керак, ана шуни ҳосил қилдик.

Эпюрадан кўриниб турганидек  $Q$  ва  $M$  нинг ҳисобий қийматлари қуйидагига тенг:  $Q_{\max} = |1,5 qa| = 1,5 \cdot 20 \cdot 2 = 60 \text{ кН}$ ,  $M_{\max} = \frac{9}{8} qa^2 = \frac{9}{8} \cdot 20 \cdot 2^2 = 90 \text{ кНм}$ .

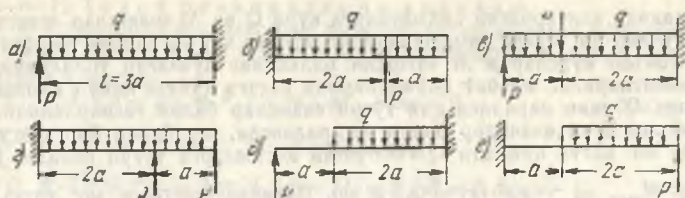
6.3. Бир учидан қисилган ва яхлит бир текис тақсимланган нагрузка  $q = 10 \text{ кН/м}$ , тўпланган куч  $P = qa = 20 \text{ кН}$  ва момент  $M_0 = qa^2 = 40 \text{ кНм}$  ли жуфт кучлар билан юкланган, узунлиги  $l = 3a = 6 \text{ м}$  бўлган балка учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг (расмга қаранг).

Жавоб:  $Q_{\max} = 2 qa = 2 \cdot 10 \cdot 2 = 40 \text{ кН}$ ;  $M_{\max} = qa^2 = 10 \cdot 2^2 = 40 \text{ кНм}$ .

Эслатма. Эпюра  $M$  нинг кўриниши балканинг эгилган ўқи характери ҳақида фикр юритишга имкон беради. Агар  $M > 0$  бўлса, эгилиш эгри чизигининг эгрилиги ҳам мусбат ( $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ} > 0$ ) ҳамда пастга қавариб эгилади,  $M > 0$  бўлганда қавариқлик юқорида бўлади.  $M = 0$  бўлган нуқта эгилган ўқ эгилиш нуқтасига тўғри келади. Эгилган ўқнинг тахминий кўриниши расмда пунктир билан кўрсатилган (эркин учининг силжиш йўналиши — юқорига ёки пастгаги ҳисоблаб топилади).



6.3-масалага оид



6.4- масалага оид

**6.4.** Узунлиги  $l = 3a$  бўлган консол бир текис тақсимланган юк ва тўпланган кучлар билан юкланган (расмга қаранг).  $P$  кучларнинг қандай қийматларида консолнинг деворга маҳкамланган жойидаги (заделкадаги) момент нолга айланади. Кучларнинг топилган қийматлари учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг ва эпюранинг юзаси нолга тенглигига ишонч ҳосил қилинг.

*Қўрсатма.*  $M = \int_0^x Q dx + M_0$ ; бу ерда  $\int_0^x Q dx$  қўриляётган кесимгача  $x$  узунликда  $Q$  эпюра юзасига тенг,  $M_C = M_{x=0} = 0$ .

*Жавоб:*

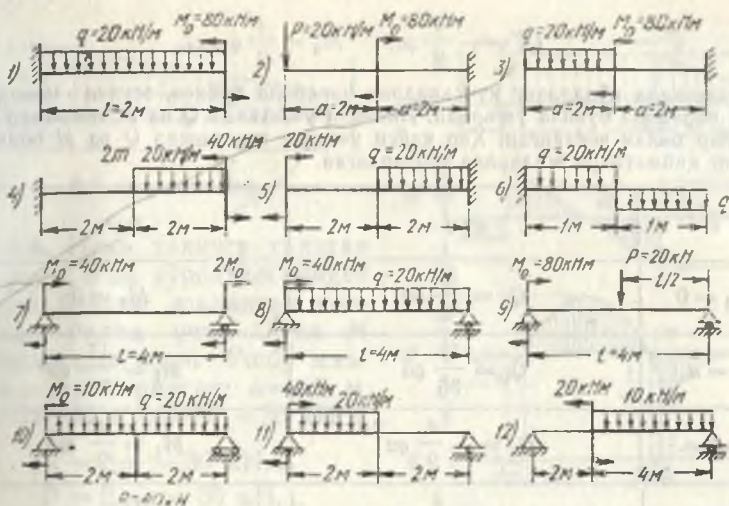
| Схема      | a                | b                  | в                  | г           | д                   | е                   |
|------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------|---------------------|---------------------|
| $P$ кучи   | $\frac{ql}{2}$   | $\frac{3}{4} ql$   | $\frac{3}{2} ql$   | $0,3 ql$    | $\frac{2}{9} ql$    | $\frac{4}{9} ql$    |
| $M_{\max}$ | $\frac{ql^2}{8}$ | $-\frac{ql^2}{18}$ | $\frac{4}{9} ql^2$ | $0,08 ql^2$ | $\frac{8}{81} ql^2$ | $\frac{8}{81} ql^2$ |

**6.5.** Бир учидан қисилган (1—6 схемалар) балкалар учун ва учларидан шарнирли таянган оддий балкалар учун (7—12 схемалар) кўндалаг кучлар ва эгувчи моментлар эпюраларини ясанг. Балкалар расмда кўрсатилганидек юкланган. Юкларнинг схемаларда берилган рақамли қийматлари ва ўлчамларида  $Q$  ва  $M$  нинг абсолют қийматлари бўйича энг катта катталикларини ҳисобланг.

*Жавоб:*

| Консоллар учун (схема №)       | 1   | 2    | 3   | 4    | 5  | 6     |
|--------------------------------|-----|------|-----|------|----|-------|
| $Q$ , кН                       | 40  | -20  | -40 | 60   | 20 | -20   |
| $M$ , кНм                      | 80  | 40   | 40  | -120 | 30 | 20    |
| 2 таянчли балка учун (схема №) | 7   | 8    | 9   | 10   | 11 | 12    |
| $Q$ , кН                       | -30 | -50  | -30 | 22,5 | 20 | -23,3 |
| $M$ кН·м                       | -80 | 62,5 | 80  | 17,6 | 50 | 27,2  |





6.5- масалага оид

6.6. Икки таянчда турган, қулочи  $l = 3a$  бўлган ҳамда  $2a$  узунликда учбурчак қоидаси бўйича тақсимланган нагрузкали балка учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг (расмга қаранг).

Ечи м. Таянч реакцияларни мувозанат тенгламаларидан аниқлаймиз. Буида тақсимланган нагрузкани тенг таъсир этувчисига, яъни учбурчак юзасига тенг таъсир этувчисига алмашираимиз:

$$\omega = \frac{1}{2} q \cdot 2a = qa. \quad \text{Тенг таъсир}$$

этувчи учбурчакнинг оғирлик марказига қўйилган; қуйидаги ҳосил бўлади:

$$A = \frac{5}{9} qa, \quad B = \frac{4}{9} qa.$$

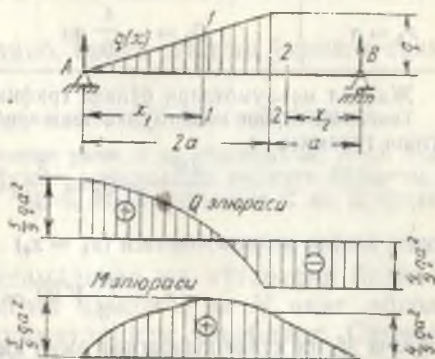
Балканинг ҳар қайси участкаси учун  $Q(x)$  ва  $M(x)$  ифодаларни тузимиз.  $1-1$  кесимда ( $x_1$  нулдан  $x_1 = 2a$  гача ўзгарадиган чап қисмини кўриб чиқамиз).

$$Q_1 = A - \omega(x), \quad M_1 = Ax_1 - \omega(x) \frac{x_1}{3}, \quad \text{бу ерда } \omega(x) \text{ — кесимдан чап томонда}$$

жойлашган ва асоси  $x_1$  ва Саландлиги  $q(x_1) = q \frac{x_1}{2a}$  бўлган учбурчак юзасига

$$\text{тенг юк юзаси, демак } Q_1 = \frac{5}{9} qa - \frac{qx_1^2}{4a}, \quad M_1 = \frac{5}{9} qa x_1 - \frac{qx_1^3}{12a}.$$

Синг қисмини кўриб чиқиб,  $2-2$  кесим учун ( $0 \leq x_2 \leq a$ ) қуйидагини ҳосил қиламиз:



6.6- масалага оид

$$Q_2 = -\frac{4}{9} qa, \quad M_2 = \frac{4}{9} qa x_2.$$

Унг участкада кўндаланг куч квадрат парабола бўйича, эгувчи момент эса кубик парабола бўйича ўзгаради. Иккинчи участкада  $Q$  ва  $M$  эпюралар тўғри чиқиқлар билан чекланган. Ҳар қайси участка чегарасида  $Q$  ва  $M$  ординаталарнинг қийматлари жадвалда келтирилган.

| $x$        | $Q(x)$                   | $M(x)$                     |
|------------|--------------------------|----------------------------|
| $x_1 = 0$  | $Q_1 = \frac{5}{9} qa$   | $M_1 = 0$                  |
| $x_1 = a$  | $Q_1 = \frac{11}{36} qa$ | $M_1 = \frac{17}{36} qa^2$ |
| $x_2 = 2a$ | $Q_2 = -\frac{4}{9} qa$  | $M_1 = \frac{4}{9} qa^2$   |
| $x_2 = 0$  | $Q_2 = -\frac{4}{9} qa$  | $M_2 = 0$                  |
| $x_2 = a$  | $Q_2 = -\frac{4}{9} qa$  | $M_2 = \frac{4}{9} qa^2$   |

Жадвал маълумотлари бўйича графиклар —  $Q$  ва  $M$  эпюралари ясалган.

Тенглама  $M_1$  ни максимумга текшириб, эгувчи моментнинг энг катта қийматини топамиз:

$$\frac{dM_1}{dx_1} = Q_1 = \frac{5}{9} qa - \frac{qx_1^2}{4a} = 0.$$

Бундан хавфли кесим абсциссаси ( $x_1 = x_0$ )

$$x_0 = \frac{a}{3} \sqrt{20} = \frac{2a}{3} \sqrt{5}.$$

Тенглама  $M_1$  га қўйиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$M_{\max} = \frac{5}{9} qa \frac{2a}{3} \sqrt{5} - \frac{q}{12a} \cdot \frac{8a^3}{27} (\sqrt{5})^3 \approx \frac{5}{9} qa^2.$$

Кўндаланг кучнинг энг катта қиймати қуйидагига тенг ( $Q$  эпюрага қаранг)

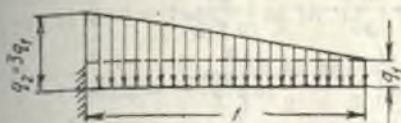
$$Q_{\max} = \frac{5}{9} qa.$$

6.7. Бир учидан қисилган балка унинг бутун узунлиги  $l$  бўйича трапеция қонунига кўра тақсимланган яхлит нагрузкани қабул қилади (расмга қаранг).  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг ва кўндаланг кучнинг ва эгувчи моментнинг абсолют қиймат бўйича энг катта қийматини ҳисобланг.

*Кўрсатма.* Тенгламалар  $Q(x)$  ва  $M(x)$  ни тузиш учун нагрузкани интенсивлиги  $q_1$  бўлган тенг тақсимланган ҳамда энг катта ордината  $q_0 = q_2 - q_1$  ли учбурчак қисиларга бўлиш тавсия қилинади.

Жавоб:  $Q = 2q_1 l$ ;  $M = -\frac{5}{6} q_1 l^2$ .





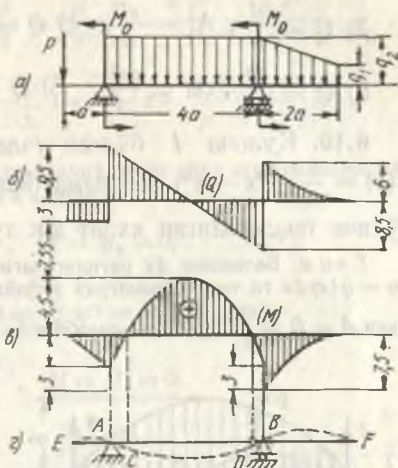
6.7- масалага оид

6.8. Икки таянчга таянган ва расм, а да кўрсатилганидек схема бўйича юкланган консолли балка учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг. Ушбу маълумотлар берилган:  $a=1,5$  м,  $q_1=10$  кН.м,  $q_2=3q_1=30$  кН.м,

$$q_2 = 3 q_1 = 30 \text{ кН.м,}$$

$$P = 2 q_1 a = 30 \text{ кН, ,}$$

$$M_0 = \frac{4}{3} q_1 a^2 = 30 \text{ кН.м.}$$



6.8- масалага оид

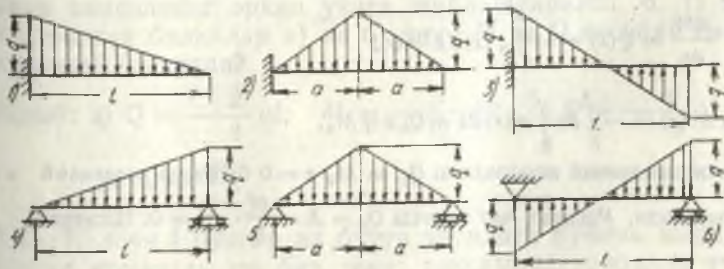
$M$  эпюра характериға асосланиб, балка эгилган ўқнинг тахминий кўринишини тасвирланг.

Жавоб:  $Q$  ва  $M$  эпюралар расм, б ва в да тасвирланган.

Эгилган ўқнинг тахминий кўриниши расм, г да кўрсатилган.  $M < 0$  бўлган  $EC$  ва  $DF$  участкаларда эгилган ўқнинг қабариқлиги юқорига йўналган,  $CD$  участкада настига йўналган, чунки  $M > 0$ .  $M = 0$  бўлганда  $C$  ва  $D$  нуқталар эгилиш нуқталари бўлади.

6.9. Учбурчак бўйича тақсимланган юк кўтарувчи балкалар учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг ҳамда  $Q$  ва  $M$  нинг абсолют қиймат бўйича энг катта қийматларини ҳисобланг. Схемалар 1—3 да эпюранинг юзаси таянч моментга, схемалар 4—6 да нолга тенг эканлигини исботланг.

Жавоб: 1)  $Q = \frac{ql}{2}$ ,  $M = -\frac{ql^2}{6}$ ; 2)  $Q = qa$ ,  $M = -qa^2$ ;



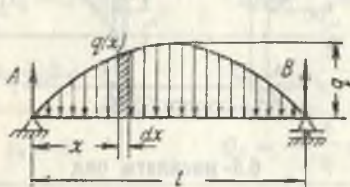
6.9- масалага оид

$$3) Q = \frac{ql}{4}, M = \frac{ql^2}{6}; 4) Q = -\frac{ql}{3}, M = \frac{ql^2}{9\sqrt{3}};$$

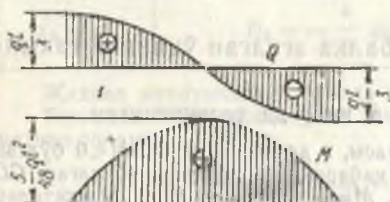
$$5) Q = \frac{qa}{2}, M = \frac{qa^2}{3}, 6) Q = \frac{ql}{6}, M = \frac{ql^2}{36\sqrt{3}}.$$

6.10. Қулочи  $l$  бўлган учларидан шарнирли таянган балкага  $q(x) = \frac{4q}{l^2}(lx - x^2)$  тенглама билан ифодаланган параболик қонун бўйича тақсимланган яхлит юк тушади.  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг.

*Ечим.* Балканинг  $dx$  узунлигидаги кесмасига тўғри келадиган элементар юк  $d\omega = q(x) dx$  га тенг. Симметрия туфайли таянч реакциялар бир-бирига тенг, яъни  $A = B = \frac{\omega}{2}$ , бунда  $\omega$ —парабола билан чекланган юк юзаси  $u$  қуйидагига тенг:



$$\omega = \int_0^l q(x) dx = \frac{4q}{l^2} \int_0^l (lx - x^2) dx = \frac{2}{3} ql.$$



$$\text{Демак, } A = B = \frac{ql}{3}.$$

Абсциссаси  $x$  бўлган кесимда қўпданг куч ва эгувчи момент қуйидаги ифодалар билан бериллади (расмга қараг):

6.10- масалага оид

$$Q(x) = A - \omega(x) = \frac{ql}{3} - \int_0^x q(x) dx,$$

$$M(x) = Ax - \int_0^x d\omega(x - x_1) = \frac{ql}{3} x - \int_0^x q(x_1) dx_1 (x - x_1).$$

Лекин  $Q(x)$  ва  $M(x)$  учун ифодаларни тузиб ўтирмай уларни дифференциал боғлиқликлардан ҳосил қилиш оsonроқ. Ушбу  $\frac{d^2 M}{dx^2} = -q(x)$  тенгликдан ( $q < 0$  бўлгани учун — минус ишораси олинган) икки марта интеграллаб, қуйидагини оламиз:

$$1) \frac{dM}{dx} = Q(x) = - \int_0^x q(x) dx + Q_0;$$

$$2) M(x) = - \int_0^x dx \int_0^x q(x) dx + Q_0 x + M_0.$$

Ихтиёрий доимий интеграллаш  $Q_0$  ва  $M_0$   $x = 0$  бўлганда чегаравий шартлардан аниқланади. Масалан, чап таянчда  $Q_0 = A = \frac{ql}{3}$ ,  $M = 0$ . Интеграл

$$\int_0^x q(x) dx = \frac{4q}{l^2} \int_0^x (lx - x^2) dx = \frac{4q}{l^2} \left( \frac{x^2 l}{2} - \frac{x^3}{3} \right).$$



Демак,

$$Q(x) = -\frac{4q}{l^2} \left( \frac{x^2 l}{2} - \frac{x^3}{3} \right) + \frac{ql}{3} = \frac{ql}{3} \left( 1 - \frac{6x^2}{l^2} + \frac{4x^3}{l^3} \right).$$

$$M(x) = -\frac{4q}{l^2} \int_0^x \left( \frac{x^2 l}{2} - \frac{x^3}{3} \right) dx + \frac{ql}{3} x = \frac{ql}{3} \left( x - \frac{2x^3}{l^2} + \frac{x^4}{l^3} \right).$$

Нуқталар бўйича  $Q(x)$  ва  $M(x)$  эпюраларини ясаш учун шу тенгламаларнинг ординаталарини ҳисоблаймиз (расмга қаранг).

$$x = 0 \quad Q = Q_0 = \frac{ql}{3}, \quad M = M_0 = 0;$$

$$x = \frac{l}{2} \quad Q = 0, \quad M = \frac{5}{48} ql^2 = M_{\max}$$

$$x = l \quad Q = Q_l = -\frac{ql}{3}, \quad M = M_l = 0.$$



6.11- масалага оид

6.11. Эгри чизик қонуни бўйича тақсимланган яхлит юклашни кутарувчи балка учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг ҳамда

агар а)  $q(x) = \frac{qx}{l^2} (2l - x)$ ; б)  $q(x) = \frac{qx^2}{l}$ ; в)  $q(x) = q \sin \frac{\pi x}{l}$

бўлса, қўндаланг куч ва эгувчи моментнинг энг катта қийматларини ҳисобланг (расмга қаранг).

Жавоб: а)  $Q = -\frac{2}{3} ql$ , б)  $Q = -\frac{ql}{3}$ ; в)  $Q = \frac{ql}{\pi}$ ,

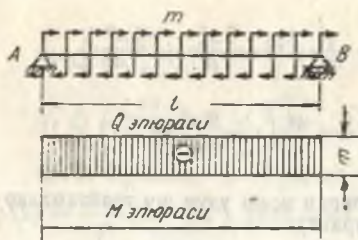
$$M = -\frac{ql^2}{4}; \quad M = -\frac{ql^2}{12}; \quad M = \frac{ql^2}{\pi^2}.$$

6.12. Агар нагрукани  $180^\circ$  бурилса ва бунда унинг «оғир» қисмини консолнинг эркин учига жойлаштирилса, 6. 11 масалада қўрилган балкалар а) ва б) учун  $M$  ва  $Q$  ҳисобий қийматларни қандай ўзгаради?

Жавоб: а)  $Q = -\frac{2}{3} ql$ ;  $M = -\frac{5}{12} ql^2$ ; б)  $Q = -\frac{ql}{3}$ ;

$$M = -\frac{ql^2}{4}.$$

6.13. Қулочи  $l$  бўлган ва бутун узунлиги бўйича жадаллиги  $m$  бўлган моментли юк бир текис тақсимланган балка учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларини ясанг (расмга қаранг).



6.13- масалага оид



6.14- масалага оид

Е ч и м. Чап таянч реакцияси  $A$  ни пастга, ўнг таянч реакцияси  $B$  ни юқорига йўналтирамиз. Таянч реакцияларнинг катталиклари мувозанат тенгламаларидан аниқланади.

$$\sum M_B = 0, \quad Al - ml = 0, \quad A = m;$$

$$\sum M_A = 0, \quad Bl - ml = 0, \quad B = m.$$

Демак, таянч реакциялар сон жиҳатидан  $m$  га тенг ва қарама-қарши томонга йўналган: чапқиси  $A$  — пастга, ўнгдагиси  $B$  — юқорига (агар  $m$  Нм/м да ифодаланса, йиғинди момент  $M = ml$  нинг ўлчами Н.м, реакция  $A = -B = \frac{M}{l}$  эса  $H$  да ифодаланади). Абсцисса  $x$  бўлган ихтиёрий кесимдаги қўндаланг куч ушбуга тенг:

$$Q(x) = -A = -m.$$

Эгувчи момент

$$M(x) = -Ax + mx = 0.$$

Шундай қилиб, текис тақсимланган моментли юк таянч реакциялар ҳосил қиладиган момент билан мувозанатлашади, шу билан балка эгилмайди.

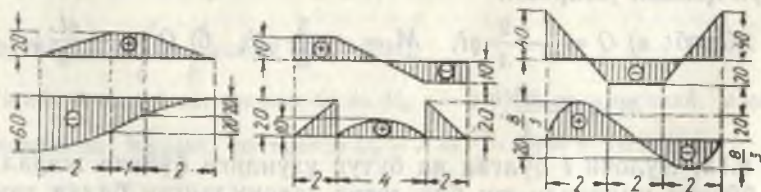
Жавоб: Расмга қаранг.

6.14. Агар  $a=2$  м,  $m=20$  кН/м бўлса, текис тақсимланган моментли юк билан юкланган балкалар учун эпюраларни ясаи (расмга қаранг).

Жавоб: а)  $Q=0$ ;  $M=-ma=-40$  кН.м. б)  $=\frac{3}{2}m=30$  кН

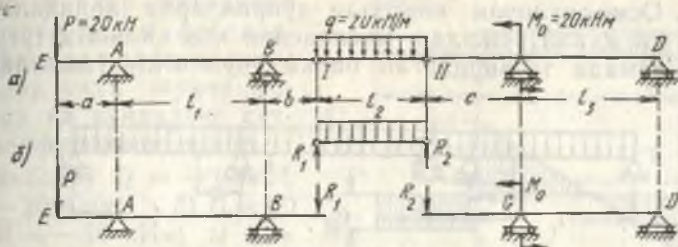
$$M=-ma=-40 \text{ кНм.}$$

6.15. Қўндаланг кучлар ва эгувчи моментларнинг берилган эпюралари бўйича балкаларни маҳкамлаш ва юклаш схемаларини тасвирланг ҳамда уларга қўйилган кучларнинг катталигини аниқланг.  $Q$  эпюраларнинг ординаталари килоньютонда,  $M$  эпюраларники кН/м ларда, узунлик м ларда берилган (расмга



6.15- масалага оид





6.16- масалага оид

қарап). Эпюраларнинг эгри чизиқли участкалари квадрат параболга бўйича чизилган.

Жавоб: а)  $q = \pm 10$  кН/м. б)  $q = 0,5$  кН/м.  $M = 20$  кНм, в)  $q = \pm 30$  кН/м.

6.16. Схемада тасвирланган иккита оралиқ шарнирли тўрт таянчли балка учун кўндаланг кучлар ва эгувчи моментлар эпюраларини ясанг. Агар  $a = 2$  м,  $b = 1$  м,  $c = 3$  м,  $l_1 = 4$  м,  $l_2 = 3$  м ва  $l_3 = 4$  м бўлса,  $Q$  ва  $M$  эпюраларининг энг катта ординаталарини ҳисобланг.

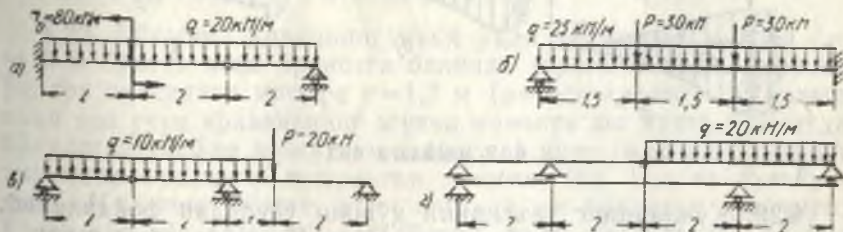
Кўрсатма. Схема, б да кўрсатилганидек балкани осма (I—II) ва икки асосий (E—I ва II—D) қисмларга бўлиш қулай. Осма балкадап шарнирлар орқали узатиладиган босимларни икки таянчли балка I—II учун ҳисобланган реакциялар  $R_1$  ва  $R_2$  билан алмаштириб, ҳар қайси балка учун алоҳида-алоҳида эпюраларни ясанг.

Бошқача йўл тутиш ҳам мумкин. Шарнирдаги эгувчи момент нолга тенг бўлгани учун (шарнир моментни узата олмайди) бутун система учун статика тенгламаларига қўшимча равишда шарнирлар I ва II га нисбатан моментлар тенгламасини тузиш (улардан чапда ёки ўнгга ётган кучларни кузда тутиб) ва уларни нолга тенглаштириш мумкин. Бу барча таянч реакцияларни аниқлашга ва  $Q$  ва  $M$  эпюраларни шарнирсиз балка учун қилинганидек оддий усулда қуришга имкон беради.

Жавоб:  $Q = 30$  кН,  $M = -110$  Н·м.

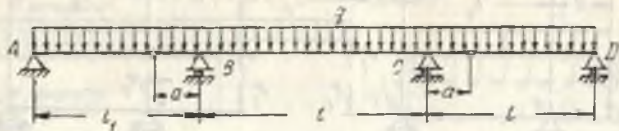
6.17. Схемалари расмда келтирилган шарнирли балкалар учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг ҳамда кўндаланг куч ва эгувчи моментнинг энг катта абсолют қиймати катталигини ҳисобланг.

Жавоб: а)  $Q = 100$  кН,  $M = -160$  кНм; б)  $Q = -120$  кН,  $M = -152$  кНм; в)  $Q = -30$  кН,  $M = -40$  кНм, г)  $Q = 40$  кН,  $M = 80$  кНм.



6.17- масалага оид

6.18. Осма қулочли консолли кўприкларни лойиҳалаганда уларни энг қулай режалаш масаласини ҳал қилишга тўғри келади. Чизмада тасвирланган балка учун  $a:l:l_1$  ўлчамларнинг



6.18- масалага оид

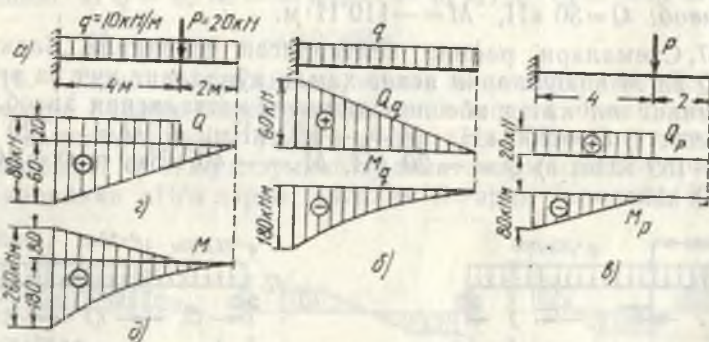
қандай нисбатида осма ва асосий балканинг хавфли кесимларида (қулоч ўртасида ҳамда  $B$  ва  $C$  таянчлар устида) эғувчи моментларнинг қиймати абсолют катталиқ бўйича бир хил бўлишини аниқланг. Энг катта эғувчи момент катталигини ҳам топинг.

Жавоб:  $a = 0,146 l$ ;  $l_1 = 0,853 l$ ;  $M_{\max} = \frac{ql^2}{16}$ .

6.19. Мустақиллик принципи ва кучлар таъсирини қўшиш принциpidан фойдаланиб, расм,  $a$  да тасвирланган балка учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларини ясанг.

Ечим. Балкани бир текис тақсимланган нагрузка  $q = 10 \text{ кН/м}$  (расм,  $b$ ) таъсири остидаги қисми учун алоҳида ҳамда тўпланган куч таъсири остидаги қисми учун алоҳида (расм,  $a$ ) кўриб чиқамиз. Агар графиклар бир хил ишорали бўлса,  $Q$  ёки  $M$  йигинди эпюраларни ҳосил қилиш учун уларни бир-бирига тақаб қўйиш етарли. Агар графиклар ҳар хил ишорали бўлса, уларни устма-уст қўйиш керак (6.20 масалага қаранг).

Эпюраларни қўйиш натижалари расм,  $г$  ва  $д$  да кўрсатилган. Эпюраларга оддий кўриниш бериш учун уларни горизонтал нолияни ўққа келтириш мумкин, бунинг учун йигинди ординаталар горизонтал ўқдан юқорига ёки пастга (ишорага қараб) қўйилади.



6.19- масалага оид

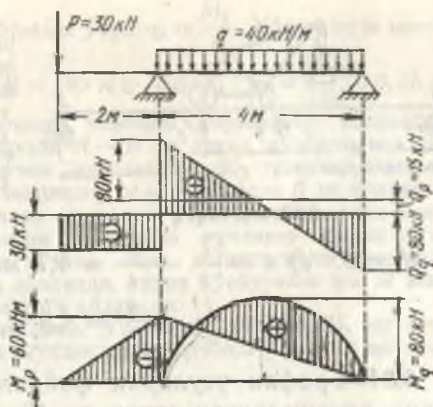
6.20. Кучларнинг таъсирини қўшиш усулидан фойдаланиб, расмда тасвирланган балка учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг.

Жавоб: 138- бетдаги расмга қаранг.

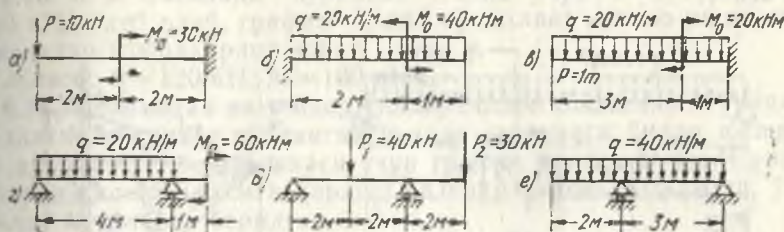


6.21. Қучлар таъсирини қўшиш усулидан фойдаланиб, расмда тасвирланган балкалар учун эгувчи моментлар ва қўндаланг қучлар эпюраларини ясанг.

Жавоб: а)  $Q = -10$  кН,  $M = -20$  кНм; б)  $Q = 60$  кН,  $M = -50$  кНм; в)  $Q = -70$  кН,  $M = -100$  кНм; г)  $Q = -55$  кН,  $M = -60$  кНм; д)  $Q = -35$  кН,  $M = 60$  кНм; е)  $Q = 86$  кН,  $M = -80$  кНм.



6.20- масалага оид



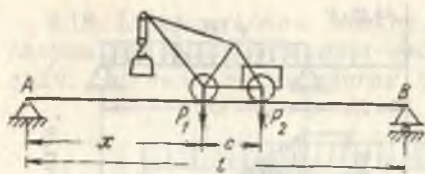
6.21- масалага оид

6.22. Қўлочи  $l$  бўлган ва интенсивлиги  $q$  га тенг текис тақсимланган юк қўтарувчи балка ҳар қайсисининг узунлиги  $a$  га тенг бўлган иккита консолга эга. а) Консол  $a$  нинг (қўлоч  $l$  улушида) қўлоч ўртасида эгувчи момент полга тенг бўладиган узунлигини топинг. б) Консол  $a$  нинг қандай узунлигида балканинг хавфли кесимларида энг катта эгувчи моментнинг катталиги энг кичик бўлади?

Қўрсатма. Қуч таъсирини қўшиш усулидан фойдаланиш, консолларда ётадиган юк учун алоҳида, ўрта қўлоч юкланиши учун алоҳида  $M$  эпюраларини яшаш керак.

Жавоб: а)  $a = 0,5 l$ ; б)  $a = \frac{l}{4} \sqrt{2}$ .

6.23. Қўтариш кранининг икки ўқли аравачаси қўлочи  $l = 10$  м бўлган икки краностн балкада ҳаракатланади. Аравача ўқлари орасидаги масофа  $c = 1,2$  м (расмга қаранг). Қуйидаги икки ҳол учун аравачанинг эгувчи моменти энг катта қийматда бўладиган хавфли вазиятини топинг: а) краи ғилдиракларининг ҳар қайси балкага тушадиган босими бир хил ва  $P_1 \approx P_2 = 20$  кН га тенг бўлган, яъни илгакда юк бўлмаган ҳол учун; б)  $P_1 \approx 50$  кН ва  $P_2 = 10$  кН бўлган, яъни илгакда юк бўлган ҳол учун  $M_{\max}$  катталигини ҳисобланг.

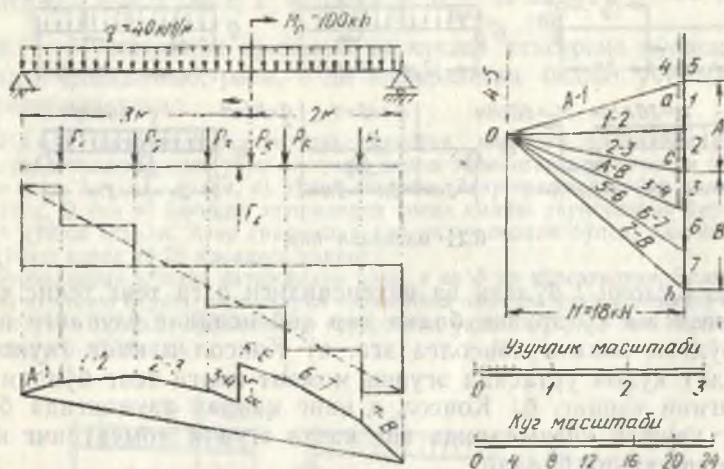


6.23- масалага оид

Жавоб: а)  $x = \frac{l}{2} - \frac{c}{4} = 4,7$  м,  $M_{\max} = 88,4$  кНм;

б)  $x = \frac{l}{2} - \frac{c}{12} = 4,9$  м,  $M_{\max} = 144$  кНм;

6.24. График усулидан фойдаланиб, қулочи  $l=5$  м бўлган текис тақсимланган юкда  $q=40$  кН ва моменти  $M_0=100$  кНм ли жуфт кучлар билан юкланган балка учун  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясаг.



6.24- масалага оид

Ечим. Балканинг исталган кесимидаги эгувчи моментни  $M(x)$ — $H$  билан ифодалаш мумкин, бунда  $H$  — куч кўпбурчагидаги кучлар масштабидаги қўйилган қутб масофаси,  $\eta$  — узунлик масштабида ўлчанган арқон кўпбурчаги ординатаси.

Узунликлар масштабини танлаб, балка ва юкланиш схемасини чизамиз. Куч кўпбурчагини ясаш учун тақсимланган юкни бир неча тўпланган кучлар билан, масалан,  $P_1 = P_2 = P_3 = P_6 = P_7 = 40$  кН билан, жуфт кучлар  $M$  ни эса узликсиз катта қийматли қарама-қарши йўналган кучлар  $P_4$  ва  $P_5$  билан алмаштирамиз. Кучлар  $P_4$  ва  $P_5$  момент  $M_0=100$  кН·м ли жуфт ҳосил қилади.

Қутб вазиятини ихтиёрий олиб, қабул қилинган кучлар масштабида кучлар кўпбурчагини, сўнгга арқон кўпбурчагини ясаймиз. Жуфт  $M$  қўйилган кесимда кўпбурчак арқон кўпбурчагининг 3—4 нурга параллел бўлган томонини ўтказишда ташқи жуфт momenti катталигида фарқни ҳосил қиламиз (нур 4—5 кучлар  $P_4$  ва  $P_5$  га параллел, чунки қутб  $O$  ни куч  $P_1$  учи билан туташтирадиган чизиқ у билан чексизликда кесишади). Кесма 4—5 катталиқ жиҳатидан



момент  $M_0 = H \cdot \eta_0$  га пропорционал бўлгани учун  $\eta_0 = \frac{M_0}{H}$ . Қўрилатган мисол-

да  $M = 100$  кНм қутб масофаси эса  $H = 180$  кН. Демак,  $\eta_0 = \frac{100}{180} = 0,55$  м.

Эпюра  $M(M_0 > 0)$  нинг мусбат ординатлари томонига узунликлар масштабида ана шу масофани қўямиз. Бу эса туташувчи  $A—B$  ли арқон кўпбурчагини тугаллашга имкон беради. Куч кўпбурчагида қутбдан бошлаб туташтирувчига параллел нур  $A—B$  ни ўтказиб, таянч реакциялар  $ac = A$  ва  $bc = B$  ни топамиз.

Балкага қўйилган тўпланган кучлар системаси учун  $Q$  эпюраларни яшаш таянч реакция  $A$  дан бошлаб танланган масштабда кучларни бирин-кетин қўйишдан иборат бўлади. Тўпланган кучлар сони оширилганда поғонали эпюра  $Q$  охирида қия тўғри чизиққа айланади, арқон кўпбурчаги эса  $M$  эпюрасидан иборат бўлган арқон эгри чизиғига айланади.

Ясалган графиклардан кўриниб турибдики,  $A = 80$  кН,  $B = 120$  кН, энг катта эгувчи момент  $M_{\max} = H \cdot \eta_{\max}$ , бунда узунликлар масштабида ўлчанган энг катта ордината  $\eta_{\max} = 0,89$  м.

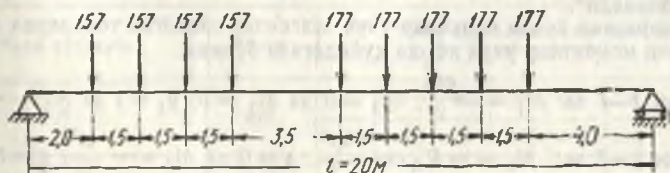
Жавоб:  $Q = -120$  кН,  $M = 160$  кНм.

6.25. 6. 2. масалада қўрилган балка учун  $a = 2$  м ва  $q = 40$  кН/м деб олиб, график усулда кўндаланг кучлар ва эгувчи моментлар эпюраларини ясанг.

Жавоб:  $Q = 120$  кН;  $M = 180$  кНм.

6.26. Локомотив ва тендер ғилдираклари босимининг ўрнини босадиган тўққизта тўпланган кучлар системаси билан юкланган кўприкнинг бош балкаси учун график усулда  $Q$  ва  $M$  эпюраларини ясанг (расмга қаранг). Юклар килоньютонларда, ўлчамлар метрларда берилган.

Жавоб:  $Q_{\max} = 805$  кН;  $M_{\max} = 4408$  кНм.



6.26- масалага оид

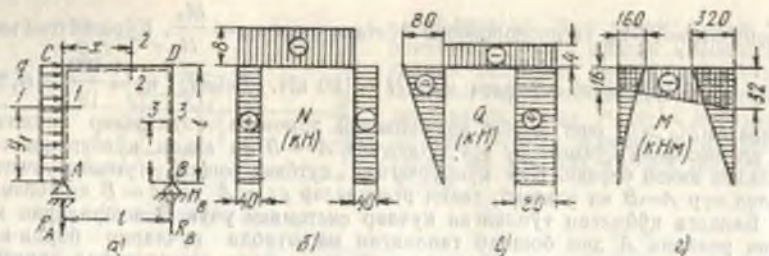
6.27. Расмда тасвирланган рама стерженлари учун бўйлама кучлар, кўндаланг кучлар ва эгувчи моментлар эпюраларини ясанг. Ушбу  $l = 4$  м ва  $q = 20$  кН/м бўлганда  $N$ ,  $Q$  ва  $M$  катталикларнинг абсолют қиймат бўйича энг катта қийматини топиш.

Ечиш. Таянч реакциялар статика тенгламаларидан топилади.

$$\sum X = 0 \quad ql - H_B = 0, \text{ бундан } H_B = ql = 80 \text{ кН};$$

$$\sum Y = 0, \quad -R_A + R_B = 0 \text{ ёки } R_A = R_B;$$

$$\sum M_B = 0, \quad R_A l - \frac{ql^2}{2} = 0, \text{ бундан } R_A = \frac{ql}{2} = 40 \text{ кН}.$$



6.27- масалага оид

а) кесимдаги бўйлама куч раманинг кесилган қисмга қўйилган барча ташқи кучларнинг стержень ўқиға проекциялари йнгиңдисига тенг. Кесим 1—1 да АС стоеканинг пастки қисмини кўриб  $N_1 = R_A = 40$  кН ни ҳосил қиламиз (чўзилиш). Бу зўриқиш стойка узунлиги бўйича ўзгармай қолади.

Кесим 2—2 да (рама АС—2 нинг чап кесилган қисмини кўриб) бўйлама куч  $N_2 = -ql = 80$  кН га эга бўламиз (сиқилиш).

Кесим 3—3 да стойка BD нинг пастки қисмини кўриб  $N_3 = -R_B = 40$  кН ни топамиз (сиқилиш). Кучлар эпюраси  $N$  расм, б да кўрсатилган.

б) Кўндаланг куч раманинг қирқилган қисмга қўйилган ташқи кучларнинг кесим текислиғига проекциялари йнгиңдисига тенг. Агар ташқи кучлар қирқилган қисми кесим марказига нисбатан соат стрелкаси йўналишида бурса, кўндаланг куч мусбат ҳисобланади.

Кесим 1—1:  $Q_1 = -qu_1$ ;  $u_1 = 0$  да  $Q = 0$ ;  $u_1 = l$  да  $Q_1 = -ql = -80$  кН.

Кесим 2—2 да:  $Q_2 = -R_A = -40$  кН.

Кесим 3—3 да:  $Q_3 = H_B = 80$  кН.

Кучлар эпюраси  $Q$  расм, в да кўрсатилган.

в) Эғувчи моментларни балкалар учун ҳисоблагандек ҳисоблаймиз, бунда расм, а да кўрсатилган ички толаларни момент чўзса, эғувчи моментлар мусбат ҳисобланади\*.

М эпюрасини худди балкалар учун ясагандек сиқилган толаларда ясаймиз. Эғувчи моментлар учун ифода қўйидагича бўлади:

Кесим 1—1 да:  $M_1 = -\frac{qu_1^2}{2}$ ;  $u_1 = 0$  да  $M_1 = 0$ ;  $u_1 = l$  да  $M_1 = -\frac{ql^2}{2}$ .

Кесим 2—2 да:  $M_2 = -R_A \cdot x - \frac{ql^2}{2}$ ;  $x = 0$  да  $M_2 = -\frac{ql^2}{2}$ ;  $x = l$  да

$M_2 = -ql^2$

Кесим 3—3 да:  $M_3 = -H_B \cdot u_2$ ;  $u_2 = 0$  да  $M_3 = 0$ ;  $u_2 = l$  да  $M_3 = -ql^2$ .

М эпюраси расм, г да тасвирланган. Абсолют қиймат бўйича энг катта катталик D узелдаги моментга тегишли, бунда  $M_D = -ql^2 = -20 \cdot 4^2 = -320$  кНм.

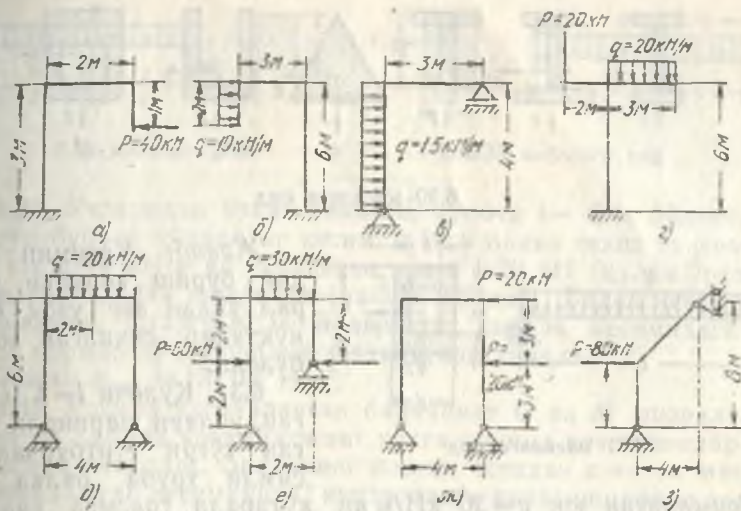
Жавоб:  $N = -80$  кН,  $Q = 80$  кН,  $M = -320$  кНм.

6.28. Агар горизонтал нағрузка  $q$  6.27 масалада кўрилган раманинг ўнг стойкаси BD га қўйилган бўлса,  $N$ ,  $Q$  ва  $M$  эпюралар қандай ўзгаради? Горизонтал юк ўнгдан чапга йўналган деб олинади.

Жавоб: Эпюраларнинг кўриниши ва ишоралари ўзгаради:  $N = 40$  кН;  $Q = 80$  кН,  $M = 160$  кНм.

\* Бошқача айтганда ҳар қайси стерженьни пастки қисми раем, а да пунктир билан кўрсатилган раманинг ичида жойлашган балка сифатида қараш мумкин.





6.29- масалага онд

6.29. Схемалари расмда кўрсатилган рамалар учун кўндаланг кучлар, бўйлама кучлар ва эгувчи моментлар эпюраларини ясанг.  $N$ ,  $Q$  ва  $M$  эпюраларнинг абсолют қиймат бўйича энг катта қийматларини ҳисобланг.

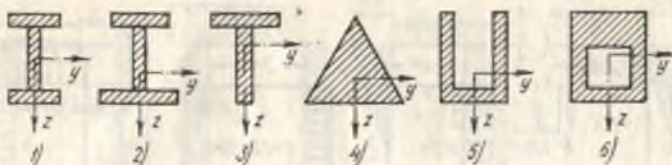
Жавоб:

| Ички зўриқиш | Бўлчам | Ички зўриқишларнинг энг катта қийматлари |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|--------|------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $N$          | кН     | $a$                                      | $b$ | $c$ | $d$ | $e$ | $ж$ | $з$ |     |
|              |        | -40                                      | -20 | 40  | -80 | -40 | -60 | 15  | -28 |
| $M$          | кНм    | 80                                       | 100 | 120 | -90 | -40 | 120 | 21  | 160 |
| $Q$          | кН     | -40                                      | 20  | 60  | 60  | 40  | 60  | 45  | 40  |

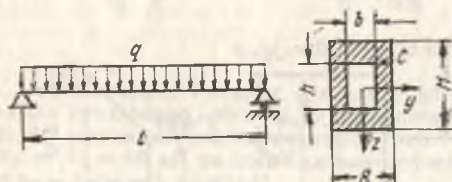
## 19- §. Эгилишдаги нормал кучланишлар

6.30. Кесимлари расмда кўрсатилган балкалар учун кесимдаги эгувчи моментни мусбат ҳисоблаб, нормал кучланишларнинг баландлик бўйича тақсимланиш эпюраларини чизинг.

Агар балка материали чўян бўлиб, у чўзилишга сиқилишга қараганда яхшироқ ишласа, текисликда эгувчи момент таъсир қиладиган фақат битта симметрия ўқида эга бўлган кесимларни қандай яхшироқ жойлаштириш мумкин?



6.30- масалага оид



6.31- масалага оид

Жавоб: Кесимни шундай буриш керакки, нейтрал ўқдан энг узоқ ётган нуқталар сиқилган зонада бўлсин.

6.31. Қулочи  $l=4$  м бўлган, учлари шарнирли таянган тўғри тўртбурчак кесимли труба балка тенг

тақсимланган юк  $q=30$  кН/м ни кўтаради (расмга қаранг). Балканинг хавфли кесимидаги энг катта нормал кучланишлар катталигини, шунингдек ўша кесимнинг  $S$  нуқтасидаги кучланишлар катталигини аниқланг. Унинг ўлчамлари:  $B=12$  см,  $H=20$  см,  $b=6$  см ва  $h=10$  см.

Ечи м. Хавфли кесимдаги энг катта кучланишлар

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y},$$

бунда  $M_{\max}$  — хавфли кесимдаги (қулоч ўртасидаги) эгувчи момент, у  $M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{30 \cdot 4^2}{8} = 60$  кНм га тенг,  $W_y$  — кесимнинг нейтрал ўқ  $y$  га нисбатан қаршилик momenti, ушбу формуладан аниқланади:

$$W_y = \frac{J_y}{z_{\max}}$$

Кесимнинг нейтрал ўққа нисбатан инерция momenti

$$J_y = \frac{BH^3 - bh^3}{12} = \frac{12 \cdot 20^3 - 6 \cdot 10^3}{12} = 7500 \text{ см}^4.$$

Ўша ўқдан то ундан энг узоқ нуқтагача бўлган масофа  $z_{\max} = \frac{H}{2} = 10$  см. Де-

мак,  $W_y = \frac{7500}{10} = 750 \text{ см}^3$ , балка хавфли кесимидаги энг катта кучланиш

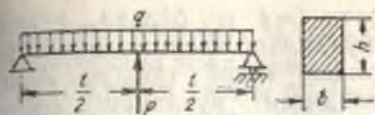
$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} = \frac{60 \cdot 10^5}{750} = 8000 \text{ Н/см}^2.$$

$S$  нуқтадаги нормал кучланишларни ҳисоблаш учун қуйидаги формуладан фойдаланилади:

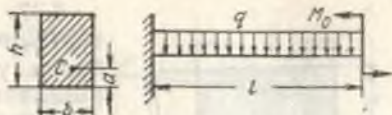
$$\sigma_c = \frac{M_{\max} \cdot z_c}{J_y} = - \frac{60 \cdot 10^5 \cdot 5}{7500} = -4000 \text{ Н/см}^2.$$

$S$  нуқта сиқилган зонада ( $M > 0$ ,  $z_c < 0$ ) ётганлиги учун «—» ишораси олинган.





6.32- масалага оид



6.33- масалага оид

6.32. Учларидан эркин таянган, қулочи  $l = 6$  м бўлган тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли ёғоч балка текис тақсимланган юк  $q = 4$  кН/м ва тўпланган куч  $P = 20$  кН (қулоч ўртасига қўйилган) билан юкланган (расмга қаранг). Балка кесимининг ўлчамлари:  $0,12 \times 0,20$  м. Балканинг хавфли кесимидаги энг катта нормал кучланишлар катталигини аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 15 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>.

6.33. Расмда тасвирланган балканинг  $Q$  ва  $M$  эпюраларини ясанг ва хавфли кесимдаги энг катта нормал кучланишлар катталигини аниқланг. Балканинг пастки четидан  $a = 4$  см масофада жойлашган кесимнинг  $C$  нуқтасидаги кучланишларни ҳам ҳисобланг. Балка қулочи  $l = 2$  м, кесим ўлчамлари  $b = 20$  см,  $h = 30$  см. Юклар:  $q = 20$  кН/м,  $M_0 = 12$  кН/м.

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 930$  Н/см<sup>2</sup>;  $\sigma_C = -680$  Н/см<sup>2</sup>.

6.34. Қулочи  $l = 5a = 5$  м бўлган тўғри тўртбурчак кесимли балка расмда кўрсатилгандек юкланган (расмга қаранг). Балканинг хавфли кесимида вужудга келадиган энг катта нормал кучланишлар  $\sigma_{\max} = 1210$  Н/см<sup>2</sup>, кесим ўлчамлари  $b = 12$  см ва  $h = 20$  см бўлса, юк  $q$  интенсивлигини аниқланг.

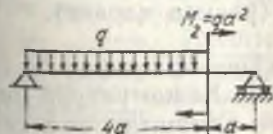
Жавоб:  $M_{\max} = 2,42qa^2$ ;  $q = 4000$  Н/м.

6.35. Диаметри  $d = 27$  см бўлган доира кесимли ёғоч балка учларидан шарнирли таянган ҳамда ҳар бири икки тўпланган куч  $P = 20$  кН билан юкланган (кучлар таянчларидан бир хил  $a = 1$  м масофага қўйилган). Агар балканинг қулочи  $l = 3$  м бўлса, хавфли кесимидаги энг катта нормал кучланишларни аниқланг.

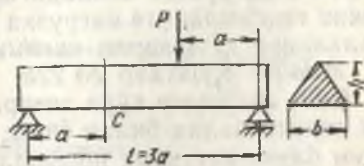
Жавоб:  $\sigma_{\max} = 1040$  Н/см<sup>2</sup>.

6.36. Расмда тасвирланган учбурчак кесимли балканинг  $C$  нуқтасида  $P$  куч таъсирида пайдо бўладиган нормал кучланишлар  $\sigma_C = 3000$  Н/см<sup>2</sup>. Балканинг хавфли кесимидаги нормал кучланишларнинг энг катта абсолют қийматини аниқланг,  $M = M_{\max}$ .

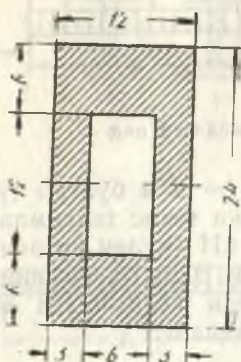
Жавоб:  $\sigma_{\max} = 12000$  Н/см<sup>2</sup> (сиқилиш).



6.34- масалага оид

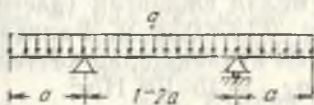


6.36- масалага оид



6.37- масалага онд

6.37. Кулочи  $l=4$  м бўлган тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли ичи бўш балка учларидан эркин таянган. Агар рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma] = 5000 \text{ Н/см}^2$  бўлса, вертикал текисликда кулоч ўртасига қандай тўпланган куч  $P$  ни хавфсиз қўйиш мумкин? Кесим ўлчамлари расмда см да берилган.



6.39- масалага онд

Жавоб:  $P=54000 \text{ Н}$ .

6.38. Эшик ўйиғи устига ташланган икки қатор балкага ўйиқ устидаги девор оғирлигидан  $Q_0=48 \text{ кН}$  босим тушади. Балкани учларидан эркин таянган деб ҳисоблаб ва девор босимини бутун кулоч узунлиги  $l=3,0 \text{ м}$  бўйича текис тақсимланган деб олиб, балканинг зарур кесимини икки вариантда танланг: а) икки қўштаврдан иборат, б) икки швеллердан иборат. Рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma]=160 \text{ МПа}$ .

Ечи м. Эгувчи моментнинг энг катта қиймати

$$M_{\max} = \frac{Q_0 \cdot l}{8} = \frac{48 \cdot 3}{8} = 18 \text{ кНм}.$$

Эгилишга мустаҳкамлик шартига кўра икки балканинг кесими зарур қаршилиқ моментини аниқлаймиз:

$$W = \frac{1800000}{16000} = 112,5 \text{ см}^3.$$

Нормал сортамент жадвалидан (иловага қаранг) зарур қаршилиқ моментли кесимни қидирамиз (ҳар қайси балка учун қаршилиқ momenti камида  $W=0,5 \cdot 112,5 \approx 56 \text{ см}^3$  бўлган кесим зарур). б) вариант учун швеллер № 14 ( $W=70,2 \text{ см}^3$ ).

6.39. Агар консолларнинг узунлиги  $a=2 \text{ м}$ , кулочи  $l=2a=4 \text{ м}$ , рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma]=160 \text{ МПа}$  бўлса, текис тақсимланган нагрузка  $q=20 \text{ кН/м}$  ни кўтарадиган консол балканинг қўштаврли кесимини танланг (расмга қаранг).

Жавоб: Қўштавр № 22а.

6.40. Лойиҳага кўра девордаги ўйиқни қўштавр профил № 12 ли иккита балка билан ёпиш кўзда тутилган. Кейин уларни бирини битта каттароқ профили балка билан алмаштиришга қарор қилинди. Зарур қўштавр номерини аниқланг ва қайси қарор тежамлироқ эканини ҳисобланг.



Жавоб: Қўштавр № 18. Бунда 20% чамаси металл тежалади.

6.41. Қулочи  $l=6$  м бўлган балкалар томонини  $b=20$  см ли квадрат кесимли ғўлалардан қилинадн деб лойиҳалаштирилган. Қурилишда уларнинг ўрнига кесим юзаси шундай бўлган думалоқ ғўлаларга алмаштиришди. а) Алмаштириш натижасида хавфли кесимда энг катта нормал кучланишлар катталиги қандай ўзгаради? а) Лойиҳадаги мустаҳкамликни таъминлаш учун ғўлаларнинг диаметрини қандай танлаш керак?

Жавоб: а) 16% ошади.

б)  $d=23,8$  см

6.42. Бир учидан қисилган квадрат кесимли балка қисилмаган учига квадрат томонига параллел қилиб қўйилган тўпланган куч  $P$  билан юкланган. Агар балкани ўқи атрофида  $45^\circ$  буриб куч таъсир чизигини квадрат диагоналига тўғри келтирилса, (иккала ҳолда ҳам хавфли кесимдаги энг катта кучланишларнинг катталиги бир хил бўлади деб ҳисоблаб),  $P$  куч катталиги қандай ўзгаради?

Жавоб: 29,3% камаяди.

6.43. Тормоз қурилмаси тортқини ҳамда эгик рычаг ABC дан иборат. Рычаг В нуқтада шарнирли болт атрофида эркин бурилади. Тормоз берилганда тортқида  $P=1500$  Н куч пайдо бўлади. Натижада тормоз калодкаси ғилдиракка С нуқтада қисилади. Агар рычагнинг калта елкаси  $a=0,25$  м, кесими  $b=2$  см,  $h=6$  см ўлчамли тўғри тўртбурчак, болт тешигининг диаметри  $d=30$  мм бўлса, болт диаметри кучсизлантирилган рычагнинг хавфли кесимида найдо бўладиган кучланишлар катталигини аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 14300$  Н/см<sup>2</sup>.

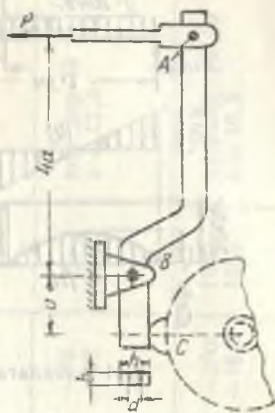
6.44. Юкланиш схемаси ва ўлчамлари расмда кўрсатилган балка учун энг катта эгувчи момент бўйича қуйидаги икки вариантда кесим танланг: а) қўштаврли (прокат пўлат) ва б) тўғри тўртбурчак (қарагай) — кесимнинг баландлиги энига нисбатан  $h/b=3/2$ . Рухсат этиладиган кучланиш пўлат учун  $[\sigma] = 16000$  Н/см<sup>2</sup>, ёғоч учун  $[\sigma] = 1200$  Н/см<sup>2</sup>.

Ечим. Эпюралар  $Q$  ва  $M$  расмда тасвирланган,  $M_{\max} = 20$  кН·м. Эгилишга мустаҳкамлик шартига кўра:

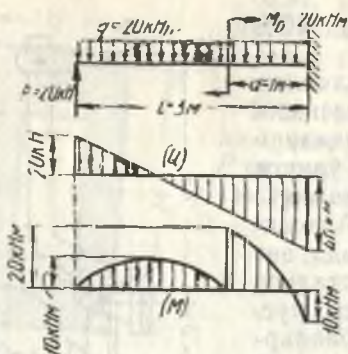
$$\text{Вариант а): } W_y > \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{20000 \cdot 10^3}{16000} = 125 \text{ см}^3.$$

Сортамент бўйича (илова) қўштавр № 18 ни (қаршилик моменти  $W = 143$  см<sup>3</sup>, залас 14% (ёки қўштавр № 16)  $W = 109$  см<sup>3</sup>, ўта кучланиш 13% атрофида). Қўштавр № 18 ни қабул қиламиз.

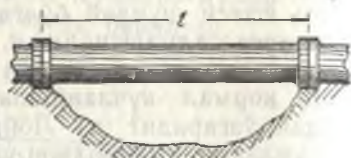
$$\text{Вариант б): } W > \frac{20000 \cdot 10^3}{16000} = 1668 \text{ см}^3.$$



6.43- масалага онд



6.44- масалага оид



6.46- масалага оид

Тўғри, тўртбурчак учун  $W = \frac{bh^2}{6} = \frac{h}{6} \cdot \left(\frac{3}{2}b\right)^2 = \frac{3}{8}b^3$ , у ҳолда  $b = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot 1668}{3}} = 16,45$  см,  $h = \frac{3}{2}b = 24,7$  см. Пўлат  $17 \times 25$  см ни қабул қиламиз.

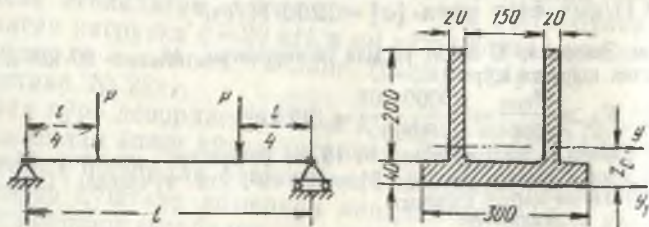
6.45. Бўйлама ўлчамлари ва юкланишлар берилган ҳамда расмда (жадвалда) схематик тасвирланган балкалар учун қўндаланг кучлар ва эгувчи моментлар эпюраларини ясанг ҳамда қуйидаги вариантлардан бирида энг катта эгувчи момент бўйича кесим танланг: а) прокат профил (пўлат) ва б) доира ёки тўғри тўртбурчак кесим (қарагай) — нисбат  $h/b$  берилган. Рухсат этиладиган кучланиш пўлат учун  $[\sigma] = 16000$  Н/см<sup>2</sup>, ёғоч учун  $[\sigma] = 1200$  Н/см<sup>2</sup>.

Жавоб: Жадвалга қаранг (1—10 схемалар консоллар учун, 11—20 схемалар икки таянчли балкалар учун).

6.46. Сув тўлдирилган чўян қувур қулочи  $l = 12$  м (расмга қаранг). Қувурни учлари шарнирли таянган балка деб ҳисоблаб, хавфли кесимдаги энг катта нормал кучланишлар катталигини аниқланг. Қувурнинг ташқи диаметри  $D = 25$  см, ички диаметри  $d = 23$  см, чўяннинг солиштирма оғирлиги  $\gamma = 7,8$ .

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 4120$  Н/см<sup>2</sup>

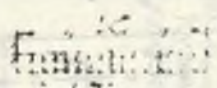
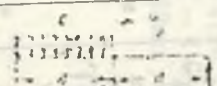
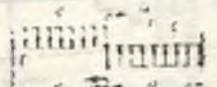
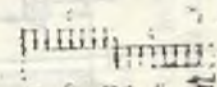
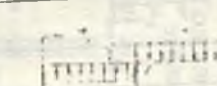
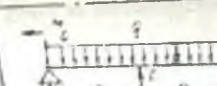
6.47. Қулочи  $l = 4$  м бўлган (расмга қаранг) болғаланувчан чўян балкага хавфсиз қўйиш мумкин бўлган рухсат этиладиган куч  $P$

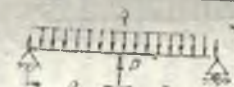
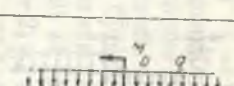
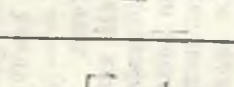
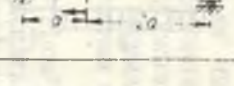
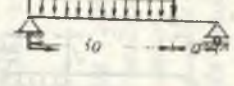


6.47- масалага оид



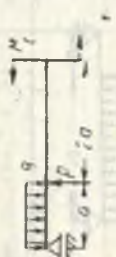
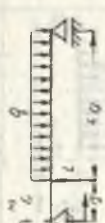
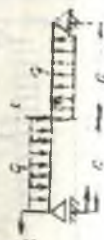
| Схема на вариант номери | Базис ва юкланиш схемаси | Ушамлар ва юкланишлар |          |            |          |           |                |               |              |    |                           | Жавоб |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------|----------|------------|----------|-----------|----------------|---------------|--------------|----|---------------------------|-------|
|                         |                          | Қесим ҳақиқат<br>h/b  |          | a          | P        | q         | M <sub>0</sub> | Q             | M            | W  |                           |       |
|                         |                          | м                     | кН       | кН/м       | кНм      | кН        | кНм            | кНм           | см³          |    |                           |       |
| 1                       | 2                        | 3                     | 4        | 5          | 6        | 7         | 8              | 9             | 10           | 11 | қўшгавр № 22<br>b = 16,45 |       |
| а)<br>б)                |                          | Қўшгавр               | 2<br>1   | 10<br>10   | 10<br>20 | 20<br>10  | 10<br>10       | —40<br>—20    | 250<br>1670  |    |                           |       |
| 2                       | 2                        | 3                     | 4        | 5          | 6        | 7         | 8              | 9             | 10           | 11 | қўшгавр № 12<br>b = 16,45 |       |
| а)<br>б)                |                          | қўшгавр               | 1<br>2   | 40<br>40   | 40<br>20 | 10<br>20  | 40<br>40       | 10<br>20      | 62,5<br>1670 |    |                           |       |
| 3                       | 2                        | 3                     | 4        | 5          | 6        | 7         | 8              | 9             | 10           | 11 | қўшгавр № 27<br>b = 29,4  |       |
| а)<br>б)                |                          | қўшгавр<br>доира      | 2<br>1   | 20<br>20   | 20<br>40 | 20<br>10  | 60<br>60       | —60<br>—30    | 375<br>2500  |    |                           |       |
| 4                       | 2                        | 3                     | 4        | 5          | 6        | 7         | 8              | 9             | 10           | 11 | швеллер № 24<br>b = 13,6  |       |
| а)<br>б)                |                          | 2 швеллер<br>h/b=2    | 2<br>1   | 0,5<br>2,5 | 10<br>10 | 20<br>0,5 | —45<br>—22,5   | —80<br>—20    | 500<br>1670  |    |                           |       |
| 5                       | 2                        | 3                     | 4        | 5          | 6        | 7         | 8              | 9             | 10           | 11 | қўшгавр № 40<br>b = 10,9  |       |
| а)<br>б)                |                          | қўшгавр<br>h/b=5/2    | 2<br>0,5 | 20<br>10   | 40<br>20 | 2<br>1,25 | 140<br>3,5     | —250<br>—16,8 | 1625<br>1355 |    |                           |       |

| 1           | 2                                                                                  | 3                      | 4      | 5        | 6        | 7         | 8          | 9         | 10           | 11                           |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------|----------|----------|-----------|------------|-----------|--------------|------------------------------|
| 6 а)<br>б)  |   | құштавр<br>дсира       | 2<br>1 | 80<br>20 | 40<br>20 | 160<br>20 | -80<br>-20 | 80<br>10  | 500<br>833   | құштавр № 3Ca<br>$d = 20,4$  |
| 7 а)<br>б)  |   | 2 құштавр<br>$h/b = 2$ | 2<br>1 | 60<br>20 | 30<br>20 | 60<br>10  | -60<br>-20 | 120<br>20 | 750<br>1670  | құштавр № 27<br>$b = 13,6$   |
| 8 а)<br>б)  |   | құштавр<br>$h/b = 4/3$ | 2<br>2 | 30<br>20 | 30<br>20 | 30<br>20  | 30<br>20   | 30<br>20  | 177<br>1670  | құштавр № 20<br>$b = 17,8$   |
| 9 а)<br>б)  |   | құштавр<br>$h/b = 5/3$ | 2<br>1 | 20<br>5  | 20<br>10 | 40<br>5   | -60<br>-15 | 80<br>10  | 500<br>833   | құштавр № 30a<br>$b = 12,2$  |
| 10 а)<br>б) |   | 2 швеллер<br>доира     | 2<br>1 | 40<br>10 | 20<br>10 | 80<br>10  | 80<br>20   | 240<br>30 | 1500<br>2500 | швеллер № 40<br>$d = 20,4$   |
| 11 а)<br>б) |  | құштавр<br>$h/b = 3/2$ | 2<br>2 | 40<br>20 | 20<br>10 | 40<br>20  | 30<br>15   | 40<br>20  | 250<br>1670  | құштавр № 20a<br>$b = 16,45$ |

| 1           | 2                                                                                   | 3                      | 4        | 5        | 6        | 7         | 8             | 9              | 10          | 11                         |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|----------|----------|-----------|---------------|----------------|-------------|----------------------------|
| 12 а)<br>б) |  | 2 құштавр<br>доира     | 3<br>2   | 60<br>40 | 20<br>20 | 10<br>10  | 33,7<br>22,5  | 26,1<br>17,4   | 163<br>1450 | құштавр № 14<br>$d = 24,5$ |
| 13 а)<br>б) |  | құштавр<br>$h/b = 4/3$ | 2<br>1   | —        | 20<br>10 | 160<br>20 | 80<br>20      | 120<br>15      | 750<br>1250 | құштавр № 36<br>$b = 16,2$ |
| 14 а)<br>б) |  | құштавр<br>$h/b = 2$   | 2<br>1   | —        | 40<br>20 | 20<br>2,5 | -110<br>-27,5 | 15,1<br>19     | 946<br>1580 | құштавр № 30<br>$b = 13,3$ |
| 15 а)<br>б) |  | құштавр<br>$h/b = 4/3$ | 2<br>1   | 60<br>30 | 10<br>10 | 80<br>20  | 6,25<br>31,2  | 11 5,2<br>28,8 | 722<br>2400 | құштавр № 36<br>$b = 20,1$ |
| 16 а)<br>б) |  | құштавр<br>доира       | 1<br>0,5 | 20<br>10 | 20<br>20 | 20<br>5   | 40<br>20      | 60<br>15       | 375<br>1250 | құштавр № 27<br>$d = 23,3$ |



6.45 исалати (давони)

| 1              | 2                                                                                   | 3                         | 4      | 5         | 6        | 7        | 8            | 9              | 10            | 11                       |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|-----------|----------|----------|--------------|----------------|---------------|--------------------------|
| 17<br>а)<br>б) |  | 2 швеллера<br>$h/b = 5/3$ | 2<br>1 | 40<br>20  | 20<br>20 | 40<br>10 | 46,7<br>23,4 | 40<br>10       | 250<br>833    | швеллер № 18а<br>= 12,2  |
| 18<br>а)<br>б) |  | 2 швеллера<br>$h/b = 4/3$ | 2<br>1 | 50<br>50  | 20<br>20 | 40<br>20 | 46<br>46     | 57,8<br>28,9   | 330<br>2405   | швеллер № 20 а<br>= 20,1 |
| 19<br>а)<br>б) |  | құштаар<br>доира          | 2<br>2 | 30<br>20  | 30<br>20 | 30<br>20 | 37,5<br>25   | -30,9<br>-20,6 | - 193<br>1718 | құштаар № 20 а<br>= 25,8 |
| 20<br>а)<br>б) |  | құштаар<br>$h/b = 3/2$    | 4<br>2 | 10<br>7,5 | 20<br>30 | 40<br>15 | 50<br>37,5   | -40<br>-15     | 250<br>1250   | құштаар № 22 а<br>= 14,9 |

қийматини аниқланг. Рухсат этиладиган кучланишлар: чўяннинг чўзилишига  $[\sigma] = 3000 \text{ Н/см}^2$ , сиқилишига  $[\sigma_c] = 10000 \text{ Н/см}^2$ . Кесим ўлчамлари расмда мм да кўрсатилган.

Ечи м: Этувчи моментлар эпюрасини ясаб,  $M_{\max} = \frac{Pl}{4}$  катталигини топамиз.

Мустаҳкамлик шартини тузиш учун кесим инерция моментини (бош марказий ўқ у га нисбатан) ҳисоблаб топиш керак. Кесимни учта тўғри тўртбурчакдан иборат деб қараб, қуйидагини топамиз:

1) Кесим юзаси  $F = 2 \cdot 2 \cdot 20 + 4 \cdot 30 = 200 \text{ см}^2$ .

2) Шакл асосидан утадиган ўқ у га нисбатан юзанинг статик моменти  $S_{y_1} = 2 \cdot 20 \cdot 2(10 + 4) + 4 \cdot 30 = 1360 \text{ см}^3$ .

3) Кесимнинг оғирлик марказигача бўлган масофа

$$z_c = \frac{1360}{200} = 6,8 \text{ см.}$$

4) у ўққа нисбатан кесим инерция моменти параллел ўқларга ўтиш формулалари бўйича қуйидагига тенг:

$$J_y = 2 \left[ \frac{2 \cdot 20^3}{12} + 2 \cdot 20(10 + 4 - 6,8)^2 \right] + \frac{30 \cdot 4^3}{12} + 30 \cdot 4(6,8 - 2)^2 = 9740 \text{ см}^4.$$

Мустаҳкамлик шarti ушбу кўричини олади  $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{J_y} \cdot z_{1,2} < [\sigma]$ .

Бунда  $z_{1,2}$  — у ўқдан кесимнинг энг зўриққан нуқталаригача бўлган масофа.

а) Кесимнинг чўзилган (пастки) зонасида  $z_1 = 6,8 \text{ см}$ .

б) Кесимнинг сиқилган (юқори) зонаси учун  $z_2 = 24 - 6,8 = 17,2 \text{ см}$ .

Мустаҳкамлик шarti:

а) эгилишдаги чўзилишга

$$\sigma_{\max} = \frac{pl}{4J_y} z_1 \leq [\sigma], \text{ бундан } P = \frac{4[\sigma] \cdot J_y}{z_1 \cdot l} = - \frac{4 \cdot 3000 \cdot 9740}{6,8 \cdot 400} = 43000 \text{ Н.}$$

б) эгилишдаги сиқилишга

$$P \leq \frac{4[\sigma_c] J_y}{z_2 \cdot l} = \frac{4 \cdot 10000 \cdot 9740}{17,2 \cdot 400} = 56500 \text{ Н.}$$

Равшанки, рухсат этиладиган юкланиш  $P = 43000 \text{ Н}$  дан ошмаслиги керак, буни чўяннинг чўзилишга мустаҳкамлик шarti кўрсатапти.

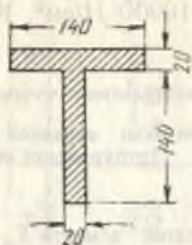
6.48. Узунлиги  $l = 1,4 \text{ м}$  бўлган ва бир учи қисилган тавр профилли балка вертикал текисликда тупланган куч  $P$  билан юкланган. Куч консолнинг эркин учига қўйилган. Кесим ўлчамлари расмда мм да берилган. Агар хавфли кесимда чўзувчи кучланиш  $\sigma_{\max} = 4240 \text{ Н/см}^2$  бўлса,  $P$  куч катталигини ва энг катта сиқувчи кучланишлар қийматини аниқланг.

Жавоб:  $P = 8250 \text{ Н}$ ,  $\sigma_{\max} = -9320 \text{ Н/см}^2$ .

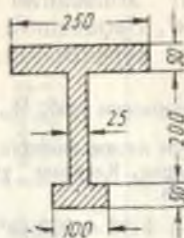
6.49. Кулочи  $l = 2 \text{ м}$ , бир учидан қисилган ва бутун узунлиги бўйича вертикал текисликда бир текис тақсимланган юк  $q = 30 \text{ кН/м}$  билан юкланган балканинг хавфли кесимидаги энг катта чўзувчи ва сиқувчи кучланишлар катталигини аниқланг. Балканинг кесими — ҳар хил токчали қўштавр, кесим ўлчамлари расмда мм да берилган.

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 2540 \text{ Н/см}^2$ ;  $\sigma_{\min} = -4520 \text{ Н/см}^2$ .

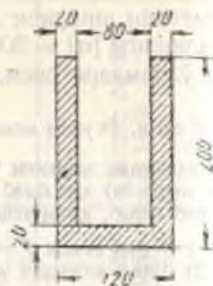




6.48- масалага онд



6.49- масалага онд



6.50- масалага онд

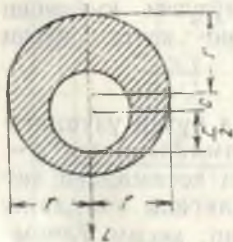
6.50. Расмда тасвирланган (ўлчамлари мм да берилган) тоғарасимон профилли балка икки шарнирли таянчда эркин туради ва ҳар қайси таянчлардан бир хил масофа  $a = 2,2$  м да ётган иккита тенг куч  $P = 20$  кН билан юкланган. Балка материали — чузилишга мустаҳкамлик чегараси  $\sigma_m = 180$  Н/мм<sup>2</sup> ва сиқилишга мустаҳкамлик чегараси  $\sigma_c = 400$  Н/мм<sup>2</sup> бўлган қоғишма. Балканинг хавфли кесимидаги нуқталар учун букилишдаги чузилишга ва сиқилишга мустаҳкамлик запаси коэффициентини аниқланг.

Жавоб: Чузилишга  $\kappa_1 = 1,8$ ; сиқилишга  $\kappa_2 = 2,96$ .

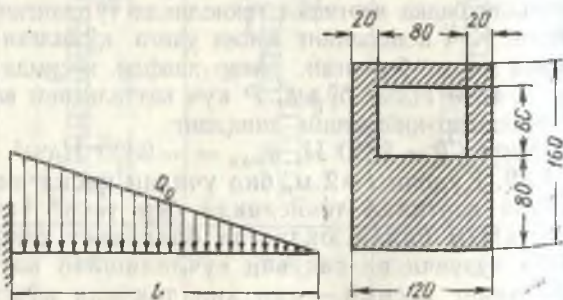
6.51. Йўналтирувчи стойка учун очилган носимметрик жойлашган думалоқ тешик кучсизлантирган станок калонкаси  $xOz$  текисликда момент  $M = 60$  кНм билан соф эгилишга учрайди. Агар  $r = 15$  см бўлса, расмда кўрсатилган калонка кесимидаги энг катта нормал кучланишлар катталигини аниқланг. Ташқи ва ички айланалар марказлари орасидаги масофа  $c = 0,25$  м.

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 2870$  Н/см<sup>2</sup>.

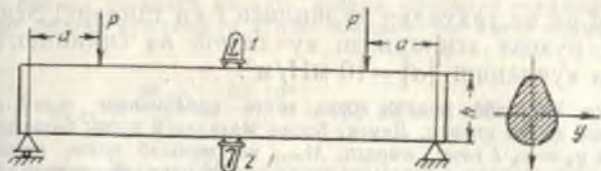
6.52. Бир учидан қисилган, узунлиги  $l = 1,5$  м бўлган балка учбурчак қонуни бўйича тақсимланган яхлит нагрузка  $Q_0$  билан юкланган. Балканинг кесими тўғри тўртбурчак, ичи бўш носимметрик жойлашган бўшлиғи бор (расмга қаранг, ўлчамлар мм да берилган). а) Рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma] = 10000$  Н/см<sup>2</sup> бўлса, юк  $Q_0$  катталигини аниқланг. б) Агар юк



6.51- масалага онд



6.52- масалага онд



6.53- масалага оид

$Q_0$  балка узунлиги бўйича бир текис тақсимланса, юкнинг катталиги қандай ўзгаради?

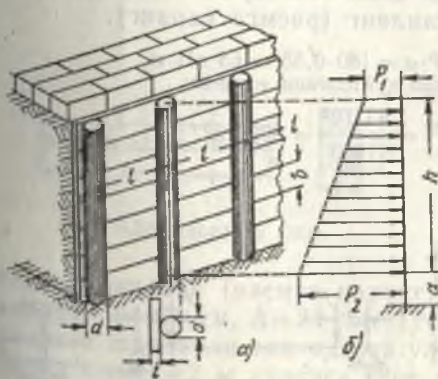
Жавоб: а)  $Q_0 = 75000$  Н, б) 1,5 марта кичраяди.

6.53. Расмда тасвирланган схема бўйича чўян балкани синашда ( $E = 1,2 \cdot 10^7$  Н/см<sup>2</sup>) тензометрлар 1 ва 2 кўрсатишлари ёзиб олинди. Юкланиш поғонаси  $P = 50$  кН дан кўрсатишларнинг ўртача ўсиши  $\Delta n_1 = -15$  мм,  $\Delta n_2 = 5$  мм га тенг бўлди. Агар кесим баландлиги  $h = 24$  см,  $a = 0,6$  м, тензометрлар базаси  $l = 20$  мм, катталаштириш коэффиценти  $\kappa = 1000$  бўлса, бош марказий ўқ  $y$  га нисбатан кесимнинг инерция моменти катталигини аниқланг.

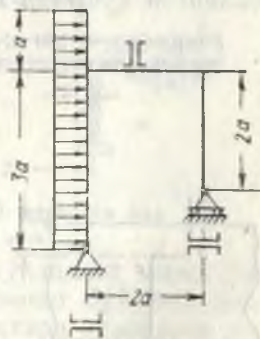
Жавоб:  $J_y = 6000$  см<sup>4</sup>.

6.54. Тўкмани тутиб турган тирак девор ҳар қайсисининг эни  $b = 0,2$  м (расмга қаранг) бўлган тахталар қоқилган думалоқ қозиклардан иборат. Қозиклар орасидаги масофа  $l = 1,2$  м, девор баландлиги  $h = 1,5$  м. Тирак деворга тушадиган босим чизиқли қонун бўйича  $p_1 = 5$  кН/м<sup>2</sup> (девордан баланд юк таъсирида),  $p_2 = 18$  кН/м<sup>2</sup> гача ошади. Грунт юмшоқлиги туфайли қозикнинг қисилган жойи грунт сатҳидан  $a$  катталиқка пастроқ олинади (расм, б).

Қоплама тахталарини қозикларга шарнирли тиралган балкалар сифатида қараб ва ўлчам  $a = 0,25$  м деб олиб, қозик



6.54- масалага оид



6.55- масалага оид



диаметри  $d$  ни ва тахталар қалинлиги  $t$  ни танланг. Эгилишдаги чўзилишга рухсат этиладиган кучланиш ва сиқилишга рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma] = 10 \text{ МН/м}^2$ .

**Қўрсатма.** Хар қайси оралиқ қозіқ тахта қопламанинг  $\omega = h \cdot l$  юзасидаги қисми босимини қабул қилади. Демак, босим жадаллиги қозіқ баландлиги бўйича  $q_1 = p_1 \cdot l$  дан  $q_2 = p_2 \cdot l$  гача ўзгаради.  $M_{\max}$  ни ҳисоблаб қозіқ кесими танланади. Энди қопламага келсак, энг пастдаги тахта энг ноқулай шароитда туради. У қулочи  $l$  бўлган икки таянчдаги бир текис тақсимланган юк  $q_b = p_2 \cdot b$  (пастда кв м га тушадиган босим  $p_2$  га тенг, тахтанинг эни  $b$  м бўлганда пог м га тушадиган босим  $b$  марта катта) билан юкланган балка сифатида ишлайди.

**Жавоб:**  $d = 0,26 \text{ м}$ ;  $t = 0,044 \text{ м}$ .

**6.55.** Расмда тасвирланган раманинг ён қопламаси стойкага шамолнинг бир текис тақсимланган кучи  $q = 5000 \text{ Н/м}$  ни ўтказади. Рама стойкаси ва ригели икки бир хил швеллердан лойиҳаланади. Эгилишга мустаҳкамлик шартига кўра швеллернинг зарур номерини аниқланг.  $a = 2 \text{ м}$ , рухсат этиладиган кучланиш  $[\tau] = 14000 \text{ Н/см}^2$ .

**Жавоб:** № 36 ли икки швеллер.

## 20- §. Эгилишдаги уринма кучланишлар. Эгилиш маркази

**6.56.** Кесимдаги (расмга қаранг) кўндаланг куч  $Q$  мусбат ва манфий қийматида погонали қирқим  $abcd$  орқали балканинг ўнг қисмидан чап қисмига ва аксинча узатиладиган уринма кучланишлар йўналишини кўрсатинг. Агар  $Q = 32000 \text{ Н}$ ,  $b = 12 \text{ см}$  ва  $h = 20 \text{ см}$  бўлса, горизонтал юза  $bc$  бўйича уринма кучланишлар катталигини ҳам аниқланг.

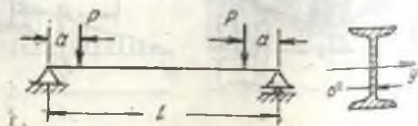
**Жавоб:**  $\tau_{\max} = 150 \text{ Н/см}^2$ .

**6.57.** Эгилишда чўзилишга ва сиқилишга рухсат этилган кучланиш  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$  ҳамда қирқишдаги чўзилишга ва сиқилишга рухсат этилган кучланиш  $[\tau] = 100 \text{ МПа}$  бўлганда сортамент бўйича қулочи  $l = 3 \text{ м}$  бўлган, таянчлардан бир хил массафа  $a = 0,35 \text{ м}$  да қўйилган икки тенг куч  $P = 180 \text{ кН}$  билан юкланган қўштавр кесимни танланг (расмга қаранг).

**Ечим:**  $Q_{\max} = 180 \text{ кН}$ ,  $M_{\max} = P \cdot a = 180 \cdot 0,35 = 63 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Эгилишдаги мустаҳкамлик шартидан қуйидагини топамиз:

$$W \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{63 \cdot 10^2}{1600} = 392 \text{ см}^3.$$



6.56- масалага оид

6.57- масалага оид

Сортамент бўйича (иловага қаранг) яроқли профилни — қаршилиқ моменти  $W = 407 \text{ см}^3$  бўлган қўштак № 27а ни топамиз. Энг катта нормал кучланишлар:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{63 \cdot 10^3}{407} = 155 \text{ МПа} < 160 \text{ МПа}.$$

Уринма кучланишлар бўйича мустаҳкамликни текшираимиз: Жадвалдан қўштак № 27 а учун қуйидагиларга эга бўламиз: нейтраль ўқ  $y$  га нисбатан кесимнинг инерция моменти  $J_y = 5500 \text{ см}^4$ , ўқ  $y$  га нисбатан ярим кесимнинг статик моменти  $S_y^0 = 229 \text{ см}^3$ , нейтрал қатлам сатҳида кесимнинг кенглиги  $b(z) = \delta = 0,6 \text{ см}$ .

Журавский формуласидан қуйидагини топамиз:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_y^0}{J_y b(z)} = \frac{180000 \cdot 229}{5500 \cdot 0,6} = 12500 \text{ Н/см}^2 > 10000 \text{ Н/см}^2.$$

Кесимнинг силжишга мустаҳкамлигини таъминлаш учун профиль номерини каттароқ олиш керак. Қўштак № 30 ни ҳисоблаб кўраимиз:

$$J_y = 7080 \text{ см}^4, S_y^0 = 268 \text{ см}^3; \delta = 0,65 \text{ см}.$$

$$\tau_{\max} = \frac{QS}{J_y \delta} = \frac{180000 \cdot 268}{7080 \cdot 0,65} = 10500 \text{ Н/см}^2 > 10000 \text{ Н/см}^2.$$

Ута кучланиш 5% ни ташкил этди, бунга йўл қўйиш мумкин. Кесимни қирқим-га мустаҳкамлик шартидан танлашга тўғри келди.

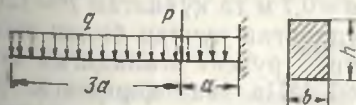
Жавоб: Қўштак №30.

6.58. Бир учидан қисилган ва схемада кўрсатилганидек букланган ёғоч балканинг тўғри тўртбурчак кесимини танланг. Тўғри тўртбурчак томонларининг нисбати  $h:b = 3:2$ ;  $a = 0,25 \text{ м}$ ;

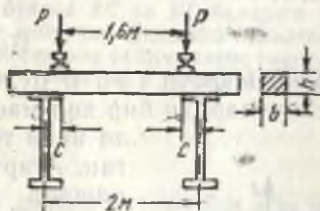
$$q = 10 \text{ кН/м}, P = 10 qa, [\sigma] = 1000 \text{ Н/см}^2 \text{ ва } [\tau] = 120 \text{ Н/см}^2.$$

Жавоб:  $b = 17 \text{ см}, h = 25,5 \text{ см}$ .

6.59. Кўприк тўсинининг хавфли кесимида локомотив гилдираклари босими — ҳар қайси рельсдан  $P = 96 \text{ кН}$  куч таъсирида вужудга келадиган нормал ва уринма кучланишлар катта-



6.58- масалага оид

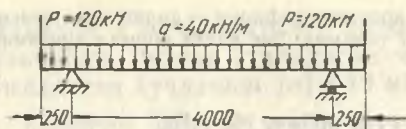


6.59- масалага оид

лигини аниқланг (расмга қаранг). Тўсин кўндаланг кесим ўлчамлари:  $b = 21 \text{ см}, h = 28 \text{ см}$ . Тўсин кўприкнинг бўйлама балкаларига шарнирли таянади ва уларнинг ўқлари орасидаги масофага тенг  $l = 2 \text{ м}$  қулочга тенг деб ҳисобланг.

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 7000 \text{ кН/м}^2; \tau_{\max} = 2450 \text{ кН/м}^2$ .

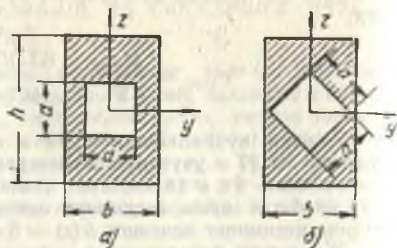




6.60- масалага оид

6.60. Расмда кўрсатилгандек юкланган қўштавр профилли консол балканинг кесимини таплаг. Рухсат этилган кучланишни  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ ,  $[\tau] = 100 \text{ МПа}$ .

Жавоб: қўштавр № 27.



6.62- масалага оид

6.61. Қўштавр профилли балка қўндаланг куч  $Q_0$  бўлганда эгувчи момент  $M_0$  таъсирига мослаб лойиҳаланади. Конструкцияни синаш учун балканинг лойиҳадаги балкага геометрик ўхшаш модели ясалган. Моделнинг барча ўлчамлари аслига қараганда  $n$  марта кичрайтириб олинган. Моделни синашда юкланишлар кичрайтириб олинади, бу билан бирга моделдаги эгувчи момент  $M_1$  ва қўндаланг куч  $Q_1$ ,  $Q_2$  ва  $M_0$  дан бир хил марта кичик. Моделдаги энг катта уринма кучланишлар (тах  $\tau_1$ ) асл нусхасидаги  $\tau_0$  дан қанча фарқ қилишини ҳисобланг. Иккала балкадаги энг катта нормал кучланишлар бир хил.

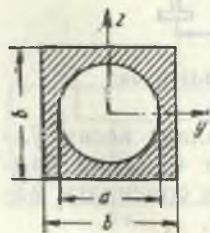
Жавоб: Моделдаги  $\max \tau_1$  лойиҳаланган балкадагидан  $n$  марта кичик.

6.62. Ушбу икки вариантни таққосланг: а) ва б) нормал ва уринма кучланишлар бўйича мустаҳкамлик шартидан келиб чиқиб вертикал текисликда эгилишга ишлайдиган балканинг тўғри тўртбурчак труба сисмон кесими учун кесим ўлчамлари:  $b = 12 \text{ см}$ ,  $h = 20 \text{ см}$ ,  $a = 8 \text{ см}$  (расмга қаранг).

Жавоб: Нормал кучланишлар бўйича икки вариант ҳам бир хилда мустаҳкам, уринма кучланишлар бўйича а) вариант фойдали,

$$(\tau_0 = 5,73 \tau_a)$$

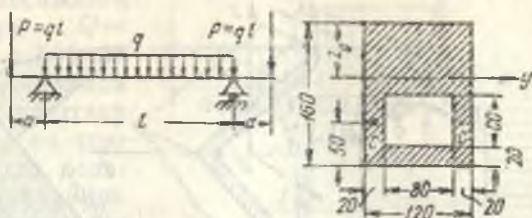
6.63. Қулочи  $l = 3 \text{ м}$  бўлган учларидан эркин тиралган балка таянчлардан бир хил масофа  $a = 0,7 \text{ м}$  га қўйилган  $P = 120 \text{ кН}$  ли икки тенг тўпланган кучлар билан юкланган. Агар эгилишга рухсат этиладиган кучланишлар  $[\sigma] = 60 \text{ МПа}$  ва қирқишга  $[\tau] = 20 \text{ МПа}$  бўлса, кесимнинг мустаҳкамлигини текширинг. Кесим ўлчамлари (расм,  $a$  га қаранг):  $b = 24 \text{ см}$ ,  $d = 20 \text{ см}$ .



6.63- масалага оид

Қўрсатма. Ярим доиранинг асосга нисбатан статик моменти:

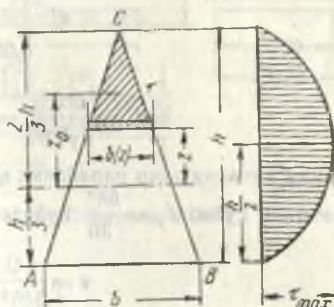
$$S_y = \frac{1}{12} d^3.$$



6.64- масалага оид

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 50,8 \text{ МПа} < 60 \text{ МПа}$   
 $\tau_{\max} = 16 \text{ МПа} < 20 \text{ МПа}$

6.64. Қулочи  $l = 4 \text{ м}$  бўлган, ҳар қайсиси  $a = 0,5 \text{ м}$  ли икки тенг консолли балка расм,  $a$  дагидек юкланган. Агар  $C$  нуқталардаги уринма кучланишлар  $\tau_c = 10 \text{ МПа}$  бўлса, балканинг хавфли кесимидаги энг катта нормал ва уринма кучланишлар катталигини аниқланг. Кесим ўлчамлари ва  $C$  нуқталаргача бўлган масофа расм,  $b$  да мм ларда кўрсатилган.



6.65- масалага оид

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 70 \text{ МПа}$ ;  $\tau_{\max} = 11,2 \text{ МПа}$  ( $z_0 = 7 \text{ см}$ ,  $J_y = 3370 \text{ см}^4$ ).  
 6.65. Шабли тенг ёнли учбурчакдан иборат бўлган балка кесими баландлиги бўйича уринма кучланишлар вертикал ташкил этувчиларининг тақсимланиш эпюрасини ясанг. Қўндаланг куч  $Q$  ўқ  $z$  бўйлаб йўналган.

Ечим. Уринма кучланишларнинг жуфтлиги қонунига кўра, контур нуқталардаги тўлиқ уринма кучланиш йўналиш бўйича  $AC$  ва  $BC$  ёқларига тўғри келади. Кесимнинг исталган нуқтасида эса  $y$  учбурчак чўққисига йўналган деб қабул қилиниши мумкин. Журавскийнинг  $\tau$  кесим энг бўйича текис тақсимланган деб фараз қилиб чиқарилган формуласи бўйича ўқ  $z$  га параллел бўлган ташкил этувчилар  $\tau$  гина аниқланади.

$$\tau = \frac{Q \cdot S_y}{J_y b(z)} \quad (a)$$

Чизиқ  $b(z)$  да ётган ихтиёрли нуқта учун юзанинг нолга тенг ўқи  $y$  га нисбатан силжиган статик момент  $S_y^0 = F_0 \cdot z_0$ , штрихланган учбурчакнинг юзаси

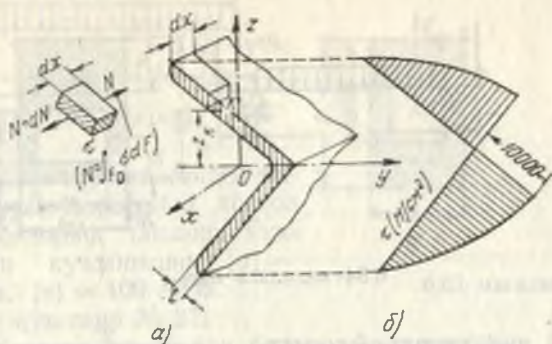
$$F_0 = \frac{1}{2} \cdot b(z) \left( \frac{2}{3} h - z \right),$$

$$z_0 = z + \frac{1}{3} \left( \frac{2}{3} h - z \right) = \frac{2}{3} (h + z).$$

Демак,

$$S_y^0 = \frac{1}{3} b(z) \left( \frac{2}{3} h - z \right) \left( \frac{h}{3} + z \right) = \frac{b(z)}{27} (2h^2 + 3hz - 9z^2).$$





6.66- масалага оид

$$\tau = \frac{Q S_y^o}{J_y b(z)} = \frac{Q}{27 J_y} (2h^2 + 3hz - 9z^2).$$

Уринма кучланишлар параболик қопун бўйича ўзгаради. Учбурчакнинг инерция моментини қўйиб  $J_y = \frac{bh^3}{36}$  қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\tau = \frac{4Q}{3bh^3} (2h^2 + 3hz - 9z^2). \quad (6)$$

Тенгламани  $\tau$  максимумга текшириб, ушбуни топамиз:

$$\frac{d\tau}{dz} = 3h - 18z = 0, \text{ бундан } z = \frac{h}{6};$$

Демак,  $\tau_{\max} = \tau, z = \frac{h}{6}$  яъни учбурчакнинг ўрта чизигига  $z$  нинг бу қийматини

(6) га қўйиб, ушбуни ҳосил қиламиз:  $\tau_{\max} = \frac{3Q}{bh} = \frac{3Q}{2F}$ . Кесим баландлиги бўйича  $\tau$  эпюрасини ясаш учун ўзгарувчан  $z$  га яна уч қиймат берамиз.

$$1) z = 0; \tau = \frac{4}{3} \frac{Q}{F}; \quad 2) z = \frac{2}{3} h, \tau = 0 \quad 3) z = -\frac{h}{3}, \tau = 0$$

**Жавоб:** Расмга қаранг.

**6.66.** Профили бурчаклик  $50 \times 50 \times 5$  мм бўлган балка вертикал текисликда эгилишга ишлайди. Агар кесимдаги  $z$  ўққа параллел бўлган кўндаланг куч  $Q = 20$  кН га тенг бўлса, кесим бўйича уринма кучланишларнинг тақсимланиш эпюрасини ясанг ва уларнинг  $K$  нуқтадаги қийматини топинг ( $z_K = 20$  мм) ва  $\tau_{\max}$  ( $z = 0$ ).

**Қўрсатма.** Қирқилган элемент учун Д. И. Журавский усули бўйича  $x$  ўққа параллел юзача бўйича  $\tau$  қийматини топинг (расм, а). Жуфтлик қонунига кўра худди шундай кучланишлар токчалар бўйлаб таъсир қилади:

$$\tau = \frac{Q S_y^o}{J_y t}, \text{ бунда } S_y^o = \int_F z dF = \frac{t}{\cos 45^\circ} \int_0^{b \cos 45^\circ} z dz.$$

**Жавоб:** Расмга қаранг. б)  $\tau_K = 68$  МПа;  $\tau_{\max} = \frac{Qb^2}{2J_y \sqrt{2}} = 100$  МПа.

6.67. Агар кесимдаги кундаланг куч  $Q = 160$  кН ва ўқ  $z$  бўйлаб йўналган бўлса, чизмада тасвирланган қўштавр профиль девори ва токчаларида вужудга келадиган уринма кучланишларнинг тақсимланиш эпюрасини ясанг. Кесим ўлчамлари:  $b = 36$  см,  $h = 40$  см,  $t = 2$  см,  $\delta = 1,2$  см.

Ечим: Журавский формуласи бўйича уринма кучланишлар катталиги қуйидагига тенг. Девор бўйлаб таъсир этадиган:

$$\tau_z = \frac{QS_y^0}{J_y b(z)};$$

токчалар бўйлаб таъсир этадиган:

$$\tau_y = \frac{QS_y^t}{J_y t}.$$

Бу ерда  $S_y^0$ ,  $S_y^t$  — кесимнинг нейтрал ўқ  $y$  га нисбатан силжийдиган қисмининг статик моментлари,  $b(z) = \delta$  — девор қалинлиги,  $t$  — токча қалинлиги ва  $J_y$  — кесимнинг марказий ўқ  $y$  га нисбатан инерция моменти,  $y$  қуйидагига тенг:

$$J_y = \frac{\delta(h-2t)^3}{12} + 2 \left[ \frac{bt^3}{12} + bt \left( \frac{h-t}{2} \right)^2 \right] = \frac{1,2 + 36^3}{12} + 2 \left( \frac{36 \cdot 2^3}{12} + 36 \cdot 2 \cdot 19^2 \right) \approx 56700 \text{ см}^4.$$

Кесимнинг эни  $b(z) = \delta$  ва токчанинг қалинлиги  $t$  доимий бўлганда уринма кучланишлар катталигининг ўзгариши фақат статик момент катталигининг ўзгаришига боғлиқ бўлади. Деворнинг токчалар блан туташган жойига тегишли 1 ва 3 нуқталар учун

$$S_{1,3} = bt \cdot \frac{h-t}{2} = 36 \cdot 2 \cdot 19 = 1368 \text{ см}^3.$$

Нейтрал ўқда ётган 2 нуқта учун

$$S_z = S_{\max} = S_1 + \frac{(h-2t)}{2} \cdot \frac{(h-2t)}{4} \delta = 1368 + 18 \cdot 9 \cdot 1,2 = 1560 \text{ см}^3.$$

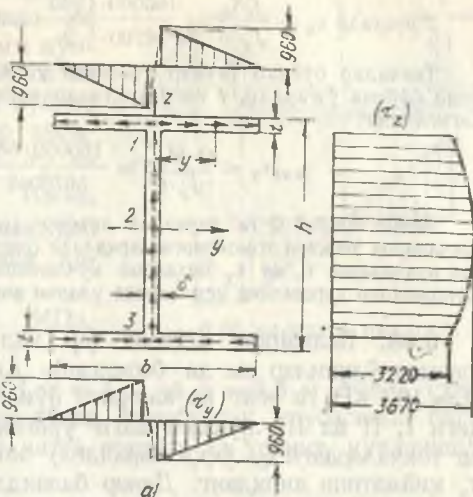
Токчага тегишли  $y$  абсциссаси ихтиёрий нуқта учун

$$S_y^t = \left( \frac{b}{2} - y \right) t \frac{h-t}{2} = \left( \frac{36}{2} - y \right) 2 \cdot \frac{38}{2} = (18 - y) \cdot 38.$$

$$y = \frac{\delta}{2} \text{ да } S_y^0 = 684 \text{ см}^3; y = \frac{b}{2} \text{ да } S_y^0 = 0.$$

Деворда статик момент парабола бўйича, токчада тўғри чизик бўйича ўзгаради. Қўштавр деворидаги уринма кучланишлар катталиги (расм, б):

$$1 \text{ ва } 3 \text{ нуқталарда } \tau_{1,3} = \frac{Q \cdot S_{1,3}}{J_y \cdot \delta} = \frac{160000 \cdot 1368}{56700 \cdot 1,2} = 322 \text{ Н/см}^2.$$



6.67- масалага оид



$$2 \text{ нүқтада } \tau_2 = \frac{QS_2}{J_y \cdot \delta} = \frac{160000 \cdot 1560}{56700 \cdot 1,2} = 3670 \text{ Н/см}^2.$$

Токчалар бўйлаб таъсир этадиган уринма кучланишлар тўғри чизик қонун бўйича ўзгаради, 1 ва 3 нүқталар яқинидаги энг катта қийматлар қуйидагига тенг:

$$\max \tau_y = \frac{Q \cdot S_y^I}{J_y \cdot t} = \frac{160000 \cdot 684}{56700 \cdot 2} \approx 960 \text{ Н/см}^2$$

Девор бўйлаб  $Q$  га параллел таъсир этадиган уринма кучланишлар оқими токчаларда тескари томонларга тарқалади (расм, а). Девордан токчаларга ўтадиган нүқталарда  $\tau_z$  ва  $\tau_y$  маҳаллий кучланишлар характериға эға, шунинг учун материаллар қаршилиғи усулларида уларни аниқлаб бўлмайди.

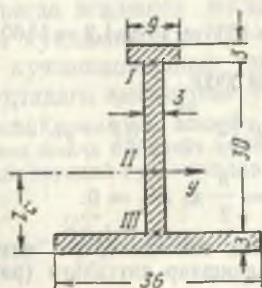
**6.68.** Балканинг кесими ҳар хил токчали қўштавр шаклида (расмда ўлчамлар см да берилган). Агар кесимдаги кундаланг куч  $Q = 180 \text{ кН}$  га тенг ва юқорига йўналган бўлса, қўштавр деворидаги I, II ва III нүқталардаги уринма кучланишлар  $\tau_z$  қийматини ва токчалардаги ( $y$  ўққа параллел) энг катта уринма кучланишлар  $\tau_y$  қийматини аниқланг. Девор баландлиғи бўйича  $\tau_z$  уринма кучланишлар ва токчаларнинг эни бўйича  $\tau_y$  уринма кучланишларнинг тақсимланиш эпюрасини ясанг.

*Жавоб:*  $z_c = 12 \text{ см}$ ;  $\tau_{z, I} = 10,2 \text{ МПа}$ ;  $\tau_{z, II} = 21,2 \text{ МПа}$   
 $\tau_{z, III} = 19,1 \text{ МПа}$ ;  $\tau_{y, I} = 5,1 \text{ МПа}$ ;  $\tau_{y, III} = 9,5 \text{ МПа}$ .

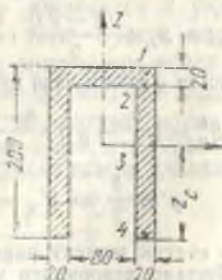
**6.69.** П-симон шаклдаги балка (ўлчамлари мм да) вертикал текислик ҳз да эгилмоқда. Хавфли кесимда  $Q_{\max} = 120 \text{ кН}$ ,  $M_{\max} = 50 \text{ кНм}$ ; энг катта нормал ва уринма кучланишлар қийматини аниқланг, девор баландлиғи бўйича уринма кучланишлар  $\tau_z$  ва горизонтал токчалар эни бўйича уринма кучланишлар  $\tau_y$  эпюрасини ясанг. Қандай нүқталарда ва қандай юзаларда уринма кучланишлар энг катта бўлишини аниқланг.

*Жавоб:*

$z_c = 11,5 \text{ см}$ ;  $J_y = 3750 \text{ см}^4$ ;  $\sigma_{\max} = 153 \text{ МПа}$ ;  $\max \tau_y = 9,6 \text{ МПа}$ .  
 (1 нүқтада);  $\max \tau_z = 21,2 \text{ МПа}$ . (3 нүқтада);  $\tau_2 = 14,4 \text{ МПа}$ .  
 (2 нүқтада);  $\max \tau_\alpha = 76,5 \text{ МПа}$  (4 нүқтада  $\alpha = 45^\circ$ )



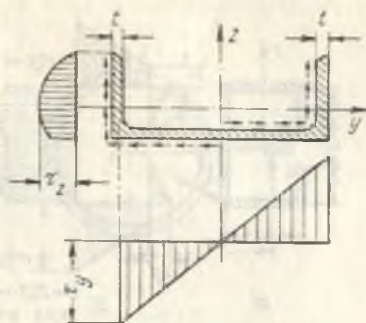
6.68- масалага оид



6.69- масалага оид

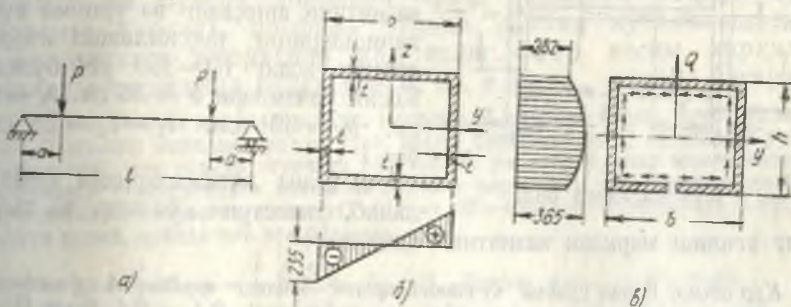
6.70. Швеллер №30 бикрлиги энг кичик бұлган текисликда хз да эгилмоқда. Агар кесимдаги кундаланг куч  $Q = 65,4$  кН бұлса ва уқ з буйлаб йуналса, девор буйлаб ва токчалар буйлаб таъсир қиладиган уринма кучланишлар  $\tau_y$  ва  $\tau_z$  нинг эпюрасини ясанг. Токчаларнинг қалинлигини ўзгармас деб ҳисоблаб, уларнинг қиялигини ҳисобга олманг.

Жавоб:  $\max \tau_u = 61,3$  МПа,  
 $\max \tau_z = 56$  МПа.



6.70-масалага оид

6.71. а) Агар  $P = 200$  кН,  $l = 4$  м ва  $a = 0,6$  м бұлса, схемада кўрсатилганидек юкланган тўғри тўртбурчак трубасимон балканинг хавфли кесимидаги энг катта нормал ва уринма кучланишлар



6.71-масалага оид

катталигини аниқланг. б) Кесимнинг вертикал ва горизонтал деворлари буйлаб уринма кучланишларнинг тақсимланиш эпюраларини ясанг. в) Агар расм, в да кўрсатилганидек трубанинг пастки горизонтал деворида буйлама қирқим қилинса,  $\tau_y$  ва  $\tau_z$  эпюралари қандай ўзгаришини аниқланг.

Жавоб: а)  $\sigma_{\max} = 156,5$  МПа,  $\tau_{\max} = 36,5$  МПа б) Расм, б да  $\tau$  эпюралари Н/см<sup>2</sup> да кўрсатилган. в) Ўзгармайди.

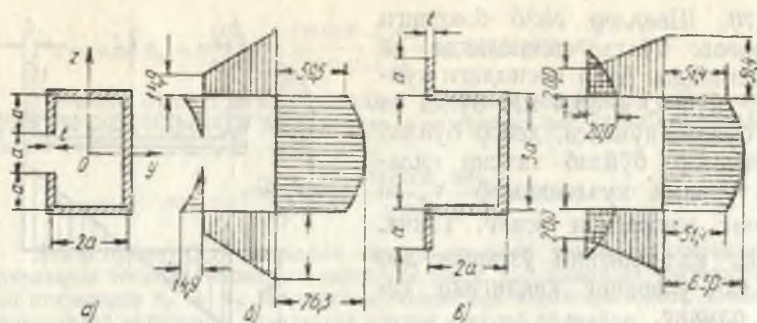
6.72. Агар кесимдаги кундаланг куч  $Q = 160$  кН бұлса, вертикал текисликда эгилишга ишлайдиган юпқа деборли балка учун уринма кучланишларнинг тақсимланиш эпюрасини ясанг. Балканинг кесими токчалари букилган швеллер шаклида (расм, а). Профиль деворларининг қалинлиги  $t = 4$  мм, ўлчами  $a = 20$  см.

Агар расм, в да кўрсатилганидек швеллер токчаси ташқарига букилган бұлса  $\tau_y$  ва  $\tau_z$  эпюрасининг катталиги ва кўриниши қандай ўзгаради?

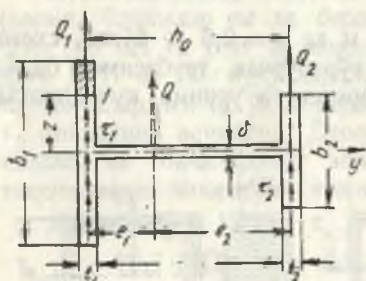
Жавоб: 1)  $\tau_{\max} = 763$  МПа,  $\tau$  эпюраси расм, б да кўрсатилган.

2)  $\tau_{\max} 630$  МПа эпюраси расм, в да кўрсатилган.





6.72- масалага онд



6.73- масалага онд

6.73. а) Токчаларга параллел текисликда эгилишга ишлайдиган юпқа деворли носимметрик қўштавр учун кесимнинг эгилиш маркази вазиятини аниқланг ва уринма кучланишларнинг тақсимланш эпюраларини ясанг ( $Q=350$  кН бўлса). Кесим ўлчамлари:  $b=36$  см.  $b_1=45$  см,  $b_2=30$  см,  $t_1-t_2=2$  см,  $\delta=1$  см,

б) Ечим натижаларидан фойдаланиб, симметрик қўштавр ва тавр-

нинг эгилиш маркази вазиятини аниқланг.

*Қўра тма.* Барча уринма кучланишларнинг эгилиш маркази  $A$  га нисбатан моменти нолга тенглиги шартига кўра (расмга қаранг)  $Q_1 l_1 = Q_2 l_2$  бунда  $Q_1 = \int_{F_1} \tau_1 dF$  ва  $Q_2 = \int_{F_2} \tau_2 dF$  ва Д. И. Журавский усули бўйича аниқланадиган токчалардаги уринма кучланишлар

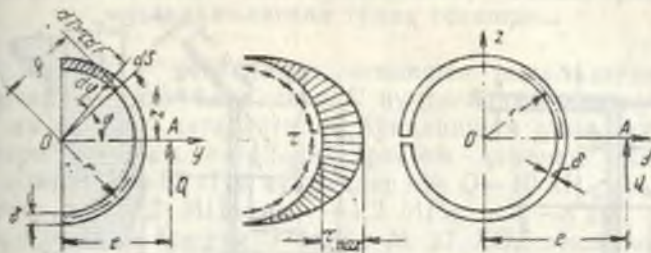
$$\tau_1 = \frac{QS_y^{(1)}}{J_y t_1} \text{ ва } \tau_2 = \frac{QS_y^{(2)}}{J_y t_2} \left[ \text{бу ерда } S_y^{(1)} = \frac{t_1}{2} \left( \frac{b_1^2}{4} - z^2 \right), S_y^{(2)} = \frac{t_2}{2} \left( \frac{b_2^2}{4} - z^2 \right) \right]$$

бўлгани учун  $\tau_1, \tau_2$  ва  $dF$  ни  $z$  орқали ифдалаб,  $Q_1$  ва  $Q_2$  ни топамиз, сўнгра  $Q_1 + Q_2 = Q$  эканлигини ҳисобга олиб,  $e_1$  ва  $e_2$  ни ҳам топамиз,  $e_1 + e_2 = h_0$ .

Жавоб: а)  $e_1 = \frac{h}{1 + \frac{t \cdot b_1^3}{t_2 \cdot b_2^3}} = 8,7$  см;  $\tau_{\max} = 45$  МПа

б) симметрия дугтавр учун ( $b_1 = b_2$ )  $e_1 = 0,5 h_0$ , тавр учун ( $b_2 = 0$ )  $e_2 = 0$ .

6.74. 6.66 масалада кўрилган тенг ёнли бурчакликнинг эгилиш маркази вазиятини топинг. Токчалардаги бурилишларни ҳисобга олманг.



6.75- масалага онд

**Жавоб:** Эгилиш маркази уринма кучларнинг, яъни токчалар ўқларининг кесишиш нуқтасида ётади.

6.75. Вертикал текисликда эгилишга ишлайдиган юпқа деворли балкача кесимининг эгилиш маркази вазиятини аниқланг. Агар  $Q=70$  кН, кесим эса радиуси  $r=25$  см ва қалинлиги  $\delta=0,25$  см бўлган доиравий ярим ҳалқадан иборат бўлса (расмга қаранг), профиль бўйича уринма кучланишларнинг тақсимланиш эпюрасини ҳам ясанг. Агар кесим қирқилган ҳалқа кўринишида бўлса (расм, б),  $e$  ва  $\tau_{\max}$  қандай ўзгаради?

**Еч и м.** Эгилиш маркази  $y$  ўқда, масалан,  $A$  нуқтада ётади. Агар кўндаланг куч  $Q$  эгилиш маркази орқали ўтса, кесим буралмайди.  $Q$  кесимдаги уринма кучларнинг тенг таъсир этувчиси бўлганлиги учун бу кучлар моментларининг йигиндиси (текисликдаги исталган нуқтага нисбатан) ўша нуқтага нисбатан кўндаланг куч моментига тенг.  $dT$  ( $dT = \tau dF = \tau \delta ds$ ): қўтб сифатида  $O$  нуқтани қабул қилиб, қуйидагига эга бўламиз.

$$Q_e = \int_e dT \cdot \rho = \int_S \frac{Q \cdot S_y}{J_y \cdot \delta} \cdot \delta \rho \cdot dS, \text{ бундан } e = \frac{1}{J_y} \int S_y \cdot \rho \cdot dS \quad (a)$$

Ярим ҳалқа учун (расм, а)  $\rho = r$ ,  $dS = r \cdot d\varphi$ . Кесимнинг  $y$  ўққа нисбатан ситжиётган (штрихланган) қисмининг статик momenti қуйидагига тенг.

$$S_y = \int_{F_0} z dF = \int_0^{\pi/2} (r \sin \varphi) \delta r d\varphi = r^2 \delta \cos \varphi.$$

Кесимининг ўша ўққа нисбатан инерция momenti

$$J_y = \int_F z^2 dF = 2 \int_0^{\pi/2} (r \sin \varphi)^2 \delta r d\varphi = \frac{\pi r^3 \delta}{2}.$$

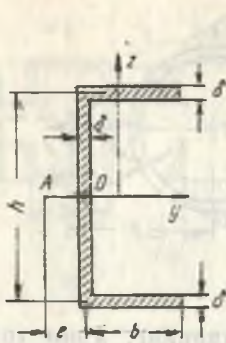
$O$  нуқтадан эгилиш марказигача бўлган масофа:

$$e = \frac{1}{J_y} \int S_y \rho dS = \frac{2}{J_y} \int_0^{\pi/2} r^2 \delta \cos \varphi \cdot r \cdot r d\varphi = \frac{2r^4 \delta}{J_y} = \frac{4r}{\pi} = \frac{4,25}{3,14} = 31,8 \text{ см.}$$

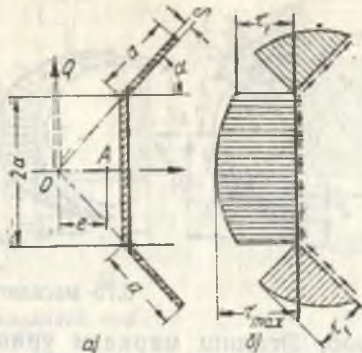
Исталган нуқтадаги уринма кучланишлар қуйидагига тенг:

$$\tau = \frac{Q S_y}{J_y \cdot \delta} = \frac{Q r^2 \cdot \cos \varphi}{J_y} = \frac{2 Q \cos \varphi}{\pi r \delta}; \tau_{\max} = \frac{2 Q}{\pi \cdot r \cdot \delta} = \frac{2 \cdot 70000}{3,14 \cdot 25 \cdot 0,25} = 715 \text{ МПа.}$$





6.76- масалага онд



6.77- масалага онд

Қирқилган ҳалқа учун (расм, б) қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$S_y^O = r^2 \cdot \delta (1 - \cos \varphi); J_y = \pi r^3 \delta; e = 2r = 50 \text{ см.}$$

$\tau_{\max}$  қиймати ўзгармайди.

6.76. 6.75 масала ечими натижаларидан фойдаланиб (формула, а) расмда кўрсатилган юпқа деворли швеллернинг эгилиш маркази вазиятини аниқланг. Кесим ўлчамлари:  $h=200$  мм,  $b=80$  мм,  $\delta=5$  мм. Агар кесимдаги кўндаланг куч  $Q=60$  кН ва  $z$  ўққа параллел йўналган бўлса, энг катта уринма кучланишлар қийматини аниқланг.

*Кўрсатма.* Девор ўқида қутбни  $O$  нуқтада танлаб  $\rho = \frac{h}{2}$  ва  $S_y^O = (b - y) \delta \frac{h}{2}$  ни ҳосил қиламиз. Кесим инерция моментини ҳисоблаганда тоқчалар юзаларининг хусусий инерция моментларини ҳисобга олманг.

$$\text{Жавоб: } l = \frac{3b^3}{6b + h} = 2,82 \text{ см; } \tau_{\max} = 68,8 \text{ МПа}$$

6.77. Юпқа деворли балкача вертикал текисликда эгилишга ишляпти. Унинг профили контури бўйича уринма кучланишларнинг тақсимланиш эпюрасини ва кесимининг эгилиш маркази вазиятини аниқланг. Кесимдаги кўндаланг куч  $Q=10$  кН. Профил ўлчамлари:  $a=30$  мм,  $\delta=2$  мм ва  $\alpha=45^\circ$ . Кесимнинг  $y$  ўққа нисбатан инерция моменти  $J=23,7 \text{ см}^4$ .

*Кўрсатма.* Қутбни тоқчаларнинг кесилган нуқтаси  $O$  да танлаб, 6.75 масаладаги формула (а) дан фойдаланинг.

$$\text{Жавоб: Эпюра } \tau \text{ расм, б да кўрсатилган, } \tau_1 = 51,2 \text{ МПа, } \tau_{\max} = 70,2 \text{ МПа, } e = 2,3 \text{ см.}$$

## 21-§. Эгилишдаги бош кучланишлар. Балкаларнинг мустаҳкамлигини тўлиқ текшириш

6.78. Вертикал текисликда эгилишга ишлайдиган тўғри тўртбурчак кесимли балканинг  $S$  нуқтасидаги бош кучланишлар  $\sigma_1$  ва  $\sigma_3$  нинг катталиги ва йўналишини аниқланг. Кесим ўлчамлари:  $b=5$  см,  $h=12$  см (расмга қаранг). Кесимдаги эгувчи момент  $M=12$  кНм кўндаланг куч  $Q=40$  кН.

Жавоб:  $\sigma_1=51,2$  МПа;  $\sigma_3=-1,2$  МПа;  $\alpha=-8^\circ 20'$ .

6.79. Қўштавр профилли балка № 27 ХОЗ текисликда эгилишга ишлайди. Хавфли кесимдаги эгувчи момент  $M=-48,5$  кНм, кўндаланг куч  $Q=-137$  кН. Хавфли кесимдаги  $C_1$  ва  $C_2$  нуқталардаги бош кучланишларнинг катталигини ва йўналишини аналитик ва график усулда (Мор доиралари ёрдамида) аниқланг. Нуқталар  $C_1$  ва  $C_2$  девор ўқида ётади (расмга қаранг).

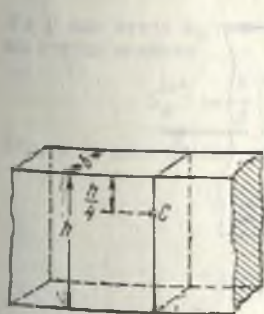
Жавоб:  $C_1$  нуқтада  $\sigma_1=156,5$  МПа,  $\sigma_3=-35,5$  МПа,  $\alpha=25^\circ 30'$ ;  $C_2$  нуқтада  $\sigma_1=35,5$  МПа,  $\sigma_3=-156,5$  МПа,  $\alpha=65^\circ 30'$ .

6.80. Трубасимон тўғри тўртбурчак кесимли балка (расмга қаранг) вертикал текисликда эгилишга ишлайди. Кесимдаги эгувчи момент  $M=76$  кНм, кўндаланг куч  $Q=360$  кН. Кесим ўлчамлари:  $B=12$  см,  $H=20$  см,  $t=2$  см,  $\delta=1,5$  см. Горизонтал ва вертикал деворлар туташувларининг қандай нуқталарида ( $S$  ёки  $D$ ) бош чўзувчи кучланишларнинг катталиги энг катта қийматга эга эканлигини аниқланг.

Жавоб: Нуқта  $D$  да ( $\max \sigma_C$  142,7 МПа,  $\max \sigma_D=159,2$  МПа).

6.81. Қўштавр профилли балка №27 учларидан эркин таянган ва девор текислигида  $P$  куч билан юкланган. Куч қўлоч  $l$  ўртасига қўйилган. Хавфли кесимда энг катта нормал кучланишлар  $\sigma_{\max}$  ва чўзувчи бош кучланишлар  $\sigma_1$  (деворнинг  $S$  нуқтасида унинг тоқча билан туташган жойида) бир-бирига тенглик шартидан келиб чиқиб, балка қўлочининг катталигини аниқланг. Агар  $\sigma_{\max}=156$  МПа бўлса,  $P$  куч катталигини ҳам аниқланг.

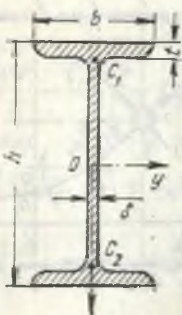
Жавоб:  $l=150$  см.  $P=155$  кН.



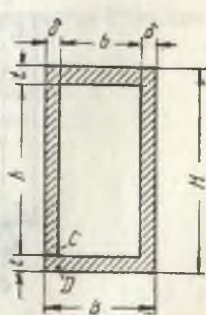
6.78- масалага оид



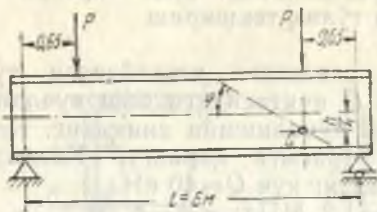
6.79- масалага оид



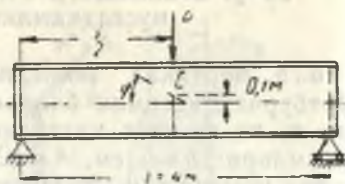
6.80- масалага оид







6.82- масалага оид



6.83- масалага оид

6.82. Учларидан эркин таянган балка вертикал текисликда иккита тўпланган куч  $P=70$  кН билан юкланган (расмга қараи). а) Рухсат этиладиган кучланишлар  $[\sigma]=160$  МПа ва  $[\tau]=100$  МПа бўлса, балканинг қўштакли кесимини сортмент бўйича танланг. б) С нуқтада балка ўқиға  $\alpha=30^\circ$  бурчак остида қия ётган юза бўйича нормал ва уринма кучланишлар катталигини аниқланг. С нуқта балка баландлигининг чорак қисмида  $P$  куч остида кесимдан ўнгрқда олинган.

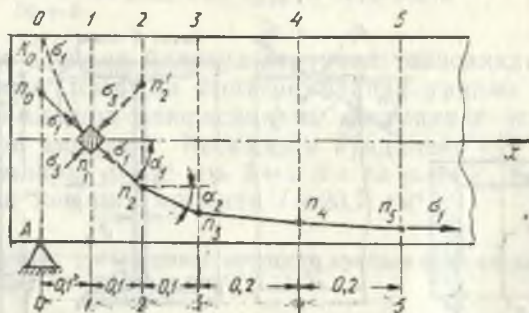
*Қўрсатма.* Қия юза бўйича С нуқтада кучланишлар қуйидаги формулалар бўйича аниқланиши мумкин:

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

бунда  $\sigma_x = \sigma_c$ ,  $\sigma_y = 0$ ,  $\tau_x = \tau_c$ ,  $\alpha$  —  $\sigma_x$  йўналиши билан юзаға ўтказилган нормал орасидаги бурчак.

*Жавоб:* Қўштак №21 б)  $\sigma_\alpha = 67,3$  МПа,  $\tau_\alpha = 61,6$  МПа.

6.83. Қулочи  $l=4$  м бўлган, икки таянчда эркин ётадиган ва ўртасига  $P=150$  кН куч қўйилган қўштакли балка № 40 нинг С нуқтасидаги нормал, уринма ва бош кучланишлар катталигини аниқланг. С нуқта  $P$  куч остида ундан чапроқда ва нейтрал қатламдан 10 см юқориқда ётади. Балка ўқиға  $30^\circ$  қияликдаги юза бўйича ўша С нуқтадаги нормал ва уринма кучланишлар катталигини ҳам аниқланг.



6.84- масалага оид

Қўрсатма. 6.82 масалага қаранг.  $\sigma_1$  ва  $\sigma_3$  ларнинг қийматлари маълум бўлганда ушбу формулалар бўйича  $\sigma_\alpha$  ва  $\tau_\alpha$  ларнинг ҳисоблаш мумкин:

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_3 \sin^2 \alpha, \tau_\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha,$$

бунда  $\alpha$  —  $\sigma_1$  йўналиши билан юзага ўтказилган нормал орасидаги бурчак.

Жавоб:  $\sigma_c = 79.2$  МПа;  $\tau_c = 24.8$  МПа;  $\sigma_1 = 7.1$  МПа;  
 $\sigma_3 = 86.3$  МПа;  $\alpha_1 = -46^\circ$ ;  $\sigma_\alpha = -41.2$  МПа;  $\tau_\alpha = -46.7$  МПа.

6.84. Учлари эркин тиралган, қулочи  $l = 6$  м бўлган балкага интенсивлиги  $q = 50$  кН/м ли текис тақсимланган яхлит юк таъсир қилади. Балканинг кесими — томонлари  $b = 15$  см ва  $h = 40$  см ли тўғри бурчакли тўртбурчак. Чап таянч А дан  $a = 0.1$  м масофада олинган кесим 1—1 билан нейтрал қатлам кесишган жойда ётган нуқта  $n_1$  орқали ўтадиган бош кучланишлар  $\sigma_1$  ва  $\sigma_3$  траекторияларини ясанг\* (расмга қаранг).

Еч и м.  $\sigma_1$  ва  $\sigma_3$  траекторияларини ясаш учун ҳар 10—20 см да кесимлар ўтказиш ва уларнинг ҳар қайсида эгувчи момент ҳамда кундаланг куч катталикларини аниқлаш керак.

Юк симметрик бўлгани учун балканинг ярминини (масалан, чап томонини) қўриб чиқиш kiffoя. Бош кучланишлар траекториялар ясашни берилган нуқта  $n_1$  дан бошлаймиз.

Балканинг нейтрал ўқида  $\sigma = 0$  (соф силжиш) бўлгани учун  $\sigma_1$  ва  $\sigma_3$  балка ўқида  $\alpha = \pm 45$  бурчак остида йўналган. Энди  $\lg 2\alpha = \frac{2\tau}{\sigma}$  эканлигини ҳисобга олиб, ( $\sigma = 0$  ва  $\tau > 0$ )  $2\alpha = -90^\circ$  ва  $\alpha = -45^\circ$  ни топамиз.

Нуқта  $n_1$  да топилган  $\sigma_1$  ва йўналишларини қўшни кесимлар А — 0 ва 2 — 2 (нуқталар  $n_0$  ва  $n_2$ ) билан учрашгунча давом эттириб, шу нуқталардаги бош кучланишларнинг йўналишларини топиш керак. Масалан, нуқта  $n_2$  учун қуйидагиларни топамиз:

$$M_2 = \frac{ql}{2} 2a - \frac{q(2a)^2}{2} = \frac{50 \cdot 6}{2} 0.2 - \frac{50 \cdot 0.2^2}{2} = 29 \text{ кНм.}$$

$$Q_2 = \frac{ql}{2} - q \cdot 2a = \frac{50 \cdot 6}{2} - 5 \cdot 0.2 = 140 \text{ кН.}$$

Кесимнинг нейтрал ўқи у га нисбатан инерция моменти

$$J_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{15 \cdot 40^3}{12} = 80000 \text{ см}^4.$$

Ўқ у дан нуқта  $n_2$  гача бўлган масофа  $z_2 = 10$  см, кесимнинг пастда ётган қисми статик моменти

$$S_y^{(n_2)} = \frac{b}{2} \left( \frac{n^2}{4} - z \right) = \frac{15}{2} \cdot \left( \frac{40^2}{2} - 10^2 \right) = 2250 \text{ см}^3.$$

Нуқта  $n_2$  даги нормал ва уринма кучланишлар

$$\sigma_{(2)} = \frac{M_2 z_2}{J_y} = \frac{29 \cdot 10^5}{8 \cdot 10^5} \cdot 10 = 360 \text{ Н/см}^2,$$

$$\tau_{(2)} = \frac{QS_y^{(n_2)}}{Jb} = \frac{140000 \cdot 2250}{8 \cdot 10^4 \cdot 15} = 260 \text{ Н/см}^2.$$

\* Йўналишлари ҳар қайси нуқтада  $\sigma_1$  ёки  $\sigma_3$  йўналишлари билан мос тушадиган чизиқлар бош кучланишлар траекториялари деб аталади.



Нуқта  $n_2$  да  $\sigma_1$  нинг йўналиши бурчак билан белгиланади:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_2 = -\frac{2\tau}{\sigma} = -\frac{2 \cdot 260}{360} = -1,44, \quad 2\alpha_2 = -55^\circ 10' \text{ ва } \alpha_2 = -27^\circ 35'.$$

Чизиқ  $\sigma_1$  ни шу бурчак остида 3—3 билан кесишгунча ва ҳоказо давом эттирамиз. Энди нуқта  $n_2$  га келсак,  $M=0$  ва  $\sigma_1$  нинг йўналиши  $-45^\circ$  ни ташкил қилади. Кесим  $A—B$  дан бевосита ўнроқда юқори нуқта  $K_0$  да  $\sigma_1$  вертикал йўналган. Ҳосил бўлган синиқ чизиқларга раван эгри чизиқни чизиб, берилган нуқта  $n_1$  орқали ўтадиган бош кучланиш  $\sigma_1$  траекториясини топамиз. Бош кучланиш  $\sigma_3$  нинг траекторияси ҳам худди шу тарзда топилади, бунни мустақил бажаришингизни тавсия қиламиз.

*Жавоб:* Расмга қаранг.

**6.85.** 6.84 масала маълумотларига кўра нейтрал қатламдан 10 см юқорида ётган кесим 2—2 даги нуқта  $n'_2$  орқали ўтадиган бош чўзувчи кучланиш  $\sigma_1$  траекториясини ясанг (6.84 масалага оид расмга қаранг).

*Жавоб:*  $n'_2$  ўқда  $\sigma_1$  нинг траекторияси қиялик бурчаги горизонтал билан  $117^\circ 35'$  ни ташкил қилади (соат милага тескари йўналишда).

**6.86.** Пресснинг икки таянчида эркин ётган қўштаврли балка № 20 балка қулочи ўртасига қўйиладиган тўйланган куч  $P=30$  кН да эгилишга синалмоқда. Эластик деформациялар электр тензометрлар (қаршилиқ датчиклари) ёрдамида ўлчанади. Улар балка ўқида  $45^\circ$  бурчак остида ётган нейтрал қатламдаги нуқталарга балка қулочининг чоракларига ёпиштирилган.

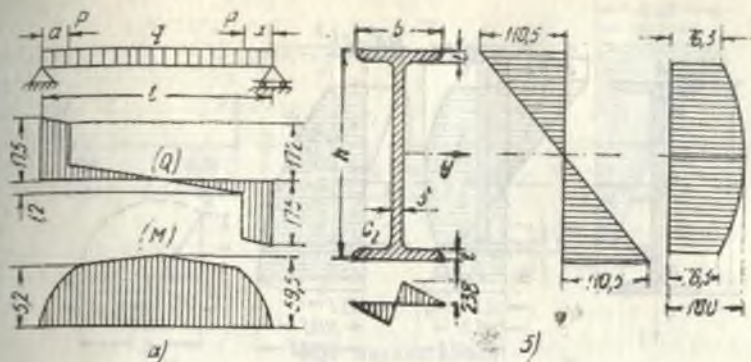
Агар ўлчаш асбоби шкаласида ҳисобланадиган ҳар қайси юкланиш поғонасининг тензометрлар кўрсатадиган ўсиши ўртача  $\Delta l=10,6$  бўлинмани, асбоб бўлинмасининг қиймати эса (нисбий узайиш бирликларида)  $\epsilon=1,10^{-5}$  ни ташкил қилса, балка материалининг Пуассон коэффиценти катталигини аниқланг.

*Қўрсатма.* Датчикларнинг кўрсатишлари бўйича ўлчанган материалнинг нисбий узайиши  $\epsilon_{45}=\epsilon \cdot \Delta l$  Эгилаётган балканинг нейтрал қатламидаги нуқталарда материал соф силжиш шароитида ётганлигини ҳисобга олиб ва  $\epsilon_{45}$  ни бош кучланишлар  $\sigma_1$  ва  $\sigma_3$  орқали ифодалаб, Пуассон коэффиценти аниқланадиган тенгламани осонгина тузиш мумкин.

*Жавоб.*  $\mu=0,3$ .

**6.87.** Учларидан эркин таянган, қулочи  $l=3$  м бўлган балка бир текис тақсимланган яхлит юк  $q=10$  кН/м ҳамда таянчлардан бир хил  $a=3$  м масофада қўйилган икки тенг куч  $P=160$  кН билан юкланган (расмга қаранг).

Агар чўзилиш ва сиқилишга рухсат этиладиган кучланишлар эгилишда  $[\sigma]=160$  МПа ва силжишда  $[\tau]=100$  МПа бўлса, балканинг қўштаврли кесимини танланг ҳамда энергетика назариясидан фойдаланиб қабул қилинган кесимнинг мустаҳкамлигини тўлиқ текширинг. Қўштавр токчаларнинг қиялигини ҳамда девор билан туташган жойлардаги ўтишларни ҳисобга олманг.



6.87- масалага оид

Ечи м. Эпюралар  $Q$  ва  $M$  расм, а да ясалган.  $Q_{\max} = 175$  кН. (таянчлар устидаги кесимларда),  $M_{\max} = 59,5$  кНм (қўлоч ўртасида). Эгилишга мустаҳкамлик шартидан қўйидагини топамиз.

$$W \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{59,5 \cdot 106}{16000} = 372 \text{ см}^3.$$

Агар кесим барча мустаҳкамлик шартларини қаноатлантирса, сортамент бўйича қўштавр № 27 ( $M = 375 \text{ см}^3$ ) тўғри келади.

$$\text{Силжишга мустаҳкамликни текшириш. } \tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_{\max}}{I_y \cdot \delta} \leq [\tau].$$

Қўштавр № 27 учун  $J_y = 5010 \text{ см}^4$ ,  $S_{\max} = 210 \text{ см}^3$ ,  $\delta = 0,6 \text{ см}$ . Демак,

$$\tau_{\max} = \frac{175000 \cdot 110}{5010 \cdot 0,6} = 122 \text{ МПа} > 100 \text{ МПа}.$$

Силжишга мустаҳкамлик шартига риоя қилинмаган, профил номерини катталаштириш керак. Геометрик характеристикаси  $J_y = 7080 \text{ см}^4$ ,  $S_{\max} = 268 \text{ см}^3$ ,  $\delta = 0,65 \text{ см}$ ,  $t = 1,02 \text{ см}$  бўлган қаштавр № 30 ни кўрамиз.

$$\tau_{\max} = \frac{Q \cdot S}{I_y \cdot \delta} = \frac{175000 \cdot 268}{7080 \cdot 0,65} = 101,8 \approx 100 \text{ МПа}.$$

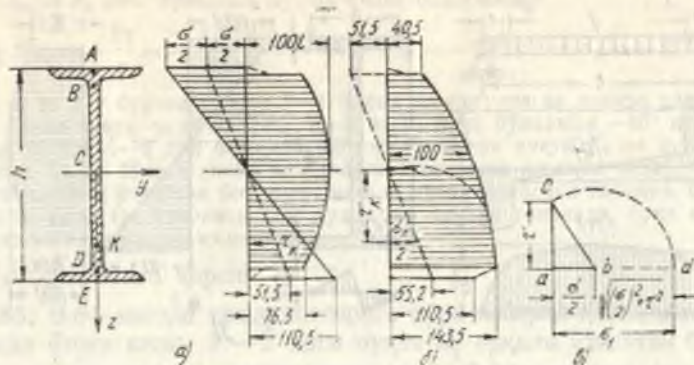
(Ўта кучланиш 2% дан кам, бунга йўл қўйиш мумкин).

Бош кучланишлар бўйича мустаҳкамликни текшириш.  $N = M_{\max}$ ,  $Q = Q_{\max}$  бўлган хавфли кесимларда балка материалнинг мустаҳкамлиги таъминланган.  $M = M_{\max}$ ,  $Q = 0$  бўлган кесимда  $Q = Q_{\max}$ ,  $M = 0$ . Бу кесимлар учун бош кучланишлар бўйича мустаҳкамликни текшириш энг катта нормал ва энг катта ўринма кучланишлар бўйича текширишдан иборат бўлади.  $M < M_{\max}$  ва  $Q < Q_{\max}$  бўлса ҳам куч остидаги кесим энг хавфли бўлиши мумкин, лекин уларнинг биргаликдаги таъсири самараси етарлича катта бўлган нуқталардаги юқори кучланишларни ҳосил қилиш мумкин. Бундай нуқталар қўштавр девори тоқчаси билан туташган жойдаги  $C_1$  ва  $C_2$  нуқталар бўлиши мумкин. Айтилганларни тасвирлайдиган эпюралар  $\sigma$  ва  $\tau$  расм б да келтирилган. Нуқталар  $C_1$  ва  $C_2$  учун бош кучланишлар бўйича мустаҳкамлик назариясининг IV (энергетика) га мувофиқ мустаҳкамлигини текшираемиз.

Куч остидаги кесимларда  $M = 52,1 \text{ кНм}$ ,  $Q = 17,2 \text{ кН}$  (эпюраларига қаранг).

С нуқталардаги кучланишлар  $\sigma_c = \frac{h}{2} - t = \frac{30}{2} - 1,02 = 13,98 \text{ см}$ ;





6.88- масалага оид

$$S_y^2 = S_{\max} = \frac{\delta}{2} \left( \frac{h}{2} - t \right)^2 = 268 - \frac{13,98^2}{2} = 0,65 = 204 \text{ см}^3;$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot z_c}{J_y} = \frac{52100 \cdot 10^2}{7080} \cdot 13,98 = 1030 \text{ Н/см}^2,$$

$$\tau_c = \frac{Q \cdot S_y}{J_y \cdot \delta} = \frac{172000 \cdot 204}{7080 \cdot 0,65} = 76,3 \text{ МПа}.$$

IV мустаҳкамлик назарияси бўйича ҳисобий кучланишлар:

$$\sigma_x^{IV} = \sqrt{\sigma_c^2 + 3 \tau_c^2} = \sqrt{163^2 + 3 \cdot 76,3^2} = 168 \text{ МПа} > 160 \text{ МПа}.$$

Нуқталар  $C_1$  ва  $C_2$  энг хавфли нуқталар бўлиб чиқди. Уларда  $\sigma_x^{IV} = 168 \text{ МПа}$ . Ута кучланиш 5 % га йўл қўйиш мумкин.

6.88. 6.87 масала маълумотларига кўра куч тагидаги кесим да ( $Q > 0$ ) қўштаврли профиль № 30 баландлиги бўйича (ўқ  $z$  бўйлаб) энг катта бош кучланишларнинг тақсимланиш эпюрасини ясанг.

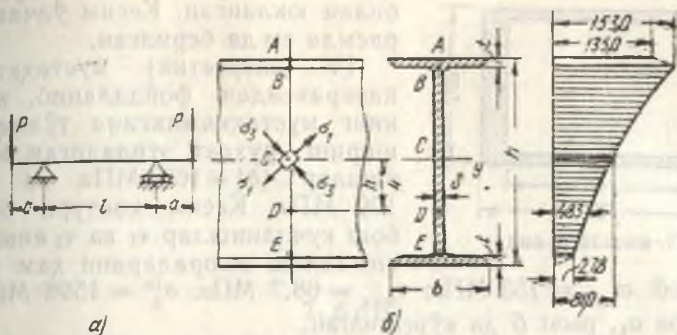
**Қўрсатма.** Эпюра  $\sigma_1$  ни кесим баландлиги бўйича бир нечта нуқта учун  $\sigma$ ,  $\tau$  ва  $\sigma_1 = \sigma/2 + \sqrt{(\sigma/2)^2 + \tau^2}$  қийматларини ҳисоблаш йўли билан ясаш мумкин, лекин масалани расм, а да ясалган  $\sigma$  ва  $\tau$  эпюраларидан фойдаланиб график усулда счиш осонроқ.

График усулда ясашга  $\sqrt{(\sigma/2)^2 + \tau^2}$  ифодани катетлари  $\sigma/2$  ва  $\tau$  га тенг бўлган тўғри бурчакли учбурчак гипотенузаси сифатида қараш мумкин. У ҳолда бир масштабда ясалган  $\sigma$  ва  $\tau$  лар графикларидан  $\sigma/2$  га тенг кесмани олиб, унга учбурчак  $a b c$  гипотенузаси  $bd = bc$  га тенг кесмани қўшамиз (расм.в), бунинг учун расм, б да қўрсатилганидек бу кесма  $bc$  ни горизонталгача ёйиш kifоя. Точкалар деворга туташган жойларда ясалган график шартли қўрсатилган.

Шуни қизиқки, агар  $\tau_{\max} > \sigma_{\max}$  бўлса, график D нуқта яқинида максимумга эга бўлади.

**Жавоб:** Расм, б га қаранг.

6.89. Агар чўзилиш ва сиқилишга рухсат этиладиган кучланишлар эгилишда  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$  ва қирқишда  $[\tau] = 100 \text{ МПа}$



6.89-масалага оид

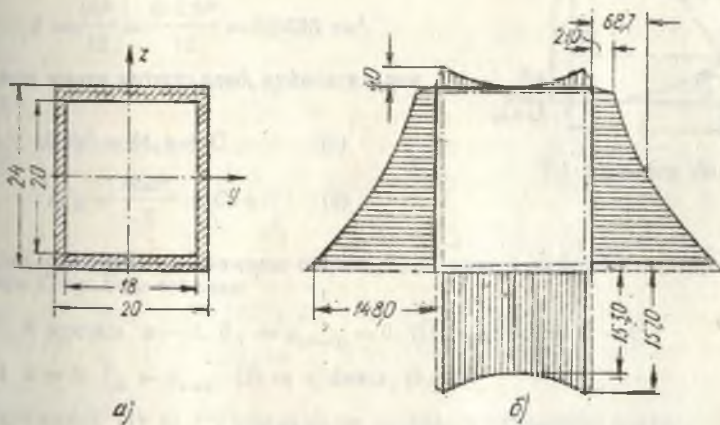
бўлса, расмда кўрсатилганидек юкланган қўштавр кесимли консол балка кесимини танланг ва IV (энергетик) мустаҳкамлик назарияси бўйича мустаҳкамликни тулиқ текширинг.

Мор доираларини ясаш йўли билан ёки аналитик усулда расм, б да кўрсатилган беш нуқтанинг ҳар қайсисидаги бош кучланишлар катталиги ва йўналишини ҳам ясанг ҳамда агар  $P=140$  кН,  $a=0,5$  м,  $l=2,5$  м бўлса, чап таянч устида балка кесими учун  $\sigma_1$  эпюрасини ясанг. 6.88 ва 6.89 масалаларида олинган  $\sigma_1$  эпюралари кўринишини бир-бирига таққосланг ҳамда  $\sigma_1$  эпюрасини чеклайдиган эгри чизиқларнинг қабариқлиги йўналиши орасидаги фарқнинг сабабини тушунтиринг.

Жавоб: Кесим — қўштавр № 30 а:  $\sigma_x^{IV} = 166$  МПа.

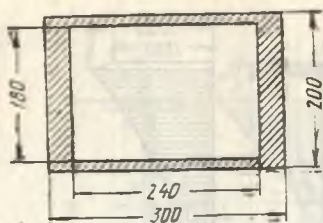
Эпюра  $\sigma_1$  расм, б да кўрсатилган.

6.90. Кулочи  $l=3$  м бўлган трубасимон тўғри тўртбурчак кесимли балка учларидан шарнирли таянган ва ҳар қайсиси таянчдан  $a=0,5$  м масофага қўйилган  $P=28$  кН ли тенг куч



6.90-масалага оид





6.91- масалага оид

билан юкланган. Кесим ўлчамлари расмда см да берилган.

IV (энергетик) мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб, кесимнинг мустаҳкамлигини тулиқ текширинг, рухсат этиладиган кучланишлар  $[\delta] = 160$  МПа ва  $[\tau] = 100$  МПа. Кесим контури бўйича бош кучланишлар  $\tau_1$  ва  $\tau_2$  нинг тақсимланиш эпюраларини ҳам ясанг.

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 153$  МПа;  $\tau_{\max} = 68,7$  МПа;  $\sigma_x^{IV} = 1598$  МПа

Эпюра  $\sigma_1$ , расм б да кўрсатилган.

6.91. Агар рухсат этиладиган кучланишлар  $[\sigma] = 100$  МПа ва  $[\tau] = 70$  МПа, хавфли кесимдаги эгувчи момент  $M = 600$  кНм, кўндаланг куч  $Q = 300$  кН бўлса, енгил қотишмадан қилинган ва вертикал текисликда эгилишга ишлайётган балканинг мустаҳкамлигини текширинг. Пуассон коэффициентининг катталигини  $\mu = 0,3$  деб олиб, энг катта нисбий деформациялар назарияси (II мустаҳкамлик назарияси) дан фойдаланинг. Расмда кўрсатилган кесим контури бўйича бош кучланишларнинг тақсимланиш эпюраларини ҳам ясанг (ўлчамлар мм да берилган).

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 72,1$  МПа.  $\tau_{\max} = 41,1$  МПа,  $\sigma_x^{II} = 69,2$  МПа (вертикал деворлар билан туташув нуқталари олдида горизонтал токчаларда).

## ЭГИЛИШДАГИ ДЕФОРМАЦИЯ ВА КУЧИШЛАР

## 22-§. Кўчишларни аниқлашнинг аналитик усуллари

7.1. Бир учидан қисилган тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли пулат балка иккинчи бўш учига қўйилган  $M_0=10$  Нм моментли жуфт кучлар таъсирида эгилади (расмга қаранг). Балканинг узунлиги  $l=1$  м, кесим ўлчамлари:  $b=6$  см,  $h=0,5$  см. Балка эгилган ўқининг тақрибий дифференциал тенгламасини интеграллаш йўли билан учигаги кесимнинг энг катта эгилиш катталиги қийматини ва буриш бурчагини аниқланг ҳамда уларни аниқ ечим натижалари билан таққосланг.

Ечим. Балка соф эгилиш таъсирига учрайди:

$$Q=0, M_A=M_0 \text{ ва } M(x)=M_0.$$

Эгилган бурчагининг тақрибий дифференциал тенгламаси

$EJ_y'' = M_0$  кўринишини олади. Бунда

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{6 \cdot 0,5^3}{12} = 0,0625 \text{ см}^4.$$

Уни икки марта интеграллаб, қуйидагиларни оламиз:

$$EJ_y' = M_0 x + C \quad (1)$$

$$EJ_y = \frac{M_0 x^2}{2} + Cx + D \quad (2)$$

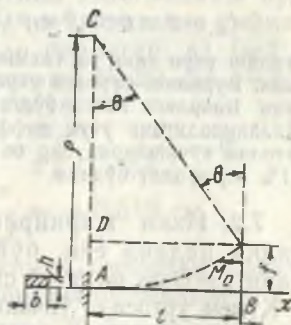
Балкани  $A$  кесимда маҳкамлаш шартларидан интеграллашнинг ихтиёрий доимийлари  $C$  ва  $D$  ни топамиз:

1)  $A$  нуқтада  $x=0$ ,  $\theta_A = y'(x=0) = 0$ ; (1) га қўйилса,  $C=0$ ;

2)  $x=0$ ,  $f_A = y_{x=0}$ ; (2) га қўйилса,  $D=0$ .

Шундай қилиб, (1) ва (2) тенгламалар қуйидаги кўринишни олади:

$$EJ_y' = M_0 x, \quad EJ_y = \frac{M_0 x^2}{2}.$$



7.1-масалага опд



Кўчишларнинг энг катта қийматини  $x=l$  да оламиз ( $B$  нуқтада):

$$\theta_{\max} = \theta_B = y'_{(x=l)} \text{ ва } f_{\max} = f_B = y_{(x=l)}.$$

(1) ва (2) тенгламаларга қўйиб, қуйидагини топамиз:

$$\theta_B = \frac{M_0 l}{EI} = \frac{1000 \cdot 100}{2 \cdot 10^7 \cdot 0,0625} = 0,08.$$

$$f_B = \frac{M_0 l^2}{2EI} = \frac{1000 \cdot 100}{2 \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 0,0625} = 4,0 \text{ см.}$$

Белгилар  $\theta$  ва  $f$  шуни кўрсатадики,  $B$  кесим соат мили йўлига тескари бурилади, эгилиш  $f_B$  эса юқорига йўналган.

Аниқроқ натижаларни эгрилик тенгламасидан олиш мумкин:  $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$ . Соф эгилишда  $M(x) = M_0 = \text{const}$  бўлгани учун  $\rho = \text{const}$ , яъни балка ўқи парабола бўйича эмас (иккинчи тенгламадагидек), қуйидаги радиус чизган айлана ёйи бўйича эгилади:

$$\rho = \frac{EI}{M_0} = \frac{2 \cdot 10^7 \cdot 0,0625}{1000} = 1250 \text{ см.}$$

Энди кўчишларни геометрик мулоҳазалардан осонгина топиш мумкин (расмга қаранг). Бурчак  $\theta_B$  узунлиги  $l$  бўлган ёйнинг радиус  $\rho$  га нисбати сифатида, эгилиш эса  $AD = AC - CD$  кесма сифатида аниқланади. Демак.

$$\theta_B = \frac{l}{\rho} = \frac{100}{1250} = 0,08 \text{ ёки } \theta_B = 4^\circ 34',$$

$$f_B = \rho - \rho \cos \theta = \rho (1 - \cos 4^\circ 34') = 1254 (1 - 0,99684) = 3,95 \text{ см.}$$

Эгилиш учун аниқ ва тахминий ечимлар орасидаги фарқ 1% чани ташкил қилади. Бурилиш бурчаги учун натижалар учинчи белгигача аниқликда мос келади. Бикрлиги катта бўлган, масалан, қўштавр балкалар конструкцияларда қўлланиладигани учун дифференциал тенглама ёрдамида тақрибий ечишдаги хатолик кўчишларни бир оз катталаштириш томонига янада камроқ (0,05—0,1% атрофида) бўлади.

**7.2.** Икки шарнирли таянчда эркин ётган  $l=1$  м қулочли балка айлана ёйи бўйича эгилган. Балканинг кесими томонлари  $b=6$  см ва  $h=4$  см ли тўғри тўртбурчак.

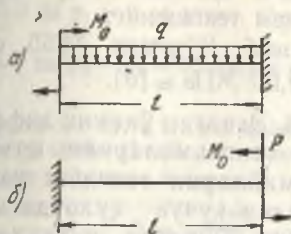
Қулоч ўртасида ўлчанган эгилиш  $f=6,25$  мм. Агар энг катта нормал кучланиш  $\sigma_{\max} = [\sigma] = 10$  МПа бўлса, материалнинг қайиш-қоқлик модули катталигини ва балка ўқининг эгрилик радиусини аниқланг.

Жавоб.  $E = 1 \cdot 10^6 \text{ Н/см}^2$ ;  $\rho = 20 \text{ м.}$

**7.3.** Диаметри  $d$  ва узунлиги  $l$  бўлган доира кесимли балканинг бир учи қисилган ва интенсивлиги  $q$  Н/м бўлган, тенг тақсимланган юк таъсирида эгилади. Балканинг  $\sigma_{\max} = [\sigma]$  бўлган кесимидаги балка ўқи эгрилигини аниқланг.

Қўрсатма. Эгрилик ва кучланишни хавфли кесимидаги эгувчи момент орқали ифодаланг.

Жавоб.  $\frac{1}{\rho} = \frac{2[\sigma]}{Ed}$ .



7.5- масалага онд



7.6- масалага онд

7.4. Баланглиги  $h$  ва узунлиги  $l$  бўлган симметрик кесимли балка бир учидан қисилган ва иккинчи учига  $P$  кучи қўйилган. Бу куч хавфли кесимда энг катта кучланиш  $\sigma_{\max} = [\sigma]$  ни ҳосил қилади. Куч таъсирида кесимда ҳосил бўладиган эгилиш катталигини топинг, уни балка ўлчамлари ва йўл қўйилган кучланишлар орқали ифодаланг.

Жавоб.  $f = \frac{2l^2}{2Eh} [\sigma]$ .

7.5. Бир учидан қисилган балкалар учун (расмга қаранг) эгилган ўқнинг дифференциал тенгламасини интеграллаш йўли билан эркин учигаги бурилиш бурчаклар ва эгилишлар қийматларини аниқланг. Қўйидаги маълумотлар берилган: а)  $l = 2$  м,  $q = 30$  кН/м,  $M_0 = 30$  кН/м, кесим — қўштак № 20, б)  $l = 2$  м,  $P = 20$  кН,  $M_0 = 2$  кН/м, кесим қўштак № 18.

Жавоб.  $\theta = \frac{ql^3}{6EJ} - \frac{M_0 l}{EJ} = -0,0054$ ,  $f = \frac{M_0 l^2}{2EJ} - \frac{ql^4}{8EJ} = 0$ ;

б)  $\theta = \frac{M_0 l}{EJ} - \frac{Pl^2}{2EJ} = 0$ ,  $f = \frac{M_0 l^2}{2EJ} - \frac{Pl^3}{3EJ} = -0,516$  см.

7.6. Расмда кўрсатилган қўштак кесимли шарнирли таянган балкалар учун таянч кесимлар  $\theta_A$  ва  $\theta_B$  бурилиш бурчакларини ҳамда қулоч ўртасидаги эгилишлар  $f$  ни аниқланг. Қўйидаги маълумотлар берилган: а)  $l = 2$  м,  $q = 30$  кН/м, кесим — қўштак № 27, б)  $l = 6$  м,  $q = 20$  кН/м,  $M_0 = 80$  кНм, кесим — қўштак № 36, в)  $l = 4$  м,  $q = 20$  кН/м,  $M_0 = 40$  кНм, кесим — қўштак № 30.

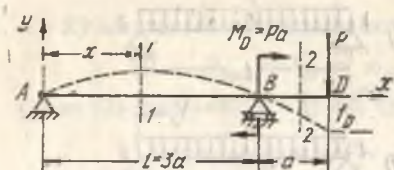
Жавоб, а)  $\theta_A = -\theta_B = -0,001$ ,  $f = -0,062$  см;

б)  $\theta_A = 0,0097$ ,  $\theta_B = 0,0127$ ,  $f = -1,94$  см;

в)  $\theta_A = -\theta_B = -0,0094$ ,  $f = -1,04$  см.

7.7. Учлари шарнирли таянган ва тенг тақсимланган юк  $q = 40$  кН/м билан юкланган қўштак кесимли балкани сортаментдан танланг. Балка қулочи  $l = 8$  м. Энг катта эгилиш йўл қўйилган  $[f] =$





7.8. масалага онд

лаш йўли билан ва ихтиёрий доимийларни тенглаш усулини қўллаб, расмда тасвирланган балка учун қулочдаги энг катта эгилиш қийматини ҳамда куч қўйилган нуқталарнинг пасайишини аниқланг. Таянч кесимлар  $A$  ва  $B$  нинг бурилиш бурчакларини ҳам топинг.

Ечим. Таянч реакциялар қуйидагига тенг:

$$A = \frac{Pa + M_0}{l} \quad (\text{пастга}), \quad B = \frac{P(l + a) + M_0}{l} \quad (\text{юқорига}).$$

$M(x)$  учун балкада икки участка ажратилганлиги туфайли ҳар қайси участкага тегишли дифференциал тенгламаларни тузиш лозим. Ҳар қайси участкадаги моментлар ифодасини тузишда 1—1 ва 2—2 кесимларнинг абсциссалари битта координаталар босидан (масалан,  $A$  нуқтадан) ҳисобланса ҳамда ҳар гал балканинг бир хил (бизда — чап) қисмини олинса, ечим соддалашади. Шунда

$$M_1 = -Ax, \quad M_2 = -Ax + B(x - l) + M_0.$$

Интеграллашни қавсларни очмай бажарамиз, иккинчи участка учун  $x=l$  да нолга айланадиган ўзгарувчан ( $x=l$ ) бўйича бажарамиз. Бу ҳол фақат ихтиёрий доимийлар қийматига таъсир қилади, ҳар қайси участка учун тегишли доимийларни тенглаштиришга олиб келади. Қуйидагини ҳосил қиламиз:

Биринчи участка учун:

$$EJy'' = -Ax;$$

$$EJy' = -\frac{Ax^2}{2} + C_1 \quad (I)$$

$$EJy_1 = -\frac{Ax^3}{6} + C_1x + D_1. \quad (II)$$

Иккинчи участка учун:

$$EJy_2'' = -Ax + B(x - l) + M_0(x - l)^0;$$

$$EJy_2' = -\frac{Ax^2}{2} + \frac{B(x - l)^2}{2} + M_0(x - l) + C_2; \quad (III)$$

$$EJy_2 = -\frac{Ax^3}{6} + \frac{B(x - l)^3}{6} + \frac{M_0(x - l)^2}{2} + C_2x + D_2. \quad (IV)$$

(II ва IV) тенгламалардан кўриниб турибдики, балкани эгилган ўқи икки-та эгри чизиқдан иборат экан. Эластик деформацияда балка ўқи туташ раван чизиқдан иборат бўлгани учун эгри чизиқларнинг туташуш нуқтасида ( $B$  нуқтада) улар умумий уринмага ва умумий эгилишга эга бўлиши керак.

1)  $x = l$  да  $y_1' = y_2'$  ва 2)  $x = l$  да  $y_1 = y_2$ .

$= \frac{1}{400} l$  дан ошиб кетмасин.  $[\sigma] = 160$  МПа деб олиб, қабул қилинадиган кесимнинг мустаҳкамлигини ҳам текширинг.

Жавоб. Қўштавр № 55,  $\sigma_{\max} = 160,00$  МПа  $\approx [\sigma]$ .

7.8. Эгилган ўқнинг дифференциал тенгламаларини интеграл-

Биринчи шарт бўйича (1) ва (3) дан  $C_1 = C_2 = C$  ни ҳосил қиламиз. Иккинчи шартдан (II) ва (IV) бўйича  $D_1 = D_2 = D$  эканлигини топамиз. Ихтиёрий доимийларнинг қийматлари  $C$  ва  $D$  балкани  $A$  ва  $B$  таянчларга маҳкамлаш шартидан аниқланади, бунда эгилишлар нолга тенг.

3)  $x = 0$  да  $y_1 = 0$  ва демак,  $D = 0$ ;

4)  $x = l$  да  $y_1 = y_2 = 0$ , бундан  $c = \frac{Al^2}{6}$  [II ёки IV дан].

Қулолдаги энг катта эгилиш қиймати (II) тенгламадан топилади. Агар  $y_1 = y_{\max}$  бўлса, у ҳолда  $y' = 0$ . (I) ни нолга тенглаштириб,  $x$  нинг  $y_{\max}$  га мос келадиган зарур қийматини топамиз.

$$0 = -\frac{Ax^3}{2} + \frac{Al^2}{6}, \text{ бундан } x = \frac{l}{\sqrt{3}}.$$

Бу қийматни (II) га қўйиб ҳамда  $A$  ва  $C$  ларни қийматлари билан алмаштириб,  $y_{\max} = f$  ни ҳосил қиламиз:

$$EJf = -\frac{Pa + M_0}{6l} \cdot \frac{l^3}{3\sqrt{3}} = \frac{Pa + M_0}{6l} \cdot \frac{l^3}{\sqrt{3}} = \frac{Pa + M_0}{9\sqrt{3}} l^2;$$

$$f = \frac{(Pa + M_0) \cdot l^2}{9EI\sqrt{3}}.$$

Куч таъсирида кесимдаги эгилиш катталигини  $x = l + a$  ва  $y = f_D$  да (IV) тенгламадан топамиз:

$$EJf_D = -\frac{Pa + M_0}{6l} (l + a)^3 + \frac{P(a + l) + M_0}{6l} a^3 + \frac{M_0 a^2}{2} +$$

$$+ \frac{Pa + M_0}{6l} l^2 (l + a); \quad f_D = -\frac{Pa^2 (l + a) + M_0 al}{3EJ}.$$

Ниҳоят, таянч кесимларнинг бурилиш бурчакларини  $x = 0$  ва  $x = l$  да (I) тенгламадан аниқлашимиз мумкин:

$$\theta_A = y'_{(x=0)} \text{ ёки } EJ\theta_A = C = \frac{(Pa + M_0) l^2}{6l}, \text{ бундан } \theta_A = \frac{(Pa + M_0) l}{6EJ};$$

$$\theta_B = y'_{(x=l)} \text{ ёки } EJ\theta_B = -\frac{(Pa + M_0) l^2}{2l} + \frac{(Pa + M_0) l^2}{6l} = -$$

$$= -\frac{(Pa + M_0) l^2}{3}, \theta_B = -\frac{(Pa + M_0) l}{3EJ}.$$

Олинган натижалар кучларнинг мустақил таъсир қилиш принципига жавоб беради, улар тўпланган куч  $P$  ва жуфт кучлар  $M$  лар айрим-айрим вужудга келтирган силжишларни ажратишга имкон беради.

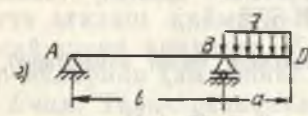
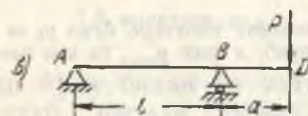
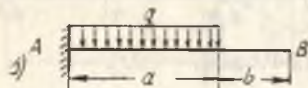
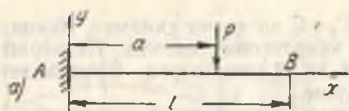
Шунга ҳам эътибор берамизки, қўшни участкаларда ихтиёрий доимийларнинг тенглигидан ( $C_1 = C_2$  ва  $D_1 = D_2$ ) иккинчи участка учун (IV) тенгламани қўйдаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$EJy = D + Cx - \frac{Ax^3}{6} \Big|_1 + \frac{B(x-l)^3}{6} + \frac{M_0(x-l)^2}{2}. \quad (IVa)$$

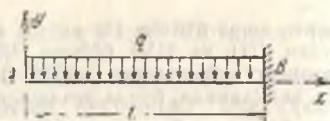
Вертикал чизиқдан чап томонда биринчи участка эгри чизиги тенгламасига кирадиган ҳадлар, ўнгда иккинчи участка тенгламасига (яъни  $y_2 = y_1 + y_{\text{рухс}}$  га) кирадиган қўшимча ҳадлар жойлашган.

Этилган ўқнинг тахминий кўриниши расмда пунктир чизиқ билан кўрсатилган.





7.9- масалага оид



7.10- масалага оид

7.9. Эгилган ўқнинг дифференциал тенгламасини интеграллашнинг ихтиёрий доимийларни тенглаштириш усулидан фойдаланиб қуйидагиларни аниқланг: бир учи қисилган балкалар учун эркин учдаги кесимнинг эгилиши ва бурилиш бурчагини, шарнирли тиралган балкалар учун таянч кесимлар ( $\theta_A$  ва  $\theta_B$ ) нинг бурилиш бурчакларини, қулоч ўртасидаги ( $f_c$ ) ва эркин учдаги ( $f_D$ ) эгилишларни аниқланг.

Жавоб. а)  $f = -\frac{Pa^2(3l-a)}{6EJ}$ ,  $\theta = -\frac{Pa^2}{2EJ}$ ;

б)  $f = -\frac{qa^3(3a-4l)}{24EJ}$ ,  $\theta = -\frac{qa^2}{6EJ}$ ;

в)  $\theta_A = \frac{Pal}{6EJ}$ ,  $\theta_B = -\frac{Pal}{3EJ}$ ,  $f_c = \frac{Pal^2}{16EJ}$ ,  $f_D = -\frac{Pa^2(l+a)}{3EJ}$ ;

г)  $\theta_A = \frac{qa^2l}{12EJ}$ ,  $\theta_B = -\frac{qa^2l}{6EJ}$ ,  $f_c = \frac{qa^2l^2}{32EJ}$ ,  $f_D = -\frac{qa^3(4l+3a)}{24EJ}$ .

7.10. Балка эгилган ўқнинг дифференциал тенгламасини интеграллашнинг ихтиёрий доимийлари мазмуни ва ўлчамларини, яъни эластик чизиқ тенгламасига кирадиган дастлабки параметрларни аниқланг. Дастлабки параметрлар усулида расмда тасвирланган балканинг учдаги кесими эгилиш ва бурилиш бурчагини топинг.

Ечи м. Эгилган ўқнинг тақрибий дифференциал тенгламасини  $M(x)$  учун ифода тузишни талаб қилмайдиган кўринишда тасаввур қилиб, қуйидагиларга эга бўламиз:

$$EJy'' = M(x) \quad (1)$$

$$EJy''' = \theta(x) \quad (2) \quad \text{ва} \quad EJy^{IV} = q(x). \quad (3)$$

(3) тенгламани тўрт марта интеграллаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$1) EJy''' = \int_0^x q(x) dx + C_1;$$

$$2) EJy'' = \int_0^x dx \int_0^x q(x) dx + C_1x + C_2;$$

$$3) EJy' = \int_0^x dx \int_0^x dx \int_0^x q(x) dx + \frac{C_1 x^2}{2} + C_2 x + C_3;$$

$$4) EJy = \int_0^x dx \int_0^x dx \int_0^x dx \int_0^x q(x) dx + \frac{C_1 x^3}{6} + \frac{C_2 x^2}{2} + C_3 x + C_4.$$

Бу тенгламаларга қирадиган ихтиёрий доимийларнинг қийматлари координаталар бошида  $x=0$  бўлиш шартидан аниқланади. (1) ва (2) тенгламалардан фойдаланиб, ушбуни ҳосил қиламиз:

$$C_1 = EJy'''(x=0) = Q(x=0) = P_0, \quad C_2 = EJy''(x=0) = M_0.$$

Бундан ташқари,  $x=0$  да  $C_3 = EJy_{(x=0)} = EJ\theta_0$  ва  $C_4 = EJy_{(x=0)} = EJf_0$ .

Шундай қилиб, интеграллашнинг ихтиёрий доимийлари дастлабки параметрлар, яъни  $x=0$  бўлганда геометрик ва куч факторлари ҳисобланади. Уларнинг ўлчами шундан топилади:  $f_0$  ва  $\theta_0$  — дастлабки кесимнинг эгилиши ва бурилиш бурчаги,  $P_0$  ва  $M_0$  — координаталар бошидаги тупланган куч ва момент.

Эгилган ўқнинг тенгламаси дастлабки параметрлар орқали қуйидагича ёзилади:

$$y = f_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EJ} \left[ \frac{M_0 x^2}{2} + \frac{P_0 x^3}{6} + \int_0^x \int_0^x \int_0^x q(x) dx^4 \right]. \quad (a)$$

Тенг тақсимланган юк  $q(x) = q_0 = \text{const}$  бўлганда ва тўрт марта интеграллашдан кейин тенгламанинг охириги ҳади қуйидаги қийматни олади:  $\frac{q_0 x^4}{24}$ , (a) тенглама эса қуйидаги кўринишни олади:

$$y = f_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EJ} \left[ \frac{M_0 x^2}{2} + \frac{P_0 x^3}{6} + \frac{q_0 x^4}{24} \right]. \quad (б)$$

Ундан берилган балкадаги силжишларни аниқлашда фойдаланамиз. Координаталар бошида (A нуқтада) куч ҳам, момент ҳам бўлмаганлиги, яъни  $P_0=0$  ва  $M_0=0$  бўлгани, юк  $q_0=q$  (манфий ўқ у томонга йўналган) бўлгани учун эгилиш ва бурилиш бурчақларининг тенгламалари қуйидаги кўринишни олади:

$$y = f_0 + \theta_0 x - \frac{qx^4}{24 EJ}, \quad y' = \theta_0 - \frac{qx^3}{6 EJ}.$$

Бошланғич параметрлар  $f_0$  ва  $\theta_0$  ни B кесимда балкани маҳкамлаш шартидан аниқлаймиз:  $x=l$  бўлганда  $y=0$  ва  $x=l$  бўлганда  $y'=0$  бундан

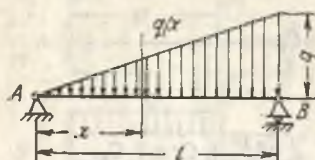
$$\theta_0 = \frac{ql^3}{6 EJ} = \theta_A \quad \text{ва} \quad f_0 = -\frac{ql^4}{8 EJ} = f_A.$$

Координаталар бошини рационал танлаганда ечим соддалашиши мумкин. Координаталар бошини B нуқтада деб олиб ва ўқ  $x$  ни чапга йўналтириб, шу масаланинг ўзини счишни тавсиф қиламиз. Бунда дастлабки параметрлар қандай ўзгаради?

$$\text{Жавоб: } f_0 = 0; \theta_0 = 0; M_0 = -\frac{ql^2}{2}; P_0 = ql; \theta_A = -\frac{ql^3}{6 EJ};$$

$$f_A = -\frac{ql^4}{8 EJ}.$$



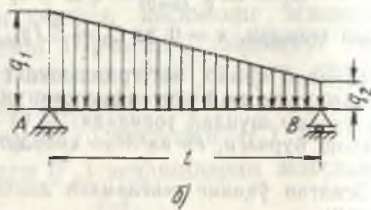
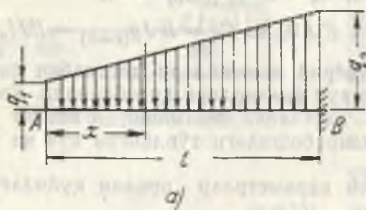


7.12- масалага оид

7.11. Дастлабки параметрлар усулидан фойдаланиб, схемалари 7.5 ва 7.6 масалаларда келтирилган балкалардаги чизикли ва бурчакли кучишларни аниқланг.

7.12. Дастлабки параметрлар усулида қулочи  $l$  га тенг бўлган балкадаги энг катта эгилиш қиймати ( $f_{\max}$ ) ни, шунингдек қулоч ўртасидаги эгилиш ( $f$ ) ни аниқ-

ланг. Балка учбурчак бўйича тенг тақсимланган юк таъсирида (расмга қаранг).



7.13- масалага оид

**Қўрсатма.** Юк интенсивлиги  $q(x) = -q \frac{x}{l}$ . Бу функцияни тўрт марта интеграллаб, (а) тенгламанинг охириги ҳадини топамиз (7.10 масалага қаранг):

$$\int_0^x \int_0^x \int_0^x \int_0^x q(x) dx^4 = -\frac{qx^5}{120l} = -\frac{q}{l} \cdot \frac{x^5}{5!};$$

$$f_{\max} = -0,00652 \frac{ql^4}{EJ}.$$

**Жавоб:**

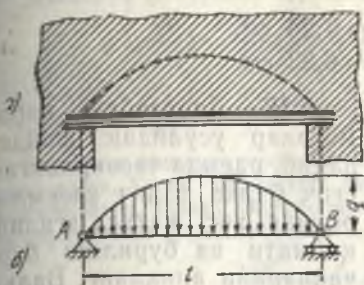
$$x = 0,52l \text{ да; } f_c = -0,00651 \frac{ql^4}{EJ}.$$

7.13. Трапеция бўйича ўзгарадиган яхлит юк таъсиридаги балкалар учун қуйидагиларни аниқланг:

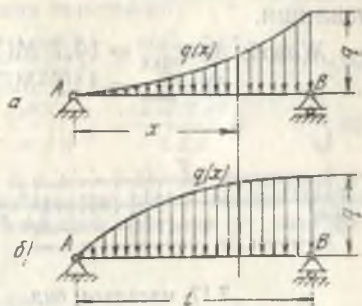
а) консол учун (расм, а) учидаги кесимнинг бурилиш бурчаклини ва эгилишни; б) шарнирли тиралган балка учун (расм, б) таянчлардаги бурилиш бурчакларини ва қулоч ўртасидаги эгилишни.

**Қўрсатма:** Нагрузкани тенг тақсимланган  $q(x) = q \frac{x}{l}$  ва учбурчак қонуни бўйича ўзгарадиган (расм, а) қисмларига бўлиб олиш қулай, бунда  $q = -(q_2 - q_1)$ . Эгилган ўқ тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$y = f_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EJ} \left[ \frac{M_0 x^2}{2!} + \frac{P_0 x^3}{3!} + \frac{q_0 l^4}{4!} + \frac{q}{l} \frac{x^5}{5!} \right].$$



7.14- масалага оид



7.15- масалага оид

Жавоб:

$$а) \theta = \frac{(3q_1 + q_2)l^3}{24 EJ}, f = -\frac{(11q_1 + 4q_2)l^4}{120 EJ};$$

$$б) \theta_A = -\frac{(8q_1 + 7q_2)l^3}{30 EJ}, \theta_B = \frac{(7q_1 + 7q_2)l^3}{360 EJ}, f = -\frac{5(q_1 + q_2)l^4}{768 EJ}.$$

7.14. Биноларнинг гиштин деворларидаги эшик ва дераза ўринлари устига ташланадиган балкаларни ҳисоблашда балкага тушадиган юк унинг устидаги девор қисми оғирлигидан аниқланади. У парабола бўйича тақсимланган бўлади (расм, а). Балка икки учидан шарнирли тиралган деб қабул қилиб (расм, б), энг катта эгилиш қийматини аниқланг. Юкнинг ўзгариш қонуни  $q(x) = \frac{4qx}{l^4}(l-x)$  тенглама билан белгиланади.

$$\text{Жавоб: } f = -\frac{61 q \cdot l^4}{5760 EJ} \approx 0,0106 \frac{ql^4}{EJ}.$$

7.15. Учлари шарнирли тиралган балка учун қулоч ўртасидаги эгилишни ва таянч кесимларнинг бурилиш бурчакларини аниқланг. Балка парабола қонуни бўйича ўзгарадиган куч таъсирида. Балкага юк икки вариантда қўйилишини кўриб чиқинг (расмга қаранг): а)  $q(x) = \frac{qx^2}{l^2}$  ва б)  $q(x) = \frac{qx(2l-x)}{l^2}$ .

$$\text{Жавоб: а) } \theta_A = -\frac{ql^3}{90 EJ}, \theta_B = \frac{ql^3}{72 EJ}, f = -0,00386 \cdot \frac{ql^4}{EJ};$$

$$б) \theta_A = -\frac{ql^3}{36 EJ}, \theta_B = \frac{11ql^3}{360 EJ}, f = -0,00916 \frac{ql^4}{EJ}.$$

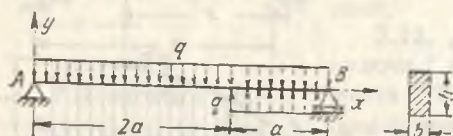
7.16. Узунлиги  $l=12$  м бўлган № 40 қўштавр профилли пўлат балка ўртасига маҳкамланган трос ёрдамида кран билан кўтарилади. Хусусий оғирлиги таъсирида энг катта нормал кучланишлар ва энг катта эгилишлар қийматини аниқланг. Икки вариант мавжуд: а) балканинг энг катта бикрлик текис-



лигида эгилиши; б) балканинг энг кичик бикрлик текислигида эгилиши.

Жавоб: а)  $\sigma_{\max} = 10,7$  МПа,  $f_{\max} = 0,24$  см.

б)  $\sigma_{\max} = 118$  МПа,  $f_{\max} = 6,82$  см.



7.17- масалага оид

7.17. Дастлабки параметрлар усулидан фойдаланиб, расмда тасвирланган ёғоч балка таянч кесимларининг энг катта эгилиш қиймати ва бурилиш бурчакларини аниқланг. Балка кесими — томонлари  $b =$

$= 15$  см ва  $h = 20$  см бўлган тўғри тўртбурчак, қулочи  $l = 3a = 6$  м,  $2a$  узунликда қўйилган юкланиш интенсивлиги  $q = 3$  кН/м.

Ечи м. Таянч реакциялар:  $A = \frac{4}{3} qa$ ,  $B = \frac{2}{3} qa$  координаталар бошичи

A нуқтада деб қабул қиламиз. Икки ёки кўп участкаларга бўлинган балка учун у кучлар, жуфтлар ва бир текис тақсимланган юк билан юкланганда эгилган ўқнинг умумий тенгламаси қуйидагича ёзилиши мумкин.

$$y = f_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EJ} \left( \frac{M_0 x^2}{2!} + \frac{P_0 x^3}{3!} + \frac{q_0 x^4}{4!} + \frac{1}{EJ} \left[ \frac{M_i (x - a_m)^2}{2!} + \frac{P_i (x - a_p)^3}{3!} + \frac{q_i (x - a_q)^4}{4!} \right] \right).$$

бунда  $f_0$ ,  $\theta_0$ ,  $M_0$  ва  $P_0$  дастлабки параметрлар (7.10. масалага қаранг);  $q_0$  — координаталар бошидан ҳисоблаганда биринчи участкадаги тенг тақсимланган юк интенсивлиги;  $M_i$ ,  $P_i$ ,  $q_i$  —  $x = a_i$  бўлганда иккинчи участка (ва кейинги ҳар қайси участка) бошида пайдо бўладиган куч омиллари. Вертикал чизиқ билан ажратилган тенгликнинг чап қисми фақат биринчи участка чегарасида эгилган ўқнинг тенгламасидан иборат. Умуман бутун тенглама фақат балканинг охириги участкаси (бизнинг ҳолда иккинчи участка) эгри чизигини билдиради. Демак, ҳудди 7.8 масаладагидек,  $y_2 = y_1 + y_{\text{рух}}$ . Шу мулоҳазалардан келиб чиқиб, биринчи участканинг  $q_0$  юкини балка охиригача давом эттириш керак, шунда иккинчи участкадаги юқорига йўналган (расмга қаранг)  $q_i = q_0$  қўшимча юкнинг бузилган юкланиш схемаси тикланади.

Кўриб чиқиладиган балкада дастлабки параметрлар (A нуқта):

$$f_0 = 0, M_0 = 0, P_0 = A = \frac{4}{3} qa;$$

$$\text{юклар: } q_0 = q, M_i = 0, P_i = 0, q_i = q (a_q = 2a).$$

Эластик чизик тенгламаси қуйидаги кўринишини олади:

$$y = \theta_0 x + \frac{1}{EJ} \left( \frac{4}{3} \frac{q a x^3}{6} - \frac{q x^4}{24} \right) + \frac{q (x - 2a)^4}{24 EJ}.$$

Дастлабки параметр қиймати  $\theta_0$  ни B таянчдаги эгилишнинг нолга тенглиги шартидан топамиз ( $x = 3a$  бўлганда  $y = 0$ ).  $x = 3a$  ни жойига қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$0 = \theta_0 \cdot 3a + \frac{1}{EJ} \left[ \frac{2}{9} qa(3a)^3 - \frac{q}{24} (3a)^4 + \frac{q a^4}{24} \right]; \text{ бундан } \theta_0 = -\frac{8}{9} \frac{qa^3}{EJ}.$$

Эгиликлар ва бурилиш бурчакларининг охири тенгламаси:

$$y = \frac{1}{EJ} \left( -\frac{8}{9} q a^3 x + \frac{2}{9} q a x^3 - \frac{q x^4}{24} \right) \Big|_1 + \frac{q(x-2a)^4}{24 EJ}, \quad (a)$$

$$y' = \frac{1}{EJ} \left( -\frac{8}{9} q a^3 + \frac{2}{3} q a x^2 - \frac{q x^3}{6} \right) \Big|_1 + \frac{q(x-2a)^3}{6 EJ} \quad (б)$$

Энг катта эгилишни топиш учун  $y = y_{\max}$  ёки  $y' = 0$  бўлган абсцисса  $x$  ни топиш керак. Қўриб чиқилаётган типдаги балкаларда энг катта эгилиш қулоч ўртасида ётади, шунинг учун биринчи участкага тегишли тенглама (б) нинг фақат бир қисmini қўриб чиқамиз:

$$\frac{q x^2}{6} - \frac{2}{3} q a x^2 + \frac{8}{9} q a^3 = 0.$$

Тенгламани кетма-кет танлаш усулида ечиб,  $x = 1,445a$  эканлигини топамиз. Тенглама (а) га  $x$  нинг қийматини қўйиб, биринчи участка учун қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$f_{\max} = \frac{1}{EJ} \left[ -\frac{8}{9} q a^3 \cdot 1,445a + \frac{2}{9} q a (1,445a)^3 - q \frac{(1,445a)^4}{24} \right] = -\frac{0,8 q a^4}{EJ}.$$

Сонли жавобни топиш учун балка бикрлигини ҳисоблаймиз:

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{15 \cdot 20^3}{12} = 10000 \text{ см}^4, \quad EJ = 1 \cdot 10^6 \cdot 10^4 = 10^{10} \text{ Н} \cdot \text{см}^2.$$

Демак,

$$f_{\max} = -\frac{0,8 q a^4}{EJ} = -\frac{0,8 \cdot 3 \cdot 2^4 \cdot 10^9}{1 \cdot 10^{10}} = -3,84 \text{ см}.$$

Таянч кесимларнинг бурилиш бурчаклари:

$$\theta_A = y'_{(x=0)}, \quad \theta_B = y'_{(x=3a)}.$$

Тенглама (б) дан қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\theta_A = -\frac{8 q a^3}{9 EJ} = -\frac{8 \cdot 3 \cdot 2^3 \cdot 10^7}{9 \cdot 10^{10}} = 0,0213, \quad \theta_B = \frac{7 q a^3}{9 EJ} = \frac{7}{9} \cdot \frac{3 \cdot 2^3 \cdot 10^7}{10^{10}} = 0,0187.$$

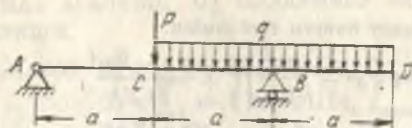
7.18. 7.9 масалада қўрилган балкалар учун дастлабки параметрлар усулидан фойдаланиб, схемаларда курсатилган кесимларнинг эгилишлари ва бурилиш бурчакларини аниқланг.

Жавоб: 7.9 масалага қаранг.

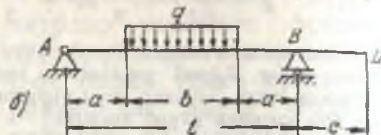
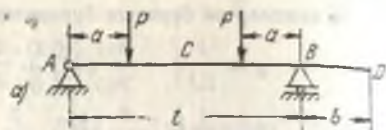
7.19. Агар  $P = qa$  бўлса, расмда тасвирланган балканинг қулочи ўртасидаги ва эркин учидаги эгилишлар қийматини аниқланг. Агар тенг тақсимланган юк  $q$  ни балканинг бутун узунлигига сочиб юборилса, бу эгилишлар қандай бўлади?

$$\text{Жавоб: 1) } f_C = -\frac{7 q a^4}{EJ}, f_D = -\frac{q a^4}{48 EJ}; \quad 2) f_C = -\frac{q a^4}{4 EJ}, f_D = -\frac{q a^4}{8 EJ}.$$





7.19- масалага оид



7.20- масалага оид

7.20. Эгилган ўқнинг дифференциал тенгламаларини интеграллаб ёки дастлабки параметрлар усулининг универсал тенгламаларидан фойдаланиб, расмда тасвирланган балкалар қулочи ўртасидаги ( $f_C$ ) ва эркин учидаги ( $f_D$ ) эгилишлар қийматини топинг.

Жавоб: а)  $f_C = -\frac{Pa(3l^2 - 4a^2)}{24EJ}$ ,  $f_D = \frac{Pab(l-a)}{2EJ}$ ;

б)  $f_C = -\frac{qb(8l^3 - 4b^2l + b^3)}{384EJ}$ ,  $f_D = -\frac{abc(3l^2 - b^2)}{48EJ}$ .

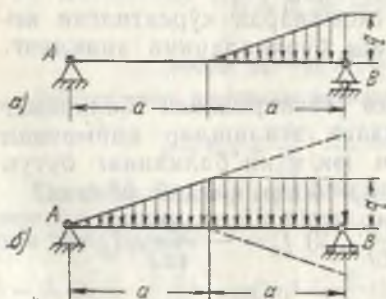
7.21. Қулочи ярмида учбурчак қонуни бўйича тақсимланган юк қўйилган икки таянчли балканинг қулочи ўртасидаги эгилиш қийматини аниқланг. Икки вариантда берилган: а) балканинг чап ярмига қўйилмаган; б) ўнг ярмига тенг тақсимланган юк қўйилган (расмга қаранг).

Кўрсатма. Схема, б да балканинг ўнг ярмига учбурчак юкланиш юқорига ва пастга қўшимча қўйилиши керак.

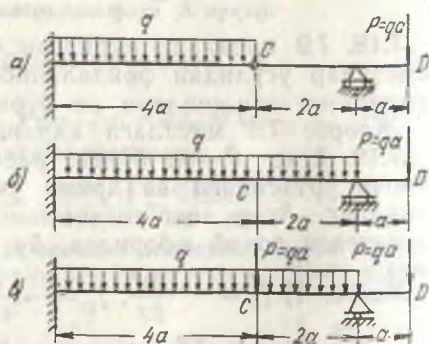
Жавоб: а)  $f = -0,0375 \frac{qa^4}{EJ}$ ;

б)  $f = -0,171 \frac{qa^4}{EJ}$ .

7.22. Қулочида шарнирлари бўлган балкалар учун куч қўйилган кесимлардаги ( $f_D$ ) ва шарнирлардаги ( $f_C$ ) эгилишлар қийматини



7.21- масалага оид



7.22- масалага оид

аниқланг (расмга қаранг). Кесим бутун узунлик бўйича бир хил деб ҳисоблансин.

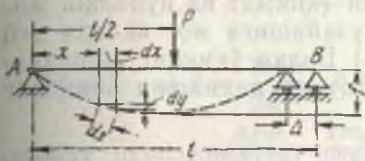
*Қўрсатма.* Балкани асосий ва осма қисмларга ажратинг. Бунинг учун ташлаб юборилган боғланиш ўрнига шарнир орқали узатиладиган кучларни қўйинг. Осма балка учун эгилган ўқ тенгламасини тузаётганда шунинг ҳисобга олинган, унинг учун дастлабки эгилиш

$f_0 = f_C$ , бунда  $f_C$  — асосий балканинг  $C$  нуқтасидаги эгилиш.

Жавоб: а)  $f_C = -\frac{64qa^4}{3EJ}$ ,  $f_D = \frac{29qa^4}{3EJ}$ ;

б)  $f_C = -\frac{128qa^4}{3EJ}$ ,  $f_D = \frac{62qa^4}{3EJ}$ ;

в)  $f_C = -\frac{64qa^4}{EJ}$ ,  $f_D = \frac{94qa^4}{3EJ}$ .



7.23-масалага онд

7.23. Қўлочи  $l$  бўлган балканинг ўртасига  $P$  куч қўйилган. Балка ўқидаги таянч нуқталар  $A$  ва  $B$  да жойлашганда қўзғалувчан таянчнинг кўчиш қиймати  $\Delta$  ни аниқланг. Уни куч остидаги эгилиш  $f$  орқали ифодаланг.

*Ечим.* Кўчиш  $\Delta$  эгилган ўқ узунлиги билан унинг горизонталга проекцияси орасидаги фарқ сифатида аниқланиши мумкин (расмга қаранг):  $\Delta = \int_l (ds - dx)$ .

Ушбу  $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$  ёки  $ds = dx \left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{1/2}$  эканлигини ҳисобга олиб ва биномни Нютон формуласи бўйича қўйиб, тахминан ушбунни топамиз:  $ds = dx \left[ 1 + \frac{1}{2} (y')^2 \right]$ . Кўчиш  $\Delta$  учун қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\Delta = \int_l \left\{ dx \left[ 1 + \frac{1}{2} (y')^2 \right] - dx \right\}, \text{ ёки } \Delta = \frac{1}{2} \int_l (y')^2 dx. \quad (a)$$

Энди  $y'$  ни ифодалаш қолди. Бурнлган балка учун эгилишлар тенгламаси ва бурилиш бурчаклари тенгламаси қуйидаги кўринишни олади (қўлочнинг иккала ярми симметрик бўлгани учун унинг ярмини кўриб чиқиш kifоя):

$$y = \theta_0 x + \frac{Ax^3}{6EJ} = -\frac{Pl^2}{16EJ} x + \frac{Px^3}{12EJ}, \quad y' = \theta_0 + \frac{Ax^2}{2EJ} = -\frac{Pl}{16EJ} + \frac{Px^2}{4EJ}.$$

Ҳосила  $y'$  ни куч остидаги эгилиш  $f \left( x = \frac{l}{2} \text{ да } f = -\frac{Pl^3}{48EJ} \right)$  орқали ифодалаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$y' = -\frac{Pl^3}{48EJ} \left( \frac{3}{l} - \frac{12x^2}{l^3} \right) = \frac{f}{l} \left( 3 - \frac{12x^2}{l^2} \right).$$

Тенглама (a) га қўйиб, қидириляётган кўчишни топамиз:

$$\Delta = 2 \int_0^{l/2} \frac{f^2}{2l^2} \left( 3 - \frac{12x^2}{l^2} \right)^2 dx.$$



Жавоб:  $\Delta = 2,4 \frac{l^3}{I}$ .

7.24. 7.23 масала ечимидан фойдаланиб, қулочи  $l$  бўлган, учлари шарнирли тиралган ва бир текис тақсимланган яхлит юк  $q$  билан юкланган балка ўқи учларининг яқинлашувини топинг.

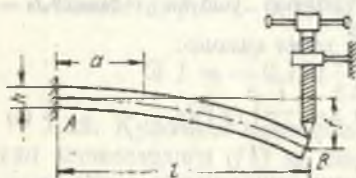
Жавоб:  $\Delta = 2,49 \frac{l^2}{I}$ ; бундан  $f = -\frac{5ql^4}{384EI}$ .

7.25. Қулочи  $l=8$  м бўлган қўштавр профилли № 55 ли балка учларидаги остки токчалари билан шарнирли таянчларга тиралади ва тенг тақсимланган юк  $q=40$  кН/м таъсирида туради.

а) Қўзғалувчан таянчнинг қўчиши (қиймат ва йўналиш жиҳатдан) балка пастки толаларнинг узайишига мос келади деб ҳисоблаб, шу қўчишини аниқланг. б) Балка ўқининг қийшайиши шу силжиш қийматига қандай таъсир қилишини аниқланг (7.23 масалага қаранг).

Жавоб:  $\Delta = \frac{ql^3}{12EW} = 0,428$  см (қулочи катталашадиган томонига); б) томони камайишига 1,3%.

7.26. Бош кучланишларнинг катталиклари ва йўналишларини аниқлаш учун лок қоплаш усулидан фойдаланилади. Синалаётган деталга юк қўйилганда унинг узайиши маълум қийматга етадиган нуқталарда лок қопламасида дарзлар пайдо бўлади. Бу дарзлар бош чўзувчи кучланишлар йўналишларига перпендикуляр ётади. Локнинг сезгирлигини, яъни дарзлар пайдо бўладиган нисбий узайиш қиймати  $\epsilon$  ни баҳолаш учун расмда схематик тарзда кўрсатилган ўлчаш қурилмасидан фойдаланилади. Бир учидан қисилган пўлат балкача лок билан қопланади ва балканинг эркин учига босим узатадиган винт ёрда-



7.26-масалага оид

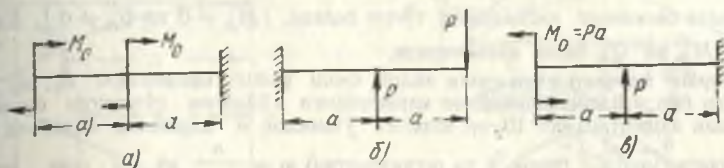
мида эгилади. В нуқтадаги эгилиш индикатор билан ўлчанади.

Агар эгилиш  $f=7,2$  мм бўлганда дарзлар  $a=20$  см масофага тарқалса, локнинг сезгирлигини ва лок қопламасида дарзлар пайдо қиладиган кучланишлар қийматини аниқланг. Балкачанинг қулочи  $l=60$  см, кесим ўлчамлари:  $b=30$  мм,  $h=10$  мм.

Жавоб:  $\epsilon = \frac{3(l-a)h \cdot f}{2l^3} = 2 \cdot 10^{-4}$ ;  $\sigma = E \cdot \epsilon = 4000$  Н/см<sup>2</sup>.

23- §. Эгилишдаги силжишларни аниқлашнинг графоаналитик ва график усуллари

7.27. Расмда тасвирланган балкалар учун эгилиш қиймати-ни ва охириги кесимнинг бурилиш бурчагини графоаналитик усулда аниқланг.



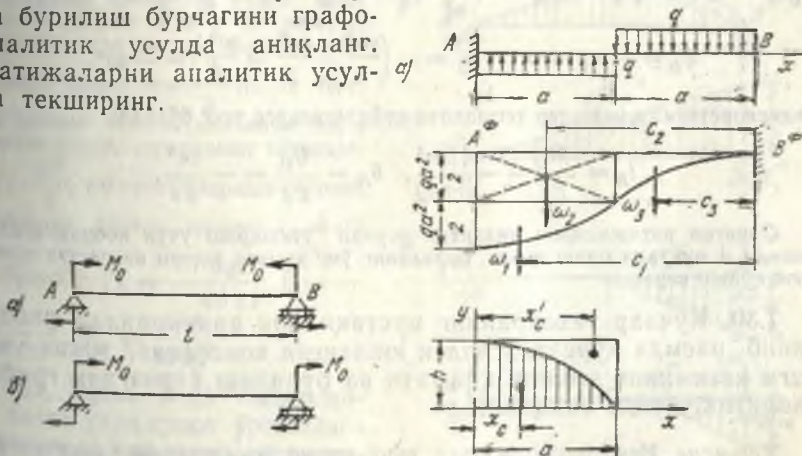
7.27- масалага оид

Жавоб: а)  $f = \frac{7M_0a^2}{2EJ}$ ,  $\theta = \frac{3M_0a}{EJ}$ ; б)  $f = -\frac{11Pa^3}{6EJ}$ ,  $\theta = -\frac{3Pa^2}{2EJ}$ ,  
в)  $f = \frac{5Pa^2}{6EJ} - \frac{2M_0a^2}{EJ}$ ,  $\theta = \frac{2M_0a}{EJ} - \frac{Pa^2}{2EJ}$ .

7.28. Учлари шарнирли тиралган балка икки вариантда теги таянч моментлар билан юкланган бўлса (расмга қаранг), таянч кесимларнинг бурилиш бурчакларини ва қулоч ўртасидаги эгилишни графоаналитик ва аналитик усулларда аниқланг:

Жавоб: а)  $\theta_A = -\theta_B = -\frac{M_0l}{2EJ}$ ,  $f_C = -\frac{M_0l^2}{8EJ}$ ; б)  $\theta_A = \theta_B = -\frac{M_0l}{6EJ}$ ,  $f_C = 0$ .

7.29. Бир учидан қисилган ва расм, а да кўрсатилгандек юкланган балканинг эркин учи кесимидаги эгилиш қийматини ва бурилиш бурчагини графоаналитик усулда аниқланг. Натижаларни аналитик усул- а) да текширинг.



7.29- масалага оид

7.28- масалага оид



*Ечи ми.* Берилган балка учун эгувчи моментлар эпюрасини ясаб (расм. б), уни пастга йўналган яхлит сохта юк сифатида қараймиз ( $M < 0$ ). Сохта балканинг ( $M$  эпюранинг нолинчи ўқи  $M^C - B^C$ ) таянчларини берилган балкани маҳкамлаш шартларига мувофиқ танлаймиз.  $A$  кесимда эгилиш ҳам, бурилиш ҳам йўқ, яъни  $f_A = \frac{M_A^C}{EJ} = 0$  ва  $\theta_A = \frac{Q_A^C}{EJ} = 0$ , шунинг учун  $A^C$  учини эркин қолдирамиз ( $M_A^C = 0$ ,  $Q_A^C = 0$ ).  $f_B \neq 0$  ва  $Q_B \neq 0$  бўлган  $B$  кесим  $B^C$  нуқтада сохта балканинг кисилишига тўғри келади. ( $M_B^C \neq 0$  ва  $Q_B^C \neq 0$ ). Ана шу қиймат  $M_B^C$  ва  $Q_B^C$  бизни қизиқтиради.

Уларни аниқлаш учун сохта яхлит юкни унинг майдонлари  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  ва  $\omega_3$  яъни ҳар бир майдоннинг оғирлик марказларига қўйилган тўпланган сохта кучлар билан алмаштирамиз. Шунинг эслатиб ўтавикки,  $n$  даражали парабола билан чегараланган майдон (расм. в да штрихланган)  $\omega = \frac{n}{n+1} ah$  га тенг, оғирлик

марказигача бўлган масофа эса  $x_C = \frac{(n+1)a}{2(n+2)}$ ;  $n$ -даражали қўшиқча (штрихланмаган) парабола учун

$$\omega = \frac{1}{n+1} ah \text{ ва } x_C = \frac{n+1}{n+2} a.$$

Эгувчи моментларнинг эпюраси икки квадрат парабола ( $n=2$ ) билан чекланганлиги учун юк майдонлари

$$\omega_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{qa^2}{2} a = \frac{qa^3}{3}; \quad \omega_2 = \frac{qa^2}{2} a = \frac{qa^3}{2}; \quad \omega_3 = \frac{1}{3} \cdot \frac{qa^2}{2} a = \frac{qa^3}{6}.$$

Бу кучларнинг маҳкамлашниш жойига нисбатан елкалари (кесим В):

$$c_1 = 2a - \frac{3}{8} a = \frac{13}{8} a; \quad c_2 = \frac{a}{2} + a = \frac{3}{2} a, \quad c_3 = \frac{3}{4} a.$$

Эгувчи момент  $M_B^C$  ва  $Q_B^C$  кесимдаги сохта юкдан тушадиган қўндаланг куч  $Q_B^C$  қуйидагига тенг:

$$M_B^C = -\omega_1 c_1 - \omega_2 c_2 - \omega_3 c_3 = -\left(\frac{qa^3}{3} \cdot \frac{13}{8} a + \frac{qa^3}{2} \cdot \frac{3a}{2} + \frac{qa^3}{6} \cdot \frac{3}{4} a\right) = -\frac{17}{12} qa^4,$$

$$Q_B^C = -\omega_1 - \omega_2 - \omega_3 = -\left(\frac{qa^3}{3} + \frac{qa^3}{2} + \frac{qa^3}{6}\right) = -qa^3.$$

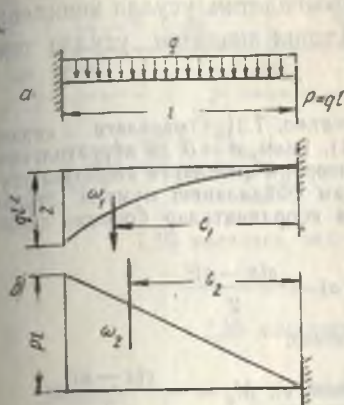
Қидирилаётган силжишлар тегишлича қуйидагиларга тенг бўлади:

$$f_B = \frac{M_B^C}{EJ} = -\frac{17qa^4}{12EJ}, \quad \theta_B = \frac{Q_B^C}{EJ} = -\frac{qa^3}{EJ}.$$

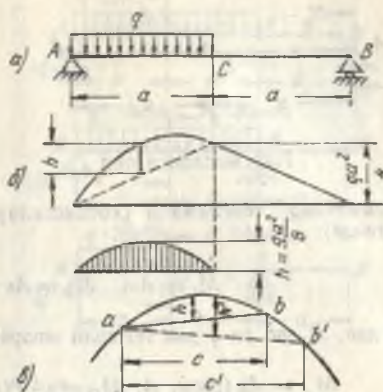
Олинган натижаларни аналитик усулда текшириш учун координаталар бошини  $A$  нуқтада олиш керак, балканинг ўнг ярмига юқори ва пастга томон  $q$  юк қўйиш керак.

**7.30.** Кучлар таъсирининг мустақиллик принциpidан фойдаланиб, расмда кўрсатилгандек юкланган консолнинг эркин учидagi кесимнинг эгилиш қиймати ва бурилиш бурчагини графоаналитик усулда аниқланг.

*Кўрсатма.* Икки сохта балкани, яъни эгувчи моментларнинг икки эпюрасини ясанг: тақсимланган юк  $q$  ва тўпланган куч  $P$  (расм. б), ҳар қайси юкдан



7.30- масалага онд



7.31- масалага онд

ҳосил бўладиган кўчишларни алоҳида-алоҳида аниқланг ва алгебранг усулда қўшинг.

$$\text{Жавоб: } f = \frac{5ql^4}{24EJ}; \quad \theta = \frac{ql^3}{3EJ}.$$

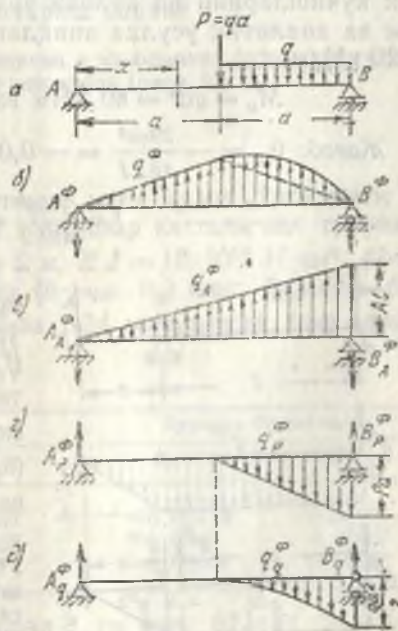
7.31. Расмда тасвирланган балка учун қўлоч ўртасидаги эгилиш катталигини ва таянч кесимлардаги бурилиш бурчакларини графоаналитик усулда аниқланг.

*Қўрсатма.* Эгувчи моментлар эпюрасини (расм, б) икки тенг учбурчакка ва параболлик сигментга бўлиб олиш қўлай. Ихтиёрин ватар а—б (расм, в) билан чекланган квадрат парабола сигментиинг юзаси  $\omega = \frac{2}{3}hc$  га тенг.

Агар балкага тенг тақсимланган юк  $q$  қўйилган бўлса, сигментнинг баландлиги  $h = \frac{qc^2}{8}$ , сигмент учларидан оғирлик марказигача бўлган масофа:  $x_C = c/2$

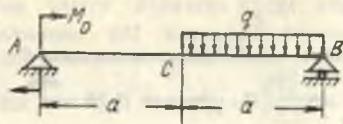
$$\text{Жавоб: } f_C = -\frac{5qa^4}{48EJ}; \quad \theta = -\frac{9qa^3}{48EJ}; \quad \theta_B = \frac{7qa^3}{48EJ}.$$

7.32. Расм, а да тасвирланган балка учун қўлоч ўртасидаги эгилишни ( $f_C$ ) ва таянч кесимларнинг бурилиш бурчакларини ( $\theta_A$ ;



7.32- масалага онд





7.33- масалага оид

моментлар тенгламаси (абсциссаларни битта координаталар бошидан ҳисоблаганда):

$$M_1 = Ax; \quad M_2 = Ax - P(x - a) - \frac{q(x - a)^2}{2}.$$

A дан, P дан ва q дан тегишли эпюраларни ясаймиз.

$$M_A = Ax \text{ (расм, в); } M_P = -P(x - a) \text{ (расм, г); } M_q = -\frac{q(x - a)^2}{2} \text{ (расм, д)}$$

M эпюра ясовчиларга ажралади. Улар ҳар қайси кучдан алоҳида-алоҳида ясалади (ўнг учидан қисилган консолдаги каби) ( $M = M_A + M_P + M_q$ ); B таянчдаги йиғинди момент нолга тенг. Ҳар қайси эпюрадан графоаналитик усулда кўчишлар аниқланиб, кейин қўшиб чиқилади:

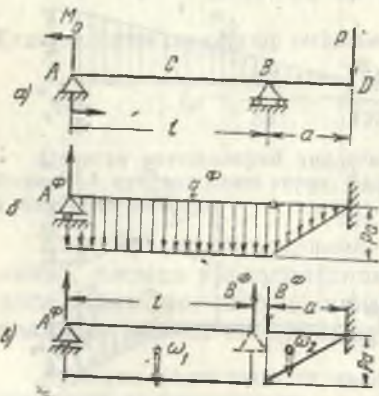
$$\text{Жавоб: } f_C = -\frac{13qa^4}{48EJ}; \quad \theta_A = -\frac{19qa^3}{48EJ}; \quad \theta_B = \frac{7qa^3}{16EJ}.$$

7.33. Ушбу шартлар учун балканинг таянч кесимлари бурчак кўчишларини ва қулочи ўртасидаги эгилишни графоаналитик ва аналитик усулда аниқланг (расмга қаранг):  $a = 2 \text{ м}$ ,  $q = 20 \text{ кН/м}$ ,

$$M_0 = qa^2 = 80 \text{ кНм ва } EJ = 12 \cdot 10^{10} \text{ Н/см}^2.$$

$$\text{Жавоб: } \theta_A = -\frac{39qa^3}{48EJ} = -0,0108; \quad \theta_B = \frac{25qa^3}{48EJ} = 0,0069;$$

$$f = \frac{17qa^4}{48EJ} = 0,95 \text{ см}.$$



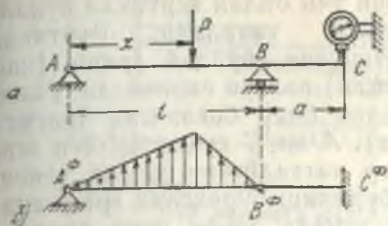
7.34- масалага оид

$\theta_B$ ) графоаналитик усулда аниқланг. Натижаларни аналитик усулда текширинг.

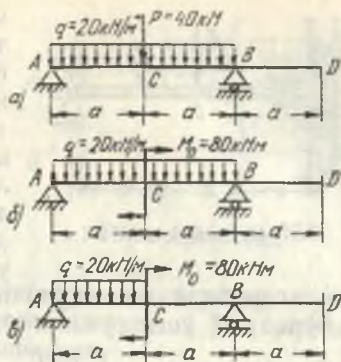
Қўрсатма. 7.31 масалага қаранг (расм, б). Расм, в — д да кўрсатилганидек M эпюрани қисмларга ажратиш усулидан ҳам фойдаланиш мумкин. Эгувчи

7.34. Агар  $M = Pa$  деб қабул қилинса, консолли балка учун қулоч ўртасидаги эгилишлар катталигини ( $f_C$ ) ва эркин учидagi эгилиш катталигини ( $f_D$ ), шунингдек таянч кесимлар ( $\theta_B$  ва  $\theta_D$ ) ва охири кесим ( $\theta_D$ ) бурилиш бурчакларини графоаналитик усулда аниқланг.

Қўрсатма.  $Q^C$  ва  $M^C$  ни аниқлаш учун сохта балкани (расм, б) l узунликдаги осма балка  $ACBC$  га ва асосий балкага (a узунликдаги консолга) ажратиш қулай (расм, в га қаранг). Эпюрани қисмларга ажратиш усулидан ҳам фойдаланиш мумкин (7.32-масалага қаранг).



7.35- масалага онд



7.36- масалага онд

Жавоб:

$$f_C = \frac{Pal^3}{8EJ}; \quad f_D = -\frac{Pa^2}{6EJ}(3l + 2a);$$

$$\theta_A = -\theta_B = \frac{Pal}{2EJ};$$

$$\theta_D = -\frac{Pa}{2EJ}(l + a).$$

7.35. Балканинг эркин учигаги эгилиш қулочдаги юкнинг ҳар хил вазиятларида индикатор ёрдамида ўлчанади. Индикатор энг қатта қийматни кўрсатиши учун  $P$  юкни чапки  $A$  таянчдан қандай  $x$  масофада жойлаштириш керак?

Кўрсатма.  $B$  нуқтадаги сохта реакцияни  $x$  масофанинг функцияси сифатида ифодалаш ва уни максимумга текшириш керак (расм, б).

Жавоб:  $x = \frac{l}{\sqrt{3}} \approx 0,577 l.$

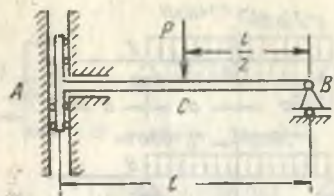
7.36. Расмда тасвирланган балкалар учун қулоч ўртасидаги ( $f_C$ ) ва консолнинг эркин учигаги ( $f_D$ ) эгилишлар катталигини графоаналитик усулда аниқланг. Агар  $a = 2$  м,  $EJ = 10 \cdot 10^{10}$  Н·см<sup>2</sup> бўлса, чап таянч ва унг охири кесимлар ( $\theta_A$  ва  $\theta_B$ ) нинг бурилиш бурчакларини ҳам топинг. 7.31, 7.32 ва 7.34 масалаларга доир кўрсатмалардан фойдаланинг.

Жавоб:

| Схема | Эгилишлар, см |       | Бурилиш бурчаклари |            |
|-------|---------------|-------|--------------------|------------|
|       | $f_C$         | $f_D$ | $\theta_A$         | $\theta_D$ |
| a     | -1,2          | 1,87  | -0,00934           | 0,00934    |
| б     | -0,667        | 1,33  | -0,0040            | 0,00667    |
| в     | -0,33         | 0,73  | -0,00167           | 0,00367    |

7.37. Машина элементи қулочи  $l$  га тенг бўлган балкадан иборат. Балка бир учи билан шарнирли қўзғалувчан таянчга,





7.37- масалага оид

иккинчи учи билан вертикал йўналтирувчига тиралади. Вертикал йўналтирувчи бўйлаб эркин (ишқаланмай) ползун сирпанади, у балка билан бикр боғланган (расмга қаранг). А ва С нуқталардаги эгилишлар катталигини ҳамда таянчдаги бурилиш бурчагини графоаналитик усулда ушбу икки вариант учун аниқланг:

а) агар балканинг қулочи ўртасига тўпланган куч  $P$  қўйилган бўлса; б) ўша кучнинг ўзи ползунга қўйилган бўлса.

Жавоб: а)  $f_A = -\frac{11 Pl^3}{48 EJ}$ ,  $f_C = -\frac{Pl^3}{6 EJ}$ ,  $\theta_B = \frac{3 Pl^2}{8 EJ}$ ;

б)  $f_A = -\frac{3 Pl^3}{3 EJ}$ ,  $f_C = -\frac{Pl^3}{16 EJ}$ ;  $\theta_B = \frac{Pl^2}{6 EJ}$ .

7.38. Қўштавр балка № 24 ни унинг қулочи ўртасига қўйилган тўпланган куч  $P$  билан синаш керак. Балкани учларидан шарнирли тиралган деб ҳисоблаб, энг катта нормал кучланишлар ва энг катта эгилиш рухсат этиладиган қийматларга етиши учун зарур бўлган балка қулочи  $l$  ни ҳамда зарур юк  $P$  қийматини танланг.  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ ,  $[f] = 0,5 \text{ см}$ .

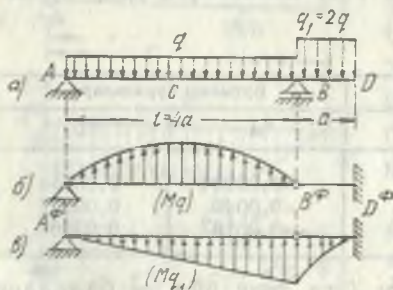
Жавоб:  $l = 300 \text{ см}$ ,  $P = 61,5 \text{ кН}$ .

7.39. Кучлар таъсирининг мустақиллик принциpidан фойдаланиб, расмда тасвирланган балка учун қулоч ўртасидаги ( $f_C$ ) ва эркин учидаги ( $f_D$ ) эгилишлар катталигини графоаналитик усулда аниқланг.

Кўрсатма. Ҳар бир юкдан бўладиган эгилишларни алоҳида-алоҳида аниқланг (расм, б ва в га қаранг) ва уларни ишораларини ҳисобга олиб қўшинг.

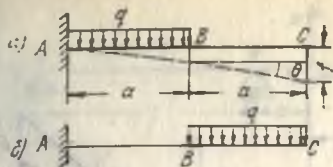
Жавоб:  $f_C = -\frac{7 qa^4}{3 EJ}$ ;

$f_D = \frac{13 qa^4}{12 EJ}$ .

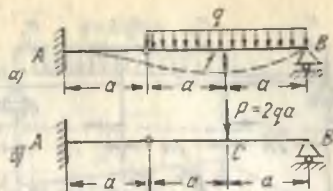


7.39- масалага оид

7.40. Бутун узунлиги бўйича тенг тақсимланган юк  $q$  билан юкланган консол учун эркин учидаги абсолют қиймат бўйича эгилиш  $f = \frac{ql^4}{8 EJ}$  га, бурилиш бурчаги эса  $\theta = \frac{ql^3}{6 EJ}$  га эга эканлигини билиб, геометрик мулоҳазалардан қуйидагиларни аниқланг: а) узунлигининг ярмига юкланган консолнинг охириги кесими эгилиш катталигини ва бурилиш бурча-



7.40-масалага онд



7.41-масалага онд

гини; б) ўша кесимнинг Эгилиш катталиги ва бурилиш бурчагини  $AB = a$  узунлик бўйича тақсимланган нагрукани ўша узунликдаги  $BC$  участкага сурилган ҳол учун аниқланг.

Жавоб: а)  $f_c = -\frac{7qa^3}{24EJ}$ ,  $\theta_c = -\frac{qa^4}{6EJ}$ ;

б)  $f_c = -\frac{41qa^4}{24EJ}$ ,  $\theta_c = -\frac{7qa^4}{6EJ}$ .

7.41. Балканинг  $2a$  узунлигига тенг тақсимланган юкни (расм, а) қулоч ўртасига қўйилган тўпланган куч  $P = 2qa$  билан алмаштирилса, шу осма балканинг ўртасидаги эгилиш катталиги қандай ўзгаришини аниқланг (расм, б).

Жавоб: а)  $f = -\frac{3qa^4}{8EJ}$

б)  $f = -\frac{qa^4}{2EJ}$

7.42. Қулочи  $l$  бўлган, учлари шарнирли тиралган балка ўз оғирлиги таъсирида турибди. Агар балканинг ҳамма ўлчамларини  $n$  марта катталаштирилса, энг катта нормал ва уринма кучланишлар, таянч кесимларнинг бурилиш бурчаклари ва қулоч ўртасидаги эгилиш қандай ўзгаришини аниқланг. Агар балканинг тиралиш шарти ўзгарса, энг катта кучланишлар ва чуқишлар қандай ўзгаради?

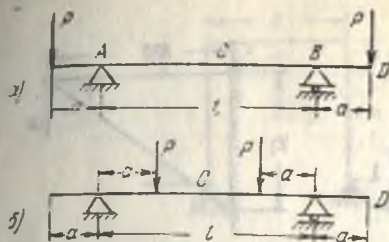
Жавоб: 1) Эгилиш  $n^2$  марта ўзгаради, бошқа ҳамма катталиклар  $n$  марта ўзгаради. 2) Фақат хусусий оғирлик таъсирида бу нисбатлар балканинг тиралиш схемасига боғлиқ бўлмайди.

7.43. Агар расмда тасвирланган балканинг қулочи  $l = 6$  м, консолнинг узунлиги  $a = 2$  м,  $M = 20$  кНм,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Н/см<sup>2</sup>,  $J = 3500$  см<sup>4</sup> бўлса, қулоч ўртасидаги ва эркин учидаги эгилишлар катталиги ва йўналишини график усулда аниқланг. Олинган натижаларни графоаналитик усулда текширинг.

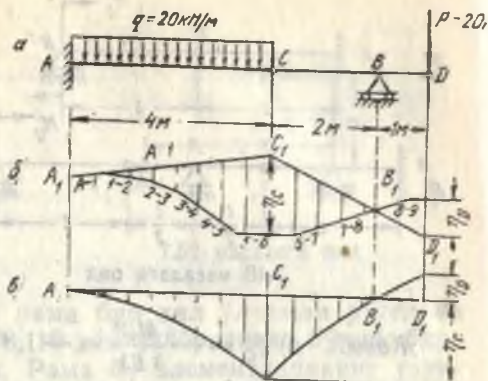
Ечим. Эгилишларни аниқлаш сохта юкланиш эгувчи моментларининг эпюрасини ясашдан иборат бўлади. Танланган узунликлар масштабида балка схемасини чизамиз ва унинг учун эгувчи моментлар эпюрасини ясаймиз. М эпюра юзасини яхлит сохта юкланиш сифатида қабул қилиб, уни бир неча юк юзалари  $\omega_1, \omega_2$  ва  $\chi$  к. га бўламиз, яъни яхлит юкланишни тўпланган сохта кучлар (юк юзаларининг оғирлик марказларига қўйилган ва  $\omega_1 = \omega_2 = 20$  кНм<sup>2</sup>,  $\omega_3 = \omega_4 = 40$  кНм<sup>2</sup>,  $\omega_5 = \omega_6 = 20$  кНм<sup>2</sup> га тенг бўлган кучлар билан алмаштирамиз.







7.44- масалага оид



7.45- масалага оид

Графоаналитик ечимда куйидаги жавоблар олинади:

$$f_C = -\frac{7 M_0 a^2}{4 EJ} = -2 \text{ см}, \quad f_D = \frac{2 M_0 a^2}{EJ} = 2,29 \text{ см}.$$

7.44. График усулдан фойдаланиб, расмда кўрсатилган икки балка учун, агар  $P = 40 \text{ кН}$ ,  $l = 4a = 4 \text{ м}$  ва  $EJ = 4000 \text{ кНм}^2$  бўлса, эгилган ўқни ясанг ҳамда қулоч ўртасидаги эгилишлар ( $f_C$ ) ва консолнинг эркин учидаги эгилишлар ( $f_D$ ) катталигини аниқланг.

Яшаш натижаларини графоаналитик усулда текшириб кўринг.

Жавоб: а)  $f_C = 2 \text{ см}$ ,  
 $f_D = -2,33 \text{ см}$ ;  
 б)  $f_C = -1,83 \text{ см}$ ;  
 $f_D = 1,5 \text{ см}$ .

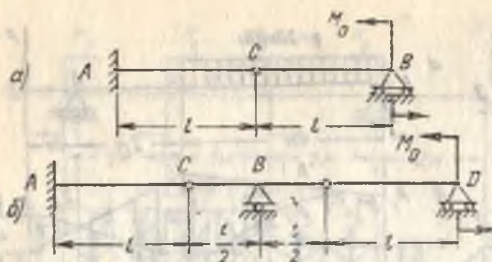
7.45. Агар балканинг бикрлиги  $EJ = 24000 \text{ кНм}^2$  бўлса (расм, а га қаранг), балканинг шарнирли эгилган ўқини ясанг ҳамда шарнирдаги эгилишни ( $f_C$ ) ва  $P$  куч остидаги кесимдаги эгилиш ( $f_D$ ) катталигини аниқланг. График ечим натижаларини аналитик усулда текширинг.

Қўрсатма. Берилган балка асосий ва осма балкаларга ажралганлиги учун иккита туташтирувчи чизикни: асосий балка учун  $A_1C_1$  чизикни (арқон кўпбурчакнинг биринчи томони бўлаб йўналган, чунки  $\theta_A = 0$  ва  $f_A = 0$ ) ва шарнир  $C_1$  ҳамда таянч  $B_1$  орқали ўтадиган иккинчи чизик  $C_1D_1$  ни (осма балка учун, расм, б) чизиш керак. Арқон эгри чизигини горизонтал нолиғчи ўққа келтириш мумкин (расм, в).

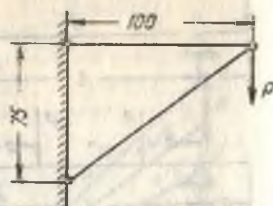
Жавоб:  $f_C = -1,77 \text{ см}$ ;  $f_D = 0,8 \text{ см}$ .

7.46. Агар  $M_0 = 60 \text{ кНм}$  бўлса, расмда тасвирланган балкалар учун шарнир  $C$  нинг вертикал силжишларини графоаналитик ва график усулларда аниқланг. Рухсат этиладиган кучлаиш  $[\sigma] = 16000 \text{ Н/см}^2$ ,  $l = 3 \text{ м}$  бўлса, балканинг қўштаврли кесимини энг катта эгувчи момент бўйича танланг.





7.46- масалага оид



7.48- масалага оид

Жавоб: а)  $f_C = -\frac{M_0 l^2}{3 EJ} = -1,8 \text{ см}$  (қўштавр № 27)

б)  $f_C = \frac{M_0 l^2}{3 EJ} = 1,8 \text{ см.}$

7.47. 7.22 масалада берилган шарнирли балкалар учун берилган ўлчамлар ва юкланишларда шарнирдаги ( $f_C$ ) ва эркин учидаги ( $f_D$ ) эгилишлар катталигини график усулда аниқланг. Балканинг горизонтал нолинчи чизиққа келтирилган эгилган ўқини ясанг.

Жавоб. 7.22 масалага қаранг.

## 24- §. Кўчишларни аниқлашнинг энергетик усуллари

7.48. Расмда кўрсатилган кронштейн элементларида тўпланган деформациянинг потенциал энергияси билан ташқи кучлар иши орасидаги боғлиқликдан фойдаланиб, 120 кН га тенг куч  $P$  қўйилган узелнинг вертикал кўчиш катталигини аниқланг. Пўлат тортқининг кесими 10 см<sup>2</sup>, қарағайдан қилинган тиракнинг кесими 250 см<sup>2</sup>.

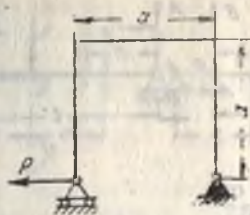
Жавоб: 0,273 см.

7.49. Қулочи  $l$  бўлган ва учларидан шарнирли тиралган балка қулочининг ўртасига тўпланган вертикал куч  $P$  ва тўпланган момент  $M$  таъсир қилади. Балканинг бикрлиги  $EJ$  доимий. Балка деформациясининг потенциал энергияси нимага тенг?

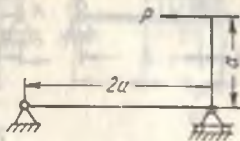
Жавоб:  $\frac{P^2 l^3}{96 EJ} + \frac{M^2 l}{24 EJ}$

7.50. Қулочи  $l$ , бикрлиги  $EJ$  ва баландлиги  $h$  бўлган доимий кесимли балка соф эгилиш таъсирида турибди. Балкадаги энг катта нормал кучланишлар рухсат этиладиган кучланишларга  $[\sigma]$  га тенг деб ҳисоблаб, балкада тўпланган потенциал энергиянинг миқдорини ҳисобланг.

Жавоб:  $\frac{2 [\sigma]^2 l}{E h^2}$



7.51-масалага онд



7.52-масалага онд

**7.51.** Расмда кўрсатилган рама бир хил ўлчамли ригел ва стойкага эга, улар қўштавр № 10 дан тайёрланган бўлиб, бири-бирига қаттиқ маҳкамланган. Рама бу элементларининг узунлиги  $a=100$  см. Раманинг қўзғалувчан таянчини чапга силжитишга интиладиган горизонтал куч  $P=6000$  Н. Эгилиш потенциал энергияси билан куч  $P$  иши орасидаги боғлиқликдан фойдаланиб, рама чап таянчининг силжишлари қийматини аниқланг.

**Жавоб:**  $\frac{5}{3} \frac{Pa^3}{EJ} = 2,525$  см.

**7.52.** Қулочи  $2a=4$  м бўлган ва икки таянчга тиралган балканинг ўнг томонига  $a=2$  м баландликдаги стойка қаттиқ маҳкамланган (расмга қаранг). Стойканинг юқори учига горизонтал куч  $P=9000$  Н қўйилган. Балка ҳам, стойка ҳам қўштаврлар № 16 дан ясалган. Ташқи кучларнинг иши эгилишдаги потенциал энергияга тенг бўлганлигидан фойдаланиб,  $P$  куч қўйилган нуқтанинг горизонтал кўчиш қийматини ҳисобланг. Агар ҳисоблаш вақтида балканинг сиқилиш потенциал энергияси ҳам ҳисобга олинса, силжиш қиймати қандай ўзгаради?

**Жавоб:** 4,12 см; фақат 0,009 см га ўзгаради.

**7.53.** Қулочи 6 м бўлган қўштаврли пулат балка № 22 бир учи билан шарнирли қўзғалмас таянчга, иккинчи учи билан винтли цилиндрик пружинага таянади. Пружина ўқининг диаметри 10 см, пружина стерженининг диаметри 2 см, ўрамлар сони 6. Балка қулочининг ўртасига қўйилган куч  $P=20$  кН таъсирида шу системада тўпланган потенциал энергия миқдорини ҳисобланг. Потенциал энергия билан ташқи кучларнинг иши орасидаги боғлиқликдан фойдаланиб, балка ўрта қисмининг вертикал кўчиш катталигини аниқланг.

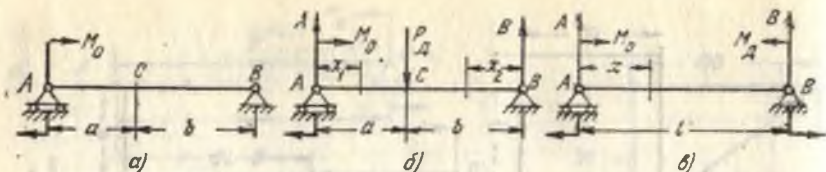
**Жавоб:** 36,4 кНм; 3,64 см.

**7.54.** Кастильяно теоремаси ёрдамида балканинг  $C$  кесимидаги эгилишни (расм, схема  $a$  га қаранг), шунингдек балка охириги кесимларини бурилиш бурчакларини аниқланг.

*Ечим.*  $C$  нуқтага қўшимча куч  $P$  ни қўйиб, кейин эгилишни интеграллар йиғиндиси сифатида ҳисоблаш керак:

$$y_C = \frac{1}{EJ} \int_{(a)} M_1 \frac{\partial M_1}{\partial P_K} dx + \frac{1}{EJ} \int_{(b)} M_1 \frac{\partial M_2}{\partial P_K} dx.$$





7.54- масалага оид

Берилган юк ва куч  $P_K$  ли балкани кўрсатиб, кесимлар абсциссаларини  $x_1$  ва  $x_2$  билан белгилаймиз (схема, б), таянч реакцияларни ҳисоблаймиз:

$$A = -\frac{M_0}{l} + P_K \frac{b}{l}, \quad B = \frac{M_0}{l} + P_K \frac{a}{l}.$$

Сўнгра барча интеграл остидаги қийматларни ҳисоблаймиз:

$$M_1 = M_0 - M_0 \frac{x_1}{l} + P_K \frac{b}{l} x_1, \quad \frac{\partial M_1}{\partial P_K} = \frac{b}{l} x_1,$$

$$M_2 = M_0 \frac{x_2}{l} + P_K \frac{a}{l} x_2, \quad \frac{\partial M_2}{\partial P_K} = \frac{a}{l} x_2.$$

Хусусий ҳосилаларни ҳисоблагандан сўнг,  $P_K$  ни нолга тенг деб олиш керак. Қидириладиган эгилиш

$$y_C = \frac{1}{EJ} \left[ \int_0^a M_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right) \frac{bx}{l} dx + \int_0^b M_0 \frac{x^2 a}{l^2} dx \right] = M_0 \frac{ab(a^2 + 3ab + 2b^2)}{6EJ(a+b)^3}.$$

Балка чап учи А нинг бурилиш бурчагини аниқлаш учун берилган схема а учун таянч реакцияларни ҳисоблаш,  $M(x)$  ифодани тузиш, берилган  $M_0$  момент бўйича ҳосила олиш ва қуйидаги интегрални ҳисоблаш керак:

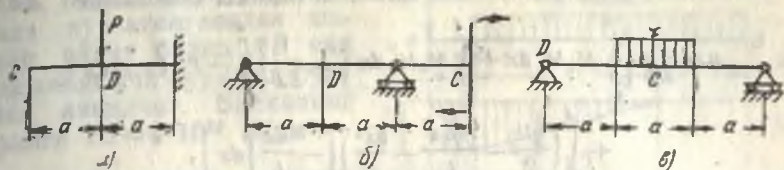
$$\theta_A = \frac{1}{EJ} \int_0^l M(x) \frac{\partial M(x)}{\partial M_0} dx = \frac{1}{EJ} \int_0^l M_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 dx = \frac{M_0 l}{3EJ}.$$

Балка ўнг учи В нинг бурилиш бурчагини аниқлаш учун балкани юклаш-нинг янги схемаси В ни кўриб чиқиш керак. Бунда балканинг чап учидagi берилган момент  $M$  дан ташқари яна ўнг учи В га  $M_K$  момент ҳам қўйилган. Таянч реакцияларни, эгувчи момент  $M_K(x)$  ни, хусусий ҳосила  $M(x)$  ни (бусхема, б учун  $M_K$  бўйича) ҳисоблаб, қидириладиган бурилиш бурчагини аниқлайдиган интеграл тузамиз:

$$\theta_B = \frac{1}{EJ} \int_0^l M(x) \frac{\partial M(x)}{\partial M_K} dx = \frac{1}{EJ} \int_0^l M_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right) \frac{x}{l} dx = \frac{M_0 l}{6EJ}.$$

Барча уч жавоб ҳам мусбат ишоратга эга. Бу шунни билдирадики, эгилиш йўналиши  $y_C$  пастга қараган ( $P_K$  куч каби), чап таянчдаги бурилиш бурчаги соат стрелкаси йўналишида (хусусий ҳосила  $M_0$  каби) ҳамда ўнг таянчдаги бурилиш бурчаги соат милага тескари йўналган ( $M_K$  каби).

7.55. Кастильяно теоремаси ёрдамида расмда кўрсатилган балкалар учун С кесимнинг эгилишини ва D кесимнинг бури-

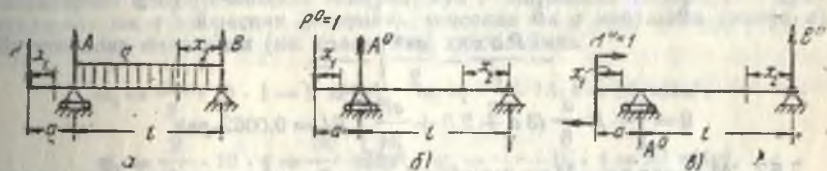


7.55- масалага оид

лиш бурчагини аниқланг.  $P=21$  кН,  $M=21$  кНм,  $q=12$  кН/м, балкаларнинг кесими қўштавр № 12.

Жавоб: а)  $-\frac{5}{6} \frac{Pa^3}{EJ} = -2,5$  см,  $\frac{Pa^2}{2EJ} = 0,015$  рад;  
 б)  $-\frac{7}{6} \frac{Ma^2}{EJ} = -3,5$  см,  $\frac{Ma}{12EJ} = 0,0025$  рад;  
 в)  $-\frac{205}{384} \frac{qa^4}{EJ} = -0,916$  см,  $-\frac{13}{24} \frac{qa^3}{EJ} = -0,0093$  рад.

7.56. Максвелл—Мор усулида расмда кўрсатилганча юкланган пулат балка консоли учининг эгилиши ва бурилиш бурчагини аниқланг.  $P=20$  кН,  $q=30$  кН/м,  $l=4$  м,  $a=1$  м,  $I=3500$  см<sup>4</sup>.



7.56- масалага оид

Ечи м и. Балка кесимининг силжиши (эгилиши ёки бурилиш бурчаги) Максвелл—Мор бўйича қуйидагича ифодаланади:

$$\Delta = \sum_{(i)} \int \frac{M \cdot M^0}{EJ} dx.$$

Бу ерда  $M(x)$  ёки  $M$ —берилган юкланиш схемасида балка кесимидаги эгувчи момент (схема а га қаранг),  $M^0$ —якка юкланишдан ўша кесимидаги эгувчи момент. Эгилишни аниқлашда якка юкланиш сифатида шу эгилиш қидириладиган кесимга қўйилган юк  $P^0=1$  қабул қилинади (схема б га қаранг). Параллел тарзда қуйидаги ҳисобларни бажарамиз:

Схема а бўйича юкланиш

$$B = \frac{ql}{2} - P \frac{a}{l},$$

$$M_1 = -Px_1,$$

$$M_2 = \left( \frac{ql}{2} - P \frac{a}{l} \right) x_2 - \frac{qx_2^2}{2};$$

Схема б бўйича юкланиш

$$B^0 = P^0 \frac{a}{l} = \frac{a}{l},$$

$$M_1^0 = -1 x_1 = -x_1,$$

$$M_2^0 = -\frac{a}{l} x_2.$$



Энди эгилиш  $y$  ни икки интервал йиғиндиси сифатида ҳисоблаймиз:

$$y = \frac{1}{EJ} \left[ \int_0^a M_1 M_1^* dx + \int_0^l M_2 M_2^* dx \right] = \frac{1}{EJ} \left[ \int_0^a -Px(-x) dx + \right. \\ \left. + \int_0^l \left( \frac{qlx}{2} - \frac{Pax}{l} - \frac{qx^2}{2} \right) \left( -\frac{ax}{l} \right) dx \right], \\ y = \frac{Pa^2(a+l)}{3EJ} - \frac{qal^3}{24EJ} = -0,667 \text{ см.}$$

«Минус» ишораси эгилиш  $P^0$  куч йўналишига тескари томонга йўналганлигини билдиради.

Консол учининг бурилиш бурчагини аниқлаш учун яна бир юкланиш ҳолатини (схема, в), яъни консол учига момент  $M^0=1$  қўйилган ҳолни кўриб чиқамиз. Бу ҳолатда ўнг таянчнинг таянч реакцияси ва якка эгувчи моментлар қуйидагича ифодаланади.

$$B^0 = \frac{M^0}{l} = \frac{1}{l}, \quad M_1^* = 1, \quad M_2^* = \frac{x}{l}.$$

Берилган юкланиш (схема, а) дан ҳосил бўладиган  $M_1$  ва  $M_2$  ларнинг қийматлари олдинроқ топилган. Қидирилатган бурилиш бурчаги қуйидаги интеграллар йиғиндисидан аниқланади:

$$EJ \theta = \int_0^a M_1 M_1^* dx + \int_0^l M_2 M_2^* dx = \int_0^a -Px \cdot 1 \cdot dx + \int_0^l \left( \frac{qlx}{2} - \right. \\ \left. - \frac{Pax}{l} - \frac{qx^2}{2} \right) \frac{x}{l} dx. \\ \theta = \left[ -P \frac{a}{6} (3a + 2l) + \frac{ql^3}{24} \right] : EJ = 0,0062 \text{ рад.}$$

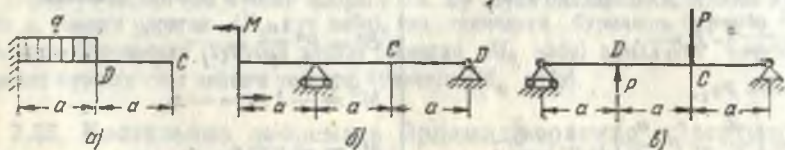
7.57. Максвелл—Мор усулида расмда кўрсатилган балкалар учун  $C$  кесимнинг эгилиш катталигини ва  $D$  кесимнинг бурилиш бурчагини аниқланг.  $P=18 \text{ кН}$ ,  $M=10 \text{ кНм}$ ,  $q=12 \text{ кН/м}$ ,  $a=1 \text{ м}$ , балкаларнинг кесими қўштавр № 10.

Жавоб:

а)  $-\frac{7qa^4}{24EJ} = -0,884 \text{ см}, \quad -\frac{qa^3}{6EJ} = -0,00505 \text{ рад};$

б)  $\frac{Ma^2}{4EJ} = 0,632 \text{ см}, \quad -\frac{Ma}{3EJ} = -0,00842 \text{ рад};$

в)  $-\frac{Pa^3}{18EJ} = -0,2525 \text{ см}, \quad -\frac{Pa^2}{18EJ} = -0,002525 \text{ рад.}$



7.57- масалага оид

7.58. Верешчагин усулида расмда кўрсатилганидек юкланган пўлат балка АВ чап консолининг учи бурилиш бурчагини аниқланг. Балканинг бикрлиги  $EJ=4 \cdot 10^{10}$  Н/см<sup>2</sup>.

Ечим и: Балканинг бир неча участкалари юкланган ҳолларда исталган кўчиш  $\Delta$  қуйидаги формуладан ҳисобланади:

$$\Delta = \sum \omega \cdot \frac{M^0_C}{EJ},$$

бунда  $\omega$  — берилган юклиниш эгувчи моментининг эпюраси юзаси,  $M^0_C$  — силжиш қидирилатган кесимга қўйилган якка юк  $P^0 = 1$  ёки  $M^0 = 1$  эгувчи моментининг эпюраси ординатаси. Ордината  $M^0_C$  балка участкасининг шундай кесимида олиндики, шу участкада берилган юклиниш эгувчи моментни эпюрасининг оғирлик маркази шу кесим қаршисига туғри келади.

Кучларнинг таъсирларини қўшиш усулидан фойдаланиб, эгувчи момент эпюраларини алоҳида-алоҳида ясаймиз: куч  $P$  эпюрасини (эпюра, б), қулоч чегарасида юк  $q$  эпюрасини (эпюра, в), консолда юк  $q$  эпюрасини (эпюра, г). Шу эпюралар юзаларини (юк юзаларини) ҳисоблаймиз.

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 1 = 5 \text{ кНм}^2, \quad \omega_2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4 = 20 \text{ кНм}^2,$$

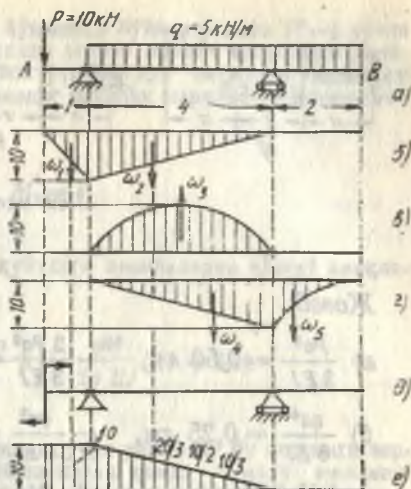
$$\omega_3 = \frac{2}{3} \cdot 10 \cdot 4 = \frac{80}{3} \text{ кНм}^2, \quad \omega_4 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4 = 20 \text{ кНм}^2,$$

$$\omega_5 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 2 = \frac{20}{3} \text{ кНм}^2.$$

Балка консолининг чап учига момент  $M^0 = 1$  ни қўямиз (схема, д) ва шу якка юкнинг эгувчи момент эпюрасини ясаймиз (схема, е). Схемалар б, в ва г ларда кўрсатилган юк юзаларининг оғирлик марказлари қаршисига туғри келадиган ординаталар  $M^0_C$  қийматларини ҳисоблаймиз. Бу ординаталар схема, е да берилган. Сўнгра А кесимнинг бурилиш бурчаги қийматини ҳисоблаймиз.

$$EI \theta_A = -0,5 \cdot 1 - 20 \cdot \frac{2}{3} + \frac{80}{3} \cdot \frac{1}{2} - 20 \cdot \frac{1}{3} - \frac{20}{3} \cdot 0 = -\frac{70}{6} \text{ кНм}^2.$$

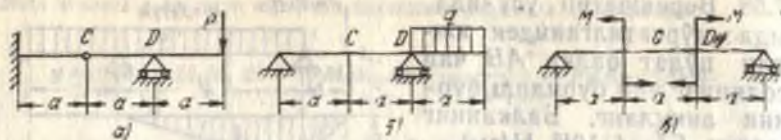
$$\theta_A = -\frac{70 \cdot 10^7}{6 \cdot 4 \cdot 10^{10}} = -0,0029 \text{ рад.}$$



7.58- масалага онд

7.59. Верешчагин усулидан фойдаланиб, расмда кўрсатилган балкаларнинг С кесимидаги эгилиш катталигини ва D кесимидаги бурилиш бурчагини аниқланг. Ҳар қайси балканинг бикрлиги  $EJ=8 \cdot 10^9$  Н/см<sup>2</sup>,  $P=12$  кН,  $M=8$  кНм,  $q=16$  кН/м,  $a=1$  м.





7.59- масалага оид

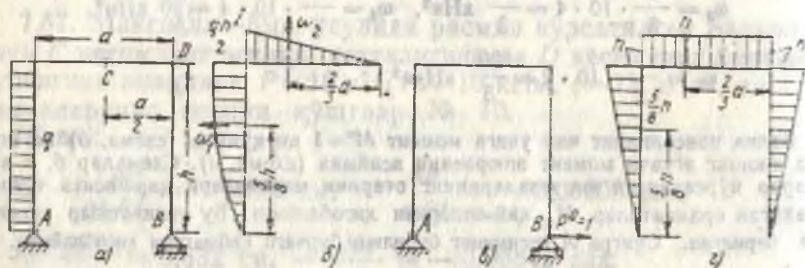
Жавоб:

а)  $\frac{Pa^3}{3EJ} = 0,50 \text{ см}, \quad -\frac{2Pa^2}{3EJ} = -0,01 \text{ рад};$

б)  $\frac{qa^4}{8EJ} = 0,25 \text{ см}, \quad -\frac{qa^3}{3EJ} = -0,0067 \text{ рад};$

в)  $\frac{5Ma^2}{8EJ} = 0,625 \text{ см}, \quad -\frac{Ma}{2EJ} = -0,005 \text{ рад}.$

7.60. Расмда кўрсатилган рама  $B$  таянчининг текис тақсимланган юкланиш таъсирида горизонтал силжишини аниқланг. Шунингдек,  $C$  кесимнинг вертикал силжишини ва  $D$  кесимнинг бурилиш бурчагини ҳам аниқланг. Раманинг барча участкаси бикрлиги бир хил ва ўзгармас.



7.60- масалага оид

Е ч и м и. Масалани Кастильяно теоремаси, Максвелл — Мор интеграллари ёки Верещачин усулида ечиш мумкин. Биз Верещачин усулида ечамиз. Берилган юкланишдан (схема, а) эгувчи момент эпюрасини ясаймиз (схема, б). Юзаларнинг огирлик марказлари вазиятини кўрсатамиз ва эпюранинг ҳар бир участка қиймати юзасини ҳисоблаймиз:

$$\omega_1 = \frac{2}{3} \frac{qh^2}{2} h = \frac{qh^3}{3}, \quad \omega_2 = \frac{1}{2} \frac{qh^2}{2} a = \frac{qh^2a}{4}.$$

Қидирилаётган қўчиш жойида унинг йўналиши бўйича рамага  $P^0=1$  кучни қўяйиз (схема, в). Ана шу якка юкланишдан эгувчи момент эюрасини ясай-  
миз (схема, г) ва бу эюранинг ҳар қайси участкасида берилган юкланиш  
эюрасининг ҳар қайси участкаси юзаларининг огирлик маркази вазиятига мос  
келадиган ординатани белгилаймиз:

$$M_1^0 = \frac{5}{8} h, \quad M_1^0 = h.$$

Рама В таянчининг горизонтал қўчиши қуйидаги ҳосилаларни қўшиб аниқла-  
нади:

$$\Delta_B = \frac{1}{EJ} \left( \frac{qh^3}{3} \frac{5}{8} h + \frac{qh^2 a}{4} h \right) = \frac{qh^3}{24 EJ} (5h + 6a).$$

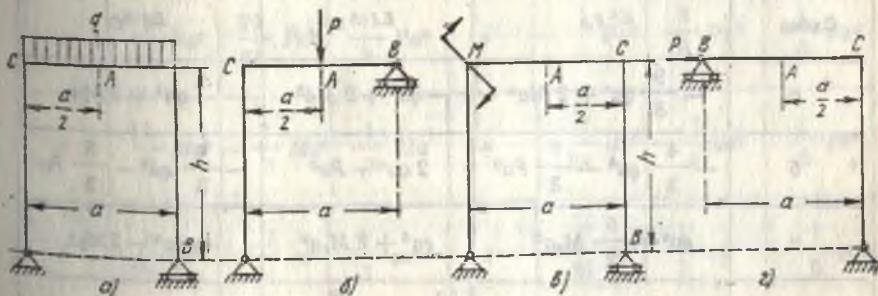
С кесимнинг вертикал қўчишини аниқлаш учун раманинг бу кесими-  
га вер-  
тикал таъсир қиладиган  $P^0=1$  кучни қўйиш керак ҳамда бундай юкланиш  
ҳолати учун эгувчи момент эюрасини ясаш, сўнгра шу эюранинг берилган  
юкланиш эюралари юзаларининг огирлик марказлари вазиятларига мос коор-  
динаталарни ҳисоблаш керак (схема, б). Сўнгра яна берилган юкланиш эюра-  
лари юзаларини якка юк эюраларининг ординаталарига кўпайтириш опера-  
цияларини бажариш керак. Бу ҳосилаларни қўшиб ва бикрлик қийматига  
бўлиб, С кесимнинг вертикал силжиш катталигини аниқлаймиз.

Д кесимнинг бурилиш бурчагини аниқлаш учун раманинг  $M^0=1$  момент  
билан юкланиш ҳолатини кўриб чиқиш керак. Бу момент бурилиш бурчаги  
аниқланиши керак бўлган кесимга қўйилади, сўнгра юқориди бажарилган опе-  
рациялар яна такрорланади.

Жавоб:

$$y_C = -\frac{qh^2 a^2}{32 EJ}; \quad \theta_D = \frac{qh^2 a}{12 EJ}.$$

7.61.—7.63. Исталган энергетик усулда расмда кўрсатилган  
статик аниқланадиган ҳамда барча участкалардаги бикрлик  $EJ$   
ўзгармас ҳамда бир хил бўлган рамаларнинг А кесимидаги  
вертикал қўчиш ( $y_A$ ), В кесимидаги горизонтал қўчиш  $\Delta_B$  ва  
С кесимидаги бурилиш бурчаги ( $\theta_C$ ) катталикларини аниқланг.



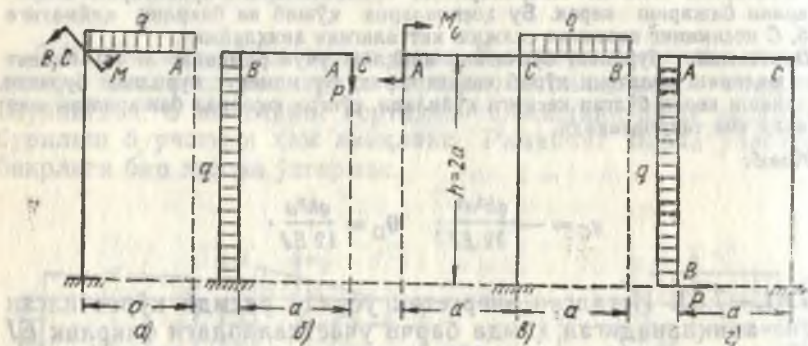
7.61-масалага оид



Жавобларда манфий ишора билан пастга ва чапга йўналган кўчишлар кўрсатилган. Манфий бурилиш бурчаги соат миلى бўйича йўналган.

7.61- масала жавоби.

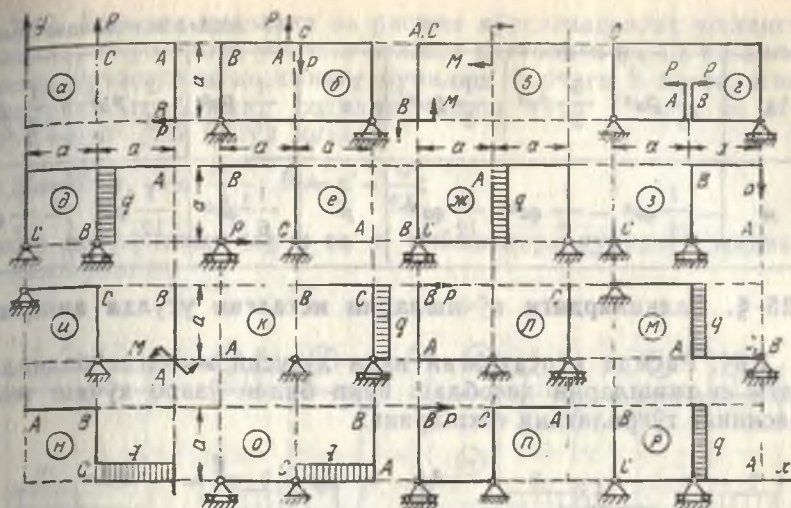
| Схема | $EJ \cdot y_A$        | $EJ \cdot \Delta_B$     | $EJ \cdot \theta_C$  |
|-------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| a     | $-\frac{5}{384} qa^4$ | $\frac{1}{12} qa^3h$    | $-\frac{1}{24} qa^3$ |
| b     | $-\frac{1}{48} Pa^3$  | $\frac{1}{16} Pa^2h$    | $-\frac{1}{16} Pa^3$ |
| в     | $-\frac{1}{16} Ma^2$  | $\frac{1}{2} Mah$       | $\frac{1}{6} Ma$     |
| г     | $\frac{1}{16} Pha^3$  | $\frac{1}{3} Ph^2(a+h)$ | $-\frac{1}{3} Pha$   |



7.62- масалага оид

7.62- масала жавоби

| Схема | $EJ \cdot y_A$                         | $EJ \cdot \Delta_B$                     | $EJ \cdot \theta_C$                    |
|-------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| a     | $-\frac{9}{8} qa^4 + 2 Ma^3$           | $-qa^4 + 2 Ma^2$                        | $-qa^3 + 2 Ma$                         |
| b     | $-\frac{4}{3} qa^4 - \frac{7}{3} Pa^3$ | $2 qa^4 + Pa^3$                         | $-\frac{4}{3} qa^3 - \frac{5}{2} Pa^2$ |
| в     | $qa^4 + \frac{5}{2} M_0 a^2$           | $qa^4 + 2 M_0 a^2$                      | $-qa^3 - 2 M_0 a$                      |
| г     | $-qa^4 - 3 Pa^3$                       | $\frac{22}{3} qa^4 + \frac{28}{3} Pa^3$ | $2 Pa^2$                               |



7.63- масалага оид

7.63- масала жавоби

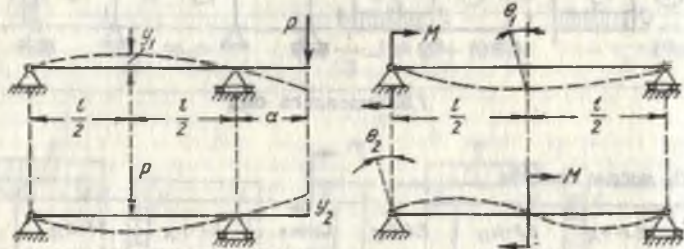
| Схема | $EJ \cdot y_A$      | $EJ \cdot \Delta_B$  | $EJ \cdot \theta_C$ | Схема | $EJ \cdot y_A$       | $EJ \cdot \Delta_B$   | $EJ \cdot \theta_C$  |
|-------|---------------------|----------------------|---------------------|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| a     | $-\frac{7}{6} Pa^3$ | $-\frac{11}{6} Pa^3$ | $-\frac{1}{2} Pa^2$ | д     | $-\frac{1}{3} qa^4$  | $-\frac{29}{24} qa^4$ | $\frac{11}{12} qa^3$ |
| б     | $\frac{5}{3} Pa^3$  | $-\frac{5}{6} Pa^3$  | $\frac{11}{6} Pa^2$ | е     | $-Pa^3$              | $\frac{5}{6} Pa^3$    | $-Pa^2$              |
| в     | $-\frac{1}{2} Ma^2$ | $\frac{3}{2} Ma^2$   | $Ma$                | ж     | $-\frac{1}{4} qa^4$  | $-\frac{4}{3} qa^4$   | $-\frac{7}{24} qa^3$ |
| г     | $\frac{1}{4} Pa^3$  | $\frac{29}{24} Pa^3$ | $\frac{1}{2} Pa^2$  | з     | $-\frac{1}{3} Pa^3$  | $\frac{5}{6} Pa^3$    | $\frac{1}{6} Pa^2$   |
| и     | $\frac{11}{6} Ma^2$ | $-\frac{7}{3} Ma^2$  | $\frac{1}{3} Ma$    | к     | $-\frac{7}{24} qa^4$ | $-\frac{1}{6} qa^4$   | $\frac{1}{6} qa^3$   |
| к     | $\frac{1}{12} qa^4$ | $-\frac{7}{24} qa^4$ | $\frac{1}{3} qa^3$  | о     | $-\frac{7}{24} qa^4$ | $\frac{1}{3} qa^4$    | $-\frac{1}{6} qa^3$  |



|     |                      |                     |                     |     |                    |                     |                      |
|-----|----------------------|---------------------|---------------------|-----|--------------------|---------------------|----------------------|
| $l$ | $\frac{5}{6} Pa^3$   | $\frac{5}{3} Pa^3$  | $\frac{1}{6} Pa^3$  | $n$ | $\frac{1}{6} Pa^3$ | $\frac{2}{3} Pa^3$  | $\frac{1}{6} Pa^3$   |
| $m$ | $-\frac{1}{24} qa^4$ | $-\frac{1}{8} qa^4$ | $\frac{1}{12} qa^3$ | $p$ | $\frac{1}{6} qa^4$ | $\frac{1}{12} qa^4$ | $-\frac{1}{12} qa^3$ |

## 25- §. Балкалардаги кўчишларни исталган усулда аниқлаш

7.64. Расмда кўрсатилган икки хусусий мисолда балкалардаги силжишларни ҳисоблаш йўли билан ўзаро кўчиш теоремасининг тўғрилигини текширинг.



7.64- масалага оид

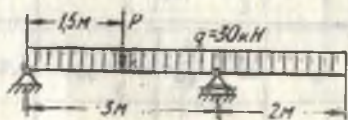
Жавоб:  $y_1 = y_2 = \frac{Pl^2a}{16EJ}$ ;  $\theta_1 = \theta_2 = \frac{Ml}{24EJ}$ .

7.65. Икки таянчга тиралган консолли балка расмда кўрсатилгандек юкланган. Консол учигаги эгилиш нолга тенг бўлиши учун  $P$  кучи қанча бўлиши лозим?

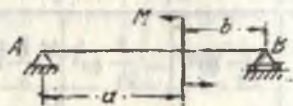
Жавоб: 100 кН.

7.66. Икки таянчга тиралган балка расмда кўрсатилганидек тупланган момент билан юкланган. Момент қўйилган кесимдаги эгилиш катталигини ва ҳар қайси таянчдаги бурилиш бурчагини аниқланг.

Жавоб:  $y = -\frac{Mab(a-b)}{3EJ(a+b)}$ ;  $\theta_A = -\frac{M(a^2+2ab-2b^2)}{6EJ(a+b)}$ ;  
 $\theta_B = -\frac{M(b^2+2ab-2a^2)}{6EJ(a+b)}$ .



7.65- масалага оид

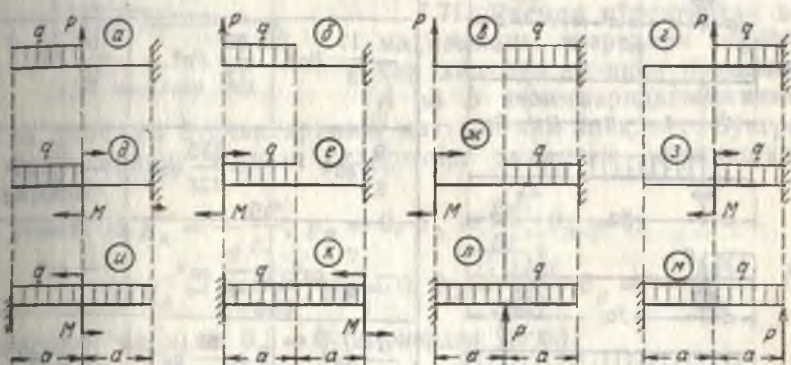


7.66- масалага оид

7.67. Бир учи қисилган ва расмда кўрсатилгандек юкланган балкалар учун эркин учининг эгилиш катталиги  $y_k$  ни ва балка қулочи ўртасидаги кесимнинг бурилиш бурчаги  $\theta$  катталигини аниқланг. Ҳисоблашни соддалаштириш учун  $P=q \cdot a$  ва  $M=P \cdot a=q \cdot a^2$  деб қабул қилинг.

Жавоб:  $y_k = \kappa \cdot \frac{q \cdot a^4}{EI}$ ;  $\theta = \kappa' \cdot \frac{q a^3}{EI}$ ;

Сонли коэффициентлар  $\kappa$  ва  $\kappa'$  қийматлари қуйидаги жадвалда келтирилган.

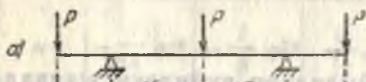
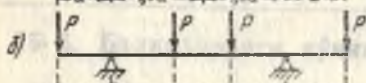
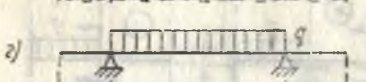
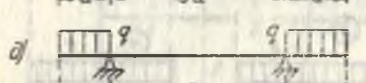
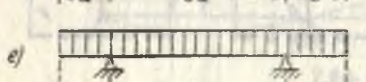
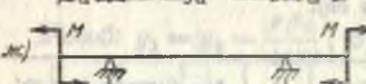
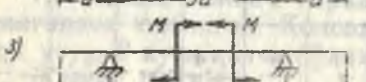


7.67-масалага онд

| Схема | $\kappa$        | $\kappa'$      | Схема | $\kappa$        | $\kappa'$      | Схема | $\kappa$        | $\kappa'$      | Схема | $\kappa$        | $\kappa'$      |
|-------|-----------------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|-----------------|----------------|-------|-----------------|----------------|
| a     | $-\frac{7}{8}$  | $\frac{1}{2}$  | б     | $\frac{23}{24}$ | $-\frac{1}{2}$ | в     | $\frac{19}{8}$  | $-\frac{4}{3}$ | г     | $\frac{13}{24}$ | $-\frac{1}{3}$ |
| д     | $-\frac{5}{24}$ | 0              | е     | $\frac{7}{24}$  | 0              | ж     | $\frac{41}{24}$ | $-\frac{5}{6}$ | з     | $\frac{29}{24}$ | $-\frac{5}{6}$ |
| и     | $-\frac{1}{2}$  | $-\frac{1}{6}$ | к     | 0               | $-\frac{1}{6}$ | л     | $-\frac{7}{6}$  | $-\frac{2}{3}$ | м     | $\frac{2}{3}$   | $\frac{1}{3}$  |

7.68. Икки консолли симметрик балкалар 206-бетдаги жадвалда келтирилган расмларда кўрсатилган симметрик юк билан юкланган. Консол учигаги эгилиш катталиги  $y_u$  ни, қулоч ўртасидаги эгилиш катталиги  $y_s$  ни, чап таянчдаги кесимнинг бурилиш бурчаги катталигини ҳарфлар тарзида аниқланг.



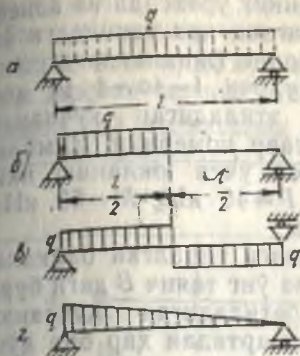
| Схема                                                                              | Жавоб                 |                         |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
|                                                                                    | $EJy_y$               | $EJy_z$                 | $EJ\theta$           |
|   | $-\frac{61}{48} Pa^3$ | $\frac{9}{16} Pa^3$     | $\frac{15}{16} Pa^2$ |
|   | $-\frac{5}{6} Pa^3$   | $\frac{1}{6} Pa^3$      | $\frac{1}{2} Pa^2$   |
|   | $-\frac{17}{6} Pa^3$  | $\frac{25}{12} Pa^3$    | $\frac{5}{2} Pa^2$   |
|   | $\frac{9}{8} qa^4$    | $-\frac{135}{128} qa^4$ | $-\frac{9}{8} qa^3$  |
|   | $-\frac{7}{8} qa^4$   | $\frac{9}{16} qa^4$     | $\frac{3}{4} qa^3$   |
|   | $\frac{1}{4} qa^4$    | $-\frac{63}{128} qa^4$  | $-\frac{3}{8} qa^3$  |
|   | $-2 Ma^2$             | $\frac{9}{8} Ma^2$      | $\frac{3}{2} Ma$     |
|  | $\frac{1}{2} Ma^2$    | $-\frac{5}{8} Ma^2$     | $-\frac{1}{2} Ma$    |

7.69. Бир учидан қисилган, қулочи 2 м га тенг бўлган қўш-таврли пўлат балка № 24 интенсивлиги 6 кН/м бўлган тенг тақсимланган юк билан юкланган. Энг катта нормал кучланишлар 160 МПа дан ошмаслиги учун балканинг эркин учига қўшимча равишда қанча тўпланган  $P$  кучни қўйиш мумкин? Энг катта эгилиш 1/300 қулоч улушидан ошмаслиги керак.

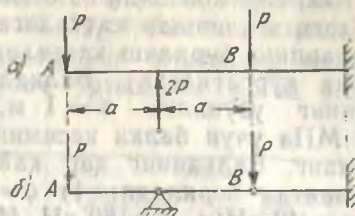
Жавоб:  $P=12800$  Н (бикрлик шартига кўра).

7.70. Схема,  $a$  бўйича юкланган балканинг ўрта кесимидаги эгилишни бирга тенг деб олиб (расмга қаранг) ва расмнинг қолган учта схемасидаги балкалар юкланишини бир-бирига таққослаб, шу уч балка ўрта кесимларидаги эгилишлар нимага тенг бўлишини аниқланг. Ҳисобларни таққослаш йўли билан схема,  $a$  бўйича, балканинг энг катта эгилиши балка  $a$  қулочининг ўртасидаги эгилишидан қанча кичиклигини аниқланг.

Жавоб. 1) 0,5; 0; 0,5; 2) 16 марта.



7.70- масалага оид



7.71- масалага оид

7.71. Расмда кўрсатилган ва маҳкамлаш шартлари бўйича ҳар хил бўлган икки балканинг A ва B кесимларидаги эгилишлар ва бурилиш бурчакларининг катталигини аниқланг. Сунгра бу балкаларнинг эгилган ўқларининг тахминий курунишини тасвирланг.

Жавоб: а)  $y_A = -\frac{Pa^3}{EJ}$ ,  $y_B = 0$ ,  $\theta_A = \frac{Pa^2}{EJ}$ ,  $\theta_B = 0$ ;

б)  $y_A = -\frac{2Pa^3}{3EJ}$ ,  $y_B = 0$ ,  $\theta_A = \frac{5Pa^2}{6EI}$ ,  $\theta_B = -\frac{Pa^2}{6EI}$

(шарнирдан чапда) ва  $\theta_B = 0$  (шарнирдан ўнгда)

7.72- масалага доир жадвал

| Схема | Вариант | Қўшғич номери | у <sub>у</sub> , см | у <sub>у</sub> , см | $\theta_A$ рад |
|-------|---------|---------------|---------------------|---------------------|----------------|
| а)    | 1       | 27            | -0,866              | 0,266               | -0,01067       |
|       | 2       | 27            | -0,931              | 0,196               | -0,00931       |
| б)    | 1       | 33            | 0,169               | -0,474              | 0,00068        |
|       | 2       | 30а           | -0,343              | -0,129              | -0,00343       |
| в)    | 1       | 27            | -0,067              | -0,566              | -0,00133       |
|       | 2       | 30            | -0,799              | 0,494               | -0,00659       |
| г)    | 1       | 27            | -0,498              | 2,413               | -0,00732       |
|       | 2       | 18            | 0                   | -0,711              | -0,00518       |
| д)    | 1       | 24а           | -0,658              | 0,844               | -0,00438       |
|       | 2       | 18            | 0                   | -0,194              | 0              |
| е)    | 1       | 24а           | -1,272              | 1,37                | -0,00965       |
|       | 2       | 33            | -0,881              | 0,89                | -0,00678       |



7.72. Бир консолли балкалар қулочининг ўртасида ва консол учидаги эгилишлар катталигини, шунингдек чап таянчдаги кесимларнинг бурилиш катталигини аниқланг (жадвалдаги расмларда кўрсатилган). Балкаларнинг қулочи  $l=4a=4$  м, консолнинг узунлиги  $a=1$  м. Рухсат этиладиган кучланиш 160 МПа учун балка кесимининг қўштавр номерини тахминан танланг. Балканинг ҳар қайси схемаси учун юкланиш икки вариантда берилади: 1)  $q=20$  кН/м,  $P=40$  кН,  $M=60$  кНм; 2)  $q=40$  кН/м,  $P=60$  кН,  $M=20$  кНм.

7.73. Расмда кўрсатилган икки таянчга тиралган балкалар учун С кесимдаги эгилиш катталигини ва ўнг таянч В даги бурилиш бурчагини аниқланг. Рухсат этиладиган кучланиш  $16000 \text{ Н/см}^2$  бўлгандаги мустаҳкамлик шартидан ҳар бир қўштаврли балканинг кесимини тахминан танланг ёки жавобли жадвалда кўрсатилган қўштаврлар номерлари ҳақидаги маълумотлардан фойдаланинг. Балка юклашнинг икки варианты берилади: 1)  $q=20$  кН/м,  $P=40$  кН,  $M=60$  кНм ва 2)  $q=40$  кН/м,  $P=60$  кН,  $M=30$  кНм. Балкалар қулочи

7.73- масалага доир жадвал

| Схема | Вариант | Қўштавр номери | Жавоб      |                  |                   |
|-------|---------|----------------|------------|------------------|-------------------|
|       |         |                | $u_C$ , см | $\theta_B$ , рад | $\Delta u_C$ , см |
| a)    | 1       | 33             | -1,355     | 0,00926          | -0,031            |
|       | 2       | 40             | -1,197     | 0,00806          | -0,022            |
| б)    | 1       | 27а            | -1,212     | 0,00707          | -0,045            |
|       | 2       | 30             | -1,319     | 0,00675          | -0,038            |
| в)    | 1       | 36             | -1,295     | 0,00822          | -0,027            |
|       | 2       | 45             | -1,117     | 0,00692          | -0,017            |
| г)    | 1       | 27             | -0,355     | -0,00488         | -0,046            |
|       | 2       | 30             | -1,130     | 0,00832          | -0,038            |
| д)    | 1       | 27             | -0,444     | 0,00866          | -0,046            |
|       | 2       | 20             | 0          | 0,00785          | -0,084            |
| е)    | 1       | 27а            | -1,858     | 0,01192          | -0,045            |
|       | 2       | 36             | -1,046     | 0,00775          | -0,027            |

$l = 3a = 6$  м. Агар ҳар қайси балканинг хусусий оғирлигини ҳисобга олинса, уларнинг эгилиши қандай  $\Delta y_c$  қийматга ўзгаради?

7.74. Расмларда кўрсатилган балкаларнинг эгилишлар катталигини ҳарфлар тарзида аниқланг. Қулоч ўртасидаги ( $y_x$ ) ва консол учидаги ( $y_y$ ) эгилишларни аниқланг.

| Схема | Жавоб               |                       |
|-------|---------------------|-----------------------|
|       | $EI y_x$            | $EI y_y$              |
|       | $\frac{1}{12} Pa^3$ | $-\frac{3}{4} Pa^3$   |
|       | $\frac{5}{12} Pa^3$ | $-\frac{5}{4} Pa^3$   |
|       | $\frac{1}{4} Ma^2$  | $-\frac{7}{12} Ma^2$  |
|       | $-\frac{1}{4} Ma^2$ | $\frac{13}{12} Ma^2$  |
|       | $\frac{1}{48} qa^4$ | $-\frac{13}{14} qa^4$ |
|       | $\frac{1}{48} qa^4$ | $-\frac{5}{16} qa^4$  |

7.75. Қўштавр кесимли балкалар 210-бетдаги расмда кўрсатилганидек юкланган. Қулоч ўртасидаги ( $y_x$ ) ва консол учидаги ( $y_y$ ) эгилишлар катталигини, шунингдек ўнг таянчдаги бурилиш бурчакларини аниқланг. Участка узунлиги  $a = 2$  м, ҳар қайси балка схемаси учун юкланиш икки вариантда берилди: 1)  $M = 20$  кНм,  $P = 30$  кН,  $q = 10$  кН/м. 2)  $M = 30$  кНм,  $P = 20$  кН,  $q = 2$  кН/м.

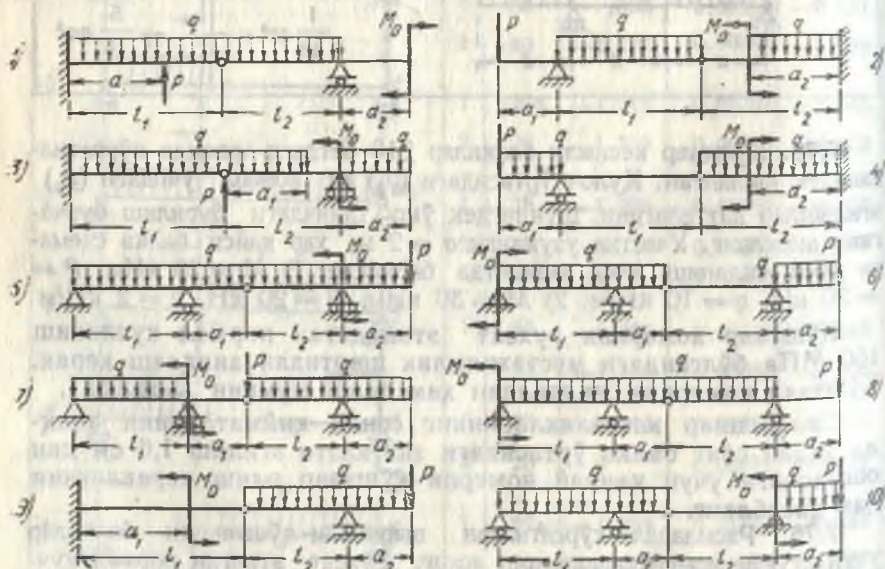
Қўштавр номерини рухсат этиладиган нормал кучланиш 160 МПа бўлгандаги мустаҳкамлик шартидан аниқлаш керак. Қўштавр номерини жадвалдан ҳам олиш мумкин (3-графа).

Силжишлар катталикларининг сонли қийматларини аниқлагандан сўнг балка ўртасидаги энг катта эгилиш 1,6 см дан ошмаслиги учун қандай номерли қўштавр олиш кераклигини ҳам ҳисобланг.

7.76. Расмларда кўрсатилган шарнирли-қўштаврли балкалар учун эгувчи момент эпюрасини ясанг, рухсат этилган нормал кучланиш 160 МПа бўлганда қўштавр номерини танланг, сўнггра шар-



| Схема | Вариант | Мустақиллик шартига кўра Кунгавар номери | Жавоб                   |                         |                              |                                       |
|-------|---------|------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
|       |         |                                          | $\nu_y \cdot \text{см}$ | $\nu_z \cdot \text{см}$ | $\theta_B \cdot \text{град}$ | Биринчи шартига кўра қўш таъри номери |
|       | 1       | 24a                                      | -3,16                   | 1,23                    | 0,00878                      | 30a                                   |
|       | 2       | 20                                       | -2,54                   | -1,63                   | 0                            | 24                                    |
|       | 1       | 27                                       | 2,4                     | -3,87                   | -0,01533                     | 40                                    |
|       | 2       | 22a                                      | 2,87                    | -4,42                   | -0,01732                     | 36                                    |
|       | 1       | 24a                                      | -3,16                   | 1,49                    | 0,00878                      | 30a                                   |
|       | 2       | 22a                                      | -0,96                   | -1,67                   | -0,00478                     | 27                                    |
|       | 1       | 27                                       | -0,27                   | -2,13                   | -0,00667                     | 36                                    |
|       | 2       | 30                                       | -2,64                   | 0,75                    | 0,008                        | 36                                    |
|       | 1       | 18                                       | 3,10                    | -4,40                   | -0,01805                     | 27a                                   |
|       | 2       | 22a                                      | 2,87                    | -4,18                   | -0,01735                     | 36                                    |
|       | 1       | 20a                                      | -4,61                   | 2,30                    | 0,01642                      | 30                                    |
|       | 2       | 30                                       | -2,92                   | 1,84                    | 0,01120                      | 36                                    |



7.76- масалага оид

шардаги ( $y_2$ ) ва консолнинг эркин учигаги  $y_u$  эгилиш катталигини аниқланг. Ўлчамлар ва юкланишлар жадвалда кўрсатилган.

7.76. масалага доир

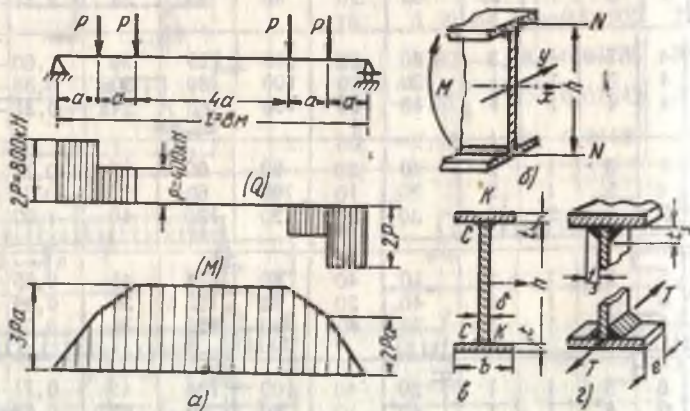
| Схема | Вариант | $l_1$ | Ўлчамлар, м |       |       | Юкланиш |      |       |           | Жавб                   |            |       |
|-------|---------|-------|-------------|-------|-------|---------|------|-------|-----------|------------------------|------------|-------|
|       |         |       | $l_1$       | $a_1$ | $a_2$ | $P$     |      | $M_0$ | $M_{max}$ | Про-<br>филь<br>номери | Эгилиш, см |       |
|       |         |       |             |       |       | кН      | кН/м | кН.м  | кН.м      |                        | $y_u$      | $y_u$ |
| 1     | а       | 3     | 5           | 1     | 1     | 100     | 40   | 160   | 272       | 55                     | -0,77      | -0,01 |
|       | б       | 4     | 4           | 3     | 1     | 80      | 20   | 100   | 110       | 36                     | 0,65       | -0,71 |
|       | в       | 3     | 5           | 1     | 1     | 50      | 20   | 80    | 136       | 20                     | -1,12      | -0,01 |
| 2     | а       | 4     | 4           | 2     | 2     | 20      | 40   | 80    | 440       | 65                     | -1,07      | 0,56  |
|       | б       | 3     | 4           | 1     | 1     | 30      | 20   | 100   | 190       | 45                     | -1,44      | 0,45  |
|       | в       | 4     | 4           | 2     | 2     | 10      | 20   | 40    | 220       | 50                     | -1,38      | 0,72  |
| 3     | а       | 4     | 2           | 1     | 1     | 100     | 10   | 80    | 140       | 40                     | 2,25       | -0,99 |
|       | б       | 3     | 5           | 3     | 2     | 100     | 20   | 120   | 84        | 30а                    | 1,13       | 1,80  |
|       | в       | 5     | 6           | 1     | 2     | 60      | 20   | 40    | 43        | 24                     | 2,51       | -1,18 |
| 4     | а       | 4     | 5           | 1     | 3     | 40      | 20   | 140   | 125       | 36                     | 1,60       | -0,71 |
|       | б       | 4     | 3           | 1     | 1     | 30      | 20   | 100   | 80        | 30а                    | 0,88       | -0,64 |
|       | в       | 4     | 4           | 1     | 1     | 40      | 20   | 100   | 53        | 24а                    | -0,31      | -1,01 |
| 5     | а       | 4     | 3           | 1     | 2     | 10      | 20   | 60    | 60        | 27                     | -0,12      | -0,13 |
|       | б       | 4     | 5           | 1     | 2     | 20      | 10   | 100   | 60        | 27                     | -0,36      | 1,78  |
|       | в       | 5     | 4           | 2     | 2     | 30      | 20   | 120   | 130       | 40                     | -1,02      | 0,61  |
| 6     | а       | 5     | 3           | 1     | 2     | 10      | 40   | 80    | 174       | 45                     | 0,55       | -0,93 |
|       | б       | 6     | 3           | 1     | 1     | 40      | 20   | 60    | 125       | 36                     | 0,96       | -0,57 |
|       | в       | 4     | 3           | 1     | 1     | 20      | 40   | 80    | 123       | 36                     | 0,56       | -0,38 |
| 7     | а       | 6     | 3           | 1     | 1     | 20      | 40   | 100   | 194       | 45                     | 0,71       | -0,20 |
|       | б       | 5     | 4           | 1     | 1     | 40      | 10   | 80    | 59        | 27                     | 0,68       | -0,02 |
|       | в       | 4     | 3           | 1     | 2     | 40      | 20   | 80    | 57        | 27                     | 0,65       | -1,18 |
| 8     | а       | 4     | 3           | 1     | 1     | 80      | 40   | 90    | 90        | 33                     | -0,21      | -0,24 |
|       | б       | 4     | 5           | 2     | 1     | 20      | 10   | 80    | 80        | 30а                    | -1,89      | 0,46  |
|       | в       | 4     | 3           | 1     | 1     | 20      | 40   | 20    | 73        | 30                     | -0,19      | 0,20  |
| 9     | а       | 2     | 3           | 1     | 2     | 20      | 10   | 60    | 70        | 30                     | 0,73       | -1,69 |
|       | б       | 3     | 4           | 1     | 2     | 50      | 20   | 100   | 140       | 40                     | 0,54       | -1,43 |
|       | в       | 2     | 4           | 1     | 2     | 120     | 20   | 240   | 300       | 55                     | 0,40       | -1,11 |
| 10    | а       | 6     | 4           | 2     | 2     | 10      | 20   | 60    | 63        | 27а                    | 0,48       | 0,48  |
|       | б       | 4     | 3           | 2     | 1     | 20      | 40   | 80    | 120       | 36                     | -0,90      | 0,50  |
|       | в       | 3     | 2           | 1     | 1     | 40      | 20   | 40    | 40        | 22а                    | 0,18       | -0,33 |



## ТАРКИБИЙ БАЛКАЛАР. ЎЗГАРУВЧАН КЕСИМЛИ БАЛКАЛАР

## 26-§. Таркибий балкалар

8.1. Агар рухсат этиладиган кучланишлар: эгилишда чўзилиш ва сиқилишга  $[\sigma] = 160$  МПа, асосий металлнинг қирқилишга  $[\tau] = 100$  МПа ва чокларнинг қирқилишга рухсат этилган кучланиши  $[\tau_s] = 80$  МПа бўлса, краности пайванд балкасининг қўштаврли кесимини танланг. Балка ҳар бири  $P = 400$  кН дан бўлган тўртта тенг куч би-



8.1-масалага оид

лан юкланган (расм, а). Қабул қилинган кесимни IV мустаҳкамлик назарияси бўйича тўлиқ текширинг ва  $[f] = \frac{1}{500} l = 1,6$  см да балканинг бикрлигини текширинг. Балканинг хусусий оғирлигини ҳисобга олманг.

Ечим. Кўндаланг кучлар ва эгувчи моментлар эпюралари раси, а да кўрсатилган.  $Q_{max} = 800$  кН,  $M_{max} = 1200$  кН·м, кесимнинг зарур қаршилик моменти

$$W > \frac{M_{max}}{[\sigma]} = \frac{1200 \cdot 10^5}{16000} = 7500 \text{ см}^3.$$

Нормал сортамент жадвалида зарур қаршилик моментли қўштавр бўлмаганлигидан лист металлдан таркибий кесимни лойиҳалаш керак, яъни девор ва икки токчани пайванд чоклар билан бирлаштиришни кўзда тутиш керак.

а) Кесим ўлчамларини тахминий танлаш учун конструктив мулоҳазалардан келиб чиқиб хوماки ҳисоблаб кўрилади. Кейинчалик текшириш ҳисобини бажариб ўлчамларга тузатиш киритилади.

Деворнинг ўлчами эмпирик формула бўйича олинади:

$$h = 1,2 \sqrt{\frac{W}{\delta}} \approx 1,2 \sqrt{W} = 1,2 \sqrt{7500} = 104 \text{ см.}$$

( $W$ —см<sup>3</sup> да). Деворнинг қалинлиги  $\delta$  кўчишга мустаҳкамлик шартидан танланади, лекин камида 0,6 см олинади. Кўндаланг куч  $Q$  бутунлай деворга таъсир қилганлиги учун уни баландлиги  $h$  ва қалинлиги  $\delta$  бўлган тўғри тўртбurchак деб қабул қилиб, шартли равишда қуйидагича ҳисоблаш мумкин:

$$\tau_{\max} = \frac{3Q_{\max}}{2h\delta} \leq [\tau], \text{ бундан } \delta \geq \frac{3Q_{\max}}{2[\tau]h} = \frac{3 \cdot 800000}{2 \cdot 10000 \cdot 100} = 1,2 \text{ см.}$$

Биз  $h = 100$  см ва  $\delta = 1,2$  см деб оламиз.

Токча кесимининг ўлчамларини тахминий белгилаш учун токчаларга эгувчи момент елкаси тахминан  $h$  га тенг бўлган (80 — 85 %) жуфт кучлар  $N$  тарзида таъсир қилади деб тахмин қилинади (расм, б). Демак,  $N = \frac{0,8 M}{h}$ . Куч токчаларнинг қўзилишига ва сиқилишига сабаб бўлади. Шунинг учун токча кесимининг юзаси

$$F_r \geq \frac{N}{[\sigma]} = \frac{0,8 \cdot M}{h[\sigma]} = \frac{0,8 \cdot 1200 \cdot 10^3}{100 \cdot 16000} = 60 \text{ см}^2.$$

Одатда, конструктив мулоҳазаларга кўра токчаларнинг энини  $b = (0,3 \div 0,4) h$  деб олинади. Биз  $b = 30$  см деб олиб, токчанинг қилинлигини топамиз:  $t =$

$$= \frac{F_r}{b} = \frac{60}{30} = 2 \text{ см.}$$

Белгиланган ўлчамларни аниқлаштириш учун кесимнинг марказий ўққа нисбатан инерция моментини ва қаршилик моментини ҳисоблаш керак:

$$J_y = \frac{\delta h^3}{12} + 2 \left[ \frac{bt^3}{12} + b t \left( \frac{b+t}{2} \right)^2 \right] = \frac{1,2 \cdot 100^3}{12} + 2 \left[ \frac{30 \cdot 2^3}{12} + 2 \cdot 30 \cdot 51^2 \right] = 412000 \text{ см}^4,$$

$$W_y = \frac{J_y}{e_{\max}} = \frac{412000}{52} = 7900 \text{ см}^3 > 7500 \text{ см}^3.$$

Кесимни бир оз кичрайтириш, масалан, токчаларнинг ўлчамларини ўзгартириб кичрайтириш мумкин. Ҳар қайси токча кесимларининг зарур ўлчамлари тахминий ҳисоблаб топилган:  $b=31$  см ва  $t=1,8$  см. Бунда инерция momenti ва қаршилик momenti қуйидагига тенг бўлади:

$$J_y = 389000 \text{ см}^4, W_y = \frac{389000}{51,8} = 7500 \text{ см}^3.$$

Биз ана шуни қидираётган эдик.

Ярим кесимнинг нейтрал ўққа нисбатан статик momenti

$$S_y^0 = b t \frac{h+t}{2} + \frac{\delta h}{2} \frac{h}{4} = 31 \cdot 1,8 \cdot 50,9 + \frac{1,2 \cdot 100^2}{8} = 2840 + 1500 = 4340 \text{ см}^3.$$



б) Қабул қилинган кесимни текшириш учун қилинадиган ҳисоб. Энг катта нормал ва энг катта уринма кучланишлар қуйидагига тенг:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = 160 \text{ МПа}, \tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_y^0}{J_y \cdot \delta} = 74 \text{ МПа} < [\tau].$$

Мустаҳкамликнинг энергетика назариясига мувофиқ бош кучланишлар бўйича текшириш кучлар остидаги икки кесимда энг катта зўриққан нуқталар учун ба-жарилиши керак: а) бунда  $Q = Q_{\max}$  ва б)  $M = M_{\max}$ . (расм, е) бўлган кесимда деворнинг токчалар билан туташган жойларидаги С ва К нуқталар энг зўриққан нуқталар бўлиб чиқди. Ҳисобий кучланишлар:

$$\sigma_c^{IV} = \sqrt{\sigma_c^2 + 3\tau_c^2} = 159,8 \text{ МПа}, \sigma_k^{IV} = \sqrt{\sigma_k^2 + 3\tau_k^2} = 167 \text{ МПа}.$$

Ута кучланиш (токчанинг К нуқтасида) 4,3% ни ташкил қилди, бунга йўл қўйиш мумкин.

в) Пайванд чокларнинг мустаҳкамлигини текшириш. Иккита четдаги чок-ларга таъсир қиладиган ва токчанинг деворга нисбатан кўчишига йўл қўй-

майдиган бўйлама силжитувчи куч  $e$  узунликдаги участкада  $T = \frac{QS_y^T}{J_y}$   $e$  га тенг.

Шу узунлик  $e$  нинг ўзида икки чокнинг кесим юзаси (расм, з).  $F_q = 2 \cdot 0,7 \cdot t_q \cdot e = 1,4 \cdot t_q \cdot e$ , бунда  $t_q$  — чокнинг қалинлиги.

Чокларнинг қирқилишга мустаҳкамлик шартидан  $\frac{T}{F_q} \leq [\tau_s]$  ушбунни топамиз,

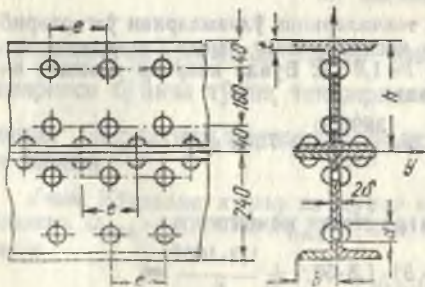
$$t_q \geq \frac{Q \cdot S_y^T}{1,4 \cdot J_y [\tau_s]}, \text{ бундан } t_q = 0,52 \text{ см. Биз } t_q = 6 \text{ мм деб қабул қиламиз.}$$

г) Кесимнинг бикрлигини текшириш. Балканинг бикрлигини баҳолаш учун энг катта эгилиш катталигини рухсат этиладиган катталиikka таққослаймиз. Эгилишда кўчишларни аниқлашнинг усулларида бирдан фойдаланиб қулоч ўртасида балка ўқининг эгилиш катталигини аниқлаймиз. Энг катта эгилиш қуйидагига тенг:

$$f = \frac{45Pa^3}{2EJ} = \frac{45 \cdot 400000 \cdot 100^3}{2 \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 389000} = 11,6 \text{ мм} < [f].$$

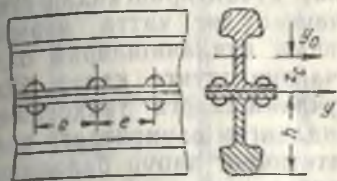
Эслатиб ўтамиз, кесимнинг бундан бошқа ҳам яроқли вариантларини тан-лаш мумкин.

8.2. Оғир юкларни суриш учун қурилишда мавжуд бўлган прокат швеллерлар № 24 дан вақтинчалик ҳавозалар қурилди. Қулочи  $l = 6$  м бўлган ҳар қайси балка тўрттадан швеллердан

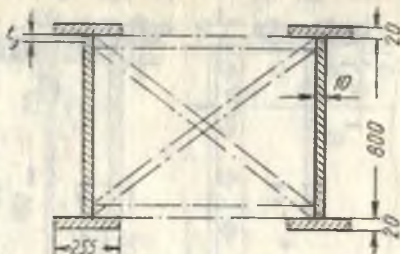


8.2- масалага оид

тузилган. Швеллерлар диа-метри  $d = 17$  мм ли парчин михлар ёрдамида токчалар ва деворлар тарзида парчин-лаб ясалган. Парчин михлар қадами  $e = 120$  мм (расмга қа-ранг). Хавфли кесимдаги кўн-даланг куч  $Q = 120$  кН, эгувчи момент  $M = 180$  кНм. Кесим-нинг парчин мих учун очил-ган тешиклар туфайли кучсиз-ланишини ҳисобга олиб, бал-канинг мустаҳкамлигини, шу-



8.3- масалага оид



8.4- масалага оид

нингдек энг кўп зуриққан вертикал парчин михларнинг мустаҳкамлигини ҳам текшириб кўринг. Рухсат этиладиган кучланишлар  $[\delta] = 160$  МПа ва  $[\tau] = 100$  МПа·см.

Жавоб.  $J_{ex} = 29200$  см<sup>4</sup>;  $J_z = 26000$  см<sup>4</sup>;  $S_y^0 = 735$  см<sup>3</sup>;

$\sigma_{max} = 157$  МПа;  $\tau_{max} = 26,7$  МПа;  $\tau_s = 79,5$  МПа.

8.3. Икки таянчда эркин ётган балка I-а типдаги икки рельсдан токчалари—токчаларга парчинлаб ясалган (расмга қаранг). Ҳар қайси рельс кесим юзаси  $F_0 = 55,6$  см<sup>2</sup>, унинг хусусий марказий ўқиға нисбатан юзасининг инерция моменти  $J_{y_0} = 1476$  см<sup>4</sup>, рельс товонидан оғирлик марказигача бўлган масофа  $z_c = 6,93$  см, парчин михларнинг диаметри  $d = 20$  мм. Агар қирқилишга рухсат этиладиган кучланишлар  $[\tau] = 100$  МПа, балка кесимидаги кундаланг кучнинг энг катта қиймати  $Q = 122,5$  кН бўлса, парчин михларнинг зарур қадами  $e$  ни аниқланг.

Жавоб:  $e = 110$  мм.

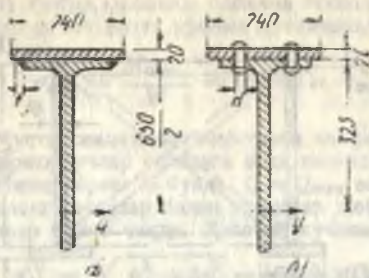
8.4. Вақтинчалик кўприкнинг қулочи параллел жойлашган иккита бўйлама пайванд балкалардан лойиҳаланади (расмга қаранг). Ҳар қайси балканинг кесими  $10 \times 800$  мм ли лист (девор) ва  $20 \times 255$  мм ли икки полоса токчадан иборат. Улар деворга катетлари  $t_c = 5$  мм ли чекка чоклар билан пайвандланган. Агар кўприкнинг хавфли кесимида эгувчи момент  $M = 140$  кН·м, ўша кесимдаги кундаланг куч  $Q = 1200$  кН, рухсат этиладиган кучланишлар  $[\sigma] = 160$  МПа, см,  $[\tau] = 100$  МПа ва  $[\tau_c] = 85$  МПа бўлса, кесимнинг мустаҳкамлигини текширинг. Мустаҳкамликнинг энергетика назариясидан фойдаланинг.

Жавоб:  $\sigma_{max} = 137$  МПа,  $\tau_{max} = 81$  МПа,

$\sigma_x^{IV} = 165,8$  МПа  $> [\sigma]$ ;  $\tau_c = 83,5$  МПа.

8.5. Қўштавр профиль № 65 ли краности балкасини кучайтиришнинг икки вариантини кўриб чиқинг; қўштавр токчаларига кесими  $20 \times 240$  мм ли бўйлама полосалар икки вариантда маҳкамланган: а) Узлуксиз чекка чоклар билан пайвандлаб ва





8.5-масалага оид

б)  $d=30$  мм диаметрли парчинмихлар ёрдамида (расмга қаранг). Ҳар қайси вариантдаги балкалар кучайтирилгандан сўнг ҳисобланган энг катта нормал ва уринма кучланишларни балка кучайтирилгунга қадар бўлган кучланишларга таққосланг. Пайвандланган вариантдаги чоклар катетининг зарур баландлиги  $t_ч$  ни ва парчинланган вариантдаги парчин михларнинг энг

катта рухсат этиладиган қадами  $e$  ни ҳам аниқланг (агар хавфли кесимдаги кўндаланг куч  $Q = 1000$  кН, чоклар ва парчин михларнинг қирқилишга рухсат этилган кучланишлари  $[\tau] = 100$  МПа бўлса), уринма кучланишларни ҳисоблаганда инерция моментини ва статик моментни бруттода қабул қилинг.

Жавоб: а) Пайвандланган вариант:  $\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = 0,515$ ;  $\frac{\tau_1}{\tau_0} = 0,92$ ,

$t_ч = 5,5$  мм. б) Парчинланган вариант:  $\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = 0,68$ ;  $\frac{\tau_1}{\tau_0} = 0,92$ ;  
 $e = 18,3$  см.

8.6. Парчинлаб ясалган қутисимон кўндаланг кесимли таркибий балка вертикал текисликда эгилишга ишлайди. Хавфли кесимдаги эғувчи момент  $M=800$  кНм, кўндаланг куч  $Q = 480$  кН, кесим иккита вертикал ва иккита горизонтал листлардан тузилган. Листларнинг кўндаланг ўлчамлари бир хил:  $b = h = 60$  см,  $t = 1$  см ҳамда тўртта тенг ёнли бурчаклик  $75 \times 75 \times 8$  мм дан иборат. Улар диаметри  $d=23$  мм ли парчинмихлар ёрдамида бириктирилган (расмга қаранг). Парчинмих тешиклари кесими 15 % ( $J_{ор}$  дан) кучсизланганлигини ҳисобга олиб, балканинг мустаҳкамлигини текширинг ва белбоғдаги горизонтал парчинмихларнинг энг катта рухсат этиладиган қадами  $e$  ни аниқланг. Эгилишда чўзилиш ва қирқилишга рухсат этиладиган кучланишлар  $[\sigma] = 16$  кН/см<sup>2</sup>, асосий металл ва парчинмихларнинг қирқилишга ва эзилишга рухсат этилган кучланишлари  $[\tau] = 10$  кН/см<sup>2</sup> ва  $[\sigma_s] = 25$  кН/см<sup>2</sup>.

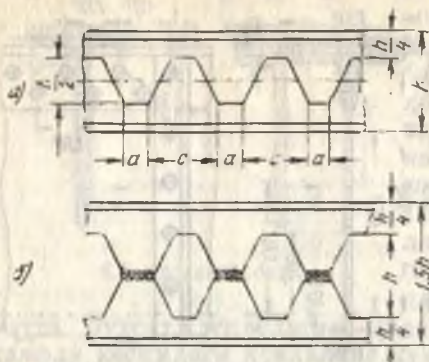
Жавоб:  $\sigma_{max} = 15,9$  кН/см<sup>2</sup> < 16 кН/см<sup>2</sup>;

$\tau_{max} = 4,4$  кН/см<sup>2</sup> < 10 кН/см<sup>2</sup>;  $e = 0,192$  см.

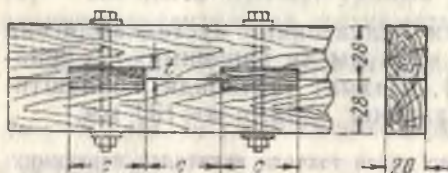
8.7. Агар хавфли кесимдаги эғувчи момент  $M=2400$  кНм, кўндаланг куч  $Q = 800$  кН, эгилишдаги чўзилишга ва сиқилишга рухсат этиладиган кучланишлар  $[\sigma] = 13$  кН/см<sup>2</sup>, асосий металл ва парчинмихларнинг қирқилишга ва парчинмихларнинг эзилишга рухсат этиладиган кучланишлари  $[\tau] = 8$  кН/см<sup>2</sup> ва  $[\sigma_s] = 25$  кН/см<sup>2</sup> бўлса, кесими  $1350 \times 12$  мм<sup>2</sup> бўлган девор, тўртта тенг ёнли бурчаклик  $140 \times 140 \times 12$  мм ва белбоғлик листлар  $350 \times 10$  мм<sup>2</sup> (ҳар тоқчада иккитадан лист) дан тузил-







8.10-масалага оид



8.11-масалага оид

қўштаврлардан ясалган балкани эгмай туриб қандай  $P$  кучни қўйиш мумкин бўларди? Рухсат этиладиган юкланишларни таққосланг.

Жавоб: а)  $P = 141$  кН; б)  $P = 118$  кН,  $P:P_1 \approx 1,2$ .

8.10. Курилишда мавжуд бўлган қўштавр №60 балкаларнинг ( $h = 60$  см) юк кўтарувчанлигини ошириш мақсадида ҳар қайси балкани расм, а да кўрсатилганидек қирқиш, сўнгра иккала ярмини расм, б да кўрсатилганидек пайвандлаш таклиф қилинади.

Агар  $a = \frac{h}{4} = 15$  см;  $c = 50$  см бўлса, лойиҳа амалга оширилгандан сўнг балкага қўйиладиган рухсат этиладиган юк қийматини қандай ўзгартириш мумкинлигини аниқланг (про-

центда). Балканинг қирқишдан кучсизланганлигини ҳисобга олинг.

Агар  $Q_{\max} = 200$  кН бўлса, қирқишга рухсат этиладиган кучланиш  $[\tau_s] = 9,2$  кН/см<sup>2</sup> да пайванд чокларнинг мустаҳкамлигини ҳам текширинг.

Жавоб: б) вариантда балканинг юк кўтарувчанлигини 51% ошириш мумкин,  $\tau_s = 8$  кН/см<sup>2</sup> < 9,2 кН/см<sup>2</sup>.

8.11. Қулочи  $l = 6$  м бўлган, икки учидан эркин тиралган ёғоч таркибий балка таянчлардан бир хил  $a = 2$  м масофада қўйилган тенг кучлар  $P = 45$  кН билан юкланган. Балка ҳар бирининг кесими  $20 \times 28$  см бўлган икки қарағай ғулани қарағай калодкалар ва болтлар ёрдамида бириктириб ясалган (расмга қаранг). Ҳар қайси калодканинг ўлчами  $c = 40$  см,  $h = 2t = 8$  см. Агар эгилишга рухсат этиладиган кучланишлар: чўзилиш ва сиқилишга  $[\sigma] = 1200$  Н/см<sup>2</sup>, толалар бўйлаб эгилишга  $[\sigma_s] = 1250$  кН/см<sup>2</sup> ва толалар бўйлаб синишга  $[\tau] = 120$  Н/см<sup>2</sup> бўлса, балканинг ва бириктириш элементларининг мустаҳкамлигини текширинг. Болт тешикларининг диаметри  $d = 2$  см. Кесимнинг қаршилик моменти 15% га кичрайганлигини ҳисобга олинг.

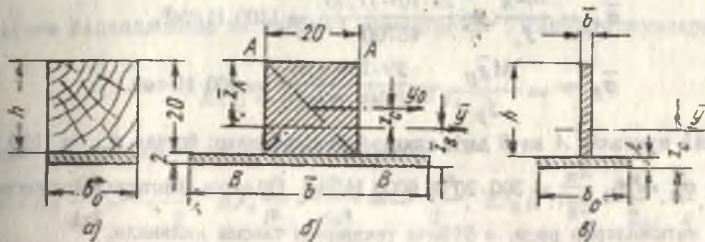
**Қўрсатма.** Кучсизланишни ҳисобга олганда кесимнинг инерция моментини  $J_n = J_{ор} - \Delta J$ , бунда  $\Delta J$  — болт тешиги ва калодка ўйғидан кучсизланиш инерция моменти. Бирикманинг кучсизланганлигини ҳисобга олиб, қаршилик моменти  $W_n = 0,85 \frac{J_n}{z_{\max}}$  деб қабул қилинади.

Бирикманинг мустақкамлиги бўйлама силжигувчи куч таъсирида текширилади,  $T = \frac{Q_{\max} \cdot S_y}{J_y} \cdot e$ , бунда  $J_y$  ва  $S_y$  брутто олинади (калодкалар ўқлари орасидаги масофа  $e = 2$  с).

Жавоб: а) балкалар учун  $J_{бр} = 293000 \text{ см}^4$ ;  $J_n = 263 \cdot 10^3 \text{ см}^4$ ;  
 $W_n = 8 \cdot 10^3 \text{ см}^3$ ;  $\sigma_{\max} = 11,3 \text{ МПа}$ .

б) калодкалар учун  $T = 96,3 \text{ кН}$ ;  $\sigma_c = 12 \text{ МПа}$ ;  $\tau = 1,2 \text{ МПа}$

8.12. Кесими  $20 \times 20 \text{ см}^2$  бўлган ёғоч брус қалинлиги  $t = 20 \text{ мм}$  ли пўлат полоса билан кучайтирилган. Полоса ёғочга мустақкам елимлаб бириктирилган бўлиб, у билан эгилишга биргаликда ишлай-



8.12- масалага оид

ди (расмга қаранг). Агар балканинг хавфли кесимидаги эгувчи момент  $M = 29 \text{ кНм}$ , материаллар эластиклик модуллари нисбати  $E_n : E_c = 20$  бўлса, ёғоч ва пўлатдаги нормал кучланишлар катта-лигини аниқланг.

Е ч и м и. Ҳар хил материаллардан тузилган балканинг кесимини берилган материалга эквивалент бўлган бир материалдан қилинган «келтирилган» кесим билан алмаштириб ҳисобланади. Эквивалентлик шартига кўра ва ясси кесимлар гипотезаси асосида  $\bar{e} = e_0$  (ҳарф устидаги чизиқча шуни кўрсатадики, тегишли нисбий узайиш кесимнинг «келтирилган» элементига,  $e_0$  эса асосий элементга тегишли).

$\delta = \frac{\sigma}{E}$  бўлгани учун  $\frac{\sigma_n}{\sigma} = \frac{E_0}{E}$ . Масалан, пўлат ёғочга алмаштирилса, у ҳолда  $\frac{\sigma_n}{\sigma_0} = \frac{E_n}{E_0} = 20$ , яъни пўлат полосани алмаштирган ёғоч полосадаги кучла-нишлар катталиги пўлатдагидан 20 марта кичик бўлиши керак. Шунинг учун по-лоса энини  $\bar{b} = b_0 = \frac{E_n}{E_0} = 20 b_0 = 400 \text{ см}$  билан алмаштириш керак (расм, б). Аксинча, агар ёғоч ўрнига пўлат олинса, келтирилган кесимда полосанинг эни  $\bar{b} = b_0 \frac{E_0}{E_n} = 1 \text{ см}$  (расм, в). Иккала ҳолда ҳам келтирилган кесим тавр кўри-

лишига эга, эгилишга ушбу формула бўйича ҳисобланади:  $\bar{\sigma} = \frac{M}{J_y}$ , бунда  $J_y$  — келтирилган кесимнинг унинг оғирлик марказидан ўтадиган ўқи  $y$  га нисбатан инерция momenti.

Ёғоч билан алмаштирилган кесим учун расм, б га кўра қуйидагига эга бўламиз:



Брус ўқидан кесимнинг огирлик марказигача бўлган масофа

$$\bar{z}_C = \frac{\bar{S}_{y_0}}{F} = \frac{2 \cdot 400(10 + 1)}{400 + 800} = 7,33 \text{ см.}$$

Келтирилган кесимнинг инерция моменти:

$$\bar{J}_y = \frac{20 \cdot 20^3}{12} + 400 \cdot 7,33^2 + \frac{400 \cdot 2^3}{12} + 800(11 - 7,33)^2 = 45700 \text{ см}^4.$$

Марказий ўқдан то таврнинг четки толаларигача бўлган масофа

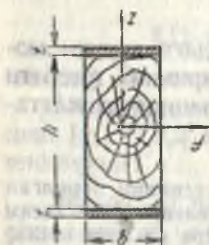
$$\bar{z}_A = 10 + 7,33 = 17,33 \text{ см; } \bar{z}_B = 10 + 2 - 7,33 = 4,67 \text{ см.}$$

Келтирилган кесимнинг четларидаги нормал кучланишлар:

$$\bar{\sigma}_A = \frac{M \bar{z}_A}{J_y} = \frac{29 \cdot 10^4 \cdot 17,33}{45700} = 1100 \text{ Н/см}^2,$$

$$\bar{\sigma}_B = \frac{M \bar{z}_B}{J_y} = \frac{29 \cdot 10^4 \cdot 4,67}{45700} = 300 \text{ Н/см}^2.$$

Чекка нуқталар  $A$  ва  $B$  даги ҳақиқий кучланишлар: ёғочда  $\sigma_A = 1100 \text{ Н/см}^2$ , пўлатда  $\sigma_B = \sigma_B \frac{E_p}{E_\epsilon} = 300 \cdot 20 = 6000 \text{ Н/см}^2$ . Пўлатга «келтирилган» кесим учун олинган натижаларни расм, в бўйича текшириш тавсия қилинади.



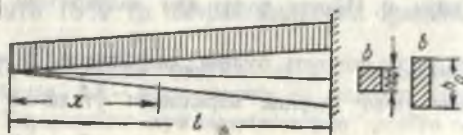
8.13-масалага оид

8.13. Узунлиги  $l = 50$  см ва кесим ўлчамлари  $b = 2$  см ҳамда  $h = 5$  см бўлган бир учидан қисилган ёғоч брусок иккита пўлат полоса билан кучайтирилган. Пўлат полосаларнинг қалинлиги  $\delta = 2,5$  мм ва эни  $b = 20$  мм (расмга қаранг). Брусокнинг эркин учига  $xz$  текисликда  $P$  куч қўйилган. Кесим элементларининг биргаликдаги иши тулиқ таъминланган деб ҳисоблаб, рухсат этиладиган юк  $P$  катталигини аниқланг. Агар эластиклик модуллари нисбати  $E_\epsilon : E_p = 1 : 20$  бўлса, ёғоч учун рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma_\epsilon] = 1 \text{ кН/см}^2$  ва пўлат учун  $[\sigma_p] = 16 \text{ кН/см}^2$ .

Жавоб:  $P = 930 \text{ Н}$ .

## 27-§. Ўзгарувчан кесимли балкалар

8.14. Расмда кўрсатилган балка кесимининг эни  $b$  ўзгармас ва баландлиги  $h(x)$  ўзгарувчан. Балканинг энг катта эгилиш қиймати ( $f_0$ ) топинг ва уни худди ўшандек қулочли ва ўшан-



8.14-масалага оид

дек юкланишли, лекин доимий кесимли балканинг энг катта эгилиши қиймати билан таққосланг.

**Ечиш.**  $M_0$  билан эгувчи моментни,  $W_0$  билан балка қисилган жойидаги кесимнинг қаршилиқ моментини белгилаймиз. Эгилишга қаршиликка тенглик шарти қуйидагича ифодаланади:

$$\sigma_{\max} = \frac{M(x)}{W(x)} = \frac{M_0}{W_0} = [\sigma].$$

$M(x)$ ,  $M_0$ ,  $W(x)$  ва  $W_0$  ларнинг ҳарфий қийматларини қуйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{qx^2}{2} \cdot \frac{6}{b[h(x)]^3} = \frac{ql^2}{2} \cdot \frac{6}{bh_0^3},$$

ундан кесим баландлигини ва инерция моментининг ўзгариш қонунларини топамиз:

$$h(x) = h_0 \frac{x}{l}, \quad J(x) = J_0 \frac{x^3}{l^3}.$$

Балканинг эгилган ўқи тенгламасини топамиз:

$$EJ(x) \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{qx^2}{2}, \quad EJ_0 \frac{x^3}{l^3} \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{qx^2}{2}, \quad EJ_0 y'' = -\frac{ql^3}{2} \cdot \frac{1}{x}.$$

Бу тенгламани интеграллаймиз:

$$EJ_0 y' = -\frac{ql^3}{2} \ln x + C$$

ва  $x=l$  да  $y'=0$  шартидан  $C$  қийматини аниқлаймиз:

$$C = \frac{ql^3}{2} \ln l, \quad EJ_0 y' = -\frac{ql^3}{2} \ln x + \frac{ql^3}{2} \ln l.$$

Иккинчи марта интеграллаймиз:

$$EJ_0 y = -\frac{ql^3}{2} x \ln x + \frac{ql^3}{2} x + \frac{ql^3}{2} x \ln l + D.$$

$x=l$  бўлганда  $y=0$  бўлгани учун  $D = -\frac{ql^4}{2}$ .

Эгилишларнинг охириги тенгламаси:

$$EJ_0 y = -\frac{ql^3}{2} (x \ln x - x - x \ln l + l).$$

$x=0$  деб қабул қилиб,  $x \ln x - x \ln l = -x \ln \frac{l}{x}$  бўлгани учун бунда ҳам юлға тенг, балканинг энг катта эгилиш қийматини топамиз:

$$f_{\max} = -\frac{ql^4}{2EJ_0} = 4 f_0.$$

**Эслатма.** Бу масалани ечганда, шунингдек 27-§ нинг баъзи бошқа масалаларини ечганда шуни ҳисобга оламизки, балканинг кўндаланг кесимларида нормал кучланишлар горизонтал йўналган, аслида эса устки ва остки толаларда кучланишларнинг йўналиши балка сиртига параллел.

**8.15.** Бир хил қаршиликли икки балка қисилган жойида бир хил квадрат кесимга эга бўлиб, эркин учида бир хил кучлар



билан юкланган. Биринчи балканинг эни, иккинчи балканинг баландлиги ўзгаради. Қайсиниси енгил? Улардан қайсинисининг энг катта эгилиши катта?

Жавоб:  $v_1:v_2 = f_1:f_2 = 3:4$ .

8.16. Қарағай ёғочдан эни ўзгарувчан, лекин баландлиги  $h=10$  см доимий бўлган брус тайёрланган. Бруснинг бир учи қисилган, иккинчи эркин учига  $P=3000$  Н юк қўйилган, бруснинг қулочи  $l=1,2$  м. Қисилган жойда брус эни  $b_0$  ва эркин учига энг кичик эни  $b$  қандай бўлиши керак (агар рухсат этиладиган кучланишлар  $[\sigma]=10$  МПа ва  $[\tau]=1,2$  МПа бўлса)? Бруснинг эркин учидан қандай  $a$  узунлигида бруснинг энг кичик эни таъминланиши керак? Брус эркин учининг эгилиши  $f_1$  ни аниқланг. Агар қисилган жойда кесимнинг эни  $b_0$  дан эркин учига нолгача чизиқли қонун бўйича ўзгаради деб ҳисобланса, брус учигаги эгилиш  $f_2$  нимага тенг бўлади?

Жавоб:  $b_0=21,6 \approx 22$  см;  $b=3,75 \approx 4$  см;  $a=22,2 \approx 22$  см;  
 $f_1 = -\frac{Pl}{6EJ_0}(3l^2 - a^2) = -1,4$  см;  $f_2 = -\frac{Pl^3}{2EJ_0} = -1,41$  см.

8.17. Эгилишга қаршилиги тенг бўлган балка бир учидан қисилган, кўндаланг кесими квадрат, бутун узунлиги бўйича интенсивлиги  $q$  бўлган тенг тақсимланган куч билан юкланган. Агар рухсат этиладиган нормал кучланиш  $[\sigma]$  қиймати берилган бўлса, квадрат томонлари қандай қонун бўйича ўзгариши керак? Балка эркин учининг эгилиши нимага тенг?

Жавоб:  $a^3x = \frac{3qx^2}{[\sigma]}$ ;  $f = -\frac{3ql^4}{8EJ_0}$ .

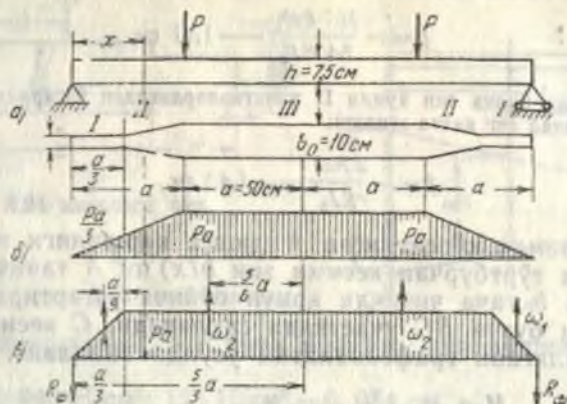
8.18. Баландлиги  $h$  ўзгармайдиган тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли, икки таянчли балка эгилишга тенг қаршиликли шаклга эга. Балкага интенсивлиги  $q$  бўлган тенг тақсимланган юк қўйилган. Балканинг баландлигини, қулочи катталигини, рухсат этиладиган кучланишларни ва нормал эластиклик модулини билган ҳолда энг катта эгилиш қийматини ҳисобланг. Таянчларда балканинг эни торайиб бориб, нолга тенг бўлади деб ҳисобланг.

Жавоб:  $f = \frac{[\sigma] l^2}{4 Eh}$ .

8.19. Диаметри 12 см бўлган думалоқ кўндаланг кесимли пўлат балка учлари билан тиралган ва 2,4 м ли қулочи ўртасига  $P=18$  кН куч қўйилган. Балканинг энг катта эгилиш қийматини аниқланг. Агар балкага эгилишга тенг қаршилиқ қиладиган шакл берилса, эгилиш нимага тенг бўлади?

Жавоб:  $-0,255$  см;  $-\frac{3Pl^3}{80EJ_0} = -0,458$  см.

8.20. Узунлиги 126 см ва эни 5 см бўлган пўлат полоса учлари билан шарнирли таянчларга тиралади. Полосанинг қулочи ўрта-



8.21- масалага оид

сидаги қалинлиги 1 см, таянчларга томон эса  $h = h_0 \left( \frac{2x}{l} \right)^{\frac{1}{2}}$  қонуни бўйича ингичкалашиб нолга тенглашади. Қулоч ўртасига қўйилган  $P$  куч таъсирида куч остидаги эгилиш 2,4 см га тенг.  $P$  куч нимага тенг?

Жавоб: 320 Н.

8.21. Эни ўзгарувчан қарағай балка расмда кўрсатилгандек шакл ва ўлчамларга эга (схема, а), шу билан бирга  $b_0 = 3b_1$ .  $P$  кучларнинг ҳар қайсиси 2000 Н га тенг. Энг катта эгилишни топинг.

Ечи ми. Графоаналитик усулдан фойдаланамиз.  $M$  эпюрани ясаймиз (схема, б). Балканинг уч участкасида кесимларининг инерция моментлари қуйдигига тенг:

$$J_1 = \frac{1}{3} \cdot J_0, J_{II} = J_x = J_0 \cdot \frac{x}{a}, J_{III} = J_0.$$

Барча участкаларда бир хил бикрлик  $EJ_0$  даги балка эпюрасига  $M(x)$  эпюрани келтираимиз. Бунинг учун I участкаларда  $M(x)$  эпюра ординаталарини уч марта катталаштираимиз, II участкаларда  $a : x$  нисбатда келтираимиз, III участкада ўзгаришсиз қолдираимиз (схема, в). Сохта юк юзалари  $\omega_1$  ва  $\omega_2$  ни ҳисоблаймиз, сунгра сохта таянч реакция  $R_c$  ни топамиз:

$$\omega_1 = \frac{Pa^2}{6}, \omega_2 = \frac{5}{3} Pa^2, R_c = \frac{11}{6} Pa^2.$$

Қулоч ўртасида сохта эғувчи момент

$$M_c = -\frac{11}{6} Pa^2 \cdot 2a + \frac{1}{6} Pa^2 \left( \frac{5}{3} a + \frac{1}{9} a \right) + \frac{5}{3} Pa^2 \cdot \frac{5}{6} a = -\frac{107}{54} Pa^3.$$



Энг катта эгилиш қиймати

$$f = -\frac{107 Pa^3}{54 EJ_0} = -1,41 \text{ см.}$$

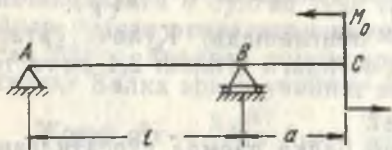
I участкаларда балка эни худди II участкалардагидек ўзгаради деб тахмин қилинса, у ҳолда энг катта эгилиш:

$$f = -\frac{2 Pa^3}{EJ_0} = -1,42 \text{ см.}$$

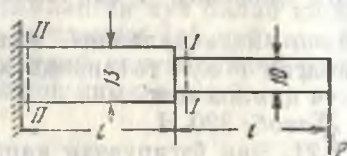
8.22. Расмда кўрсатилган эгилишга қаршилиги тенг балканинг тўғри тўртбурчак кесими эни  $b(x)$  ни  $A$  таянчда нолдан  $B$  таянчда  $b_0$  гача чизиқли қонун бўйича ўзгартиради. Кейин  $b_0$  қиймати бутун  $BC$  участкада сақланади.  $C$  кесимнинг эгилиш катталигини графоаналитик усулда аниқланг.

Жавоб:  $f = \frac{M_0 a}{2 EJ_0} (l + a).$

8.23. Қулочи  $2l = 80$  см бўлган ёғоч балка чап учидан қисилган. Балканинг эркин ўнг учига  $P = 2000$  Н куч қўйилган. Балка бир қисмининг диаметри 13 см, иккинчисиники 10 см



8.22-масалага онд



8.23-масалага онд

(расмга қаранг). I—I, II—II кесимларда энг катта нормал кучланишлар нимага тенг? Балка эркин учининг эгилиш катталигини топинг. Кучланишлар концентрацияси таъсирини ҳисобга олманг.

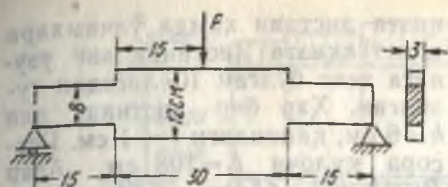
Кўрсатма. Эгилиш катталигини аниқлаш учун Кастильяно теоремасидан фойдаланган маъқул. Нисбат  $J_2 : J_1 = 2,86$ . Қидирилаётган эгилиш катталиги учун ифода қуйидаги кўринишни олади:

$$f = \frac{1}{EJ_1} \int_0^l Px^2 dx + \frac{1}{EJ_2} \int_l^{2l} Px^2 dx = \frac{Pl^3}{3EJ_1} \left(1 + \frac{7}{2,86}\right).$$

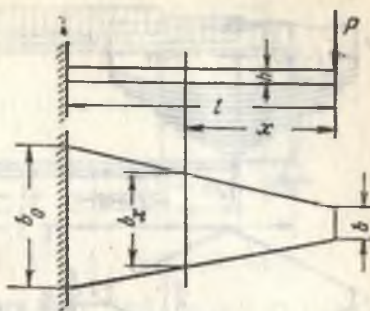
Жавобдаги мусбат ишора эгилиш йўналиши  $P$  куч йўналиши билан мос келганлигини кўрсатади.

Жавоб:  $\sigma_{II} = 0,91 \sigma_I$ ;  $\sigma_I = 810 \text{ Н/см}^2$ ;  $f \approx 0,3 \text{ см.}$

8.24. Қарағай тахтадан расмда кўрсатилгандек поғонали тарзда ўзгарадиган кесимли балка тайёрланган. Кучланишлар концентрацияси таъсирини ҳисобга олмаган ҳолда  $P = 4000$  Н куч таъсирида балканинг энг катта эгилишини, энг катта нор-



8.24- масалага оид



8.25- масалага оид

мал кучланишларни, энг ката уринма кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $940 \text{ Н/см}^2$ ;  $125 \text{ Н/см}^2$ ;  $-0,054 \text{ см}$ .

8.25. Расмда кўрсатилган ўзгарувчан кесимли балканинг исталган кесимидаги энг катта нормал кучланиш нимага тенг?

Жавоб:  $\sigma_{\max} = \frac{Px}{W_0 \left[ 2 + (1 - \alpha) \frac{x}{l} \right]}$ , бунда  $\alpha = \frac{b}{b_0}$ .

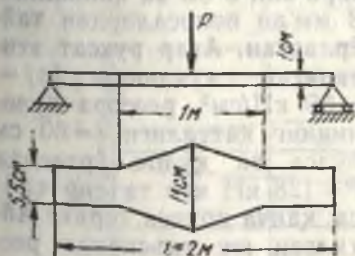
8.26. Эни ўзгарувчан пўлат полоса расмда кўрсатилган ўлчамларга эга.  $P = 100 \text{ Н}$ , энг катта нормал кучланишларни ва энг катта эгилишни ҳисобланг.

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 27,3 \text{ МПа}$ ;  $f = -\frac{11 Pl^3}{384 EJ_0} = 1,25 \text{ см}$ .

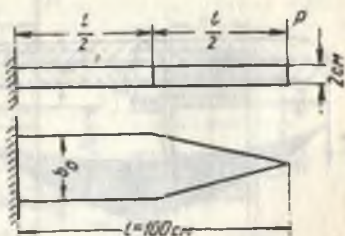
8.27. Расмда кўрсатилган пўлат полосанинг зарур эни  $b_0$  ни аниқланг.  $P = 400 \text{ Н}$  куч таъсирида, рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma] = 15000 \text{ Н/см}^2$ . Балканинг энг катта эгилишини ҳам топинг.

Жавоб:  $b_0 = 4 \text{ см}$ ;  $f = -\frac{17 Pl^3}{48 EJ_0} = -2,66 \text{ см}$ .

8.28. Пўлат рессора (расмга қаранг) баландлиги ўзгармайдиган, эгилишга қаршилиги тенг брусни ҳосил қиладиган тўқ-

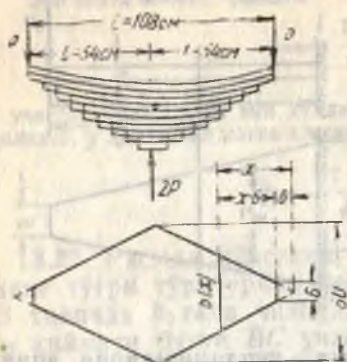


8.26- масалага оид



8.27- масалага оид





8.28- масалага оид

қизта листдан ҳамда ўлчамлари шу тўққизта листнинг энг узунига тенг бўлган 10- листдан тузилган. Ҳар бир листнинг эни  $h=6$  см, қалинлиги  $t=1$  см. Рессора қулочи  $L=108$  см. Агар  $P=12$  кН бўлса, рессоранинг қулочи ўртасида эгилиш қийматини топиш.

*Ечили.* Рессорани эни ўзгарувчан, ўлчамлари расмнинг пастки қисмида кўрсатилган брус сифатида тасвирлаймиз. Координаталар бошини брус ён қирраларининг проекциялари кесилган нуқтада деб қабул қиламиз. Эгилишни аниқлаш учун Кастильяно теоремасидан фойдаланамиз ва бунда балка кесимининг инерция моменти ўзгарувчан қийматини ҳисобга оламиз.

$$b(x) = b_0 \cdot \frac{x}{l+6} = 60 \cdot \frac{x}{60} = x, \quad J(x) = J_0 \cdot \frac{x}{l+6},$$

$$M(x) = P(x-6), \quad \frac{\partial M(x)}{\partial P} = x-6,$$

$$f = \int_6^{60} \frac{M(x)}{EJ(x)} \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial P} dx = \frac{P(l+6)}{EJ_0} \left\{ \frac{x^2}{2} \Big|_6^{60} - 12x \Big|_6^{60} + 36 \ln x \Big|_6^{60} \right\} = 8,8 \text{ см.}$$

9 листдан (устки листсиз) рессора учун бошқа шартлар ўшандек қолганда эгилиш қуйидагига тенг бўларди:

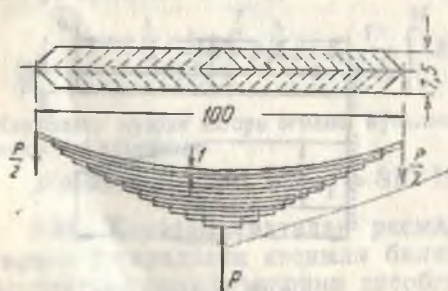
$$f = \frac{Pl^3}{2EJ_0} = 10,5 \text{ см.}$$

8.29. Пўлат рессора (расмга қаранг) эни 7,5 см ва қалинлиги 110 мм ли ўнта пўлат листдан тузилган. Рессора қулочи 1 м, рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma]=40$  кН/см<sup>2</sup>, рессоранинг қўтарувчанлиги ва қулочи ўртасидаги эгилиш қийматини аниқланг.

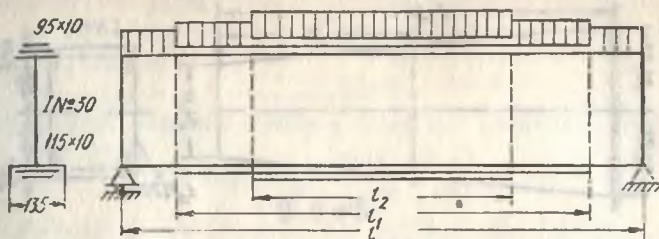
Жавоб:  $[P]=20$  кН;  $f=-\frac{[\sigma]l^2}{4Et}=-5$  см.

8.30. Тенг қаршиликли пўлат рессора эни 8 см ва қалинлиги 8 мм ли полосалардан тайёрланган. Агар рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma]=30$  кН/см<sup>2</sup>, рессора қулочининг катталиги  $l=80$  см бўлса ва қулоч ўртасида  $P=128$  кН куч таъсир қилса, қанча полоса керак? Айтилган юк таъсирида рессора қанча чўкишини ҳам ҳисобланг.

Жавоб: 10 полоса, 3 см.



8.29- масалага оид



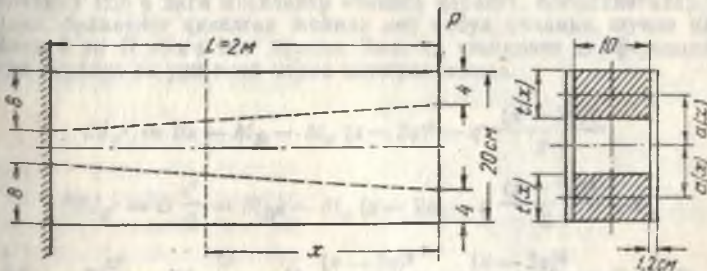
8.31- масалага оид

8.31. Қулочи  $l=5,4$  м бўлган ўзгарувчан кесимли балка (расмга қаранг) икки таянчда ётади ва унга интенсивлиги  $q$  бўлган тенг тақсимланган юк таъсир қилади. Балка қўштавр № 30 дан ва икки жуфт листдан тузилган. Улчамлари  $115 \times 10$  мм бўлган иккинчи жуфт листлар қўштавр токчаларига пайвандланган. Улчамлари  $95 \times 10$  мм ли иккинчи жуфт листлар эса биринчи жуфт листларга пайвандланган. Рухсат этиладиган кучланиш  $[\sigma]=14$  кН/см<sup>2</sup>. Рухсат этиладиган юк  $[q]$  қиймати, биринчи ва иккинчи жуфт листларнинг назарий узунлиги  $l_2$  ни ҳамда қулоч ўртасида балканинг эгилиш катталигини аниқланг. Шунингдек, интенсивликдаги юк таъсир қиладиган ўзгармас кесимли балканинг эгилишини таққосланг.

*Қўрсатма.* Олдин қўштавр №30 балканинг юк қўтарувчанлигини ҳисоблаш керак:  $[M_0]=66,08$  кНм. Сўнгра иккита горизонтал листли ва тўртта листли кесимларнинг  $J$  ва  $W$  ларини ҳисоблаб, шу профилларга мос юк қўтарувчанлигини аниқланг:  $[M_1]=110$  кНм ва  $[M_2]=146,2$  кНм. Сўнгра  $[M_2]$  қиймати бўйича тенг тақсимланган юkning рухсат этиладиган интенсивлиги топилади. Горизонтал листларнинг боши ва узилиши назарий жойларини аниқлаш учун  $M(x)$  ифода  $[M_0]$  ва  $[M_1]$  ларга тенглаштирилади. Эгилиш қийматини Кастильяно теоремаси ёрдамида ҳисоблаш осон. Бунда, ҳар хил бикрликдаги балка участкаларини сони бўйича учта интегрални қўшиш кифоя.

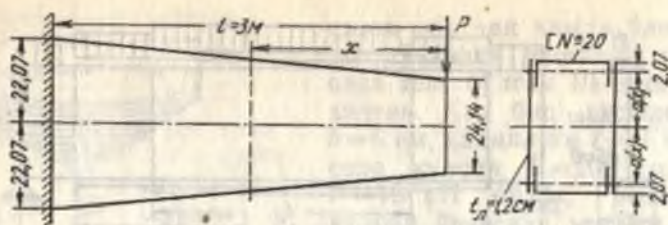
*Жавоб:* 40 кН/м; 4,00 м; 2,66 м;  $-1,37$  см;  $-1,24$  см.

8.32. Умуман ўзгармас баландликдаги, лекин ўзгарувчан кесимли балка ўзгарувчан баландликдаги икки қарағай брус-



8.32- масалага оид





лардан тузилган. Бруслар ён томонларидан қалин фанер билан туташтирилган. Балка ўлчамлари расмда кўрсатилган. Балкадаги энг катта нормал кучланишларни ва  $P=5$  кН куч таъсирида эркин учининг эгилиш катталигини топинг.

**8.33.** Баландлиги ўзгарувчан балка иккита швеллердан тузилган бўлиб, швеллерлар иккита пўлат лист билан туташтирилган. Расмда балканинг барча ўлчамлари кўрсатилган. Балкадаги энг катта нормал кучлинишларини ва  $P = 90$  кН куч таъсирида эркин учининг эгилиш катталигини аниқланг.

**Қўрсатма. 8.32 ва 8.33 масалаларни график усулда ечган маъқул.**

## СТАТИК АНИҚЛАНМАЙДИГАН СИСТЕМАЛАР

## 28-§. Балкалар

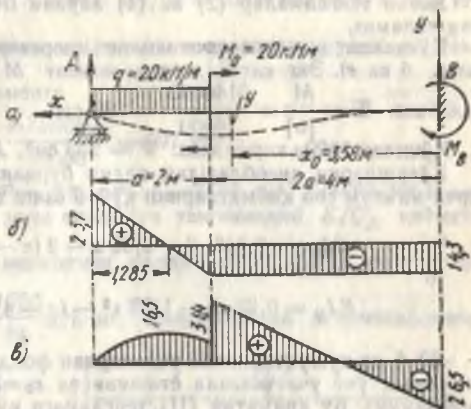
9.1. Расмда кўрсатилган пўлат балканинг статик аниқмаслигини очиб беринг, таянч реакцияларни аниқланг, эгувчи момент ва кўндаланг кучлар эпюраларини ясанг, балканинг қўштавр кесимини танланг, нормал кучланиш 160 МПа бўлганда, балканинг энг катта эгилиш қийматини аниқланг (уни рухсат этиладиган энг катта эгилиш, яъни балка кулочининг 0,002 улушига тенг эгилиш билан таққосланг).

*Ечили.* Статика тенгламаларидан қуйидаги боғлиқликни топамиз:

$$H_B = 0, \quad A + B = qa \quad (1)$$

$$3Ba - M_B = M_0 + \frac{qa^2}{2}. \quad (2)$$

9.1-масалага оид



Икки тенгламада — учта номаълум. Статик аниқмасликни очишда балка эгилган ўқининг дифференциал тенгламасини интеграллаш усулидан фойдаланамиз ва бунда интеграллашнинг ихтиёрий доимийларини тенглаштириш усулини қўллаймиз (22-§ даги масалалар ечимига қаранг). Координаталар бошини В нуқтада, балканинг қисилган жойида деб қабул қиламиз, шунда ихтиёрий доимийлар С ва D нолга тенг бўлади. Эластик чизиқнинг дифференциал тенгламасини тузамиз ва уни икки марта интеграллаймиз.

$$EJ_y'' = Bx - M_B - M_0(x-2a)^0 - q \frac{(x-2a)^2}{2},$$

$$[EJ_y' = B \frac{x^2}{2} - M_B x - M_0(x-2a) - q \frac{(x-2a)^3}{6} + C,$$

$$EJ_y = B \frac{x^3}{6} - M_B \frac{x^2}{2} - M_0 \frac{(x-2a)^2}{2} - q \frac{(x-2a)^4}{24} + Cx + D.$$



Номаълум қийматларни аниқлаш учун қуйидаги уч шартни ёзамиз

$$\begin{aligned}x_1 &= 0, \quad y_1 = 0; \text{ бундан } D = 0; \\x_1 &= 0, \quad y_1 = 0; \quad - , - C = 0, \\x_2 &= 3a, \quad y_2 = 0;\end{aligned}$$

$x_2$  қийматини эгилишлар тенгламасига қўйиб, қуйидаги боғлиқликни ҳосил қиламиз:

$$9Ba - 9M_B = M_0 + \frac{qa^2}{12}. \quad (3)$$

$M_B$  қийматини аниқлаш учун (2) ва (3) тенгламаларни биргаликда ечамиз:

$$(2) \quad 3Ba - M_B = M_0 + \frac{qa^2}{2} \quad \left| -3 \right.$$

$$(3) \quad 9Ba - 9M_B = M_0 + \frac{qa^2}{12}$$

$$M_B = \frac{1}{3} M_0 + \frac{17}{72} qa^2 = \frac{2}{3} + \frac{17}{9} = 2,56 \text{ тм} = 25,6 \text{ кНм}.$$

Кейин тенгламалар (2) ва (1) лардан  $B=14,3 \text{ кН}$  ва  $A=25,7 \text{ кН}$  эканлигини топамиз.

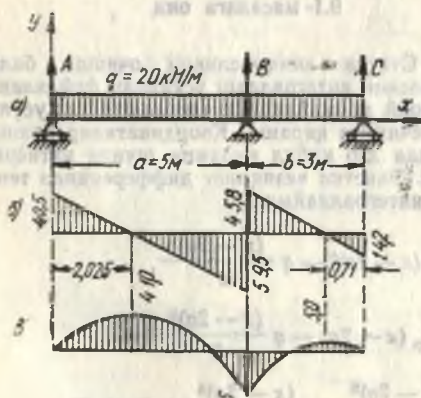
Қўндаланг куч ва эгувчи момент эпюраларини олатдаги усулда қурамиз (схема, б ва в). Энг катта эгувчи момент  $M=31,4 \text{ кНм}$ . Балка ўлчамларини танлаймиз:  $W = \frac{M}{[\sigma]} = \frac{3140000}{16000} = 196 \text{ см}^3$ .

Қўштавр №20а керак экан:  $W=203 \text{ см}^3$ ,  $J=2030 \text{ см}^4$ ,  $EJ=40,6 \cdot 10^9 \text{ Н/см}^2$ . Қўчишларни ҳисоблашдан олдин бурилиш ва эгилишлар тенгламаларига барча маълум сон қийматларини қўйиб ёзиш тавсия қилинади.

$$EJ_{y'} = 0,715 x^2 - 2,56 x - 2(x-4) - \frac{1}{3}(x-4)^3, \quad (I)$$

$$EJ_y = 0,23 x^3 - 1,28 x^2 - (x-4)^2 - \frac{1}{12}(x-4)^4. \quad (II)$$

22-§ да тушунтирилган усуллардан фойдаланиб, энг катта эгилишли кесим балканинг ўнг участкасида ётишини ва  $x_0=3,58 \text{ м}$  абсциссага эга эканлигини аниқлаймиз. Бу қийматни (II) тенгламага қўямиз ва энг катта эгилиш қиймати



$f=1,35 \text{ см}$ , яъни рухсат этилган  $[f]=1,2 \text{ см}$  дан 12% катталлигини аниқлаймиз. Қўштавр № 20а ўрнига навбатдаги қўштавр № 22 ни ( $J=2500 \text{ см}^4$ ,  $W=332 \text{ см}^3$ ) қабул қилиб, энг катта эгилиш қийматини 1,18 см гача пасайтирамиз. Хавфли кесимдаги энг катта нормал кучланишлар бу янги профилда 135,5 МПа гача кичраяди.

9.2- масалага оид

9.2. Расмда курсатилган пулат қўштавр балканинг статик аниқмаслигини очиб берниг, таянч реакцияларни аниқлаш, қўндаланг куч ва эгувчи момент эпюраларини ясанг, рухсат эти-

ладиган нормал кучланиш 160 МПа учун балка кесимини танланг, А таянчдан 2 м нарида турган кесимдаги эгилиш қийматини ҳисобланг.

Ечили. Статика тенгламасини тузамиз:

$$A + B + C = q(a + b); \quad (1)$$

$$A(a + b) + Bb - \frac{q(a + b)^3}{2} = 0. \quad (2)$$

Статик аниқмаслиқни топиш учун икки карра умумий эгилишлар тенгламасини қўллаймиз:

$$EJ_y = EJ_{y_0} + EJ_{0_0} \cdot \frac{x}{1!} + \sum \frac{M(x - l_0)^2}{2!} + \sum \frac{P(x - l_0)^3}{3!} + \sum \frac{q(x - l_0)^4}{4!};$$

$$B \text{ кесимда } EJ \theta_A a + A \frac{a^3}{6} - \frac{qa^4}{24} = 0; \quad (3)$$

$$C \text{ кесимда } EJ \theta_A (a + b) + A \frac{(a + b)^3}{6} + B \frac{b^3}{6} - \frac{q(a + b)^4}{24} = 0. \quad (4)$$

Шу тўрттала тенгламани ечиб,  $A = 40,5$  кН,  $B = 105,3$  кН ва  $C = 14,2$  кН эканлигини толамиз.

Қўндаланг куч ва эгувчи момент эпюраларини одатдаги усулда ясаймиз (схема, б ва в).

Кесимнинг зарур қаршилик моменти

$$W = \frac{M}{[\sigma]} = \frac{4 \cdot 750000}{16000} = 297 \text{ см}^3.$$

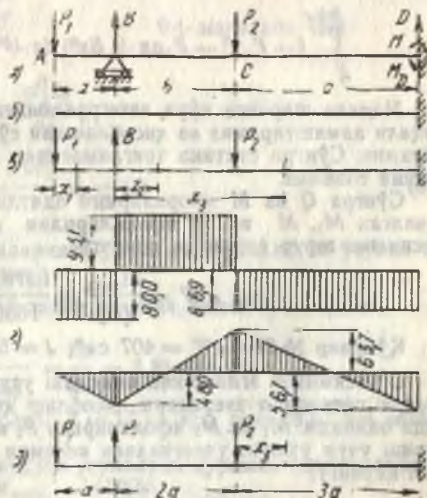
Қўштавр № 24 тўғри келади:  $W = 289 \text{ см}^3$ ,  $J = 3640 \text{ см}^4$ ,  $EJ = 69 \cdot 10^9 \text{ Н см}^2$ . Исталган силжишни ҳисоблаш учун олдин (уч тенгламадан)  $EJQ_A$  қиймати

$$\text{ни аниқлаш керак } (A = 40,5 \text{ кН эканлигини ҳисобга олиб}): EJ\theta_A = -\frac{Aa^2}{6} + \frac{qa^3}{24} = -\frac{40,5 \cdot 25}{6} + \frac{20 \cdot 125}{24} = -\frac{1550}{24} \text{ кН} \cdot \text{м}^3. \text{ Қидириляётган эгилишни аниқлаш учун умумий эгилишлар тенгламасига } x = 2 \text{ м қийматини қўямиз:}$$

$$EJ_y = -\frac{1550}{24} \cdot 2 + 40,5 \frac{2^3}{6} - \frac{20 \cdot 2^4}{24} = 88,5 \text{ кН} \cdot \text{м}^3.$$

$$\text{Бундан } y = 8,85 : 6,9 = 1,28 \text{ см.}$$

9.3. Расмда кўрсатилган пўлат қўштавр балканинг статик аниқланмаслигини очиб беринг, қўндаланг куч ва эгувчи момент эпюраларини ясанг, рухсат этиладиган нормал кучланиш 160 МПа учун кесим танланг. С кесимдаги эги-



9.3-масалага оид



лиш қийматини аниқланг.  $P_1=80$  кН,  $P_2=160$  кН,  $a=60$  см,  $b=2a=120$  см,  $c=3a=180$  см.

*Ечи.м.* Расмда (схема, а) таянч реакцияларни  $H$ ,  $B$ ,  $D$  ва  $M_D$  билан белгилаймиз. Статика тенгламасини тузамиз:

$$H=0, \quad (1) \quad P_1+P_2=B+D \quad (2) \\ -P_1(a+b+c)+B(b+c)-P_2c+M_D=0 \quad (3')$$

ёки

$$-6P_1a+5Ba-3P_2a+M_D=0. \quad (3'')$$

Ортиқча номаълум сифатида таянч реакция  $B$  ни танлаймиз. Асосий ҳисобий система расмда кўрсатилган (схема, б). Балкага берилган кучни ( $P$  кучларни) ва ортиқча номаълум  $B$  ни қўямиз (схема, в). Схема, в даги балка схема, а даги балкага эквивалент бўлиши учун схема, в га деформацияларнинг умумийлиги шартини, яъни  $f_B=0$  шартни қўшиш керак. Кастильяно теорема-сидан фойдаланамиз:

$$f_B = \frac{\partial U}{\partial B} = \frac{1}{EJ} \left( \int_0^a M_1 \frac{\partial M_1}{\partial B} dx + \int_0^b M_2 \frac{\partial M_2}{\partial B} dx + \int_b^{b+c} M_3 \frac{\partial M_3}{\partial B} dx \right) = 0.$$

$M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ —балканинг ҳар қайси уч участкасидаги кесимларнинг эгувчи моментлари. Бикрлик  $EJ$  ни доний деб оламиз. Интеграл ости қийматларни ҳисоблаймиз:

$$M_1 = -P_1x_1, \quad \frac{\partial M_1}{\partial B} = 0;$$

$$M_2 = -P_1(x_2+a)+Bx_2, \quad \frac{\partial M_2}{\partial B} = x_2;$$

$$M_3 = -P_1(x_3+a)+Bx_3-P_2(x_3-b); \quad \frac{\partial M_3}{\partial B} = x_3.$$

Бу қийматларни тенглама  $f_B=0$  интеграллари остига қўямиз:

$$\int_0^{b+c} (-P_1x^2 - P_1ax + Bx^2) dx + \int_b^{b+c} (-P_2x^2 + P_2bx) dx = 0.$$

Масала шартига кўра интеграллашдан сўнг  $b$  ва  $c$  ни  $a$  орқали,  $P_2$  ни  $P_1$  орқали алмаштирамиз ва ҳисоблашдан сўнг  $B=21,64$ ,  $P_1=173,1$  кН ни ҳосил қиламиз. Сўнггра статика тенгламасидан  $D=66,9$  кН ва  $M_D=56,7$  кНм эканлигини топамиз.

Сўнггра  $Q$  ва  $M$  эпюраларини одатдаги усулларда ясаймиз. Бунда олдин тузилган  $M_1$ ,  $M$  ва  $M_3$  ифодаларидан фойдаланамиз (схема, г га қаранг). Кесимнинг зарур қаршилик momenti

$$W = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{6370000}{16000} = 397 \text{ см}^3.$$

Қўштак № 27а:  $W=407$  см<sup>3</sup>,  $J=5500$  см<sup>4</sup> тўғри келади.

С кесимнинг эгилишини аниқлаш учун  $C$  нуқтага қўйилган  $P_2$  куч бўйича ҳосила потенциал энергияни ҳисоблаш керак. Энди  $B$  куч маълум куч сифатида олинади,  $M_1$  ва  $M_2$  ифодаларига  $P_2$  куч қирмайди. Ҳисоблашни соддалаштириш учун учинчи участкадаги кесимни  $P_2$  кучдан ҳисоблаш маъқул (схема, д га қаранг).

$$M_3 = -P_1(3a+x_3)+B(2a+x_3)-P_2x_3, \quad \frac{\partial M_3}{\partial P_2} = -x_3,$$

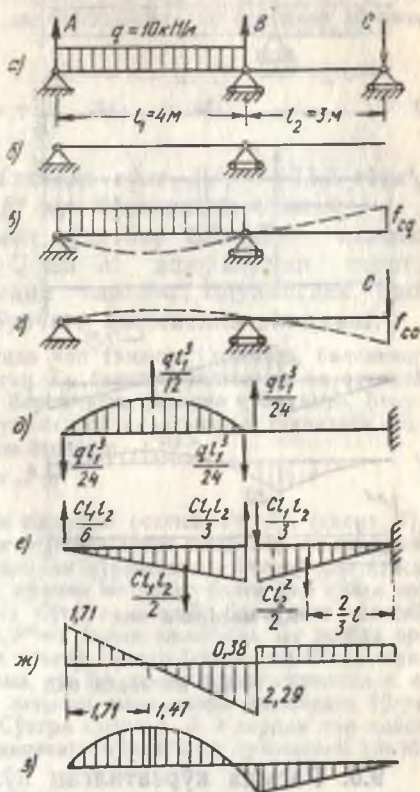
$$f_c = \frac{1}{EJ} \int_0^{3a} (3P_1ax + P_1x^2 - 2Bax - Bx^2 + P_2x^2) dx.$$

Интеграллаб ва барча сон қийматларни қўйиб,  $f_c = 0,24$  см эканлигини топамиз. Эгилишнинг мусбат қиймати эгилиш йўналиши  $P_2$  куч йўналишига тўғри келишини кўрсатади.

**9.4.** Расмда кўрсатилган пўлат балканинг статик аниқмаслигини очиб беринг ва таянч реакцияларни аниқланг,  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг.

*Ечим.* Балка бир марта статик аниқланмайдиган балка ҳисобланади. Аниқмаслигини очиб бериш учун қўчишларни таққослаш усулидан фойдаланамиз. Ортиқча маҳкамлаш сифатида  $C$  таянччи қабул қиламиз. Асосий система расм, *б* да кўрсатилган. Балкага берилган юкни (схема, *в*) ва ортиқча номатлум куч  $C$  ни (схема, *е*) қўямиз. Берилган юк таъсирида  $C$  кесимда балканинг эгилишини  $f_{cq}$  орқали,  $C$  куч таъсирида эгилишини  $f_{cc}$  орқали белгилаймиз. Берилган балканинг  $C$  кесимида таянч бор, демек  $f_c = 0$  ёки  $f_{cq} + f_{cc} = 0$ . (1)

Эгилишлар  $f_{cq}$  ва  $f_{cc}$  қийматини энг кенг тарқалган эгилишлар жадвалдан тайёр ҳолда олган маъқул. Бу жадваллар справочниклар ва баъзи дарсликларда келтирилган.



9.4- масалага оид

$$EJf_{cq} = \frac{ql_1^3 l_2}{24}. \quad (2)$$

$$EJf_{cc} = -\frac{Cl_2^2}{3} (l_1 + l_2). \quad (3)$$

Схемалар, *д* ва *е* да ўша эгилишларнинг ўзини графоаналитик усулда ҳисоблаш учун маълумотлар келтирилган.

(2) ва (3) ифодаларни (1) га қўйиб таянч реакция қийматини топамиз:

$$C = \frac{ql_1^3}{8l_1(l_1 + l_2)} = \frac{80}{21} = 3,81 \text{ кН}.$$

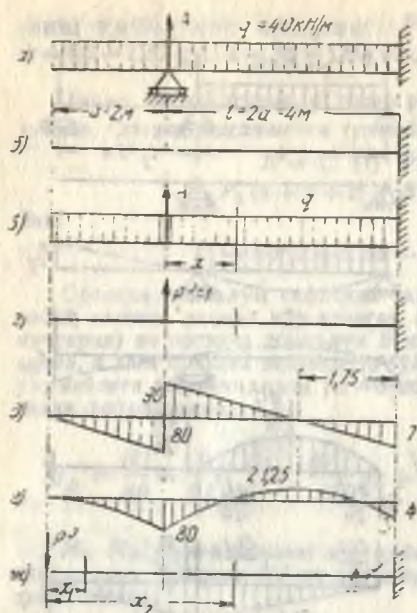
Сўнгра статика тенгламаларидан ҳисоблаб,  $A = 17,14$  кН,  $B = 26,67$  кН эканлигини аниқлаймиз.

Сўнгра  $Q$  ва  $M$  эпюраларнинг одатдаги усулларда қурамиз (схема, *ж* ва *з*).

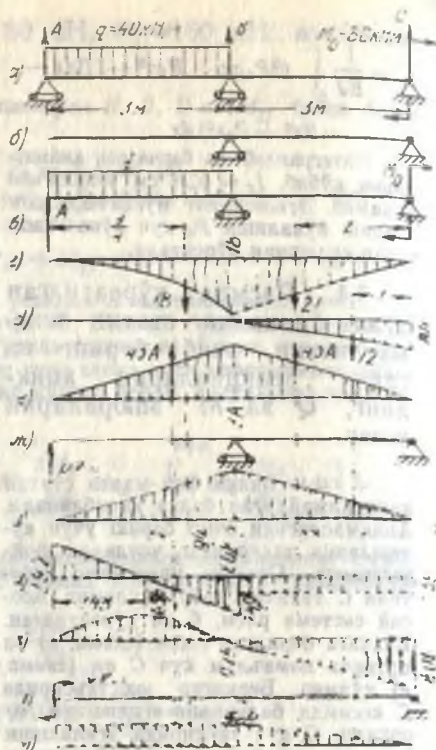
$$\text{Зарур қаршилик моменти } W = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{1470000}{16000} = 92 \text{ см}^3.$$

$$\text{Қўштавр № 16: } W = 109 \text{ см}^3, J = 873 \text{ см}^4.$$





9.5- масалага оид



9.6- масалага оид

**9.5.** Расмда кўрсатилган пулат қўштавр балканинг статик аниқмаслигини очиб беринг,  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг,  $[\sigma] = 160$  МПа бўлганда балка кесимини танланг ва консол учининг эгилиш қийматини аниқланг.

*Ечи м.* Максвелл-Мор усулини қўлаймиз. Ортиқча номаълум сифатида  $A$  реакцияни қабул қиламиз. Асосий статик аниқланадиган балка схема, б да кўрсатилган. Бу балкани икки марта юклаймиз: берилган юк ва  $A$  куч билан (схема, в) ҳамда якка куч  $P^0 = 1$  билан (схема, г).  $A$  кесимдаги эгилишни инфодалайдиган Мор интегрални нолга тенг бўлиши керак.

$$\int M(x) \cdot M^0 dx = 0.$$

Балканинг чап участкасини кўрмаймиз, чунки бу участкада якка юкнинг эгувчи моменти нолга тенг.

Иккинчи участкада:

$$M(x) = A(x) - \frac{q(x+a)^2}{2}. \quad M^0 = P^0 x = x; \quad \int_0^l Ax^2 dx - \int_0^l \frac{q(x+a)^2}{2} \cdot x \cdot dx = 0.$$

Бундан  $A = 170$  кН.  $Q$  ва  $M$  эпюралар схемалар, д ва е ларда ясалган.  $M_{\max} = 80$  кНм. Қаршилиқ моменти  $W = 500$  см<sup>3</sup>, қўштавр № 30а тўғри келади.

Эгилишни аниқлаш учун Мор интегрални тузишда консол учига  $P^0=1$  кучни қўямиз ва шу жойдан схема, ж да кўрсатилганидек кесимлар абсциссalarининг ҳисобини бажарамиз:

$$EJ_y = \int_0^{l+a} \frac{qx^2}{2} dx + \int_a^{l+a} A(x-a) dx,$$

интегрални олиб, рақамларни қўйгандан сўнг  $EJ_y = 133,3 \text{ кНм}^3$ ,  $y = 0,86 \text{ см}$ , яъни кўчиш пастга  $P^0$  куч йўналишида бўлади.

9.6. Расмда кўрсатилган пўлат қўштавр балканинг статик аниқмаслигини очиб беринг,  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг,  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$  да балка кесимини танланг, шунингдек чап таянчдаги кесимнинг бурилиш бурчаги қийматини аниқланг.

Ечи м и. Ортиқча маҳкамлаш сифатида чап таянчни оламир, балканинг асосий системаси, схема, б да кўрсатилган. Бу балка берилган юк ва ортиқча номаълум  $A$  билан юкланган (схема, в) Верешчагин усулини қўллаймиз. Бикр-лиги ўзгармас булган балка учун бу усулдан фойдаланганда  $A$  таянчдаги эги-лишнинг нолга тенглик шarti қуйидагича ёзилади:

$$\sum \omega M^0 = 0.$$

Бу йиғиндини тузиш учун тақсимланган юкланиш (схема, а)  $M_0$  (схема, д), ортиқча номаълум  $A$  (схема, з) ларнинг эгувчи момент эпюраларини ясаймиз. Ҳар қайси эпюрада ўзига хос ординаталарни кўрсатамиз. Эпюра ҳар қайси участкасининг олий марказида стрелка қўямиз ва унинг ёнига ҳар қайси юк юзасининг  $\text{кНм}^2$  даги қийматини ёзамиз. Сўнгра асосий балканинг асосий системасини ўша кесимга қўйилган юк  $P^0=1$  билан юклаймиз. Бу жойда ор-тиқча номаълум  $A$  ўша юк йўналишида таъсир қилади (схема, ж). Якка эгув-чи момент  $M^0$  эпюрасини тузамиз (схема, з). Бу эпюрада биз схемалар з, е, д ларда белгиланган сохта юкларнинг огирлик марказлари қаршисига тўғри келадиган ординаталарни ажратамиз. Сўнгра схема з, д, е лардан ҳар қайси юза  $\omega$  нинг схема, з даги тегишли ординатага купайтмаси суммасини ҳисоб-лаймиз, яъни:

$$-180 \cdot \frac{9}{4} - 270 \cdot 2 - 120 \cdot 1 + 4,5 \cdot 2 + 4,5 \cdot 2 = 0.$$

Бундан  $A = 59,2 \text{ кН}$ , статика тенгламаларидан  $B = 34,9 \text{ кН}$  ва  $C = 25,9 \text{ кН}$ . Бу-туп балка учун қўйдаланг куч ва эгувчи момент эпюраларини одатдаги усул-дагидек ясаймиз (схема, и, к).  $M_{\max} = 80 \text{ кНм}$  да қўштавр №30а керак. Чап таянчдаги бурилиш бурчагини аниқлаш учун балканинг ҳисобий схемасини  $A$  кесмада  $M^0=1$  момент билан юклаш керак (схема, л).  $M=1$  нинг эгувчи мо-мент эпюраси схема, м да кўрсатилган. Юқоридагиларга ўхшаш ҳисобларни бажарамиз:

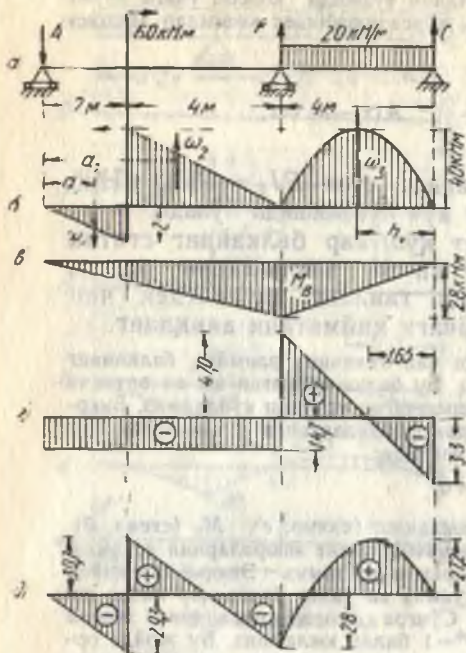
$$EJ\theta_A = -180 \cdot 1 - 270 \cdot \frac{2}{3} - 120 \cdot \frac{1}{3} + 4,5 \cdot 59,2 + 4,5 \cdot 59,2 \cdot \frac{2}{3},$$

$$EJ\theta_A = 44 \text{ кНм}^2; \theta_A = 0,0028 \text{ рад.}$$

9.7. Икки қулочли ёғоч балка расмда кўрсатилгандек юк-ланган. Балканинг статик аниқмаслигини очиб беринг, таянч реакцияларни ҳисобланг,  $M$  ва  $Q$  эпюраларни ясанг ва  $h:b = 2$  нисбатда ҳамда рухсат этилган кучланиш  $[\sigma] = 10 \text{ МПа}$  бўлганда балканинг тўғри тўртбурчак кесимини танланг.

Ечи м и. Балка бир марта статик аниқмас балка ҳисобланади. Статик аниқ-маслигини очиб учун уч момент ҳақидаги теоремани қўллаймиз. Ортиқча но-маълум сифатида ўрта таянчдаги эгувчи моментни қабул қиламиз. Икки ало-





9.7- масалага онд



9.8- масалага онд

ҳида балка учун қилнигани каби иккала қулоч учун ҳар қайси қулочда жойлашган юкларнинг эгувчи момент эпюраларини ясаймиз. Стрелкалар билан юк юзалари  $\omega$  нинг теж таъсир этувчисини белгилаймиз ва бу юзаларнинг четки таянчлардан масофалари  $a$  ва  $b$  ни кўрсатамиз (схема, б). Сўнгра уч момент формуласини тузамиз:

$$M_A \cdot l_1 + 2M_B(l_1 + l_2) + M_C \cdot l_2 = -6 \left( \omega_1 \cdot \frac{a_1}{l_1} + \omega_2 \cdot \frac{a_2}{l_1} + \omega_3 \cdot \frac{l_2}{l_2} \right).$$

Формулага кирадиган катталикларнинг қийматлари

$$M_A = M_C = 0, \omega_1 = -20 \text{ кН} \cdot \text{м}^3, \omega_2 = 80 \text{ кН} \cdot \text{м}^3, \omega_3 = \frac{320}{3} \text{ кН} \cdot \text{м}^3,$$

$$a_1 = \frac{4}{3} \text{ м}, a_2 = \frac{10}{3} \text{ м}, b_3 = 2 \text{ м}.$$

Бу қийматларни формулага қўйгандан сўнг қуйидагилар ҳосил бўлади:

$$2M_B \cdot 10 = -6 \left( -20 \cdot \frac{4}{3 \cdot 6} + 80 \cdot \frac{10}{3 \cdot 6} + \frac{320 \cdot 2}{3 \cdot 4} \right) = -560, M_B = -28 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Схем, в да икката қулоч учун  $M_B$  нинг эпюраси  $M(x)$  кўрсатилган.

Статика тенгламаларидан таянч реакцияларнинг қийматларини топамиз:  
 $A=14,7$  кН,  $B=61,7$  кН,  $C=33$  кН. Сунгра  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясаймиз (схема,  $z$  ва  $\delta$ ). Кесимни тавлаймиз: зарур қаршилик моменти:

$$W = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{30,7 \cdot 10^3}{1} = 3070 \text{ см}^3,$$

чунки  $W = \frac{bh^2}{6} = \frac{h^3}{12}$ , бу ҳолда  $h = \sqrt[3]{36840} = 33,3$  см.  $b = 0,5h = 17$  см.

9.8. Расмда кўрсатилган туққизта балканинг ҳар қайсиси учун исталган усулда статик аниқмасликни очиб беринг, таянч реакцияларни аниқланг ва энг катта эгувчи моментлар қийматини ҳисобланг. Схемалар:  $ж, з, и$  учун  $A_x = B_x = 0$  деб олинг.

Жавоб:

а)  $A = \frac{6}{16} P$ ,  $B = \frac{11}{8} P$ ,  $M_B = \frac{3}{16} Pl$ ,  $M_P = \frac{5}{32} Pl$ ;

б)  $A = \frac{3}{8} ql$ ,  $B = \frac{5}{4} ql$ ,  $M_B = -\frac{1}{8} ql^2$ ,  $M_{\max} = \frac{9}{128} ql^2$ ;

в)  $A = -\frac{9M_0}{8l}$ ,  $B = \frac{9M_0}{4l}$ ,  $M_B = -\frac{1}{8} M_0$ ,  $M_{\max} = \frac{9}{16} M_0$ ;

г)  $A = P \left( 1 + \frac{3a}{2l} \right)$ ,  $B = -3P \frac{a}{l}$ ,  $M_B = \frac{1}{2} Pa$ ,  $M_A = -Pa$ ;

д)  $A = qa \left( 1 + \frac{3a}{4l} \right)$ ,  $B = -\frac{3qa^2}{2l}$ ,  $M_B = \frac{1}{4} qa^2$ ,  $M_A = -\frac{1}{2} qa^2$ ;

е)  $A = \frac{3}{2} \frac{M_0}{l}$ ,  $B = -\frac{3M_0}{l}$ ,  $M_B = \frac{1}{2} M_0$ ,  $M_A = -M_0$ ;

ж)  $A = P$ ,  $M_A = M_B = -Pa \frac{a+b}{2a+b}$ ,  $M_P = Pa \frac{a}{2a+b}$ ;

з)  $A = \frac{ql}{2}$ ,  $M_A = M_B = -\frac{1}{12} ql^2$ ,  $M = \frac{1}{24} ql^2$  (қулочи ўртасида);

и)  $A = 0$ ,  $M_A = M_B = -M_0 \frac{b}{2a+b}$ ,  $M = M_0 \frac{2a}{2a+b}$  (қулочи ўртасида).

9.9. Расмда бир марта статик аниқланмайдиган балкалар ҳар хил юкланиш схемалари билан берилган. Схемалардаги масофалар метрларда кўрсатилган. Исталган усулда статик аниқмасликни очиб беринг, таянч реакцияларни аниқланг, кўндаланг куч ва эгувчи момент эпюраларини ясанг.

Жавоб: Таянч реакциялар ва эгувчи моментнинг экстремал қийматлари кўрсатилган. Чапдан ўнгга томон ҳисобланади.

а)  $-16,4$  кН;  $-16,4$  кНм;  $10,8$  кНм;  $16,4$  кН;  $-5,6$  кНм;

б)  $-33,6$  кНм;  $3,84$  кН;  $4,8$  кНм;  $21,6$  кНм;  $21,6$  кН;

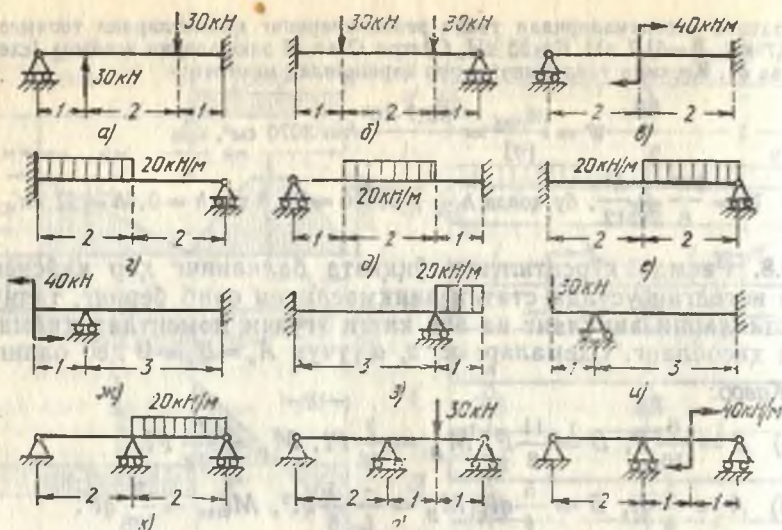
в)  $-11,25$  кН;  $-22,5$  кНм;  $17,5$  кНм;  $11,25$  кН;  $-1,25$  кНм;

г)  $-22,5$  кНм;  $35,6$  кН;  $9,2$  кНм;  $4,4$  кН;

д)  $13,1$  кН;  $17,4$  кНм;  $26,9$  кН;  $-27,5$  кНм;

е)  $-17,5$  кНм;  $14,4$  кН;  $16,4$  кНм;  $25,6$  кН;





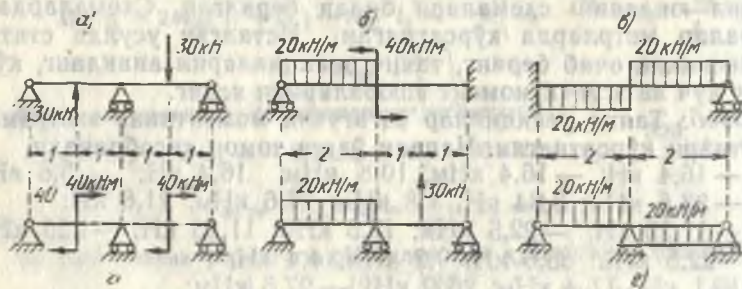
9.9- масалага оид

- ж) 20 кН; — 40 кНм; — 20 кН; 20 кНм;  
 з) 5,0 кНм; — 5 кН; — 10 кНм; 25 кН;  
 и) 45 кН; — 30 кНм; — 15 кН; 15 кНм;  
 к) — 2,5 кН; — 5 кНм; 25 кН; 7,7 кНм; 17,5 кН;  
 л) — 2,8 кН; — 5,6 кНм; 20,6 кН; 12,2 кНм; 12,2 кН;  
 м) 1,25 кН; 2,5 кНм; — 22,5 кН; — 191+21 кНм; 21,25 кН.

9.10. Расмда статик аниқмас балкаларни юклаш схемалари келтирилган. Улар 9.9 масаладаги баъзи схемаларни устма-уст қўйиб ҳосил қилинган. Қўндаланг куч ва эгувчи момент эпюрасини ясанг (9.9- масала ечимларидан фойдаланиш мумкин).

Жавоб: (9.9- масала жавобига тушунтиришга қаранг).

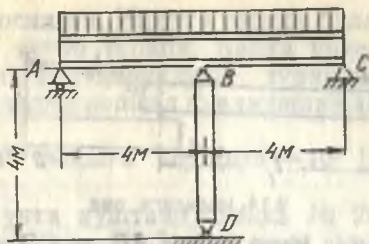
- а) — 15 кН; — 15 кНм; 0,15 кНм; 15 кН;  
 б) 36,9 кН; 34 кНм; — 12,4 кНм; 3,1 кН;  
 в) 5 кНм; — 21,25 кН; — 6,25 кНм; 11,3 кНм; 21,22 кН;



9.10- масалага оид

- г)  $-20 \text{ кН}$ ;  $-20/+20 \text{ кНм}$ ;  
 0;  $-20/+20 \text{ кНм}$ ;  $20 \text{ кН}$ ;  
 д)  $20,3 \text{ кН}$ ;  $10,3 \text{ кН}$ ;  $0,6 \text{ кНм}$ ;  
 4,4 кН;  $-14,7 \text{ кНм}$ ;  
 е)  $20 \text{ кН}$ ;  $10 \text{ кНм}$ ; 0;  $-10 \text{ кНм}$ ;  
 $-20 \text{ кН}$ .

9.11. Узунлиги  $L=8 \text{ м}$  бўлган балка № 40 (қўштавр пўлат балка) учлари шарнирли бикр таянчларга таянган, қулочи ўртасидан  $H=4 \text{ м}$  баландликдаги труба чуян устун



9.11- масалага оид

билан тутиб турилади (расмга қаранг). Устуннинг ташқи диаметри  $16 \text{ см}$ , ички диаметри  $12 \text{ см}$ . Балкага  $20 \text{ кН/м}$  интенсивликдаги тенг тақсимланган юкланиш таъсир этади. Чуян устундаги зўриқишни ҳамда балкадаги энг катта нормал кучланиш ва устундаги кучланишни аниқланг. Агар ўртадаги таянч бикр бўлса, унинг реакцияси нимага тенг?

Қўрсатма. Кўчишнинг  $B$  нуқтадаги биргаликдаги тенгламаси:

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{E_\delta J} - \frac{BL^3}{48E_\delta J} = \frac{BH}{E_\delta \cdot H}$$

Бундан  $B$  устундаги зўриқиш қиймати ҳисоблаб топилади:

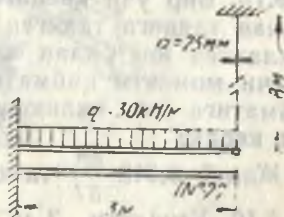
$$B = \frac{5}{8} \frac{qL}{\kappa}, \text{ бунда } \kappa = 1 + \frac{E_\delta}{E_\sigma} \cdot \frac{48HJ}{F \cdot L^3} = 1,0135.$$

Жавоб:  $B = 98700 \text{ Н}$ , балкадаги кучланиш  $395 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ , колоннадаги кучланиш  $112 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ . Бикр таянчда  $B=100 \text{ кН}$ .

9.12. Узунлиги  $4 \text{ м}$  бўлган пўлат қўштавр балка № 22 учлари билан шарнирли бикр таянчларга, ўртасидан эса баландлиги  $8 \text{ м}$  (қўндаланг кесим юзаси  $400 \text{ см}^2$ ) бўлган ёғоч стойкага таянади. Таянчдан  $1 \text{ м}$  нарига ҳар бири  $P = 30 \text{ кН}$  бўлган икки куч қўйилган. Балкадаги энг катта нормал кучланишларни ва стойкадаги кучланишни топинг.

Жазоб:  $469 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ,  $\approx 10^6 \text{ Н/м}^2$ .

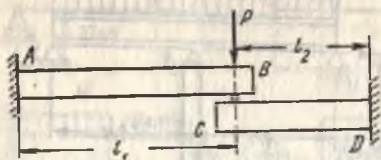
9.13. Қўштавр пўлат балка № 22 бир учи билан деворга қисилган, иккинчи учи диаметри  $25 \text{ мм}$  ли вертикал пўлат тортқи билан тортиб қўйилган (расмга қаранг). Балка интенсивлиги  $30 \text{ кН/м}$  бўлган тенг тақсимланган юк билан юкланган. Тортқидаги зўриқиш ва кучланиш қийматларини ҳамда балкадаги энг катта нормал кучланишларни аниқланг. Агар балкани улашдан олдин ўрнатилган тортқи  $8 \text{ м}$  дан  $2,5 \text{ мм}$  узунроқ бўлса, зўриқиш ва кучланиш қандай ўзгаради?



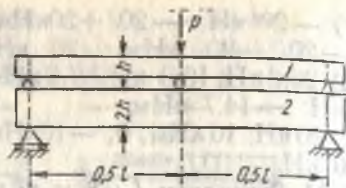
9.13- масалага оид

Жавоб:  $32300 \text{ Н}$ ,  $656 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ,  $1640 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ,  $3090 \text{ Н}$ ,  $627 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ,  $1830 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ .





9.14- масалага оид



9.15- масалага оид

9.14. Икки балка  $AB$  ва  $CD$  туташган жойга  $P$  куч қўйилган (расмга қаранг). Уларнинг қулочлари ва бикрликлари нисбатлари:  $l_1 \cdot l_2 = 3:2$  ва  $EJ_1 : EJ_2 = 4:5$  маълум бўлса, балкалар орасида бу куч қандай тақсимланади?

Жавоб:  $P_1 \approx 0,19 P$ ;  $P_2 \approx 0,81 P$ .

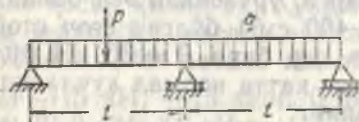
9.15. Бир хил материалдан ясалган, узунлиги ва эни бир хил бўлган тўғри тўртбурчак кесимли икки балка расмда кўрсатилгандек бири иккинчисининг устига қўйилган. Юқоридаги балканинг баландлиги пастдаги балканикидан икки марта кичик. Балкалар орасида юк қандай тақсимланади?

Жавоб:  $P_1 = \frac{1}{9}$ ;  $P_2 = \frac{8}{9} P$ .

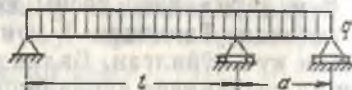
9.16. Расмда кўрсатилган балка бутун узунлиги бўйича тенг тақсимланган юк билан юкланган. Балканинг ўнг томондаги таянчга қўйилган учи кўтарилиб кетмаслиги учун чап қулоч ўртасига қўйилган  $P$  кучнинг қиймати нимага тенг бўлиши мумкин?

Жавоб:  $P = 4 ql$ .

9.17. Икки қулочли қирқилмаган балка бутун узунлиги бўйича тенг тақсимланган юк билан юкланган. Ўнг таянчдаги реак-



9.16- масалага оид



9.17- масалага оид

ция нолга тенг бўлиши учун балка қулочлари  $l$  ва  $a$  қандай нисбатда бўлиши керак (расмга қаранг)?

Жавоб:  $a = 0,433 l$ .

9.18. Бир учи қисилган ва иккинчи учи шарнирли қўзғалувчан таянчга таянган балка бутун қулоч  $l$  бўйича тенг тақсимланган юк билан юкланган. Қулочдаги энг катта мусбат эгувчи моменти қийматини қисилган жойдаги манфий момент қийматига тенг қилиш учун таянччи қанча кўтариш ёки тушириш керак?

Жавоб:  $0,013 \frac{ql^4}{EJ}$  га кўтариш керак.

9.19. Узунлиги 3 м бўлган квадрат  $30 \times 30$  см кесимли ёғоч балка узунлиги 2 м дан ва кўндаланг кесим юзаси  $8 \text{ см}^2$

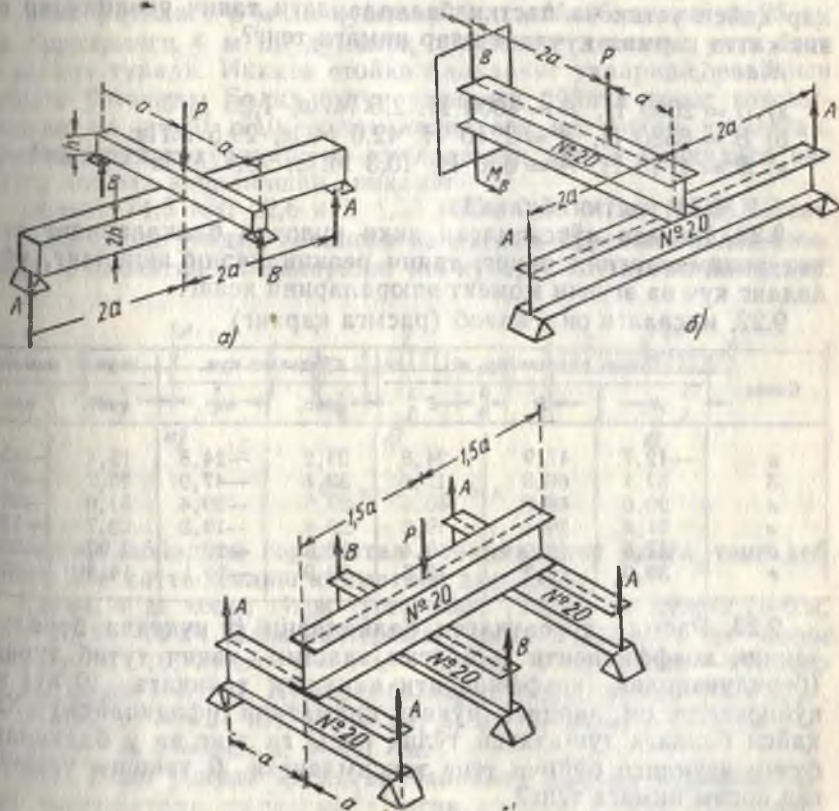
дан бўлган учта пўлат тортқига осилган. Иккита тортқи балкани учларидан, учинчиси ўртасидан тутиб туради. Балка ўртасига  $P = 130 \text{ кН}$  куч таъсир қилади. Тортқилардаги зўриқишлар қийматини ҳамда балкадаги энг катта нормал кучланишни аниқланг.

Жавоб: ўртадаги  $1425 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ , четдаги тортқида —  $10^7 \text{ Н/м}^2$ , балкада  $27 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ .

9.20. Қўштавр балка № 55 учта қўштавр стойка № 20 га ўрнатилган. Стойкалар балка узунлигини 1,5 м ли икки қулочга бўлади. Стойкаларнинг баландлиги 3 м. Балка қўйилгандан сўнг ўртадаги стойка  $40^\circ$ га қиздирилган. Ўртадаги стойкадаги зўриқишлар қийматини, стойкалардаги кучланишларни ва стойка қизиганда балкадаги энг катта нормал кучланишни аниқланг.

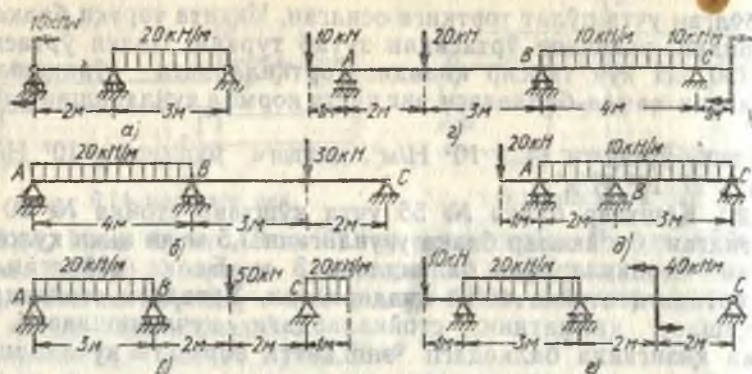
Жавоб:  $111 \cdot 10^3 \text{ Н}$ ;  $414 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ ,  $207 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ ,  $417 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ .

9.21. Балкалар расмда кўрсатилганидек айқаш жойлаштирилган. Юкланмаган ҳолда балкалар туташган жойларда



9.21- масалага оид





9.22- масалага онд

юқори балканинг таги пастдаги балканинг устига босимсиз тегиб туради. Балка ўлчамлари расмда кўрсатилган, бунда  $a = 100$  см,  $b = 12$  см,  $h = 20$  см. Куч  $P = 12$  кН таъсирида ҳар қайси устки ва пастки балкалардаги таянч реакциялар ва энг қатта нормал кучланишлар нимага тенг?

Жавоб:

- а)  $B = 2000$  Н,  $A = 4000$  Н, 2,5 МПа, 1,25 МПа;  
 б)  $B = 6580$  Н,  $A = 2710$  Н, 42,0 МПа, 29,5 МПа;  
 в)  $B = 4740$  Н,  $A = 630$  Н, 10,3 МПа, 25,7 МПа

ва 5.1 МПа пастки балкада.

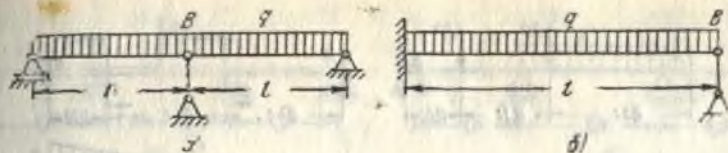
9.22. Расмда кўрсатилган икки қулочли балкаларнинг статик аниқмаслигини очинг, таянч реакцияларни аниқланг, қўндаланг куч ва эғувчи момент эпюраларини ясанг.

9.22. масалага онд жавоб (расмга қаранг)

| Схема | Таянч реакциялар, кН |      |       | Қўндаланг куч |       | Эғувчи момент |       |
|-------|----------------------|------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
|       | A                    | B    | C     | макс.         | мин.  | макс.         | мин.  |
| a     | -12,7                | 47,9 | 24,8  | 35,2          | -24,8 | 15,4          | -15,5 |
| b     | 32,1                 | 66,3 | 11,6  | 32,1          | -47,9 | 25,7          | -31,8 |
| в     | 20,6                 | 68,9 | 40,5  | 29,5          | -39,4 | 31,0          | -28,2 |
| г     | 21,4                 | 29,4 | 19,2  | 20,8          | -19,2 | 12,7          | -13,2 |
| д     | 37,6                 | 19,0 | 13,4  | 17,6          | -20   | 0,90          | -20   |
| e     | 39,9                 | 42,7 | -12,6 | 29,9          | -30,1 | 14,8          | -25,2 |

9.23. Расмда кўрсатилган балкаларни  $B$  нуқтада берилувчанлик коэффиценти  $\alpha$  бўлган эластик таянч тутиб туради (берилувчанлик коэффиценти иккинчи таянчига 10 кН юк қўйилганда см лардаги чуқиш қийматини ифодалайди). Ҳар қайси балкага тушадиган тўлиқ юк  $Q$  га тенг ва у балканинг бутун узунлиги бўйича тенг тақсимланган.  $B$  таянчга тушадиган босим нимага тенг?

Жавоб: а)  $B = \frac{5}{8} \cdot \frac{Q}{K}$ , бунда  $K = 1 + \frac{6EI\alpha}{l^3}$ ;



9.23- масалага оид

б)  $B = \frac{3}{8} \cdot \frac{Q}{\kappa}$ , буида  $\kappa = 1 + \frac{3EI\alpha}{l^3}$ .

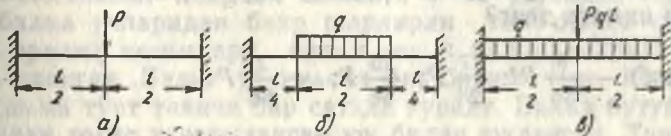
9.24. Узунлиги  $l$ , оғирлиги  $Q$ , инерция моменти  $J$  бўлган балка бир хил эластик учта стойка устида ётади (стойкалар балка учлари ва ўртасига тиралган). Стойкани 1 см калталаштириш учун ўқ зўриқиши  $S$  талаб қилинади. Ўртадаги стойкага тўғри келадиган юк  $B$  нимага тўғри келади?

Жавоб:  $B = \frac{Q}{8} \cdot \frac{192EI + 5l^3 \cdot S}{72EI + l^3 \cdot S}$ .

9.25. Узунлиги 6 м ли қўштавр балка № 16 диаметри 25 см ва баландлиги 4 м ли думалоқ кўндаланг кесимли учта ёғоч стойкада туради. Иккита стойка балканинг учларида, учинчиси қулочи ўртасида. Балка бутун узунлиги бўйича текис тақсимланган ва  $q = 20$  кН/м интенсивликдаги юк билан юкланган. Стойкалардаги зўриқиш ва кучланишни ҳамда балкадаги энг катта нормал кучланишни аниқланг.

Жавоб: 74,8 кН; 22,6 кН; 1,53 МПа; 0,46 МПа; 154,5 МПа.

9.26. Икки учидан қисилган ва расмда кўрсатилгандек симметрик юкланган балкаларнинг юк кўтарувчанлигини аниқланг.



9.26- масалага оид

Қисилган жойидаги горизонтал реакцияларни нолга тенг деб олинг. Энг катта эгилиш қийматини ҳисобланг.

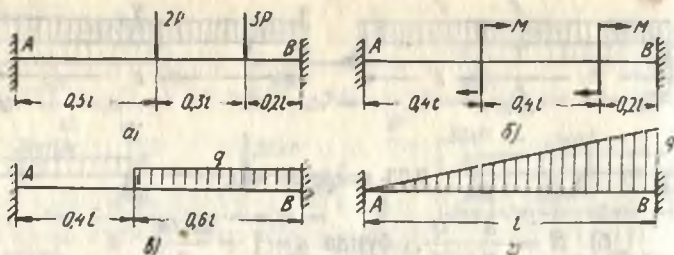
Схема, а да кесим тўғри тўртбурчак,  $12 \times 30$  см<sup>2</sup> қулочи  $l = 6$  м,  $[\sigma] = 10 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>, балка материали қайин. Схема, б да кесим қўштавр № 10, қулоч  $l = 4$  м. Схема, в да кесим — қўштавр № 20, қулоч  $l = 6$  м. Қўштавр балкалар учун  $[\sigma] = 16 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>.

Жавоб: а)  $P \approx 24$  кН;  $-1,0$  см; б)  $q = 7$  кН/м,  $-0,96$  см;

в)  $q = 4$  кН/м;  $-1,1$  см.

9.27. Икки учидан қисилган балкалар расмда кўрсатилгандек носимметрик юкланган. Статик аниқмаслигини кўрсатинг, таянч реакцияларини топинг ва  $Q$  ҳамда  $M$  эпюраларни ясанг.





9.27- масалага оид

Жавоб:

| Схема | A                 | $M_A$         | Кулочдаги эгувчи моментнинг<br>характерли ординаталари | $M_B$         | B                 |
|-------|-------------------|---------------|--------------------------------------------------------|---------------|-------------------|
| a     | $1,312 P$         | $-0,346 Pl$   | $0,310 Pl, -0,104 Pl$                                  | $0,634 Pl$    | $3,688 P$         |
| б     | $2,4 \frac{M}{l}$ | $0,4 M$       | $-0,56 m, -0,52 m$<br>$0,44 m, 0,48 m$                 | 0             | $2,4 \frac{M}{l}$ |
| в     | $0,1512 ql$       | $-0,0396ql^2$ | $0,0209ql^2, 0,0323 ql^2$                              | $-0,0684ql^2$ | $0,4488 ql$       |
| г     | $0,15 ql$         | $-0,033ql^2$  | $M_{\max} = 0,0215 ql^2$                               | $-0,05ql^2$   | $0,35 ql$         |

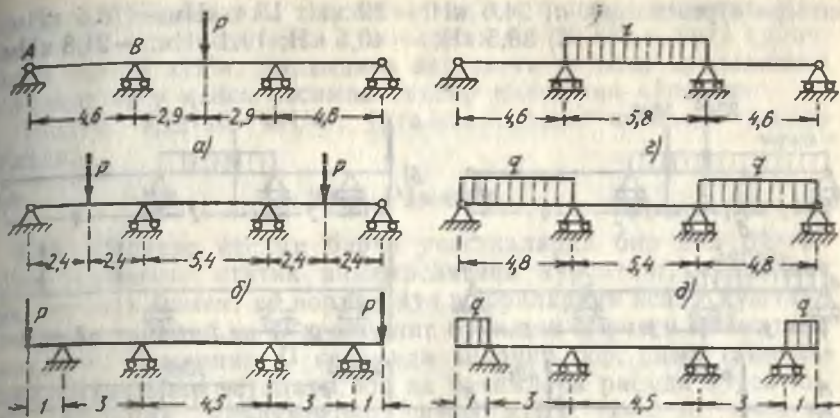
9.28. Қирқилмаган балка бир хил узунлик  $l$  даги икки қулочга эга. Балканинг чап учи қисилган, қолган учта таянч шарнирли. Чап қулочнинг ўртасига  $P$  куч қўйилган. Таянч реакциялар нимага тенг?

Жавоб:  $-\frac{9}{56} Pl$ ;  $\frac{17}{28} P$ ;  $\frac{25}{56} P$ ;  $-\frac{3}{56} P$ .

9.29. Қулочлари  $l_1$  ва  $l_2$  бўлган қирқилмаган балка чап учидан қисилган ва ўнг учи эркин таяниб туради. Эркин таяниб турган учидан  $a$  масофада  $P$  юк қўйилган. Қисилган жойдаги момент ва ўрта таянчдаги момент нимага тенг ( $a < l_2$ )?

Жавоб:  $M_{\kappa} = \frac{Pa(l_2^2 - a^2)}{l_2(3l_1 + 4l_2)}$ ;  $M_y = -2M_{\kappa}$ .

9.30. Қирқилмаган қўштавр балкалар расмда кўрсатилгандек симметрик юк билан юкланган.  $P=60$  кН,  $q=40$  кН/м. Исталган усулда статик аниқмасликни кўрсатинг, таянч реакцияларни ҳисобланг,  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг,  $[\sigma]=160$  МПа бўлганда қўштавр номерини танланг ва балканинг ўрта кесимидаги эгилиш қийматини ҳисобланг.



9.30- масалага оид

Жавоб:

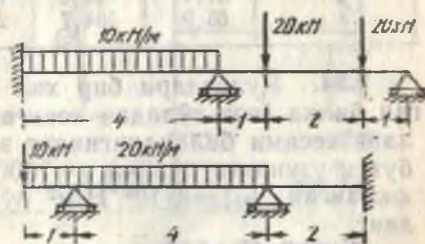
| Схема | A, кН | B, кН | $M_{min}$ , кНм | $M_{max}$ , кНм | Қўштавр | $y$ , см |
|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|---------|----------|
| a     | 6,2   | 36,2  | -28,5           | 58,5            | N 27    | -1,23    |
| b     | 25,8  | 34,2  | -20,1           | 61,9            | N 27    | 0,72     |
| c     | 83,1  | -23,1 | -60             | 9,2             | N 27    | -0,23    |
| e     | 16,0  | 13,20 | -73,4           | 94,8            | N 33    | -1,4     |
| d     | 87,1  | 104,9 | -42,9           | 94,9            | N 33    | 0,79     |
| e     | 47,7  | -7,7  | -20             | 3,1             | N 18    | -0,30    |

9.31. Кесимнинг инерция моменти  $J$  ва узунлиги  $l$  бўлган пўлат балка учларидан бикр шарнирли таянчларга таянган, иккита оралиқ кесимлари билан эса  $h$  баландликдаги пўлат устунга таянган. Балка уч қулочи бир-бирига тенг. Юкланганда ҳамма тўрт таянчи бир сатҳда туради. Балка бутун узунлиги билан текис тақсимланган юк билан юкланган. Таянчларнинг зарур кўндаланг кесим юзаси  $F$  ни топинг. Бунинг учун стойкалардаги зўриқишлар ва четдаги зўриқишлар бир хил бўлиши керак.

Жавоб:  $F = \frac{486Jh}{7l^3}$ .

9.32. Расмда кўрсатилган қирқилмаган балкалар учун исталган усулда статик аниқ-масликни кўрсатинг, кўндаланг куч ва эгувчи момент эпюраларини ясанг.

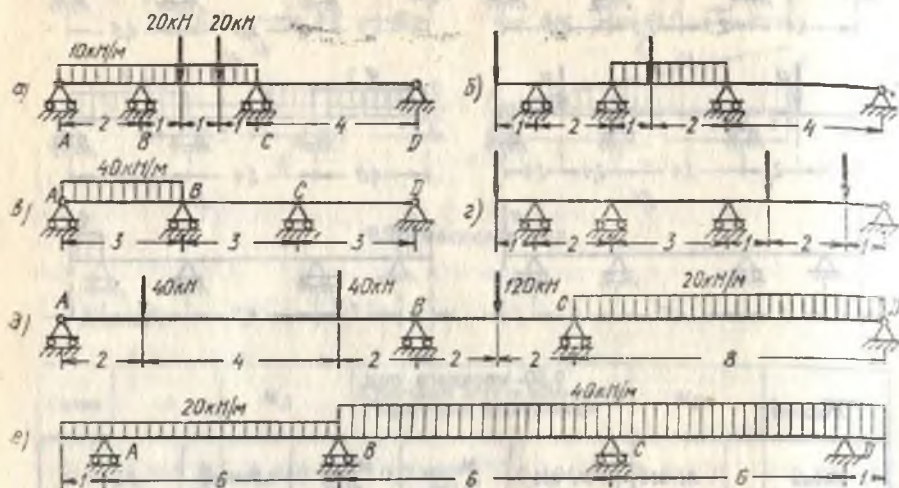
Жавоб:  $(Q$  ва  $M$  ларнинг иккала ишорадаги энг катта қий-



9.32- масалага оид



матлари кўрсатилган). а) 24,6 кН; — 22 кН; 15,4 кНм; — 18,6 кНм.  
б) 39,5 кН; — 40,5 кН; 19,1 кНм; — 21,8 кНм.



9.33- масалага оид

9.33. Расмларда уч қулочли қирқилмаган балкалар кўрсатилган, улар ҳар хил схемаларда юкланган. Исталган усулда статик аниқмасликни кўрсатинг.  $Q$  ва  $M$  эпюраларни ясанг ва таянч реакцияларни топинг. Балкалар участкаларининг узунлиги расмда метрларда кўрсатилган.

Жавоб:

| Схема | A, кН | B, кН  | C, кН  | D, кН | $M_{\max}$<br>кНм | $M_{\min}$<br>кНм |
|-------|-------|--------|--------|-------|-------------------|-------------------|
| a     | 1,1   | 56,7   | 34,6   | — 2,4 | 17,8              | — 17,9            |
| б     | 6,0   | 56,2   | 40,7   | — 2,9 | 24,2              | — 18,0            |
| в     | 52,0  | 78,0   | — 12,0 | 02,0  | 33,6              | — 24,0            |
| г     | 70,5  | — 51,8 | 92,0   | 49,3  | 49,3              | — 43,0            |
| д     | 31,4  | 94,6   | 169,7  | 64,3  | 103,4             | — 125,1           |
| e     | 65,9  | 184,7  | 271,3  | 138,1 | 101,5             | 151,3             |

9.34. Қулочлари бир хил бўлган тўрт қулочли қирқилмаган балка ёғоч ғуладан ясалган. Балка узунлиги 8 м. Қўндаланг кесими баландлигининг энига нисбати 1,5 га тенг. Балка бутун узунлиги бўйича  $q=7000$  Н/м интенсивликдаги юк билан юкланган.  $[\sigma]=8 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> бўлганда брус ўлчамларини аниқланг.

Жавоб:  $10 \times 15$  см.

9.35. Тўрт қулочли қирқилмаган қўштавр балка № 22 нинг чекка қулочлари 3 м дан, ўртадагилари 4 м дан. Балка бутун

узунлиги бўйича текис тақсимланган юк билан юкланган. Юкланиш интенсивлиги чекка қулочларда  $q_1=20$  кН/м, ўрта қулочларда  $q_2=30$  кН/м. Балкадаги энг катта нормал кучланишни аниқланг ва у қайси кесимда таъсир қилишини кўрсатинг.

Жавоб:  $9,12 \cdot 10^4$  кН/м<sup>2</sup>, ўрта таянчдаги кесимда таъсир қилади.

## 29-§. Рамалар

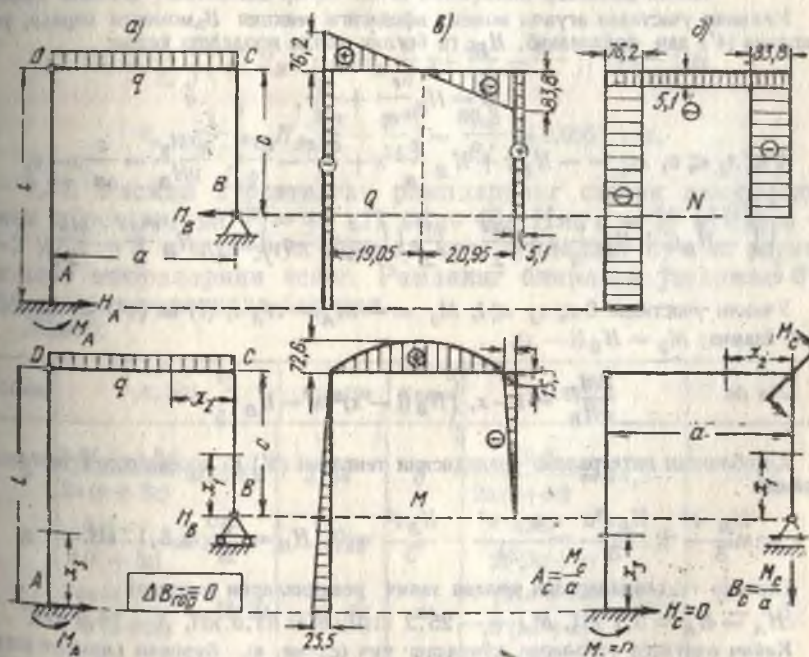
9.36. Қўштавр кесими барча участкаларда бир хил бўлган пўлат раманинг статик аниқмаслигини кўрсатинг, қўндаланг куч, буровчи момент ва нормал куч эпюраларини ясанг, қўштавр номерини танланг ва С кесимнинг бурилиш бурчаги қийматини аниқланг. Раманинг D кесимида шарнир бор, рама таянчларини маҳкамлаш усуллари, юк ва ўлчамлари расмда кўрсатилган. Рақамли маълумотлар:  $q=40$  кН/м,  $l=5$  м,  $a=4$  м,  $c=3$  м,  $[\sigma]=16 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>.

Ечим. Схема, а да таянч реакцияларни кўрсатамиз ва статика тенгламаларини ёзамиз:

$$H_A = H_B, \quad (1)$$

$$A + B = qa, \quad (2)$$

$$\frac{qa^2}{2} - Aa + H_A(l-c) + M_A = 0. \quad (3)$$



9.36-масалага оид



Шарнирнинг борлиги яна икки тенгламани ёзишга имкон беради: шарнирнинг бир томонида олинган барча кучларнинг шарнирга нисбатан моментларининг янги дидиси нолга тенг:

$$B a - \frac{q a^2}{2} - H_B \cdot c = 0, \quad (4')$$

$$H_A \cdot l + M_A = 0. \quad (4'')$$

Тенгламалар (4) дан ясталган бири статиканинг биринчи уч тенгламасига қўшимча ҳисобланади. Номатлумлар бешта бўлгани учун масала бир марта статик аниқмас ҳисобланади.

«Ортиқча» номатлум сифатида  $H_B$  ни қабул қиламиз (схема, б). Схема, б даги рама берилган рамага эквивалент (схема, а) бўлиши учун схема, б га қуйидаги шартни қўйиш керак:

$$\Delta B_{\text{гор}} = 0. \quad (5)$$

Кастильяно теоремасини қўлаймиз  $\Delta B_{\text{гор}} = \frac{\partial U}{\partial H_B}$  бўлгани учун

$$\sum \int M(x) \frac{\partial M}{\partial H_B} dx = 0. \quad (5')$$

Участкалар бўйича тенглама (5') интеграллари йиғиндисини ҳисоблаймиз:

$$0 \leq x_1 \leq c; M_1 = -H_B \cdot x_1, \quad \frac{\partial M}{\partial H_B} = -x_1.$$

$$\int_0^c (-H_B \cdot x) (-x) dx = \frac{H_B \cdot c^3}{3}.$$

Иккинчи участкада эгувчи момент ифодасига реакция  $B$  momenti киради, уни тенглама (4') дан фойдаланиб,  $H_B$  га боғлиқ ҳолда ифодалаш керак:

$$B = H_B \frac{e}{a} + \frac{q a}{2},$$

$$0 \leq x_2 \leq a, M_2 = -H_B c + H_B \frac{c}{a} x + \frac{q a x}{2} - \frac{q x^2}{2}, \quad \frac{\partial M_2}{\partial H_B} = \frac{c}{a} x - c,$$

$$\int_0^a \left( -H_B c + H_B \frac{c}{a} x + \frac{q a x}{2} - \frac{q x^2}{2} \right) \left( \frac{c}{a} x - c \right) dx = H_B \frac{c^2 a}{3} - \frac{q c a^3}{24}.$$

Учинчи участкада  $0 \leq x_3 \leq l, M_3 = -M_A - H_A x, (1)$  ва (4'') ни ҳисобга олиб ёзамиз:  $M_3 = H_B (l - x),$

$$\frac{\partial M_3}{\partial H_B} = l - x, \quad \int_0^l H_B (l - x)^2 dx = H_B \frac{l^3}{3}.$$

Ҳисобланган интеграллар йиғиндисини тенглама (5') га асосан нолга тенглаштирамиз:

$$\frac{H_B \cdot c^3}{3} + \frac{H_B c^2 a}{3} - \frac{q \cdot c \cdot a^3}{24} - \frac{H_B l^3}{3} = 0, \quad H_B = \frac{240}{27} \approx 5,1 \text{ кН}.$$

Статика тенгламаларидан қолган таянч реакцияларни топамиз:

$$H_A = H_B = 5,1 \text{ кН}, M_A = -25,2 \text{ кНм}, B = 83,8 \text{ кН}, A = 76,2 \text{ кН}.$$

Кейин одатдаги усулларда кўндаланг куч (схема, е), буровчи момент (схема, з) ва нормал куч (схема, д) эпюраларни ясаймиз. Энг катта эгувчи момент ( $x = 2,095$  м) кесим вазиятини ва  $M_{\text{max}} = 72,6$  кНм қийматни топамиз. 3а

рур каршилиқ momenti  $W = 454 \text{ см}^3$ . Қўштак № 30 ни танлаймиз:  $W = 472 \text{ см}^3$ ,  $J = 7080 \text{ см}^4$ ,  $F = 46,5 \text{ см}^2$ .

Эгувчи моментдан ҳосил бўладиган энг катта нормал кучланишлар  $[\sigma] = 7260000:472 = 15380 \text{ Н/см}^2$ , иккинчи участканинг исталган кесимида нормал кучдан ҳосил бўладиган сиқувчи кучланишлар  $\sigma = 5100:46,5 = 110 \text{ Н/см}^2$ , раманинг юқори толаларидаги йиғинди энг катта сиқувчи кучланишлар ( $x_2 = 2,095$  м бўлган кесимда)  $\sigma_{\text{max}} = 15380 + 110 = 15490 \text{ Н/см}^2 < 16000 \text{ Н/см}^2$ .

Кесим С нинг бурилиш бурчагини аниқлаш учун рама асосий системасининг бу кесимида (схема, б) қўшимча момент  $M_c$  ни қўямиз (схема, е). Кесим С нинг бурилиш бурчаги

$$\theta_c = \frac{1}{EJ} \sum \int M(x) \frac{\partial M(x)}{\partial M_c} dx.$$

Раманинг учта участкасидаги эгувчи момент  $M(x)$  қийматларини ҳисоблаб бўлдик.  $\frac{\partial M(x)}{\partial M_c}$  қийматларини схема, е учун ҳисоблаймиз. Момент  $M_c$  ҳосил қилган таянч реакциялар шу схемада кўрсатилган.  $M_c$  таъсиридан ҳосил бўладиган эгувчи моментлар қийматларини ёзамиз:  $M_1 = 0, M_2 = M_c - M_c \cdot \frac{x}{a}, M_3 = 0.$

Ҳосила фақат иккинчи участкадагина нолдан фарқли. Бу ерда  $y = \frac{\partial M(x)}{\partial M_c} = 1 - \frac{x}{a}$  га тенглашади. Демак, кесим С нинг бурилиш бурчагини аниқлаш учун раманинг иккинчи участкасида фақат битта интегрални ҳисоблаш керак:

$$\theta_c = \frac{1}{EJ} \int_0^a \left( -H_B \cdot c + H_B \frac{c}{a} x + \frac{q a x}{2} - \frac{q x^2}{2} \right) \left( 1 - \frac{x}{a} \right) dx,$$

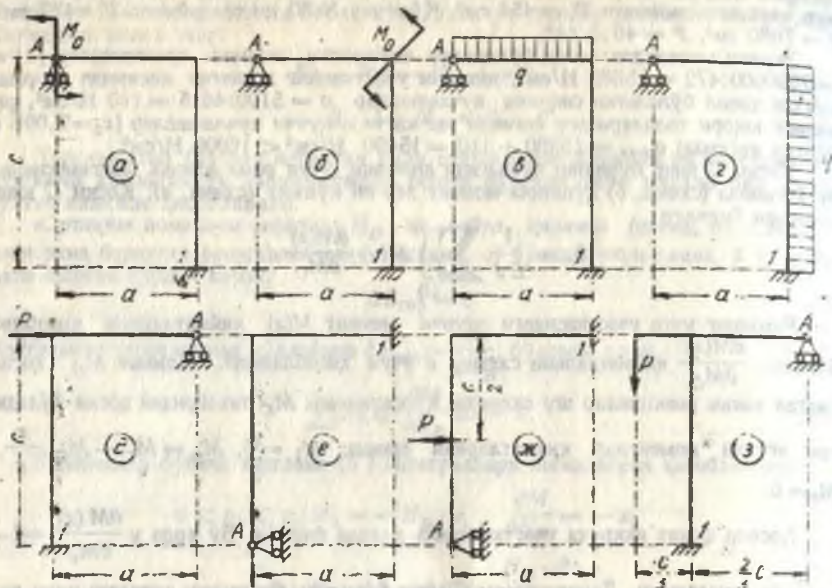
$$\theta_c = \frac{1}{EJ} \left( -H_B \frac{c a}{3} + \frac{q a^3}{24} \right) = \frac{86,3}{EJ} = 0,0061 \text{ рад}.$$

9.37. Расмда кўрсатилган рамаларнинг статик аниқмаслигини кўрсатинг ва  $P = 40$  кН,  $M = 40$  кНм,  $q = 20$  кН/м,  $a = 2$  м,  $c = 3$  м ҳол учун нормал куч, кўндаланг куч ва эгувчи момент эпюраларини ясанг. Раманинг бикрлиги ўзгармас бўлиб, иккала участкада бир хил.

Жавоб:

| Схема | A, кН                                   | M <sub>1</sub> кНм | Схема | A, кН                                | M <sub>1</sub> кНм |
|-------|-----------------------------------------|--------------------|-------|--------------------------------------|--------------------|
| а     | $\frac{3 M_0 (a+2c)}{2a(a+3c)} = 21,82$ | 3,64               | д     | $\frac{3 P c^3}{2a(a+3c)} = 24,5$    | -71                |
| б     | $\frac{3 M_0 c}{a(a+3c)} = 16,36$       | -7,28              | е     | $\frac{3 P a^3}{2c(3a+c)} = 8,9$     | -53,3              |
| в     | $\frac{3 q a (a+4c)}{8(a+3c)} = 19,09$  | -1,82              | ж     | $\frac{P (24a+5c)}{16(3a+c)} = 17,5$ | -7,5               |
| з     | $\frac{q c^3}{2a(a+3c)} = 12,27$        | -65,46             | з     | $-\frac{9 P}{22} = -16,4$            | -7,2               |

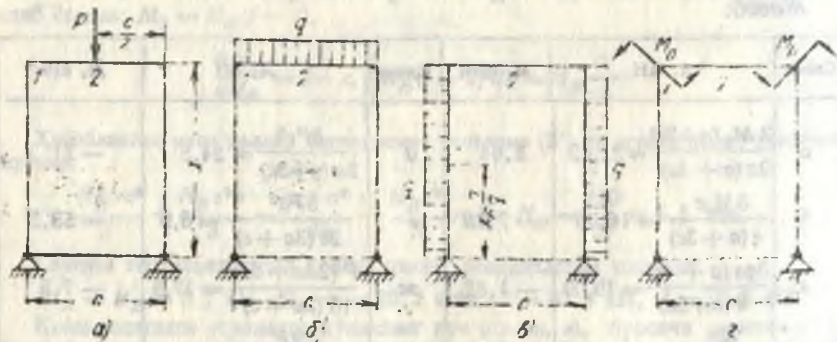




9.37- масалага оид

9.38. Расмда кўрсатилгандек юкланган рамаларнинг статик аниқмаслигини кўрсатинг.  $P=40$  кН,  $c=3$  м,  $a=4$  м,  $q=20$  кН,  $M=60$  кНм бўлганда нормал куч, кўндаланг куч ва эгувчи момент эпюраларини ясанг. Рамаларнинг бикрлиги ўзгармас бўлиб, барча участкаларда бир хил.

Жавоб: ( $H$  — таянч реакциянинг горизонтал ташкил этувчиси).

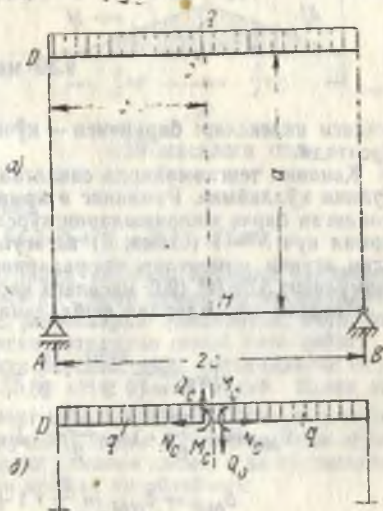


9.38- масалага оид



| Схема    | $H$ , кН                             | $M_1$ , кНм                                 | $M_2$ , кНм                                |
|----------|--------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <i>a</i> | $\frac{3Pc^2}{8a(2a+3c)} \approx -2$ | $-\frac{3Pc^2}{8(2a+3c)} = 88$              | $\frac{Pc(4a+3c)}{8(2a+3c)} = 22$          |
| <i>b</i> | $-\frac{qc^3}{4a(2a+3c)} \approx -2$ | $-\frac{qc^3}{4(2a+3c)} = -8$               | $\frac{qc^2(2a+c)}{8(2a+3c)} \approx 14,5$ |
| <i>c</i> | $\frac{3qa(a+2c)}{4(2a+3c)} = 35,3$  | $\frac{9qa^2(a+2c)^2}{32(2a+3c)^2} = 31,15$ | $-\frac{qa^3}{4(2a+3c)} = -18,8$           |
| <i>d</i> | $\frac{3M_0c}{a(2a+3c)} = 7,9$       | $\frac{3M_0c}{(2a+3c)} = 31,8$              | $-\frac{2M_0a}{(2a+3c)} = 28,2$            |

**9.39.** Берк контурли рама ригел узунлиги бўйича  $q = 20$  кН/м интенсивликдаги текис тақсимланган юк билан юкланган. Рама ўлчамлари:  $a = 5$  м,  $2c = 6$  м (расмга қараиш, схема, *a*). Барча участкаларнинг бикрлигини ўзгармас ҳамда бир хил деб ҳисоблаб, раманинг статик аниқмаслигини кўрсатинг. Нормал куч, кўндаланг куч ва эғувчи момент эпюраларини ясанг,  $[\sigma] = 16 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup> бўлганда раманинг қўштавр кесими пи танланг ва ригел ўртасида кесимнинг эгилиш бурчагини аниқланг.

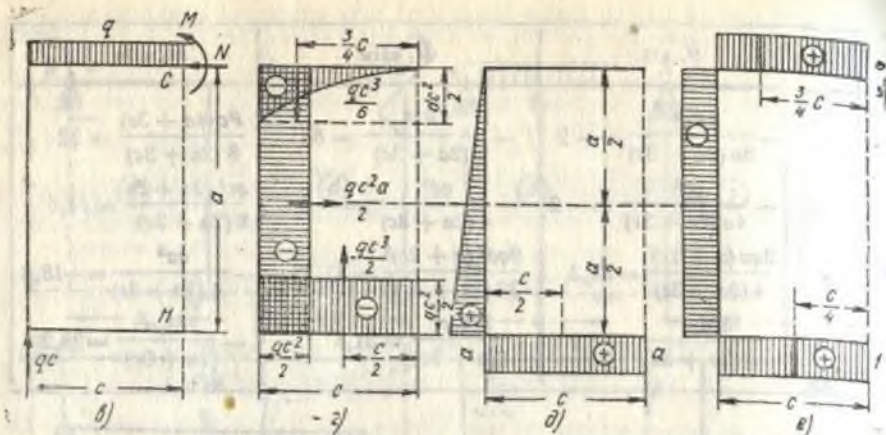


9.39-масалага оид

**Ечим.** Таянч реакциялар статика тенгламаларидан топилади  $A = B = qc = 60$  кН,  $H_A = 0$ . Ички зўриқишларни аниқлаш учун рамани шундай қирқамизки, раманинг симметрияси ва юкланиш симметрияси бузилмасин. Ригел ўртасидан, кесим  $C$  дан ўтган қирқим шундай қирқим бўлиши мумкин. Раманинг олдинги иш шартларини сақлаш учун ўтказилган кесимга  $M_c$ ,  $N_c$ ,  $Q_c$  кучларни қўямиз (схема, *b*). Кесим  $C$  нинг вертикал йўналишда кўчиши мумкин, горизонтал кўчиш ҳамда кесим  $C$  нинг бурилиш бурчаги нолга тенг. Симметрик бўлгани учун кўндаланг куч  $Q_c$  ҳам нолга тенг. Энди раманинг бир ярмини, кесим  $C$  дан чап томондаги ярмини ҳамда бу кесимда раманинг бошқа қисмидан берилатилган кучни кўрсатамиз. Бу кучларни  $M$  ва  $N$  билан белгилаймиз. Бу асосий система раманинг ўнг қисмидан чап қисмига кесим  $H$  да узатилатиган кучларни кўрсатмаймиз, чунки бу кучлар эғувчи моментлар ифодасига кирмайди. Ушбу шартни ёзамиз:  $\Delta_c^{\text{гор}} = 0$  ва  $\theta_c = 0$ . Бу шартга риоя қилинганда схема, *b* берилган схемага эквивалент бўлади. Кейин ечимни исталган усулда давом эттириш мумкин. Кучлар усулининг каноник тенгламасини қўллаймиз:

$$\Delta Nq + N\delta_{NN} + M\delta_{NM} = 0, \quad (1)$$

$$\theta_{Mq} + N\delta_{NM} + M\delta_{MM} = 0, \quad (2)$$



9.39- масалага оид

бундаги индекслар: биринчиси — кўчиш жойини, иккинчиси — кўчиш сабабини кўрсатади.

Каноник тенгламаларда саналган кўчишларни ҳисоблаш учун Верещагин усулини қўллаймиз. Раманинг  $\theta$  ярмидаги ҳисоблаш схемасида рамага таъсир қиладиган барча юкланишларни кўрсатамиз:  $q$ ,  $M$  ва  $N$ , сўнгра юк  $q$  (схема,  $g$ ), нормал куч  $N^0=1$  (схема,  $\delta$ ) ва эгувчи момент  $M^0=1$  (схема,  $e$ ) ҳосил қиладиган эгувчи моментлар эпюраларини алоҳида-алоҳида ясаймиз. Верещагин формуласи:  $\Delta \Sigma \omega M^0$  (9.6- масалага қаранг).

Ясалган эпюралардан фойдаланиб, ҳосилалар  $\omega M^0$  ни ҳисоблаймиз:

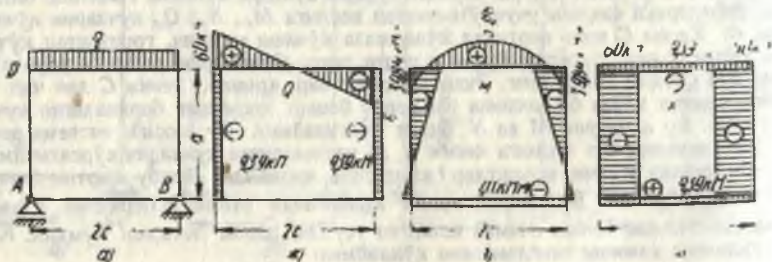
$$\Delta_{Nq} = -\frac{qc^2a}{2} \cdot \frac{a}{2} - \frac{qc^3}{2} \cdot a = -\frac{qc^2a}{4}(a+2c),$$

$$\delta_{Mq} = -\frac{qc^3}{6} \cdot 1 - \frac{qc^2a}{2} \cdot 1 - \frac{qc^3}{2} \cdot 1 = -\frac{qc^3}{6}(3a+4c),$$

$$\delta_{MN} = \delta_{NM} = \frac{a^2}{2} \cdot 1 + ac \cdot 1 = \frac{a}{2}(a+2c).$$

$$\delta_{NN} = \frac{a^2}{2} \cdot \frac{2}{3}a + ac \cdot a = \frac{a^3}{3}(a+3c),$$

$$\delta_{MM} = 1 \cdot c \cdot 1 + 1 \cdot a \cdot 1 + 1 \cdot c \cdot 1 = a + 2c.$$



9.39- масалага оид



Ҳисобланган қийматларни каноник тенгламаларга қўямиз.

$$N \frac{a^3}{3} (a + 3c) + M \frac{a}{2} (a + 2c) = \frac{qc^2 a}{4} (a + 2c), \quad (1)$$

$$N \frac{a}{2} (a + 2c) + M (a + 2c) = \frac{qc^2}{6} (3a + 4c). \quad (2)$$

Бу тенгламаларни ечиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$N = \frac{2q \cdot a^3}{a(a + 6c)} = 9,39 \approx 9,4 \text{ кН},$$

$$M = \frac{qc^3}{6} \cdot \frac{3a^2 + 16ca + 12c^2}{a^2 + 8ca + 12c^2} = 50,16 \text{ кНм}.$$

Раманинг чапқи юқори бурчагида эғувчи момент қиймати

$$M_D = M - \frac{qc^2}{2} = 50,16 - 90 = -39,84 \text{ кНм}.$$

Раманинг пастки бурчагидаги эғувчи момент

$$M_A = M_D + N \cdot a = -39,84 + 9,4 \cdot 5 = 7,11 \text{ кНм}.$$

Эпюралар  $M$ ,  $Q$  ва  $N$ ,  $ж$ ,  $з$ ,  $и$  схемаларда ясалган. Кесимни таялаймиз: қўштак № 24а керак:  $W = 317 \text{ см}^3$ ,  $J = 3800 \text{ см}^4$ . Агар кўчишлар қийматларини бу ерда келтирилгандек ҳарфларда эмас, рақамларда ифодаласак, ечим анча оддийлашади. Лекин бу ҳолда йўл қўйилган хатоларни сезиш анча қийин.

Кесим  $C$  нинг эгилишини аниқлаш учун ригелни текис тақсимланган юкланиш ва таянчлардаги момент  $M_D = -39,84 \text{ кНм}$  бўлган оддий балка деб қараймиз. Шу юкланишларда эғувчи момент эпюраларини ясаймиз ва улардан кейин  $P^0 = 1$  куч (кесим  $C$  га қўйилган кучдан) ҳосил бўладиган якка эғувчи момент эпюрасини ясаймиз. Бу эпюраларнинг ҳаммаси схема,  $к$  да кўрсатилган.

Дастлабки икки эпюранинг юзларини ярмини ҳисоблаймиз:

$$\omega_1 = 180 \text{ кНм}^2 \text{ ва } \omega_2 = 119,52 \text{ кНм}^2.$$

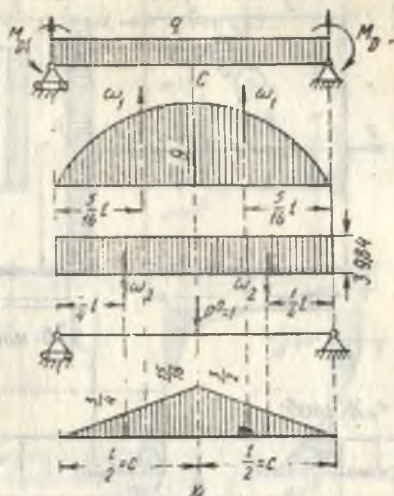
Якка момент эпюрасининг дастлабки икки эпюра оғирлик марказлари вазиятига тўғри келадиган ординаталари:

$$M_1^0 = \frac{15}{16} \text{ м} \text{ ва } M_2^0 = \frac{3}{4} \text{ м}.$$

Ҳосилалар  $\omega$   $M^0$  йиғиндиси қуйидагига тенг:

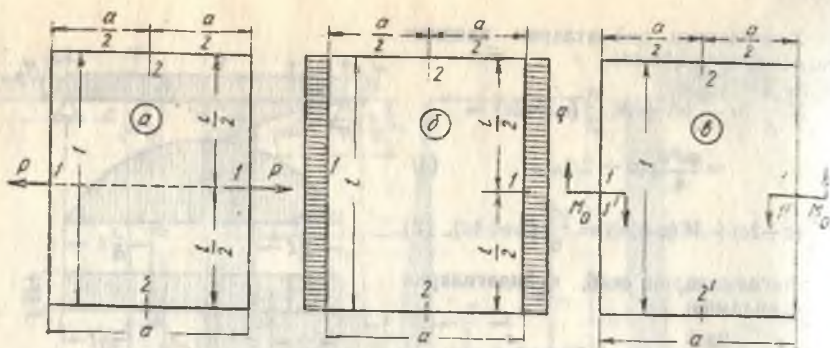
$$2 \left( 180 \cdot \frac{15}{16} - 119,52 \cdot \frac{3}{4} \right) = 2 (168,75 - 89,64) = 158,2 \text{ кНм}^3.$$

$$\text{Қидирилаётган эгилиш } u_C = \frac{158,2 \cdot 10^9}{2 \cdot 10^{11} \cdot 3800} = 2,08 \text{ см}.$$



9.39- масалага онд

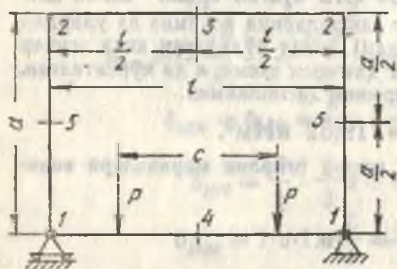
9.40. Бикрлиги ўзгармас бўлган рамалар расмда кўрсатилгандек симметрик юкланган. Статик аниқмасликни курсатинг, нормал куч, кўндаланг куч ва эғувчи момент эпюраларини ясанг. Раманинг деформацияланиши натижасида 1—1 ва 2—2 кесимлар орасидаги масофаларнинг ўзгариш қийматини ҳисобланг.



9.40- масалага оид

Жавоб:

| Схема | $N_s$                           | $M_1$                        | $M_2$                      | $\Delta_{11}$                 | $\Delta_{21}$              |
|-------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| a     | $0,5 P$                         | $-\frac{Pl(l+2a)}{8(l+a)}$   | $\frac{Pl^2}{8(l+a)}$      | $\frac{Pl^3(l+4a)}{96(l+a)}$  | $-\frac{Pl^2a^2}{32(l+a)}$ |
| б     | $-0,5 ql$                       | $\frac{ql^2(1+3a)}{24(l+a)}$ | $-\frac{ql^3}{12(l+a)}$    | $\frac{ql^4(l+5a)}{192(l+a)}$ | $\frac{ql^3a^2}{48(l+a)}$  |
| в     | $\pm \frac{2M_0(l+a)}{l(l+2a)}$ | $\pm 0,5 M_0$                | $\pm \frac{M_0l}{2(l+2a)}$ | 0                             | 0                          |



9.41- масалага оид

9.41. Расмда кўрсатилганидек рама иккита куч  $P$  билан симметрик тарзда юкланган. Раманинг барча участкаларидаги кесимлар бир хил. Статик аниқ-масликни кўрсатинг, ригелдаги нормал куч  $N$  ва эгувчи момент  $M_2$  қийматларини, раманинг пастки бурчакларидаги  $M_1$  эгувчи моментларни ҳамда кучлар  $P$  орасидаги участкадаги эгувчи момент  $M_4$  ни, кесим 3 даги ва кесим

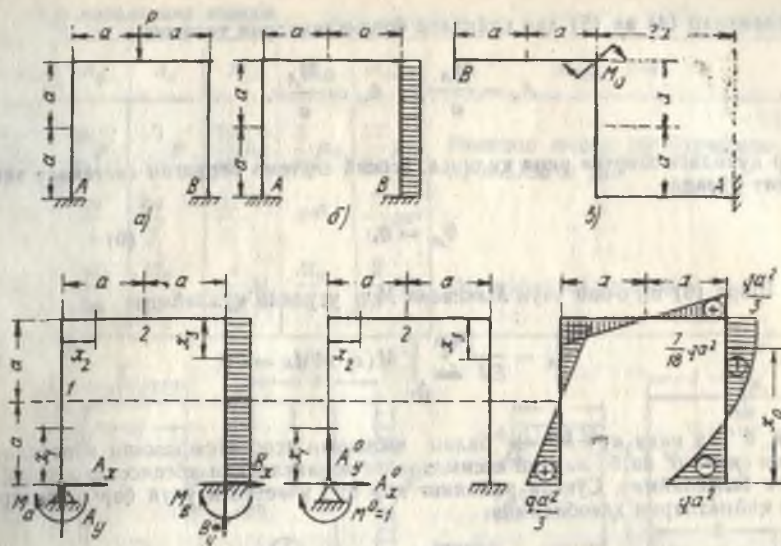
4 даги эгилишларни, шунингдек кесимлар 5 ларнинг яқинлашиш қийматини ҳисобланг. Рақамли маълумотлар:  $P = 40$  кН,  $l = 5$  м,  $a = 4$  м,  $c = 3$  м,  $[\sigma] = 160$  МПа, балка кесими қўш-тавр.

Жавоб:  $N^p = -6320$  Н,  $M_2 = -3,75$  кНм;  $M_1 = 21,53$  кНм;

$M_4 = -18,47$  кНм; қўштавр № 18;  $y_3 = 0,45$  см (юқорига),

$y_4 = 1,98$  см;  $\Delta_3 = 1,38$  см.





9.42- масалага оид

9.42. Расмда кўрсатилган иккита шарнирли рамалар учун таянч реакцияларни аниқланг, эгувчи момент, кўндаланг куч ва нормал куч эпюраларини ясанг. Барча участкаларнинг бикрлиги ўзгармас ва бир хил.

*Еч и м.* Схема, б да кўрсатилган масалани ечамиз. Раманинг қисилган учларида иккитадан, жами олтига таянч реакциялар таъсир қилади. Статика тенгламалари учта. Ҳар бир ички шарнир яна биттадан тенглама қўшади; шарнирнинг исталган бир томонига таъсир қиладиган барча кучларнинг моментлари йиғиндиси шарнирга нисбатан нолга тенг. Рамада иккита шарнир бор. Демак, жами статиканинг бешта тенгласига эга бўлдик. Шундай қилиб, рама бир марта статик аниқмас. Ортиқча номаълум сифатида таянч момент  $M_A$  ни танлаймиз. Шунда расм, б' да кўрсатилган рама асосий система бўлади. Асосий системани берилган кучлар ва ортиқча номаълум  $A_A$  билан юклаймиз. Расм, б да барча таянч реакцияларни белгилаймиз ва статиканинг бешта тенгласини тузамиз:

$$A_x + B_x = 2q \cdot a, \quad (1)$$

$$A_y = B_y, \quad (2)$$

$$2qa^2 - B_y \cdot 2a - M_A - M_B = 0. \quad (3)$$

Нуқта 1 га нисбатан кучлар моментларининг йиғиндиси:

$$A_x \cdot a - M_A = 0. \quad (4)$$

Нуқта 2 га нисбатан кучлар моментларининг йиғиндиси:

$$A_x \cdot 2a - M_A - A_y \cdot a = 0 \quad (5)$$

Тенгламалар (4) ва (5) дан қуйидаги боғлиқликларни топамиз:

$$A_x = \frac{M_A}{a}, \quad A_y = \frac{M_A}{a}.$$

Агар қуйидаги шартга риоя қилинса, асосий система берилган системага эквивалент бўлади:

$$\theta_A = 0. \quad (6)$$

Шарт (6) ни очиш учун Максвелл-Мор усулини қўлаймиз:

$$\theta_A = \frac{1}{EJ} \sum \int M(x) \cdot M^0 dx = 0.$$

Расм, б'' да якка куч  $M^0=1$  билан юкланган асосий системани кўрсатамиз. Кейин схема б' ва б'' лардан кесимларнинг вазиятларини абсциссалар  $x_1, x_2, x_3$  билан белгилаймиз. Сўнг раманнинг ҳар бир участкаси учун барча интеграл ости қийматларни ҳисоблаймиз:

$$0 \leq x_1 \leq 2a, \quad M = M_A - \frac{M_A}{a} \cdot x_1 = M_A \left(1 - \frac{x_1}{a}\right), \quad M_1^0 = 1 - \frac{x_1}{a};$$

$$0 \leq x_2 \leq 2a,$$

$$M = M_A - \frac{M_A}{a} \cdot 2a + \frac{M_A}{a} \cdot 2a \cdot x_2 = -M_A \left(1 - \frac{x_2}{a}\right), \quad M_2^0 = -\left(1 - \frac{x_2}{a}\right);$$

$$0 \leq x_3 \leq 2a, \quad M_3 = M_A - \frac{M_A}{a} (2a - x_3) + \frac{M_A}{a} \cdot 2a - \frac{qx_3^2}{2} =$$

$$= M_A + M_A \cdot \frac{x_3}{a} - \frac{qx_3^2}{2} = M_A \left(1 + \frac{x_3}{a}\right) - \frac{qx_3^2}{2}, \quad M_3^0 = \left(1 + \frac{x_3}{a}\right).$$

Ҳисобланган қийматларни Максвелл-мор интегралига қўямиз:

$$\int_0^{2a} M_A \left(1 - \frac{x}{a}\right)^2 dx + \int_0^{2a} M_A \left(1 - \frac{x}{a}\right)^2 dx + \int_0^{2a} M_A \left(1 + \frac{x}{a}\right)^2 dx -$$

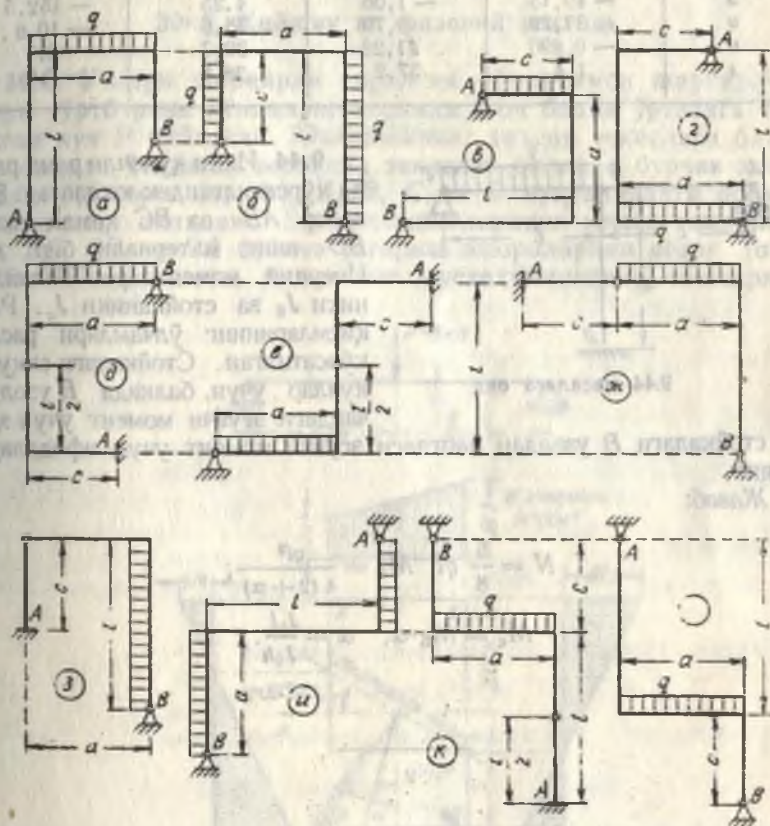
$$- \int_0^{2a} \frac{qx^2}{2} \left(1 + \frac{x}{a}\right) dx = 0.$$

$$M_A \left(\frac{2}{3}a + \frac{2}{3}a + \frac{26}{3}a\right) = \frac{4}{3}qa^3 + 2qa^3.$$

Бундан  $M_A = \frac{qa^2}{3}$ , кейин эса статика тенгламаларидан бошқа қолган реакцияларни топамиз. Уларнинг қийматлари қуйидаги жавобда келтирилган. Эгувчи момент эпюраси расм, б да ясалган.



| Схема | $A_y$            | $A_x$            | $M_A$             | $M_B$            | $M_{\max}$         | $M_{\max}$ ўрни                                    |
|-------|------------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------------------------------------|
| a     | $\frac{13}{30}P$ | $\frac{13}{30}P$ | $\frac{13}{30}Pa$ | $\frac{3}{10}Pa$ | $\frac{17}{30}Pa$  | Раманинг юқори ўнг бурчагида<br>$x_0 = 5/3a$ B дан |
| b     | $\frac{qa}{3}$   | $\frac{qa}{3}$   | $\frac{qa^2}{3}$  | $qa^2$           | $\frac{7}{18}qa^2$ |                                                    |
| в     | $\frac{M_0}{3a}$ | $\frac{M_0}{3a}$ | $-\frac{4}{3}M_0$ | $\frac{M_0}{3}$  | $\frac{2}{3}M_0$   | $M_0$ қўйилган кесимда                             |

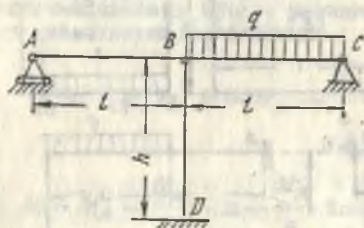


9.43- масалага оид

9.43. Расмда кўрсатилган рамаларнинг статик аниқмаслигини кўрсатинг. Раманинг барча участкаларида бикрлик ўзгармас ва бир хил, унга текис тақсимланган юк  $q = 20 \text{ кН/м}$  таъсир қилади. Рама элементларининг ўлчамлари:  $l = 5 \text{ м}$ ,  $a = 4 \text{ м}$ ,  $c = 3 \text{ м}$ .

Жавоб: ( $H_B$  — таянч  $B$  реакциясининг горизонтал ташкил этувчи-  
си)

| Схема    | $H_B$ , кН | $B$ , кН | $M_{\max}$ , кНм | $M_{\min}$ , кНм |
|----------|------------|----------|------------------|------------------|
| <i>a</i> | — 3,68     | 38,16    | 25,36            | — 18,4           |
| <i>б</i> | 50,3       | — 15,15  | 63,3             | — 59,1           |
| <i>в</i> | 26,8       | 8,6      | 66               | — 43             |
| <i>д</i> | — 26,5     | 52,5     | 82,5             | — 68,9           |
| <i>е</i> | 9,83       | 46,15    | 77               | — 24,6           |
| <i>ж</i> | — 13,3     | 31,7     | 33,2             | — 111,6          |
| <i>з</i> | — 8,05     | 50,06    | 22,4             | — 89,8           |
| <i>и</i> | — 49,15    | — 1,06   | 4,25             | — 152,5          |
| <i>к</i> | — 37,29    | 9,79     | 38,6             | — 10,8           |
| <i>л</i> | — 0,896    | 41,23    | 39,7             | — 2,7            |
| <i>м</i> | 1,4        | 37,2     | 38,8             | — 7,0            |



9.44-масалага оид

9.44. Икки қулочли рама расм-  
да кўрсатилгандек юкланган. Бал-  
калар  $AB$  ва  $BC$  ҳамда стойка  
 $BD$  нинг материали бир хил.  
Инерция моментлари: балкалар-  
ники  $J_6$  ва стойканики  $J_c$ . Рама  
қисмларининг ўлчамлари расмда  
кўрсатилган. Стойкадаги сиқувчи  
кучлар учун, балкада  $B$  узелдан  
чапдаги эгувчи момент учун ҳам-

да стойкадаги  $B$  узелдан пастдаги эгувчи момент учун ифодаларни  
тузинг.

Жавоб:

$$N = \frac{5}{8} ql; M_6 = \frac{ql^2}{4(2 + \alpha)};$$

$$M_c = M_6 \cdot \alpha; \quad \alpha = \frac{J_c l}{J_6 h}.$$

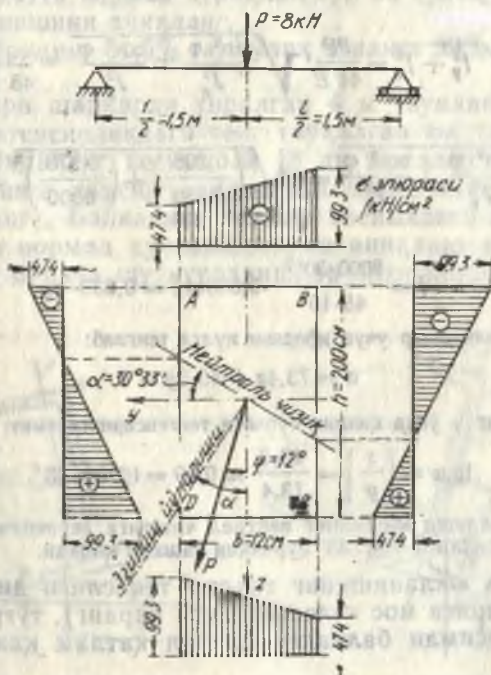


10-боб

## МУРАККАБ ҚАРШИЛИК

### 30-§. Қийшиқ ва фазовий эгилиш

10.1. Учлари шарнирли тиралган (шарсимон шарнирлар) тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли ёғоч балка уртасига тўпланган куч  $P$  қўйилган. Юкланишнинг таъсир текислиги балка ўқи орқали ўтайдиган вертикал текислик билан  $\varphi$  бурчак ҳосил қилади (расмга қаранг).  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ва  $D$  нуқталардаги нормал кучланишни аниқланг. Бу кучланишларнинг кесим томонлари  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$  ва  $DA$  бўйича ўзгариш эпюраларини ясанг.  $[\sigma] = 10 \text{ МПа}$  бўлганда балканинг мустаҳкамлигини текширинг.



9.1- масалага оид

Балка қулочи ўртасида унинг тўлиқ эгилиш қиймати ва йўналишини ҳам аниқланг.

Ечи м. Қийшиқ эгилишда хавфли кесимнинг  $y$  ва  $z$  координатали исталган нуқтасидаги нормал кучланиш қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\sigma = M_{\max} \left( \frac{\cos \varphi}{J_y} z + \frac{\sin \varphi}{J_z} y \right), \quad M_{\max} = \frac{Pl}{4} = \frac{8000 \cdot 3000}{4} = 6 \cdot 10^7 \text{ Нм.}$$

$$\cos \varphi = \cos 12^\circ = 0,978; \quad \sin \varphi = \sin 12^\circ = 0,208;$$

$$J_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{12 \cdot 20^3}{12} = 8000 \text{ см}^4, \quad J_z = \frac{hb^3}{12} = \frac{20 \cdot 12^3}{12} = 2880 \text{ см}^4.$$

$$\sigma = 6 \cdot 10^7 \left( \frac{0,978}{8000} \cdot z + \frac{0,208}{2880} \cdot y \right) \cdot \frac{1}{10^2} = 73,42z + 43,3y.$$

А нуқтадаги кучланиш ( $y_A = +6$  см;  $z_A = -10$  см),  $\sigma_A = -73,4 \cdot 10 + 43,3 \cdot 6 = 474 \text{ Н/см}^2$ , шунга ўхшаш  $\sigma_B \leq -73,4 \cdot 10 - 43,3 \cdot 6 = -993 \text{ Н/см}^2$  аниқлаймиз,  $\sigma_C = +474 \text{ Н/см}^2$ ;  $\sigma_D = 993 \text{ Н/см}^2$ . Энг катта кучланиш В ва D кесимлардаги нуқталарда ҳосил бўлади;  $\sigma_{\max} = \sigma_D = -\sigma_B = 993 \text{ Н/см}^2 = 9,93 \text{ МПа} < [\sigma] = 10 \text{ МПа}$ . Кучланишларнинг кесим томонлари бўйича ўзгариш эпюралари шаклда берилган.

Энг катта эгилиш балка қулочи ўртасидаги кесимга тўғри келади. Бу эгилишнинг ясовчилари  $y$  ва  $z$  ўқлари йўналишида қуйидаги формулалардан ҳисобланиши мумкин.

$$f_y = \frac{Py l^3}{48 EJ_z} = \frac{Pl^3 \sin \varphi}{48 EJ_z} \quad \text{ва} \quad f_z = \frac{Pz l^3}{48 EJ_y} = \frac{Pl^3 \cos \varphi}{48 EJ_y}.$$

Тўлиқ эгилиш

$$f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2} = \frac{Pl^3}{48 E} \sqrt{\frac{\sin^2 \varphi}{J_z^2} + \frac{\cos^2 \varphi}{J_y^2}} = \frac{Pl^3}{48 EJ_{\text{кел}}};$$

бунда

$$\frac{1}{J_{\text{кел}}} = \sqrt{\frac{\sin^2 \varphi}{J_z^2} + \frac{\cos^2 \varphi}{J_y^2}} = \sqrt{\left( \frac{0,208}{2880} \right)^2 + \left( \frac{0,978}{8000} \right)^2} = 0,000142 \text{ } 1/\text{см}^4.$$

Шундай қилиб

$$f = \frac{8000 \cdot 300^3}{48 \cdot 10^9} \cdot 0,000142 = 0,639 \text{ см.}$$

Нормал кучланишлар учун ифодаши нулга тенглаб:

$$\sigma = 73,4z + 43,3y = 0$$

нейтрал чизиқнинг  $y$  ўққа қиялик бурчаги тенгенсини топамиз:

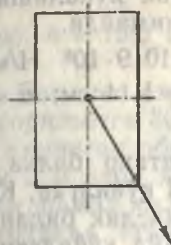
$$\operatorname{tg} \alpha = \left| \frac{z}{y} \right| = \frac{43,3}{73,4} \approx 0,59 = \operatorname{tg} 30^\circ 33'.$$

Эгилиш йўналиши кесимнинг нейтрал чизигига перпендикуляр бўлади ва  $z$  ўқ йўналиши билан  $\alpha = 30^\circ 33'$  бурчакни ташкил қилади.

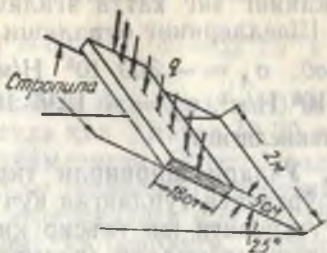
10.2. Агар юкланишнинг таъсир текислиги диагонал текисликлардан бирига мос келса (расмга қаранг), тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли балкада нейтрал қатлам қандай вазиятни эгаллайди?

Жавоб. Бошқа диагонал текисликка мос тушади.





10.2- масалага оид



10.3- масалага оид

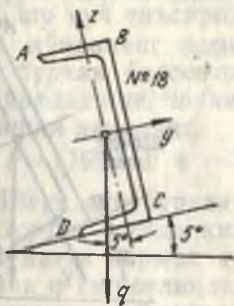
**10.3.** Томнинг стропилаларга шарнирли тиралган тахта обрешёткаларига вертикал йўналишда тенг тақсимланган юкланиш  $q$  таъсир қилмоқда (расмга қаранг).  $[\sigma] = 107 \text{ Н/м}^2$  бўлганда бу юкланишнинг йўл қўйиладиган энг катта қийматини аниқланг ва обрешётка тахтаси қулочининг ўртасидаги тўлиқ эгриликни ҳисобланг.

Жавоб:  $146 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ,  $1,47 \text{ см}$ .

**10.4.** Девор текислигига тўғри келадиган вертикал текисликда эгилишга ишлайдиган № 70 ли қўштаврни таянчларга ўрнатишда хатога йўл қўйилган, натижада қўштаврнинг девори вертикалдан  $\varphi = 2^\circ$  га оған. Қўштаврнинг шу билан боғлиқ равишдаги энг катта нормал зўриқишлари ва тўлиқ эгилиши қанчага катталашишини аниқланг.

Жавоб. Зўриқиш  $51,5\%$  га, тўлиқ эгилиш  $99\%$  га катталашган.

**10.5.** Учлари шарнирли тиралган  $4 \text{ м}$  узунликдаги балкага  $q = 5 \text{ кН/м}$  интенсивликдаги тенг тарқалган юк таъсир қилади. Балканинг кўндаланг кесими № 18 ли швеллер. Швеллернинг девори юкланиш таъсир қиладиган текисликка  $\varphi = 5^\circ$  қия (расмга қаранг). Балканинг хавфли кесимидаги  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ва  $D$  нуқталардаги нормал кучланишларни аниқланг ва  $AB$ ,  $BC$  ва  $DC$  чизиқлар бўйича шу кучланишлар эпюраларини ясанг.



10.5- масалага оид



10.6- масалага оид

Балканинг энг катта эгилиш қиймати ва йўналишини ҳам топинг. Швеллернинг буралиши ҳисобга олинмайди.

Жавоб.  $\sigma_A = -309 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ;  $\sigma_B = -1019 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ;  $\sigma_c = 626 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ;  $\sigma_D = +1336 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ;  $f = 1,14 \text{ см}$ ;  $\alpha = 47^\circ 57'$  (девор текислигига)

**10.6.** Учлари шарнирли тиралган қўштавр балка қулочи  $l = 5 \text{ м}$  ўртасига тўпланган куч  $P = 8000 \text{ Н}$  қўйилган. Қўштавр деворни текислиги юк таъсир қиладиган текислик билан  $\varphi = 20^\circ$  бурчак ташкил қилади (расмга қаранг). Йўл қўйилган кучланиш  $[\sigma] = 16 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$  бўлганда балка кесимини танланг.

Ечилиши. Бу ҳолда мустаҳкамлик шарти қуйидаги кўринишни олади:

$$\sigma_{\max} = M_{\max} = \left( \frac{\cos \varphi}{W_y} + \frac{\sin \varphi}{W_z} \right) = \frac{8000 \cdot 500}{4} \left( \frac{0,94}{W_y} + \frac{0,342}{W_z} \right) \leq 16 \cdot 10^3 \text{ Н/см}^2.$$

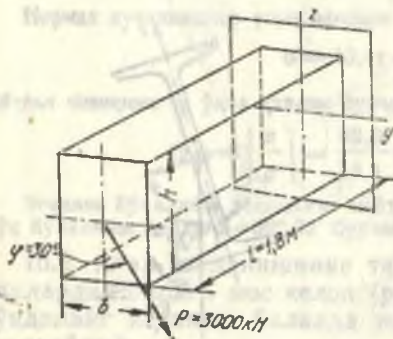
$$\frac{8000 \cdot 500}{4 \cdot 16 \cdot 10^3} \left( \frac{0,94}{W_y} + \frac{0,342}{W_z} \right) = \frac{58,75}{W_y} + \frac{21,38}{W_z} \leq 1.$$

Кесимни кетма-кет синоп йўли билан танлаймиз. Масалан, № 20 ли қўштаврни оламиз, мустаҳкамлик шартига  $W_y = 184 \text{ см}^4$  ва  $W_z = 23,1 \text{ см}^4$  қийматларни қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{58,75}{184} + \frac{21,38}{23,1} = 0,319 + 0,925 = 1,244 > 1$$

Мустаҳкамлик шарти қониқарли бўлмайди, максимал кучланиш йўл қўйиладиган кучланишдан 24,4% катта чиқади. Шунинг учун қўштаврнинг номерини катталаштириш керак. Энди № 22 ли қўштаврни олиб кўрамиз, унда  $W_y = 232 \text{ см}^4$  ва  $W_z = 28,6 \text{ см}^4$ . Энди қуйидаги ҳосил бўлади:  $\frac{58,75}{232} + \frac{21,38}{28,6} = 0,253 + 0,748 = 1,001 \approx 1$ , Ўта кучланиш 0,1% га йўл қўйиш мумкин. Демак, № 22 ли қўштаврни танлаймиз.

**10.7.** Бир учи билан қисилиб тиралган тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли ёғоч бруснинг иккинчи учига тўпланган куч  $P$  қўйилган (расмга қаранг).  $h : b = 1,5$  деб олиб, йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 100 \text{ кН/м}^2$  учун бруснинг кесими ўлчамла-



10.7- масалага оид



10.8- масалага оид



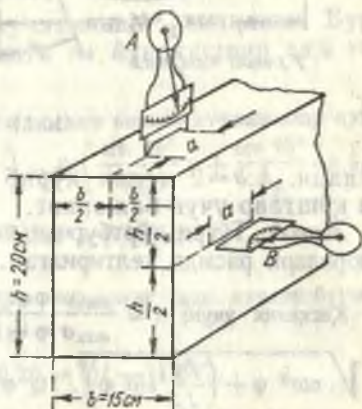
рини танланг. Энг катта эгилиш қиймати ва йўналишини аниқланг.

Жавоб:  $h = 19,9 \text{ см} \approx 20 \text{ см}$ ;  $f = 0,93 \text{ см}$ ;  $\alpha = 52^\circ 25'$  я ўқи билан.

10.8. Томнинг стропила тираклари бир-биридан 3 м нарида бўлиб, горизонтга  $30^\circ$  бурчак остида қия. Уларга № 20 ли швеллердан қилинган обрешётка маҳкамланган. Обрешёткалар бир-биридан 2 м нари жойлашган. Том текислигига перпендикуляр йўналган шамол юкланишининг интенсивлиги  $q = 750 \text{ Н/м}^2$ , томинг вертикал таъсир қиладиган ўз оғирлиги интенсивлиги  $q_2 = 500 \text{ Н/м}^2$  (расмга қаранг). Ҳавли кесимда  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ва  $D$  нуқталардаги нормал кучланишларни аниқланг ва  $AB$ ,  $AD$  ва  $DC$  чизиклари бўйича бу кучланишлар эпюраларини ясанг. Швеллернинг буралиши ҳисобга олинмайди.

Жавоб:  $\sigma_A = -273 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ;  $\sigma_B = +105 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ;  $\sigma_C = +446 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ;  $\sigma_D = +67 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ .

10.9. Учлари шарнирли тиралган 2,4 м узунликдаги тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли ёғоч балканинг ўртасига тўпланган куч  $P$  қўйилган. Балканинг хавфли кесимида ўрнатилган тензометрлар  $A$  ва  $B$  да (базаси 20 мм ва минг марта катталаштириладиган тензометрларда, расмга қаранг) шундай ўзгаришлар кузатилади:  $A$  — кичрайиш 9 мм,  $B$  — катталашиш 6 мм. Юк  $P$  нинг қиймати ва йўналишини аниқланг, шунингдек балкадаги энг катта нормал кучланиш қийматини топинг.



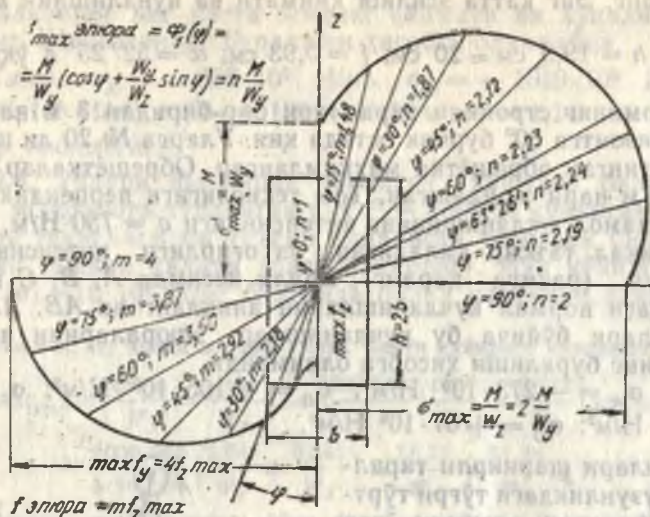
10.9-масалага оид

Жавоб:  $P = 839 \text{ Н}$ ;  $\varphi = 26^\circ 34'$  вертикалига;  $\sigma_{\max} = 75 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$

10.10. Бир учи қистириб тиралган 1,4 м узунликдаги № 24а ли қўштавр балканинг иккинчи учига тўпланган куч  $P$  қўйилган бўлиб, шу куч таъсирида у 3 мм эгилган. Эгилиш йўналиши балка кўндаланг кесими инерциясининг асосий ўқлари орасидаги бурчак биссектрисасига тўғри келади. Куч  $P$  қиймати ва йўналишини, шунингдек марказдаги энг катта чўзувчи кучланишни аниқланг.

Жавоб:  $P = 17650 \text{ Н}$ ;  $\varphi = 3^\circ 55'$  вертикалга;  $\sigma_{\max} = 1184 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ .

10.11. Тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли балка  $xz$  текислигига  $\varphi$  бурчак остида қия текисликда букилади (расмга қаранг). Энг катта нормал кучланиш ва балканинг тўлиқ эгилишини бурчак  $\varphi$  га боғлиқлигини кўрсатувчи графикларни ясанг.  $\varphi$  нинг исталган қийматида юкланиш қийматини бир хил деб ҳисобланг. Қандай бурчак  $\varphi$  да нормал кучланиш энг катта



10.11- масалага онд

булади.  $h:b=2$  ҳолин куриб чиқинг. Бундай ясашларни № 18 ли қўштавр учун бажаринг.

Жавоб: Тўғри туртбурчак кесим учун  $\sigma_{\max} = \Phi_1(\varphi)$  ва  $f = \Phi_2(\varphi)$  эпюралари расмда келтирилган.

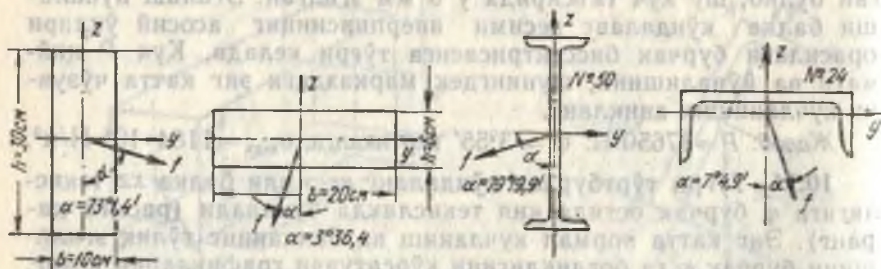
$$\text{Қисқалик учун; } n = \frac{\max \sigma \quad \varphi \neq 0}{\max \sigma \quad \varphi = 0} = \cos \varphi + \frac{W_y}{W_z} \sin \varphi. \quad m = \frac{\sigma \neq 0 \text{ да } f}{\varphi = 0 \text{ да } f} =$$

$$= \sqrt{\cos^2 \varphi + \left( \frac{W_y}{W_z} \sin \varphi \right)^2}. \quad \operatorname{tg} \varphi = W_y/W_z. \quad \text{шарт учун энг катта нормал}$$

кучланиш тўғри келади.  $h:b=2$  нисбатда  $h_{\max} = 2,236$ ,  $\varphi = 63,26'$  да № 18 қўштавр учун  $h_{\max} = 7,83$ ;  $\varphi = 82^\circ 40'$  да.

Шундай қилиб, энг кам юк кўтарувчанлик текислиги энг кичик бикрлик текислигига тўғри келмайди.

10.12. Қўндаланг кесимлари расмда тасвирланган балкаларнинг эгилиши натижасида кесимларнинг оғирлик марказлари



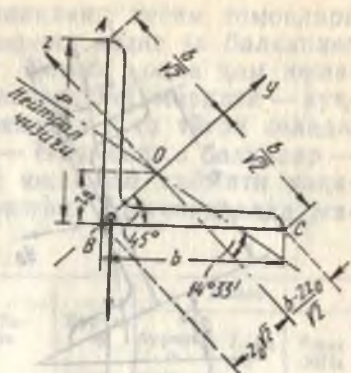
10.12- масалага онд



кўрсатилган йўналишларда сурилган. Балкаларнинг ҳар қайсиси учун ташқи кучларнинг таъсир текисликлари вазиятини аниқланг ( $\varphi$  бурчакнинг  $z$  ўқ билан).

Жавоб: а)  $\varphi = 20^\circ$ ; б)  $\varphi = 35^\circ$ ;  
в)  $\varphi = 8^\circ$ ; 2)  $\varphi = 60^\circ$

10.13. Узунлиги 1,6 м ли,  $80 \times 80 \times 7$  мм ўлчамли бурчаклик бир учи қистириб тиралган балка каби ишлайди. Унинг эркин учи-га тўпланган куч  $P = 1000$  Н қўйилган. Кучнинг йўналиши кесимнинг эгилиш маркази орқали ўтади (расмга қаранг). Хавфли кесимда нейтрал чизиқ вазиятини ва  $A$ ,  $B$  ва  $C$  нуқталардаги нормал кучланишни аниқланг. Бурчакликнинг энг катта эгилиш қиймати ва йўналишини ҳам топинг.



10.13-масалала оид

Е ч и м и. Хавфли кесимнинг исталган нуқтасидаги нормал кучланишлар қуйидагига тенг:  $\sigma = M_{\max} \left( \frac{\sin \varphi}{J_x} y + \frac{\cos \varphi}{J_y} \cdot z \right) = Pl \left( \frac{\sin 45^\circ}{J_x} y + \frac{\cos 45^\circ}{J_y} \cdot z \right) =$

$$1000 \cdot 160 \cdot 0,107 \left( \frac{y}{27} + \frac{z}{104} \right) = 4190 y + 1088 z.$$

Охириги ифодани нулга тенглаштириб, нейтрал чизиқнинг ўққа қиялик бурчаги тангенсини топамиз:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{z} = -\frac{1088}{4190} = -0,26 = \operatorname{tg}(-14^\circ 33').$$

Нуқталар  $A$ ,  $B$  ва  $C$  координатлари ушбу қийматларга эга (расмга қаранг).

$$y_A = y_C = \frac{b - 2z_0}{\sqrt{2}} = \frac{8 - 2 \cdot 2,23}{\sqrt{2}} = 2,5 \text{ см.}$$

$$z_A = -z_C = \frac{b}{\sqrt{2}} = \frac{8}{\sqrt{2}} = 5,66 \text{ см, } y_B = -z_0 \sqrt{2} = -2,23 \cdot \sqrt{2} = -3,15 \text{ см, } z_B = 0.$$

Бу координатларни  $\sigma$  ни ҳисоблаш формуласига қўйиб, ушбунни оламиз:

$$\sigma_A = 4190 \times 2,5 + 1088 \cdot 5,66 = 16640 \text{ Н/см}^2, \sigma_C = 4190 \cdot 2,5 - 1088 \cdot 5,66 = 4330 \text{ Н/см}^2 \text{ ва } \sigma_B = -4190 \cdot 3,15 = -13220 \text{ Н/см}^2.$$

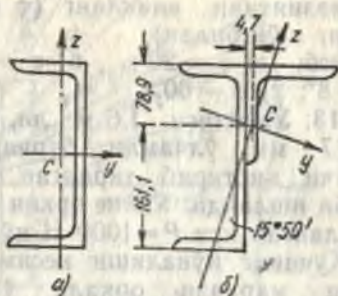
Бурчакликнинг энг катта эгилиши қуйидагига тенг:

$$f = \frac{Pl^3 \cos \varphi}{3 E J_y} \sqrt{1 + \left( \frac{J_y \sin \varphi}{J_x \cos \varphi} \right)^2} = \frac{1000 \cdot 160^3 \cdot 0,707}{3 \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 104} \sqrt{1 + \left( \frac{104 \cdot 0,707}{27 \cdot 0,707} \right)^2} = 1,85 \text{ см.}$$

Эгилиш йўналиши кесимнинг нейтрал чизигига перпендикуляр.



10.14- масалага оид



10.15- масалага оид

10.14. № 14 ли (ОСТ 29) зет кесимли том обрешёткаси қулочи 2,5 м бўлган, учлари шарнирли тиралган, интенсивлиги  $q$  ли бир текис тақсимланган юкланган балка каби ишлайди. Кесимнинг асосий марказий ўқлари вазиятлари расмда кўрсатилган:

$\beta = 21^\circ 48'$ ,  $J_y = 847 \text{ см}^4$ ,  $J_z = 61,4 \text{ см}^4$ ,  $b = 65 \text{ мм}$ ,  $h = 140 \text{ мм}$ .

Йўл қўйилган зўриқиш  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$  бўлганда, энг катта йўл қўйиладиган юкланиш қийматини, шунингдек шу юкланиш таъсирида обрешётка қулочи ўртасидаги тўлиқ эгилишнинг қиймати ва йўналишини аниқланг.

Жавоб: 15 кН/м; 057 см;  $34^\circ 26'$ .

10.15. Учлари шарнирли тиралган балканинг 3,2 м узунликдаги қулочи ўртасига тўпланган юк  $P$  қўйилган. Балканинг қўндаланг кесими № 24 швеллер (расм, а га қаранг). Балканинг бутун узунлиги бўйича швеллер деворига ўлчами  $125 \times 125 \times 12 \text{ мм}$  ли бурчаклик пайвандлаш кўзда тутилган (расм, б га қаранг). Балканинг кўзда тутиладиган кесими асосий марказий ўқларининг вазияти расм, б да кўрсатилган. Бу ўқларга нисбатан инерция моментлари:  $J_y = 4671 \text{ см}^4$  ва  $J_z = 873 \text{ см}^4$ .

Йўл қўйиладиган зўриқиш  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$  да юк  $P$  нинг энг катта йўл қўйиладиган қийматини аниқланг: а) битта швеллер учун ва б) бурчаклик пайвандланган швеллер учун (иккала ҳолда ҳам юкнинг таъсир текислиги швеллер девори текислигига параллел бўлиб, кесимнинг эгилиш маркази орқали ўтади). Биринчи ва иккинчи ҳолда балканинг энг катта эгилишини ҳам аниқланг. Бунда  $P = 4 \text{ кН}$  деб олинг.

Жавоб: а)  $P = 4,8 \text{ кН}$ ,  $f = 0,47 \text{ см}$ , б)  $P = 4,3 \text{ кН}$ ,  $f = 0,51 \text{ см}$ .

Бурчаклик қўшиш юкнинг йўл қўйиладиган қийматини 9,2% камайтиради, балканинг эгилиши 8,5% ортади.

10.16. Расмда тасвирланган балкалар учун нейтрал чизиқнинг вазиятини топинг (ўқ  $y$  билан бурчак  $\alpha$ ), хавфли кесимда



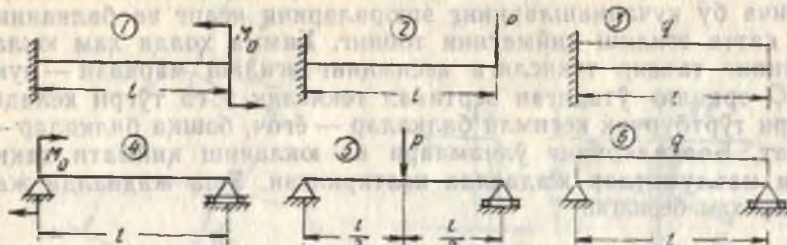
энг катта нормал кучланишларни аниқланг, кесим томонлари бўйича бу кучланишларнинг эпюраларини ясанг ва балканинг энг катта эгилиш қийматини топинг. Ҳамма ҳолда ҳам юкланишнинг таъсир текислиги кесимнинг эгилиш маркази — нуқта  $O$  орқали ўтадиган вертикал текислик  $\nu$  га тўғри келади. Тўғри тўртбурчак кесимли балкалар — ёғоч, бошқа балкалар — пулат. Балкаларнинг ўлчамлари ва юкланиш қиймати ҳақидаги маълумотлар жадвалда келтирилган. Уша жадвалда жавоблар ҳам берилган.

| № п/п | Балка<br>схема-<br>си ва<br>кесими | Қуло-<br>чи, м | Юкланиши        | Кесим ўл-<br>чамлари | Бурчак<br>Ф | Жавоб              |                  |                        |
|-------|------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------|-------------|--------------------|------------------|------------------------|
|       |                                    |                |                 |                      |             | бурчак<br>$\alpha$ | $f_{\max}$<br>см | $\sigma_{\max}$<br>МПа |
| 1     | 1—А                                | 1,5            | $M_0 = 0,4$ кНм | 12×20 см             | 60°         | 78°16′             | 1,38             | 9,72                   |
| 2     | 1—Б                                | 1,4            | $M_0 = 0,2$ кНм | қўштавр<br>№ 12      | 30°         | 82°8′              | 1,77             | 144,3                  |
| 3     | 1—В                                | 2,0            | $M_0 = 0,6$ кНм | швеллер<br>№ 27      | 60°         | 87°55′             | 1,98             | 149,2                  |
| 4     | 2—А                                | 2,0            | $P = 80$ Н      | 10×15 см             | 45°         | 66°2′              | 1,32             | 75,4                   |
| 5     | 2—Б                                | 1,5            | $P = 200$ Н     | қўштавр<br>№ 16      | 30°         | 83°22′             | 0,97             | 127,3                  |
| 6     | 2—В                                | 1,4            | $P = 300$ Н     | швеллер<br>№ 22      | 60°         | 87°38′             | 0,79             | 155,2                  |
| 7     | 3—А                                | 2,0            | $q = 2$ Н/см    | 10×25 см             | 45°         | 80°55′             | 1,37             | 95,0                   |
| 8     | 3—Б                                | 1,2            | $q = 3$ Н/см    | қўштавр<br>№ 14      | 30°         | 82°46′             | 0,47             | 116,8                  |
| 9     | 3—В                                | 2,4            | $q = 2$ Н/см    | швеллер<br>№ 24      | 45°         | 85°54′             | 1,41             | 148,1                  |
| 10    | 4—А                                | 2,5            | $M_0 = 0,6$ кНм | 12×30 см             | 60°         | 84°43′             | 0,94             | 88,8                   |
| 11    | 4—Б                                | 3,0            | $M_0 = 0,8$ кНм | қўштавр<br>№ 27      | 45°         | 87°2′              | 1,23             | 151,6                  |
| 12    | 4—В                                | 2,2            | $M_0 = 0,3$ кНм | швеллер<br>№ 14 а    | 30°         | 79°39′             | 0,80             | 146,3                  |
| 13    | 5—А                                | 2,5            | $P = 250$ Н     | 9×15 см              | 45°         | 70°12′             | 0,67             | 87,3                   |
| 14    | 5—Б                                | 4,0            | $P = 1200$ Н    | қўштавр<br>№ 36      | 60°         | 88°44′             | 1,34             | 154,2                  |
| 15    | 5—В                                | 2,4            | $P = 400$ Н     | швеллер<br>№ 14      | 30°         | 80°54′             | 0,64             | 138,8                  |
| 16    | 6—А                                | 3,2            | $q = 6$ Н/см    | 16×24 см             | 60°         | 75°37′             | 0,89             | 90,0                   |
| 17    | 6—Б                                | 5,0            | $q = 4$ Н/см    | қўштавр<br>№ 40      | 60°         | 88°50′             | 2,12             | 132,6                  |
| 18    | 6—В                                | 4,0            | $q = 1,2$ Н/см  | швеллер<br>№ 16      | 45°         | 85°9′              | 2,24             | 141,5                  |

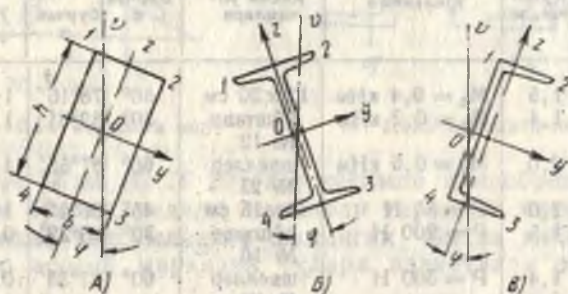
10.17. Учбурчак кўндаланг кесимли чўян брус (расмга қаранг) учларидан шарнирли таянган.  $AB$  томонга параллел текисликда тўпланган куч  $P$  таъсирида эгилади. Бу куч қулоч ўртасига  $l = 1,8$  м қўйилган. Агар чўян учун чўзилишга йўл қўйиладиган кучланиш  $400$  Н/см<sup>2</sup>, сиқилишга йўл қўйиладиган кучланиш  $1200$  Н/см<sup>2</sup> бўлса, брус кўндаланг кесимининг зарур ўлчамларини аниқланг.

Жавоб:  $h = 12$  см.

Балканинг маҳкамланиш ва юклиниш схемаси



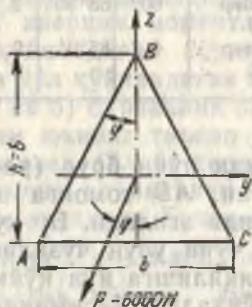
Балканинг қўндаланг кесими схемаси



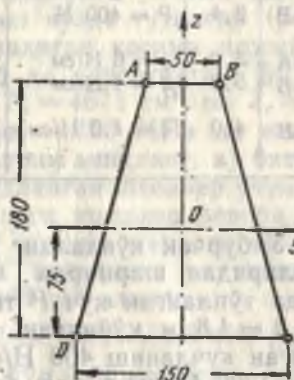
10.16- масалага оид

10.18. Қўндаланг кесими трапеция шаклида бўлган чўян брус (расмга қаранг) узунлиги 1,2 м. Бруснинг бир учи қисилган, иккинчи учига тўпланган  $P$  куч қўйилган. Бу кучнинг йўналиши қўндаланг кесим оғирлик маркази  $O$  ва  $C$  нуқта орқали ўтади. Трапеция бурчакларининг чуққиларидаги нормал ланишларни ва бруснинг энг катта эгилишини аниқланг.

$E = 1,2 \cdot 10^7 \text{ Н/см}^2$ ,  $J_y = 4455 \text{ см}^4$ ,  $J_z = 1875 \text{ см}^4$ ;  $P = 12,5 \text{ кН}$ . Расмдаги ўлчамлар мм ларда берилган.



10.17- масалага оид



10.18- масалага оид



Жавоб:  $\sigma_A = 39,1$  МПа;  $\sigma_B = 10,9$  МПа;  $\sigma_C = -60,3$  МПа;  $\sigma_D = 24,6$  МПа;  $f = 0,58$  см.

**10.19.** Кўндаланг кесими ярим доира шаклидаги балканинг узунлиги 2 м. Балка учларидан шарнирли таянган, интенсивлиги  $q$  бўлган тенг тақсимланган юк билан юкланган (расмга қаранг). Балканинг хавфли кесимидаги энг катта чўзувчи ва қисувчи кучланишларни, унинг энг катта эгилишини аниқланг.



10.19- масалага онд

Ечи м. Балка кесимининг огирлик маркази диаметрал ўқ  $y_1$  дан  $z_0 = \frac{4r}{3\pi} = \frac{4 \cdot 10}{3 \cdot 3,14} = 4,24$  см масофадаги  $O$  нуқтада ётади. Кесимнинг бош марказий ўқлар  $y$  ва  $z$  га нисбатан инерция моментлари  $J_z = \frac{\pi r^4}{8} = \frac{3,14 \cdot 10^4}{8} = 3927$  см<sup>4</sup> ва  $J_y = J_{y_1} - z_0^2 \cdot F = \frac{\pi r^4}{8} - z_0^2 \frac{\pi r^2}{2} = \frac{3,14 \cdot 10^4}{8} - 4,24^2 \frac{3,14 \cdot 10^2}{2} = 1098$  см<sup>4</sup> га тенг.

Нейтрал чизиқнинг ўқ  $y$  га қиялик бурчагини қуйдаги формуладан аниқлай- миз:  $\tan \alpha = \frac{J_y}{J_z} \tan \varphi = \frac{1098}{3927} \cdot 0,364 = 0,1018 = \tan 5^\circ 48',6''$ .

Энг катта нормал кучланишлар нейтрал чизиқдан энг узоқ нуқталарда вужудга келади, булар  $B$  ва  $A$  нуқталардир (нейтраль ўққа параллел бўлган чизиқ  $NK$  даги нуқта кесим контурига ўринади). Балканинг хавфли кесими қулоч ўртасида ётади. Бу кесимда

$$\sigma_{\max} = M_{\max} \left( \frac{\sin \varphi}{J_z} y + \frac{\cos \varphi}{J_y} z \right) = \frac{4 \cdot 200^2}{8} \left( \frac{0,3420}{3927} \cdot y - \frac{0,9397}{1098} \cdot z \right) = 1,74 y - 17,12 z.$$

Координатлари  $y_B = r = 10$  см ва  $z_B = -z_0 = -4,24$  см бўлган

$B$  нуқтадаги нормал кучланиш чўзувчи кучланиш бўлади, у қуйидагига тенг:

$$\sigma_B = 1,74 \cdot 10 + 17,12 \cdot 4,24 = 9 \text{ МПа.}$$

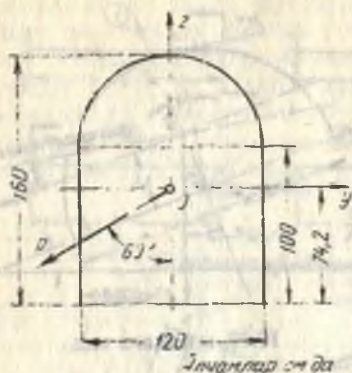
$A$  нуқта координатлари:  $z_A = OD = CD - OC = r \cos \alpha - z_0 = 10 \cdot 0,9949 - 4,24 = 5,71$  ва  $y_A = -AD = AC \sin \alpha = -r \cdot \sin \alpha = -10 \cdot 0,1012 = -1,01$  см.

$A$  нуқтадаги кучланиш хусусий кучланиш бўлади, у қуйидагига тенг:

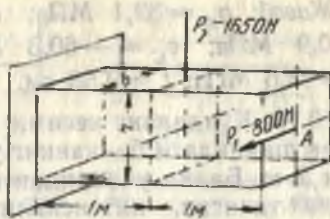
$$\sigma_A = -1,71 \cdot 1,01 - 17,12 \cdot 5,71 = 9,95 \text{ МПа}$$

Балканинг энг катта эгилишини қуйидаги формуладан топамиз:

$$f = \frac{5 q l^4}{384 E} \sqrt{\frac{\cos^2 \varphi}{J_y^2} + \frac{\sin^2 \varphi}{J_z^2}} = \frac{4 \cdot 200^4}{384 \cdot 10^8} \sqrt{\left( \frac{0,9397}{1098} \right)^2 + \left( \frac{0,3420}{3927} \right)^2} = 0,072 \text{ см.}$$



10.20- масалага оид



10.21- масалага оид

10.20. Расмда кўрсатилган кўндаланг кесимли ёғоч брус учларидан шарнирли таянган. Қулочнинг ўртаси  $l = 3$  м да брусга тўпланган куч  $P$  таъсир қилади. Бу куч кесимнинг симметрия ўқиға  $60^\circ$  бурчак остида йўналган. Агар йўл қўйилган кучланиш  $[\sigma] = 1100 \text{ Н/см}^2$  бўлса,  $P$  кучининг энг катта йўл қўйилган қиймати аниқланг.

Жавоб: 3880 Н.

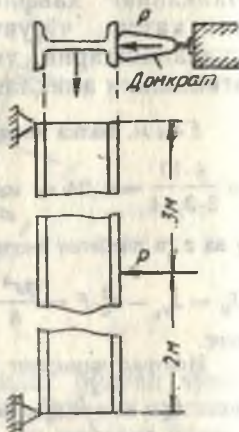
10.21. Бир учидан қисилган ёғоч балкани  $P_1$  ва  $P_2$  кучлар эгади (расмга қаранг). Балканинг баландлиги  $h$  нинг эни  $b$  га нисбати 2 бўлган тўғри тўртбурчак кесимини танланг ва унинг  $A$  кесимда тўлиқ эгилиш қиймати ва йўналишини аниқланг;  $[\sigma] = 10 \text{ МПа}$ .

Жавоб:  $9 \times 18 \text{ см}$ ;  $f_A = 1,98 \text{ см}$  (вертикалга  $80^\circ 51'$  бурчак остида).

10.22. Қўштавр балка № 40 5 м қулоч учларидан шарнирли таянган. Балка девори горизонтал ётади. Балка горизонтал жойлашган домкрат учун вақтинчалик таянч вазифасини ўтайди. Домкрат таянчлардан биридан 2 м нари ўрнатилган (расмга қаранг). Балканинг хусусий оғирлигини ҳисобга олиб, домкратга тушадиган энг катта йўл қўйиладиган юкланишни аниқланг. Балка материали учун  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .

Жавоб: 11 кН.

10.23. Қўштавр балка № 36 бир учидан қисилган ва энг катта бикрлик текислигида  $q$  интенсивликдаги тенг тақсимланган юк билан, энг кичик бикрликдаги текисликда эса  $P_1$  ва  $P_2$  тўпланган кучлар билан юкланган (расмга қаранг). Балканинг хавфли кесимидаги энг катта нормал кучланишларни, шунингдек  $B$ ,  $C$ ,  $D$  ва  $H$  кесимлардаги тўлиқ эгилиш қиймати ва йўналишини аниқланг.



10.22- масалага оид





10.23- масалага оид

Ечи м: Қўшавр № 36 учун сортамент бўйича

$$J_z = 516 \text{ см}^4, J_y = 13350 \text{ см}^4, W_y = 743 \text{ см}^3 \text{ ва } W_z = 71,1 \text{ см}^3.$$

Вертикал ( $M_y$  ва горизонтал  $M_z$ ) текисликларда эгувчи моментларнинг эпюралари расм, б да кўрсатилган. Кесим С ёки кесим А хавфли ҳисобланади.

$M_{yC} = -0,72 \text{ кНм}$ ,  $M_{zC} = -0,96 \text{ кНм}$  бўлган кесим С да энг катта қўзувчи кучланиш К нуқтада ётади. У қуйидагига тенг:

$$\max \sigma(C) = \sigma_K = \frac{M_{yC}}{W_y} + \frac{M_{zC}}{W_z} = \frac{72000}{743} + \frac{96000}{71,1} = 97 + 1350 = 1447 \text{ Н/см}^2.$$

$M_{yA} = 2,88 \text{ кНм}$ ,  $M_{zA} = 0,72 \text{ кНм}$  бўлган кесим А да энг катта қўзувчи кучланиш N нуқтада вужудга келади:

$$\max \sigma(A) = \frac{M_{yA}}{W_y} + \frac{M_{zA}}{W_z} = \frac{288000}{743} + \frac{72000}{71,1} = 388 + 1012 = 1400 \text{ Н/см}^2.$$

Кесим С энг хавфли.

Вертикал ва горизонтал текисликларда балка букилган ўқининг дифференциал тенгламаларини интеграллаш эғилишлар учун қуйидаги ифодаларга олиб келади:  $f_z = -\Phi_1(6m^2 - 4m^3 + m^4)$  ва

$$f_y = \Phi_2[8(P-1)m^3 - 12(P-2)m^2]_{AC} - P(2m-1)^3|_{CH} = \Phi_2[14m^3 - 9m^2]_{AC} - \frac{11}{4}(2m-1)^3|_{CH},$$

$$\text{бу срада } m = \frac{x}{l}, P = \frac{P_2}{P_1} = \frac{2200}{800} = 2,75, \Phi_1 = \frac{ql^4}{24 EJ_y} = \frac{10^5 \cdot 240^4}{24 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 13350} = 0,0517 \text{ см.}$$

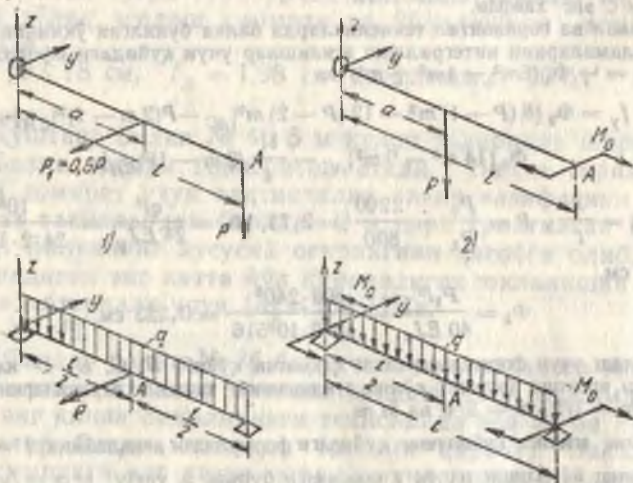
$$\Phi_2 = \frac{P_1 l^3}{40 EJ_z} = \frac{800 \cdot 240^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 516} = 0,223 \text{ см.}$$

Ҳисоблаш учун формулаларга  $m$  қийматни қўйиб, В, С, Н, D кесимлардаги йиккада бш инерция ўқининг тўлиқ эғилишининг ташкил этувчиларини топамиз:  $m = 1/4$ ,  $m = 1/2$ ,  $m = 3/4$  ва  $m \approx$ .

1. Тўлиқ эғилиш қийматини қуйидаги формуладан аниқлаймиз:  $f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2}$ . Тўлиқ эғилиш йўналиши ва ўқ z орасидаги бурчак  $\alpha$  ушбу  $\tan \alpha = f_y / f_z$  ифодадан топилади. Тегишли ҳисоблашлар натижалари жадвалда келтирилган. Балканинг эгилган ўқи фазовий эгри чизиқдан иборат.

| Кесим | $f_y$ , см | $f_z$ , см | $f$ , см | $tg\alpha$ | $\alpha$ | Эслатма                                                                           |
|-------|------------|------------|----------|------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| B     | -0,0767    | -0,0163    | 0,0785   | +4,695     | +77°59'  | Бурчак $\alpha$ нинг мусбат қийматлари ўқ z дан соат стрелкаси йўналишида қўйлади |
| C     | -0,1116    | -0,0549    | 0,1244   | +2,034     | +63°49'  |                                                                                   |
| D     | +0,1116    | -0,1035    | 0,1522   | -1,078     | -47°10'  |                                                                                   |
| H     | +0,8093    | -0,1550    | 0,8240   | -5,222     | -79°10'  |                                                                                   |

10.24. Схемалари расмда кўрсатилган балкалар учун хавфли кесимдаги энг катта нормал кучланишлар қийматини аниқланг, шунингдек A кесимдаги тўлиқ эгилиш қиймати ва йўналишини (кесимнинг вертикал ўқ билан ҳосил қилган бурчагини) топинг. Балкаларнинг вариантлари а) ёғоч балка, думалоқ кесимли, диаметри  $d$ ; б) ёғоч балка, тўғри тўртбурчак кесимли, томонларининг нисбати  $h:b=2$ ; в) пўлат балка, қўштавр кесимли, г) пўлат балка, тоғарасимон кесимли (бу ҳолда ташқи кучларнинг таъсир текислиги кесимнинг эгилиш маркази орқали ўтади деб ҳисоблансин). Схемалар 1 ва 2 даги балкаларнинг учлари қисилган, схемалар 3 ва 4 да эса вертикал текисликда ҳам, горизонтал текисликда ҳам шарнирли маҳкамланган. Икки таянчдан бири қўзғалмас. Ҳамма ҳолларда ҳам балка кесимининг баландлиги вертикал ўқ z га параллел. Балкаларнинг ўлчамлари ва юкланиш қиймати ҳақидаги маълумотлар жадвалда келтирилган. Шу жадвалда жавоблар ҳам берилган.



10.24-масалага оид



| №  | Балка<br>схемаси | Кесим<br>ўлчамлари  | Узунлик, м |     |               |                        | Юкланиш        |                                       | Жавоб.            |                 |
|----|------------------|---------------------|------------|-----|---------------|------------------------|----------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------|
|    |                  |                     | $l$        | $a$ | $P, \text{H}$ | $N/q$<br>$\text{H/см}$ | $M, \text{Hм}$ | $\sigma_{\text{тах}}$<br>$\text{МПа}$ | $f, \text{А. см}$ | $\alpha$        |
| 1  | 1—а              | $d = 16 \text{ см}$ | 1,5        | 1,0 | 0,2           | —                      | —              | 80,3                                  | 0,73              | $17^{\circ}17'$ |
| 2  | 1—б              | $h = 20 \text{ см}$ | 1,8        | 1,0 | 0,3           | —                      | —              | 135,0                                 | 1,18              | $42^{\circ}9'$  |
| 3  | 1—в              | № 12                | 1,2        | 0,8 | 0,2           | —                      | —              | 1512                                  | 0,66              | $75^{\circ}38'$ |
| 4  | 1—г              | № 14                | 1,4        | 0,9 | 0,2           | —                      | —              | 1381                                  | 0,62              | $72^{\circ}26'$ |
| 5  | 2—а              | $= 12 \text{ см}$   | 1,0        | 0,4 | 0,2           | —                      | 150            | 100,2                                 | 0,80              | $79^{\circ}31'$ |
| 6  | 2—б              | $d = 18 \text{ см}$ | 1,2        | 0,5 | 0,4           | —                      | 120            | 90,5                                  | 0,80              | $81^{\circ}30'$ |
| 7  | 2—в              | № 18                | 1,6        | 0,6 | 1,0           | —                      | 200            | 1507                                  | 1,55              | $86^{\circ}24'$ |
| 8  | 2—г              | № 20                | 2,0        | 0,8 | 2,0           | —                      | 100            | 1540                                  | 0,96              | $67^{\circ}35'$ |
| 9  | 3—а              | $d = 18 \text{ см}$ | 3,0        | —   | 0,4           | 4                      | —              | 94,5                                  | 0,93              | $28^{\circ}4'$  |
| 10 | 3—б              | $h = 24 \text{ см}$ | 2,4        | —   | 0,6           | 6                      | —              | 100,0                                 | 0,52              | $69^{\circ}27'$ |
| 11 | 3—в              | № 20                | 2,8        | —   | 0,4           | 7                      | —              | 1585                                  | 0,82              | $79^{\circ}10'$ |
| 12 | 3—г              | № 24                | 3,6        | —   | 0,3           | 10                     | —              | 1524                                  | 0,80              | $61^{\circ}43'$ |
| 13 | 4—а              | $d = 14 \text{ см}$ | 2,4        | —   | —             | 3                      | 140            | 95,5                                  | 0,87              | $37^{\circ}52'$ |
| 14 | 4—б              | $h = 20 \text{ см}$ | 3,0        | —   | —             | 4                      | 100            | 97,5                                  | 0,93              | $46^{\circ}51'$ |
| 15 | 4—в              | № 16                | 2,2        | —   | —             | 10                     | 150            | 1589                                  | 0,79              | $77^{\circ}17'$ |
| 16 | 4—г              | № 18                | 2,8        | —   | —             | 8                      | 160            | 1589                                  | 0,96              | $72^{\circ}9'$  |

### 31-§. Марказдан ташқари- даги чўзилиш ва сиқилиш

10.25. Кўндаланг кесими тўғри тўртбурчакли ёғоч стойкага бўйлама сиқувчи куч  $P=90 \text{ кН}$  қўйилган. Бу куч  $N$  нуқтага қўйилган (расмга қаранг). Кесимнинг нейтрал ўқи вазиятини аниқланг ва тўғри тўртбурчак томонлари бўйича нормал кучланишлар эпюраларини ясанг.

Ечи ми. Стойканинг кўндаланг кесимидаги кучланишларни топиш учун қуйидаги формулалардан фойдаланилади:

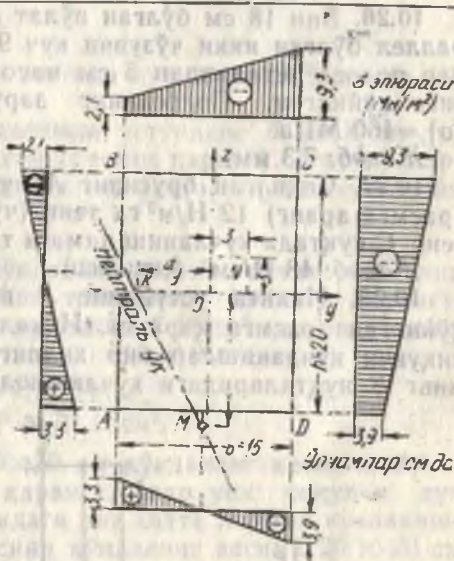
$$\sigma = \frac{P}{F} \left( 1 + \frac{y_P y}{i_y^2} + \frac{z_P z}{i_z^2} \right).$$

10.25- масалага оид

Бу ҳолда  $P = -90000 \text{ Н}$  (куч стойкани сиқади),  $F = bh = 15 \cdot 20 = 300 \text{ см}^2 = 0,03 \text{ м}^2$ ,  $y_P = z_P = 3 \text{ см}$ . кўндаланг кесим инерция радиуслари квадратлари аса қуйидагига тенг

$$i_y^2 = \frac{J_y}{F} = \frac{bh^3}{12bh} = \frac{h^2}{12} = \frac{20^2}{12} = \frac{100}{3} \text{ см}^2;$$

$$i_z^2 = \frac{J_z}{F} = \frac{hb^3}{12bh} = \frac{b^2}{12} = \frac{15^2}{12} = \frac{75}{4} \text{ см}^2$$



Ушбу  $F$ ,  $P$ ,  $y_P$ ,  $z_P$ ,  $i_y^2$ ,  $i_z^2$  қийматларини кучланишларни ҳисоблаш формуласига қўйиб қуйидагига эга бўламиз ( $y$  ва  $z$  см ларда берилган).

$$\sigma = -\frac{90000}{0,03} \left( 1 + \frac{3 \cdot 4}{75} y + \frac{3 \cdot 3}{100} z \right) = -3 \cdot 10^6 (1 + 0,16 y + 0,09 z) \text{ Н/м}^2.$$

$\sigma = 0$  деб олиб, нейтрал ўқ вазиятини толамиз. Қуйидаги формула ҳосил бўлади:  
 $1 + 0,16 y + 0,09 z = 0$ ,  $z = 0$ , бундан  $a_y = -\frac{1}{0,16} = -6,25 \text{ см}$  ( $K$  нуқтада),

$y = 0$  да эса  $a_z = -\frac{1}{0,09} = -11,1 \text{ см}$  ( $M$  нуқтада).

Кесимнинг нейтрал ўқи  $K$  ва  $M$  нуқталар орқали ўтади.

Нормал кучланишлар  $y$  ва  $z$  координаталарга боғлиқ бўлгани учун уларнинг кесим томонлари бўйлаб ўзгариш эпюраларини ясаш учун тўғри тўрт-бурчакли бурчаклари учларидаги кучланишлар қийматини ифодалаш кифоя. Координаталари  $y_A = -7,5 \text{ см}$  ва  $z_A = -10 \text{ см}$  бўлган  $A$  нуқтада  $\sigma_A = -3 \cdot 10^6 (1 - 0,16 \times 7,5 - 0,09 \times 10) = 3,3 \times 10^6 \text{ Н/м}^2 = 3,3 \text{ МН/м}^2$ .

Бошқа бурчаклардаги нуқталарда ҳам кучланишлар худди шундай ҳисобланади.  $\sigma_B = -2,1 \text{ МН/м}^2$ ,  $\sigma_C = -9,3 \text{ МН/м}^2$ ,  $\sigma_D = -3,9 \text{ МН/м}^2$ . Бу нуқталарда сиқилиш юз беради. Кучланишлар эпюралари расмда кўрсатилган.

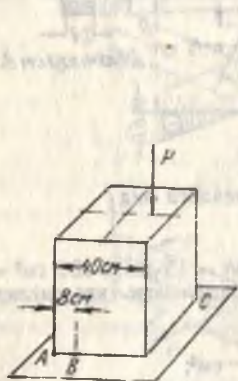
**10.26.** Эни 18 см бўлган пўлат полосага унинг ўқларига параллел бўлган икки чўзувчи куч 9 кН таъсир қилади. Бу кучлар полоса четларидан 5 см масофада унинг қалинлиги уртасига қўйилган. Полосанинг зарур қалинлигини аниқланг.  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .

Жавоб: 7,3 мм.

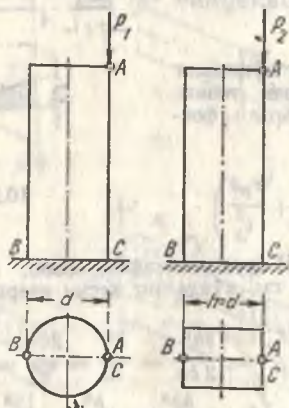
**10.27.** Сиқилган бруснинг  $A$  нуқтасидаги нормал кучланиш (расмга аранг)  $12 \text{ Н/м}^2$  га тенг (чўзилиш),  $B$ , нуқтада у нолга тенг.  $C$  нуқтада кучланиш нимага тенг?

Жавоб:  $48 \text{ Н/см}^2$  (сиқилиш).

**10.28.** Иккита устуннинг  $A$  нуқталарига сиқувчи кучлар қўйилган (расмга қаранг). Иккала устуннинг  $C$  нуқталарида сиқувчи кучланишлар бир хиллиги маълум бўлди. Устунларнинг  $B$  нуқталаридаги кучланишларни таққосланг.



10.27- масалага оид



10.28- масалага оид

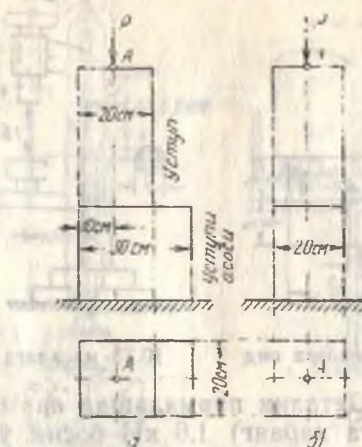


10.29- масалага оид





10.30- масалага оид



10.31- масалага оид

**Жавоб:** Думалоқ кесимли устунда кучланиш 20% катта бўлади.

**10.29.** Тўғри тўртбурчак кесимли устуннинг  $A$  ва  $B$  нуқталарига бир хил кучлар қўйилган (расмга қаранг). Агар кучлардан бири олиб қўйилса, устундаги энг катта сиқувчи кучланиш қандай ўзгаради.

**Жавоб:** Ўзгармайди.

**10.30.** Тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли бетон устуннинг пастки қисми мустаҳкамлигини текширинг (расмга қаранг). Чўзилишга рухсат этиладиган кучланиш  $7 \text{ Н/см}^2$  дир, сиқилишга рухсат этиладиган кучланиш эса  $70 \text{ Н/см}^2$  га тенг.

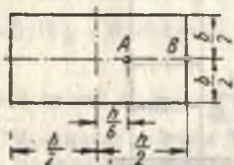
**Жавоб:**  $\max \sigma_v = 6,3 \text{ Н/см}^2 < 7 \text{ Н/см}^2$ ,  
 $\max \sigma_c = 9,7 \text{ Н/см}^2 < 70 \text{ Н/см}^2$ .

**10.31.** Устуннинг асоси  $20 \times 30 \text{ см}$  кўндаланг кесимли брусдан қилинган (расм,  $a$  га қаранг). Агар уни сиқувчи куч  $P = 36 \text{ кН}$  бўлса, устун асосидаги энг катта нормал кучланишни аниқланг. Агар устун асосини кўндаланг кесими  $20 \times 20 \text{ см}$  бўлган брусдан қилинса, бу кучланиш нимага тенг бўлади (расм,  $b$  га қаранг).

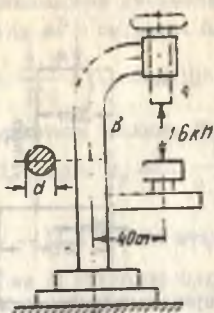
**Жавоб:** а)  $12 \text{ МПа}$ , б)  $9 \text{ МПа}$ .

**10.32.** Агар тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли бетон устунни сиқувчи куч: а)  $A$  нуқтага, б)  $B$  нуқтага қўйилган бўлса, бетон устуннинг емирилиши қандай кучланишдан (чўзилишданми ёки сиқилишданми) рўй беради. Сиқилишда бетоннинг мустаҳкамлик чегараси чўзилишдагидан олти марта катта.  $\sigma$  ва  $\epsilon$  орасидаги боғлиқликни емирилгунга қадар чиқиқли деб ҳисобланг.

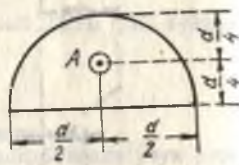
**Жавоб:** а) сиқилишдан; б) чўзилишдан.



10.32- масалага оид



10.33- масалага оид



10.34- масалага оид

**10.33.** Детални пармалашда пармалаш станогини шпиндели  $A$  га (расмга қаранг)  $1,6 \text{ кН}$  босим ўқ бўйлаб таъсир қилади. Агар чўзилишга йўл қўйиладиган кучланиш  $350 \text{ Н/см}^2$  бўлса, думалоқ чўян устун  $B$  нинг диаметрини аниқланг.

Жавоб:  $125 \text{ мм}$ .

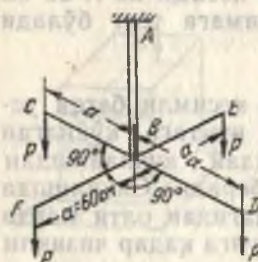
**10.34.** Кўндаланг кесими  $d = 20 \text{ см}$  диаметрли ярим доира кўринишидаги калта ёғоч стойка бўйлама сиқувчи куч  $P$  билан юкланган. Бу куч стойка эни ва қалинлигининг ўртасига —  $A$  нуқтага қўйилган (расмга қаранг). Агар йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 10 \text{ МПа}$  бўлса,  $P$  кучнинг йўл қўйиладиган энг катта қийматини аниқланг. Агар стойка оддий сиқилишга ишлатган бўлса, унга қандай  $P$  кучни қўйиш мумкин эди.

Жавоб:  $9,68 \text{ кН}$ ,  $15,7 \text{ кН}$ .

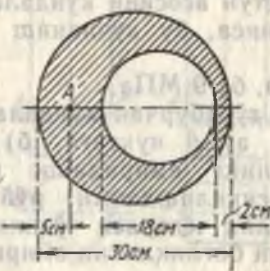
**10.35.** Пулат труба  $AB$  га бикр маҳкамланган креставина  $CDEF$  га тўртта бир хил юк  $P = 100 \text{ Н}$  симметрик тарзда осилган (расмга қаранг).  $AB$  трубанинг ташқи диаметри  $60 \text{ мм}$ , деворининг қалинлиги  $2 \text{ мм}$ . Тўртта юк осилган трубадаги энг катта чўзувчи кучланишни, шунингдек юклардан бири олинган ҳолдаги энг катта чўзувчи кучланишни аниқланг.

Жавоб:  $110 \text{ Н/см}^2$ ;  $1256 \text{ Н/см}^2$ .

**10.36.** Кўндаланг кесими расмда тасвирланган устун  $A$  нуқтага қўйилган бўйлама куч билан сиқилган. Ушбу ҳолда мак-



10.35- масалага оид

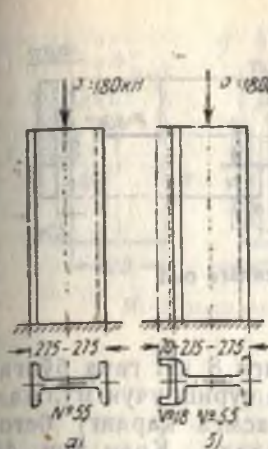


10.36- масалага оид

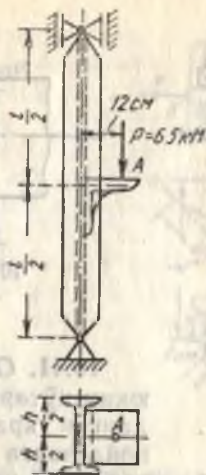


10.37- масалага оид

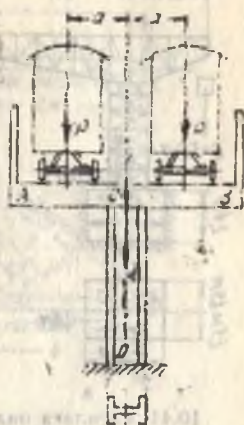




10.38- масалага оид



10.39- масалага оид



10.40- масалага оид

симал нормал кучланиш деворларининг қалинлиги ҳамма ерда бир хил бўлиб, 60 см га тенг ҳолдагидан қанча марта кам бўлишини аниқланг.

Жавоб: 1,15 марта.

10.37. Якка трамвай симини осиш учун мўлжалланган устун иккита швеллер № 16 дан иборат (расмга қаранг). Симнинг, консолнинг оғирлигини ҳисобга олиб ҳамда устуннинг ўз оғирлигини ҳам ҳисобга олиб, устун асосидаги кесимдаги энг катта чузувчи ва сиқувчи кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $+116 \text{ Н/см}^2$ ;  $-130 \text{ Н/см}^2$ .

10.38. Марказига сиқувчи куч  $P=180 \text{ кН}$  қўйилган қўштаврли калта стойка № 55 (расм, а га қаранг) стойканинг бутун узунлиги бўйича унга пайвандланган швеллер № 18 билан кучайтирилган (расм, б га қаранг). Қўштаврли стойкадаги ҳамда швеллер билан кучайтирилган стойкадаги энг катта сиқувчи кучланишлар қанчага тенг?

Жавоб: а)  $15,79 \text{ МПа}$ ; б)  $17,07 \text{ МПа}$ .

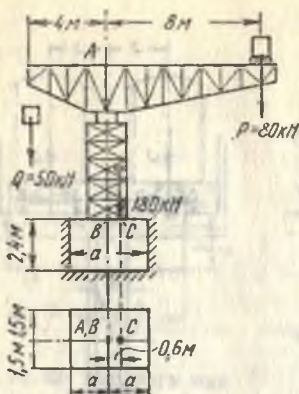
10.39. Учларидан шарнирли бириктирилган қўштавр кесимли калта стойкага кронштейн орқали нагрузка  $P=6,5 \text{ кН}$  узатилади (расмга қаранг). Агар рухсат этилган кучланиш  $160 \text{ МПа}$  бўлса, қўштаврнинг зарур номерини аниқланг.

Жавоб: № 22.

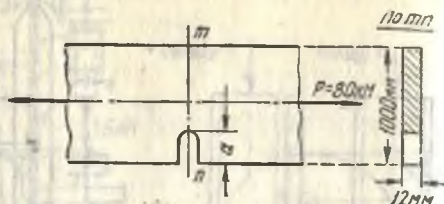
10.40. Қўштавр стойкалар  $CD$  балкалар  $AB$  ни тутиб туради. Балкалар устига тор изли тўмир йўл рельслари ётқизилган (расмга қаранг).

Агар конструкциянинг битта стойкага узатиладиган хусусий оғирилги  $Q = 12 \text{ кН}$ ,  $P = 8 \text{ кН}$ ,  $a = 1 \text{ м}$  ва  $[\sigma] = 140 \text{ МПа}$  бўлса, йўллардан иккаласи ёки биттаси устида вагонлар турганда зарур қўштавр номерини аниқланг.

Жавоб: № 36.



10.41- масалага онд



10.42- масалага онд

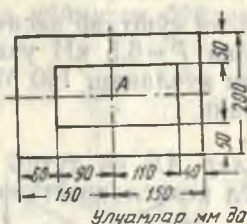
10.41. Оғирлиги 8 кН гача бўлган юкни кўтариш ва суриш учун мулжалланган бетон пойдеворга тиралади. Кран ўқи АВ пойдевор маркази орқали ўтади. Краннинг 18 кН га тенг бўлган оғирлиги (юк  $P$  ва посонги оғирлиги  $Q$  бу ҳисобга қирмайди) пойдеворга  $C$  нуқтада ўқ  $AB$  дан 0,6 м масофада қўйилган деб ҳисоблаб, пойдеворнинг  $A$  томони ўлчамини аниқланг. Бунда пойдевор асосида чўзувчи кучланишлар бўлмасин. Шу топилган  $a$  қийматида грунтга қанча энг катта босим тушади? Бетоннинг ҳажмий оғирлиги  $2,2 \text{ кН/м}^3$ .

Жавоб:  $3,68 \text{ м} = 3,7 \text{ м}$ ;  $16,1 \text{ кН/м}^2$ .

10.42. Пулат полоса марказий қўйилган кучлар  $P$  дан чўзилади (расмга қаранг). Агар энг катта нормал кучланиш 150 МПа дан ошмаса, полосада бир томонлама ўйиқ қандай  $a$  чуқурликда қилиниши мумкин? Ўйиқда кучланишларнинг тўпланиши ҳисобга олинмасин.

Жавоб: 20,7 мм.

10.43. Тўғри тўртбурчак кесимли ичи бўш пўлат устунни қўшишда икки параллел деворнинг қалинлиги хато равишда бир хил чиқмай қолган (расмга қаранг). Устунни сиқувчи бўйлама юк  $A$  нуқтага қўйилган деб ҳисоблаб, юкнинг йўл қўйилдиган энг катта қийматини аниқланг.  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ . Устун деворларининг қалинлиги



10.43- масалага онд



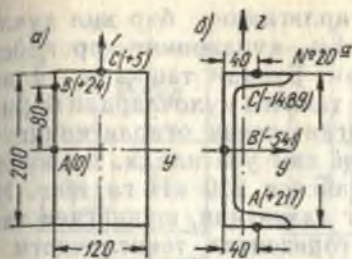
10.44- масалага онд

ҳамма ерда бир хил (50 мм) деб ҳисоблаб, юкнинг энг катта қийматини аниқланг.

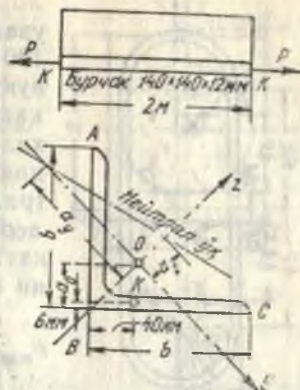
Жавоб: 594, 7 кН, 640 кН, яъни 7,6% катта.

10.44. Томонлари  $a$  га тенг бўлган квадрат кўндаланг кесимли калта стойка марказига қўйилган куч  $P$  билан сиқилган. Агар бунда а) расмда кўрсатилгандек битта кемтик қилинса, ва б) стойканинг қарама-қар-





10.45- масалага онд



10.46- масалага онд

ши томонида иккита шундай бир хил кесмик қилинса, стойкада энг катта сиқувчи кучланиш қанча фоиз катталашади?

Жавоб: 70,2%, 33,3%.

10.45. Кўндаланг кесимлари расмда тасвирланган стойкалар марказдан ташқарига қўйилган бўйлама сиқувчи юк  $P$  таъсирида турибди. Баъзи нуқталар учун тажриба йўли билан топилган кучланишлар маълум. Расмда бу нуқталардаги кучланишлар қиймати  $\text{Н/см}^2$  да берилган.

Стойкалардан ҳар бири учун юк  $P$  қийматларини ва  $y$  қўйилган нуқталарнинг координатларини, шунингдек энг катта сиқувчи кучланиш қийматини аниқланг.

Жавоб:

а)  $P = 6 \text{ кН}$ ,  $y_P = +2 \text{ см}$ ,  $z_P = -4 \text{ см}$ ;  $\max \sigma = -80 \text{ Н/см}^2$ ;

б)  $P = 15 \text{ кН}$ ;  $y_P = +0,22 \text{ см}$ ,  $z_P = 9,5 \text{ см}$ ,  $\max \sigma = 1584 \text{ Н/см}^2$

10.46. Улчамлари  $140 \times 140 \times 12 \text{ мм}$  бўлган бурчакликни битта куч  $P = 15 \text{ кН}$  чўзади. Кучлар учларидаги кесимлардаги нуқталар  $K$  га қўйилган (расмга қаранг). Нейтрал ўқ вазиятини ва бурчаклик кесимларидаги  $A$ ,  $B$  ва  $C$  нуқталардаги кучланишларни аниқланг. Агар бурчакликнинг узунлиги  $2 \text{ м}$  бўлса, унинг энг катта эгилиш қиймати ва йўналишини топинг. Бурчакликнинг буралишини ҳисобга олманг.

Қўрсатма: Бурчакликнинг энг катта эгилиши қуйидаги формуладан аниқланади

$$f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2} = \sqrt{\left(\frac{M_z l^2}{8 EJ_z}\right)^2 + \left(\frac{M_y l^2}{8 EJ_y}\right)^2} = \frac{Pl^2}{8E} \sqrt{\left(\frac{y_k}{J_z}\right)^2 + \left(\frac{z_k}{J_y}\right)^2}$$

Эгилиш йўналиши кесимнинг нейтрал ўқига перпендикуляр.

Жавоб:  $a_y = -12,25 \text{ см}$ ,  $a_z = +3,37 \text{ см}$ ,  $\sigma_A = -512 \text{ Н/см}^2$ .

$\sigma_B = +1216 \text{ Н/см}^2$ ,  $\sigma_C = +234 \text{ Н/см}^2$ ,  $f = 0,355 \text{ см}$ .

10.47. Расмда икки изли темир йўл кўприги таянчининг горизонтал кесимлари тасвирланган. Таянчининг оғирлиги  $3200 \text{ кН}$ . Нуқта 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ва 8 ларда таянчга кўприк қу-



10.47- масалага оид

лочлари оғирлигининг бир хил кучлари узатилади. Бу кучларнинг ҳар қайсиси 120 кН дан. Бундан ташқари, 1 ва 2 нуқталарда таянчга қўлочлардан бири орқали ўтадиган поезд оғирлигининг бир хил кучлари ҳам узатилади. Бу кучларнинг ҳар қайсиси 210 кН га тенг. Нейтрал ўқнинг вазиятини, шунингдек таянч асосидаги горизонтал текисликдаги энг катта ва энг кичик сиқувчи кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $a_y = -26,6$  см;  $a_z = 86,6$  мм;  
 $\sigma_{\max} = 49,2$  кН/м<sup>2</sup>;  $\sigma_{\min} = 33$  кН/м<sup>2</sup>

10.48. Кўндаланг кесимлари расмда тасвирланган (ўлчамлар см да кўрсатилган)  $l = 1,5$  м узунликдаги пулат стерженларни бўйлама кучлар  $P$  чўзади. Бу кучлар юлдузчалар билан белгиланган нуқталардаги ички кесимларга қўйилган.

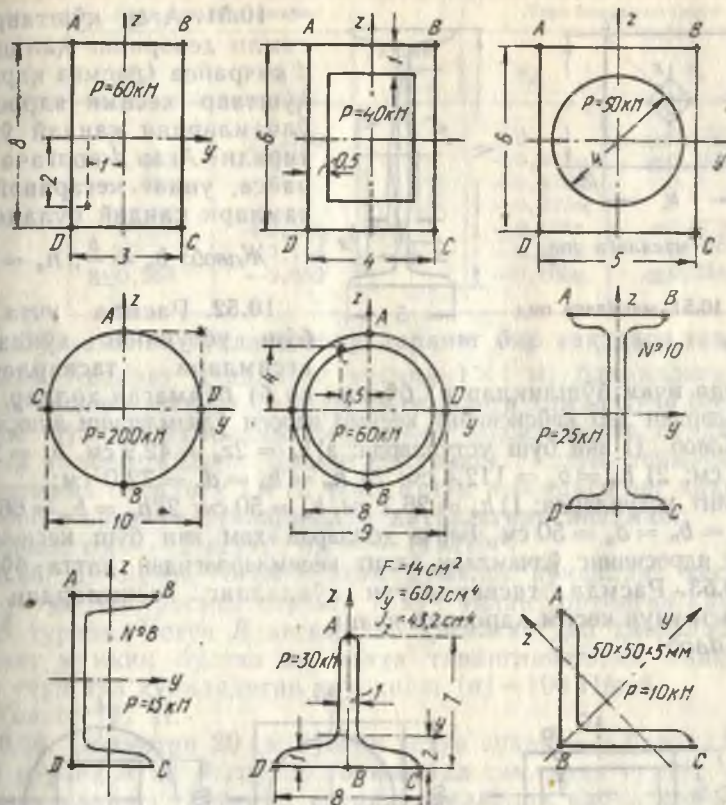
Нейтрал чизик координаталар ўқларида кесадиган кесимларни топинг,  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ва  $D$  нуқталардаги нормал кучланишларни ҳисобланг, бу кучланишларнинг кесим томонлари бўйлаб ўзгариш эпюраларини ясанг ва стержен узунлигининг ўртасидан эгилиш стреласи  $f$  ни аниқланг. Кесимлари схемалар 4 ва 7 да тасвирланган стерженлар учун энг катта нормал кучланишлар катталигини ҳам аниқланг. Юпқа деворли стерженларнинг эгилиш ва буралиш деформацияси натижасида вужудга келадиган кучланишларни ҳисобга олманг. Жавоблар жадвалда келтирилган.

10.48- масалага

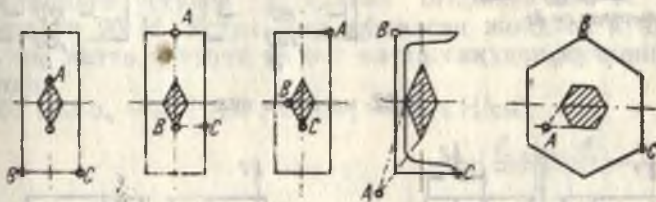
| Схема номери № | Нейтрал ўқ нуқталарининг координаталари |            | Кесим нуқталаридаги кучланишлар, Н/см <sup>2</sup> |            |            |            |                 | Эгилиш $f$ , см |
|----------------|-----------------------------------------|------------|----------------------------------------------------|------------|------------|------------|-----------------|-----------------|
|                | $a_y$ , см                              | $a_z$ , см | $\sigma_A$                                         | $\sigma_B$ | $\sigma_C$ | $\sigma_D$ | $\sigma_{\max}$ |                 |
| 1              | +0,75                                   | +2,67      | +375                                               | -625       | +125       | +1125      | 1125            | 0,49            |
| 2              | +0,96                                   | -1,56      | +1672                                              | +281       | -1005      | +386       | 1672            | 0,57            |
| 3              | -1,15                                   | +1,48      | -919                                               | +331       | +1493      | +243       | 1493            | 0,45            |
| 4              | -1,25                                   | -1,25      | +1273                                              | -764       | -764       | +1273      | 1695            | 0,41            |
| 5              | +6,04                                   | -2,27      | +1342                                              | -443       | +784       | +115       | 1403            | 0,30            |
| 6              | -0,54                                   | -3,30      | -532                                               | +1580      | +949       | -1164      | 1580            | 0,55            |
| 7              | -0,53                                   | -2,49      | +23                                                | +1283      | +747       | -514       | 1283            | 0,45            |
| 8              | +0,77                                   | +2,17      | -280                                               | +412       | -700       | +1524      | 1524            | 0,41            |
| 9              | -0,63                                   | +1,05      | +1415                                              | -454       | +10        | -          | 1415            | 0,54            |

10.49. Расмда тўғри тўртбурчак, тоғарасимон ва олти бурчакли кўндаланг кесимлар, шунингдек уларнинг кесим ядролари тасвирланган. Агар кесим текислигига перпендикуляр куч  $A$  нуқтага қўйилган бўлса, бу кесимларнинг ҳар қайсисида нейтрал ўқ қандай ўтади?





10.48- масалага онд

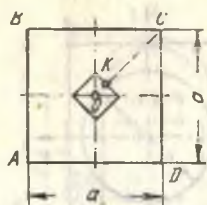


10.49- масалага онд

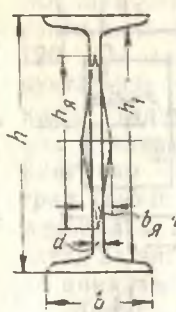
Жавоб: В ва С нуқталар орқали ўтади.

10.50. Расмда тош устуннинг квадрат кўндаланг кесими тасвирланган. Устунни бўйламасига сиқадиган куч  $P$  кесим ядроси чегарасида  $K$  нуқтага қўйилган. Бу нуқта  $OC$  диагоналда ётади.  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ва  $D$  нуқталардаги кучланишлар нимага тенг?

Жавоб:  $\sigma_A = 0$ ;  $\sigma_B = \sigma_D = -\frac{P}{F}$ ;  $\sigma_C = -2\frac{P}{F}$ .



10.50- масалага оид



10.51- масалага оид

10.51. Агар қўштавр кесимли деворнинг қалинлиги  $d$  кичрайса (расмга қаранг), қўштавр кесими ядроси ўз ўлчамларини қандай ўзгартиради? Агар  $d$  нолгача кичрайса, унинг чегаравий ўлчамлари қандай бўлади?

Жавоб:  $b_я = \frac{b}{3}$ ;  $h_я = h_1$

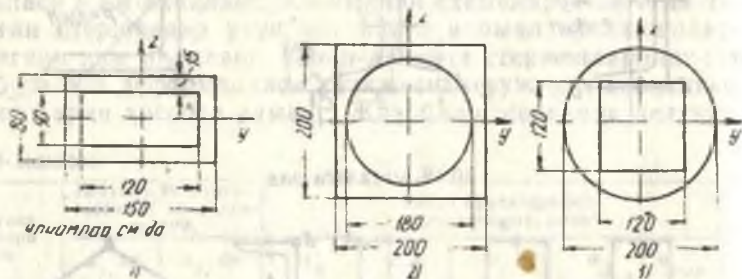
10.52. Расмда учта ичи бўш устуннинг кўндаланг кесимлари тасвирланган.

Уларда ички бўшлиқлар а) бўлган ва б) бўлмаган ҳоллар учун устунлардан ҳар қайсисининг кесими ядроси ўлчамларини аниқланг.

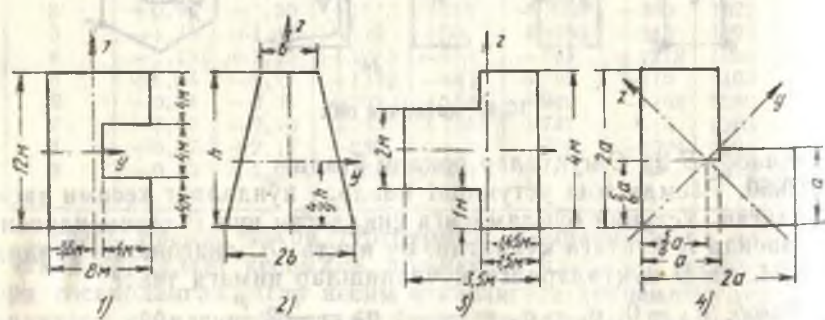
Жавоб: 1) ичи бўш устунларда: а)  $h_я = 2z_я = 42,9$  см,  $b_я = 2y_я = 68$  см; 2)  $h_я = b_я = 112,4$  см; 3)  $h_я = b_я = d_я = 72,0$  см; б) яхлит устунларда: 1)  $h_я = 26,7$  см,  $b_я = 50$  см; 2)  $h_я = b_я = 66,7$  см; 3)  $h_я = b_я = d_я = 50$  см. Барча ҳолларда ҳам ичи бўш кесимларда кесим ядросининг ўлчамлари яхлит кесимлардагидан катта бўлади.

10.53. Расмда тасвирланган кўндаланг кесимлардан ҳар қайсиси учун кесим ядросини ясанг.

Жавоб:



10.52- масалага оид



10.53- масалага оид



| Кесим | Ядро координатлари    |                            | Кесим | Ядро координатлари                            |                                                        |
|-------|-----------------------|----------------------------|-------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|       | $u_{я}$               | $z_{я}$                    |       | $u_{я}$                                       | $z_{я}$                                                |
| 1     | 0<br>+1,44м<br>-1,88  | +2,36м<br>0<br>0           | 3     | 0<br>+0,242м<br>+0,478м<br>-0,676м<br>-0,118а | $\pm 0,467м$<br>$\pm 0,461м$<br>0<br>0<br>$\pm 0,253а$ |
| 2     | 0<br>0<br>$\pm 0,268$ | +0,181<br>-0,144<br>-0,052 | 4     | -0,206а<br>+0,165а                            | 0<br>$\pm 0,354а$                                      |

### 32- §. Бўйлама ва кўндаланг кучларнинг бир вақтдаги таъсири

10.54. Квадрат кўндаланг кесими  $1 \times 1$  м, баландлиги 5 м бўлган ёштин устунга ўз хусусий оғирлиги ҳамда кучи  $80 \text{ Н/м}^2$  га тенг бўлган шамолнинг бир текис тақсимланган кўндаланг босими таъсир қилади (расмга қаранг). Устун термасининг солиштирма оғирлиги  $1,6$  га тенг. Устун асосидаги энг катта ва энг кичик сиқувчи кучланишлар катталигини аниқланг.

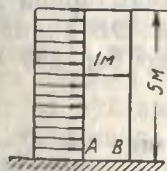
Жавоб:  $\sigma_A = -2 \cdot \text{кН/м}^2$ ;  $\sigma_B = -14 \text{ кН/м}^2$ .

10.55. Диаметри 15 см бўлган думалоқ кўндаланг кесимли ёғоч устун  $AB$  (расмга қаранг)  $P$  куч билан тортилган канатни тутиб туради. Устун  $B$  кесимидан қисилган деб ҳисоблаб, канатнинг мумкин бўлган энг катта тарангланишини аниқланг. Ёғоч учун йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 100 \text{ Н/см}^2$ .

Жавоб: 787 Н.

10.56. Диаметри 20 см бўлган устун ердан 5 м баландликда икки группа  $A$  ва  $B$  группа горизонтал симларни тутиб туради (расмга қаранг). Устун  $A$  группа симлардан қабул қиладиган горизонтал зўриқиш  $100 \text{ Нга}$ ,  $B$  группа симлардан қабул қиладиган горизонтал зўриқиш эса  $150 \text{ Н}$  га тенг. Иккала группадаги симларнинг устунга узатадиган оғирлиги  $280 \text{ Н}$ . Устуннинг оғирлиги  $90 \text{ Н}$ . Устун ерга қўмилган жойдаги кўндаланг кесимда энг катта чўзувчи ва энг катта сиқувчи кучланишларни аниқланг.

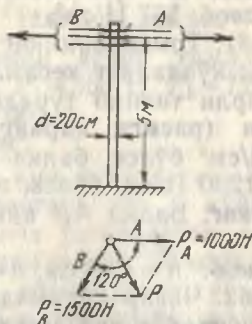
Жавоб:  $\max \sigma_c = 83 \text{ Н/см}^2$ ;  $\max \sigma_c = 85,4 \text{ Н/см}^2$ .



10.54- масалага оид



10.55- масалага оид



10.56- масалага оид



10.57- масалага онд

10.57. Агар юк  $P=800$  Н бўлса, велосипед эгари маҳкамланган трубадаги нормал кучланишни аниқланг (расмга қаранг). Трубканинг ташқи диаметри 24 мм, ички диаметри 21 мм. Трубканинг  $B$  учини қисилган деб ҳисобланг.

Жавоб:  $113,9 \text{ МН/м}^2$ .

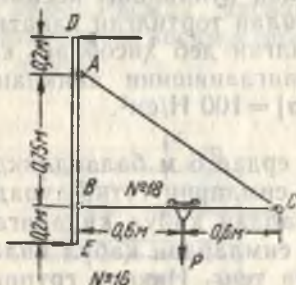
10.58. Ичи бўш кесик конус шаклидаги завод трубасининг баландлиги 32 м, труба юқори кесимининг ташқи диаметри 2 м, асосининг ташқи диаметри 3,5 м. Деворининг қалинлиги тегишлича 25 см ва 1 м.

Труба термасининг 1 м оғирлиги 1,6 кН га тенг. Труба вертикал проекциясининг 1 м га таъсир қиладиган энг катта шамол кучини аниқланг. Шамол таъсирида труба асосида чўзувчи кучланишлар бўлмайди. Шамолнинг трубаaning диаметрал кесими бўйича босимини бир текис тақсимланган деб ҳисобланг.

Жавоб:  $89,5 \text{ Н/м}^2$ .

10.59. Деворга маҳкамладиган краннинг қўштаврли балкаси  $BC$  стойка  $DE$  га ва тортқи  $AC$  га шарнирли бириктирилган (расмга қаранг). Агар юк  $P=4$  кН бўлса, балканинг кўндаланг кесимидаги энг катта нормал кучланишни аниқланг.

Жавоб:  $976 \text{ Н/см}^2$ .



10.59- масалага онд

10.60. Деворга маҳкамладиган краннинг стойкаси  $DE$  (олдинги масаладаги расмга қаранг) иккита швеллер № 16 дан иборат; швеллерлар девори бир-бирига пайвандланган. Деворлар текислиги чизма текислигига параллел. Стойканинг

кўндаланг кесимидаги бевосита  $A$  нуқта остида жойлашган кесимдаги энг катта сиқувчи кучланишни аниқланг. Юк  $P=4$  кН  $C$  нуқтада деб ҳисобланг.

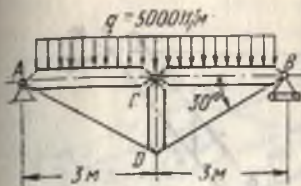
Жавоб:  $557 \text{ Н/см}^2$ .

10.61. Томонларининг нисбати  $h : b = 1,5$  бўлган тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли ёғоч шпренгел балкаси учларида шарнирли таяниб туради, у тенг тақсимланган юк билан юкланган (расмга қаранг). Агар йўл қўйиладиган кучланиш  $100 \text{ Н/см}^2$  бўлса, балка кўндаланг кесими ўлчамларини ҳамда  $[\sigma] = 1200 \text{ Н/см}^2$  бўлса, пўлат тортқилар  $AD$  ва  $DB$  диаметрини аниқланг. Балка  $AB$  нинг  $C$  кесимида шарнир бор деб ҳисобланг:

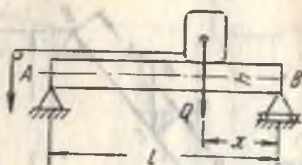
Жавоб:  $h = 17,6 \text{ см}$ ;  $b = 11,7 \text{ см}$ ;  $d = 12,6 \text{ мм}$ .

10.62. Чигир ёрдамида ёғоч балка  $AB$  устида юк  $Q = 1$  кН сирпантириб судралмоқда (расмга қаранг). Балка тўғри тўрт-





10.61- масалага оид



10.62- масалага оид

бурчак кесимли (баландлиги  $h=30$  см, эни  $b=10$  см, қулочи  $l=6$  м) юк билан балка орасидаги ишқаланиш коэффициентини  $f=0,4$  деб ҳисобланг. Балкада энг катта сиқувчи кучланиш ҳосил бўладиган юк вазиятини ва шу кучланиш катталигини аниқланг. Юк  $Q$  ни тўпланган, чиғир тросининг кучини юк ости сатҳида қўйилган деб ҳисобланг.

Жавоб:  $x = 2,97$  м;  $\sigma_{\max} = 99,3$  Н/см<sup>2</sup>.

**10.63.** Диаметри 6 см ли трубка юпқа резиналанган матодан қилинган бўлиб, учларидан елимлаб ёпиштирилган. Трубкага 1,2 атм. босим остида (атмосфера босимиға қўшимча равишда) ҳаво ҳайдалган. Трубка учлари бир-биридан 30 см нари турган таянчлар устиға қўйилган ва қулоч ўртасида тўпланган куч  $P$  билан юкланган.

Трубка кесимининг бирор нуқтасида сиқувчи кучланишлар пайдо бўладиган пайтгача эгилишға ишлайди деб ҳисоблаб,  $P$  кучининг энг катта йўл қўйилади-ган қийматини аниқланг. Куч ва таянч реакцияларнинг маҳаллий босимларини ҳисобға олманг.

Жавоб: 3,39 Н.

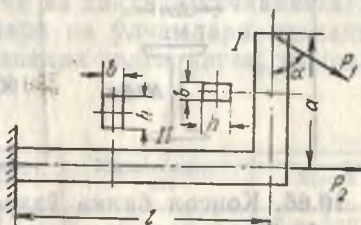
**10.64.** Тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли тирсакли стержень деворға қистириб қўйилган. У иккита тўпланган куч  $P_1$  ва  $P_2$  билан юкланган (расмға қаранг).

Стерженнинг ҳар бир участ-

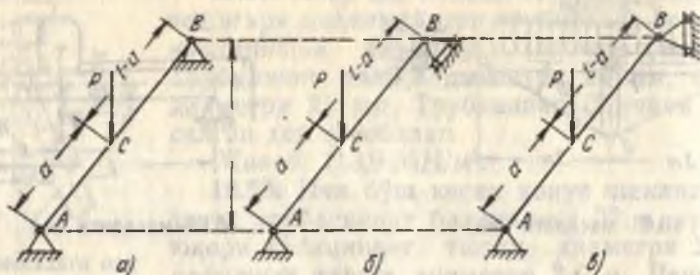
каси учун эгувчи момент эпюраларини ясанг ҳамда энг катта нормал кучланишларни аниқланг.  $P_1=360$  Н,  $P_2=7200$  Н,  $l=50$  см,  $a=30$  см,  $h=6$  см,  $b=4$  см,  $\alpha=60^\circ$ .

Жавоб:  $\sigma_1 = 358$  Н/см<sup>2</sup>;  $\sigma_{II} = 1078$  Н/см<sup>2</sup>.

**10.65.** Узунлиги  $l$  бўлган АВ балка қия ўрнатилган. Унинг  $C$  кесимиға вертикал йўналган тўпланган куч  $P$  қўйилган (расмға қаранг). Балка узунлиги бўйича ўзгарадиган эгувчи момент ва бўйлама кучлар эпюраларини ясанг. Юқори шарнирли таянчнинг ҳар хил жойлашиш вариантлари учун энг катта қўзувчи ва сиқувчи кучланишлар катталигини аниқланг. Кўндаланг кесимнинг хили ва унинг ўлчамлари, балка узун-



10.64- масалага оид



10.65- масалага оид

лиги, юкланишнинг вазияти ва катталиги жадвалда кўрсатилган. Бунда жавоблар ҳам берилган. Ҳамма ҳолларда ҳам балканинг баландлиги кучларнинг таъсир йўналишига параллел.

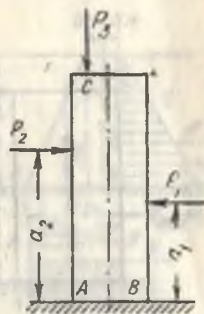
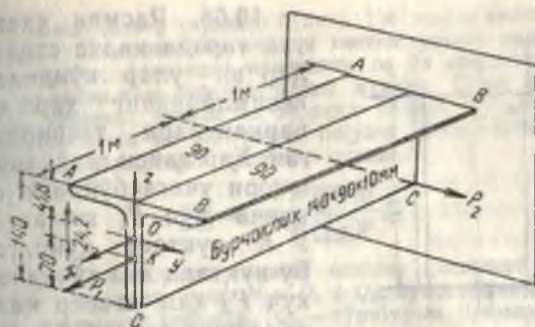
10.65- масалага

| Тартиб<br>номери | Кесим хиллари ва ўлчамлари | $l$ см | $a$ см | $H$ см | $P$ ,<br>кН | Юқори та-<br>ялч вари-<br>анти | Жавоб                                      |      |
|------------------|----------------------------|--------|--------|--------|-------------|--------------------------------|--------------------------------------------|------|
|                  |                            |        |        |        |             |                                | Энг катта куч-<br>ланишлар см <sup>2</sup> |      |
| 1                | 2                          | 3      | 4      | 5      | 6           | 7                              | чўз.                                       | сиқ. |
| 1                |                            | 180    | 80     | 150    | 2           | $a$                            | 86,0                                       | 87,0 |
| 2                |                            |        |        |        |             | $b$                            | 81,9                                       | 91,2 |
| 3                |                            |        |        |        |             | $c$                            | 80,1                                       | 93,0 |
| 4                |                            | 160    | 60     | 140    | 10          | $a$                            | 1271                                       | 1357 |
| 5                |                            |        |        |        |             | $b$                            | 1142                                       | 1486 |
| 6                |                            |        |        |        |             | $c$                            | 1102                                       | 1526 |

10.66. Консол балка ўзаро маҳкамланган тенг ёнлимас ик- кита бурчакликдан тузилган (расмга қаранг). Унга иккита куч таъсир қилади:  $P_1=20$  кН, бу куч  $x$  ўқига параллел бўлиб, балканинг эркин учига кесим баландлиги ўртасига қўйилган ( $K$  нуқтада) ҳамда  $P_2=750$  Н. Бу кучнинг  $x$  ўқига перпендику- ляр йўналиши балка ўрта кесимининг эгилиш маркази орқали ўтади. Нейтрал чизиқнинг вазиятини ҳамда  $A$ ,  $B$  ва  $C$  нуқта- лардаги нормал кучланишлар қийматини (қисилган кесимдаги), шунингдек балка эркин учининг оғирлик маркази  $O$  нинг тўлиқ силжишини аниқланг. Балканинг узунлиги  $l=2$  а.

Ечимни текшириш учун маълумотлар. Қисилган кесимдаги кучлар:  $N = -20.000$  Н,  $M_y = 48400$  Н см ва  $M_z = 75000$  Н см. Қисилган кесимнинг истал- ган нуқтасидаги нормал кучланишлар ушбу формула бўйича ҳисобланади:  $\sigma = 450,5 - 54,5z - 153y$ .  $O$  нуқтанинг тўлиқ силжиши ясовчиларини қуйидаги формуладан топамиз:





10.66- масалага оид

10.67- масалага оид

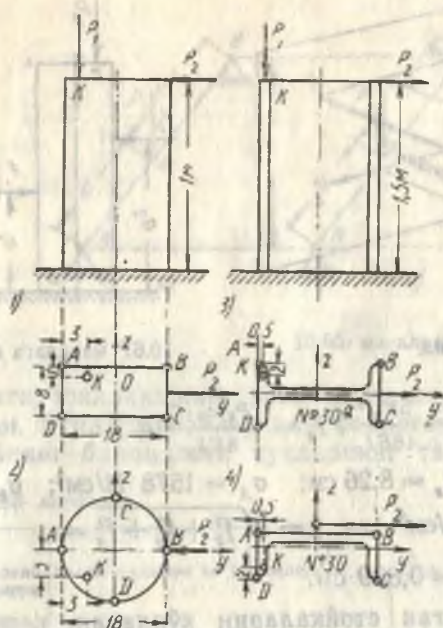
$$f_x = \frac{P_1 l}{EF}, f_y = \frac{5P_2 l^3}{48EJ_z}, f_z = \frac{P_1 \cdot z_p \cdot l^3}{8EJ_y}$$

Жавоб:  $a_y = 2,94$  см;  $a_z = 8,26$  см;  $\sigma_A = 1578$  Н/см<sup>2</sup>;  $\sigma_B = -1177$  Н/см<sup>2</sup>;  $\sigma_C = 964$  Н/см<sup>2</sup> ва  $f = \sqrt{f_z^2 + f_y^2 + f_x^2} = \sqrt{0,045^2 + 0,64^2 + 0,545^2} = 0,839$  см.

10.67. Расмда тасвирланган стойкаларни кундаланг кесимнинг C нуқтасига қўйилган  $P_3$  куч сиқади. Стойка кучлар  $P_1$  ва  $P_2$  таъсирида эгилади. Кучлар таъсирининг боғлиқмаслик принципини қўллаш мумкин деб ҳисоблаб стойка баландлиги бўйича эгувчи моментнинг ўзгариш эпюрасини ясанг ҳамда стойканинг хавфли кесимида энг катта чўзувчи ва сиқувчи кучланишларни аниқланг. Кундаланг кесим хиллари ва ўлчамлари, юкланишларнинг вазияти ва катталиги жадвалда келтирилган, жадвалда жавоблар ҳам берилган.

10.67- масалага

| Тартиб номери | Кундаланг кесим хили ва ўлчамлари | Ўлчамлар, см |       | Юкланишлар кН |       |     | Жавоб      |            |
|---------------|-----------------------------------|--------------|-------|---------------|-------|-----|------------|------------|
|               |                                   | $a_1$        | $a_2$ | $P_1$         | $P_2$ | $E$ | AC томонда | BD томонда |
| 1             |                                   | 120          | 80    | 0,5           | 0,6   | 0,9 | -80,8      | +69,0      |
| 2             |                                   | 60           | 130   | 1,2           | 1,0   | 4,0 | +50,9      | 76,4       |
| 3             |                                   | 90           | 140   | 2,0           | 4,0   | 5,0 | +964       | -1251      |



10.68- масалага оид

10.68. Расмда схематик тарзда калта стойкалар ва улар кўндаланг кесимларининг ҳар хил вариантлари тасвирланган. Ҳар қайси стойканинг юқори учига бўйлама сиқувчи куч  $P_1$  юкланган,  $У$   $K$  нуқтага қўйилган. Бу нуқтада яна кўндаланг куч  $P_2$  ҳам таъсир қилади, унинг таъсир йўналиши кесимнинг эгилиш маркази орқали ўтади.

Стойкадаги энг катта нормал кучланишни аниқланг, унинг асосидаги кесимда нейтрал ўқ вазиятини ҳамда  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ва  $D$  нуқталарда нормал кучланишларни топинг, нейтрал ўқ исталган кўндаланг кесимда ўтадиган  $H$  нуқта координаталарини кўрсатинг, юпқа деворли стойкаларнинг эгилиш

буралиш деформацияларини ҳисобга олманг.

Юклар  $P_1$  ва  $P_2$  нинг қийматлари ҳақидаги маълумотлар жадвалда келтирилган, жадвалда жавоблар ҳам берилган.

10.68- масалага оид

| Кесим<br>номери | $P_1$ , кН | $P_2$ , кН | Жавоб      |            |                  |                  |                  |                  |                       |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------|
|                 |            |            | $a_y$ , см | $a_z$ , см | $\sigma_A$ , МПа | $\sigma_B$ , МПа | $\sigma_C$ , МПа | $\sigma_D$ , МПа | $\sigma_{\max}$ , МПа |
| 1               | 1,8        | 0,16       | +1,81      | -1,78      | -10,26           | +2,14            | +7,76            | -4,64            | 10,26                 |
| 2               | 2,5        | 0,30       | +1,13      | +4,05      | -8,84            | +6,88            | +1,40            | -3,17            | 9,14                  |
| 3               | 12         | 2          | -14,8      | -1,66      | -10,45           | -153,2           | +56,5            | +105,1           | 162,5                 |
| 4               | 6          | 1          | -13,7      | +1,47      | +26,8            | -5,7             | -106,3           | -73,8            | 112,5                 |

Барча ҳолларда ҳам  $H$  нуқта координаталари  $y_H = 0$  ва  $z_H = a_z$  га тенг.

10.69. Кўндаланг қирқими расмда тасвирланган тош тирак девор тупроқ уюмини тутиб туради. Деворнинг солиштирма оғирлиги 1,8 га тенг. Тупроқнинг босими горизонтал йўналган бўлиб, девор баландлиги бўйича учбурчак қонунига кўра тақсимланган: асосига энг катта босим тўғри келади.  $q_{\max} = 1,5 \text{ кН/м}^2$ . Девор асосидаги энг катта ва энг кичик сиқувчи кучланишни аниқланг.



Ечим. Девор узунлиги бўйича 1 м жойни ажратиб оламиз. Деворнинг бу жойини пастки учидан қисилган, тупроқ босимидан эгиладиган ва ўз оғирлигидан сиқиладиган ғўла сифатида қараш мумкин. Девор асосида ғўланинг кесими энг зўриққан бўлади. Бу кесимдаги энг катта ва энг кичик сиқувчи кучланишларни қуйидаги формуладан ҳисоблаш мумкин:

$$\sigma_{\min}^{\max} = - \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W}$$

Куч  $N$  деворнинг ажратиб олинган қисмининг ҳусусий оғирлигига тенг:  $N = Q_1 + Q_2$ , буьда  $Q_1$  — бурчак призманинг оғирлиги,  $Q_2$  — тўртбурчак призманинг оғирлиги.

$$Q_1 = \frac{1}{2} h (b-a) \gamma = \frac{1}{2} 4,5 (2-0,8) = 4,86 \text{ кН}, \quad 10.69\text{- масалага онд}$$

$$Q_2 = hal \cdot \gamma = 4,5 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,8 = 6,48 \text{ кН},$$

булганлиги учун  $N = 4,86 + 6,48 = 11,34 \text{ кН}$ .

Эгуьчи момент  $M$  оғирлиқлар  $Q_1$  ва  $Q_2$  нинг кучлари моментлари йиғиндисига ҳамда тупроқ босимининг тенг таъсир этувчиси  $H$  нинг девор асоси марказий ўқи атрофидаги моментлар йиғиндисига тенг.

$$M = Q_1 \left( a + \frac{b-a}{3} - \frac{b}{2} \right) - Q_2 \cdot \frac{b-a}{2} + \frac{q_{\max} \cdot h}{2} \cdot \frac{h}{3} = 4,86 \cdot 0,2 - 6,48 \times \\ \times 0,6 + \frac{1,5 \cdot 4,5}{2} \cdot \frac{4,5}{3} = 2,15 \text{ кНм},$$

$$F = b \cdot l = 2 \cdot 1 = 2 \text{ м}^2 \text{ ва } W = W_z = \frac{b^2}{6} = \frac{1 \cdot 2^2}{6} = 0,67 \text{ м}^3,$$

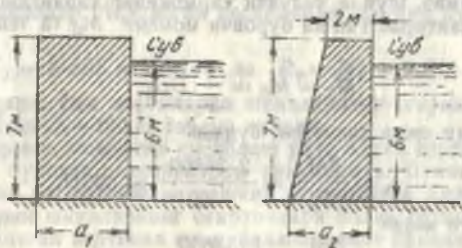
Шундай қилиб,

$$\sigma_{\min}^{\max} = - \frac{11,34}{2} \pm \frac{2,15}{0,67} = -5,67 \pm 3,22 \text{ кН/м}^2 \quad \sigma_{\max} = \sigma_A = -899 \text{ кН/м}^2,$$

$$\sigma_{\min} = \sigma_B = -245 \text{ кН/м}^2.$$

10.70. Расмда баландлиги 7 м ли бетон тўғоннинг кунда-ланг кесими икки вариантда тасвирланган. Бетоннинг солиш-тирма оғирлигини 2 га тенг деб олиб, тўғоннинг зарур эини ( $a_1$  ва  $a_2$ ) шундай танлаш керакки, унинг асосида чузуьчи куч-лар ҳосил бўлмасин.

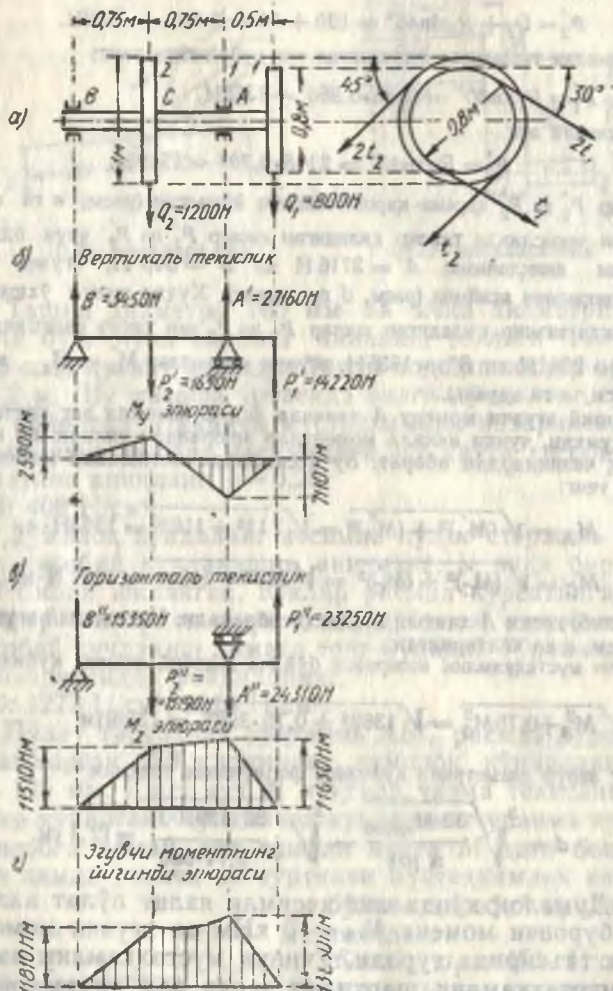
Жавоб:  $a_1 = 3,93 \text{ м}$ ,  $a_2 = 3,52 \text{ м}$ .



10.70- масалага оид







10.72- масалага оид

Шундай қилиб, шкивлар ўтқазилган кесимларда вал қия кучлар билан юкланган:

$$R_1 = 3t_1 = 3 \cdot 895 = 2685\text{H} \quad \text{ва} \quad R_2 = 3t_2 = 3 \cdot 716 = 2148\text{H}.$$

Бундан ташқари, ўша кесимларда шкивларнинг оғирлигига тенг вертикал кучлар:  $Q_1 = 80\text{H}$  ва  $Q_2 = 120\text{H}$  таъсир қилади.

Энг катта буровчи моментни ҳисоблаш учун олдин вертикал ва горизонтал текисликлардаги буровчи моментларни аниқлаймиз. Бунинг учун кучлар  $R_1$  ва  $R_2$  ни вертикал ва горизонтал ташкил этувчиларга ажратамиз. Вертикал ташкил этувчиларни шкивларнинг оғирликлари билан қўшамиз. Шунда биринчи шкивдан тушадиган вертикал юк қуйидагига тенг бўлади:

$$P_1' = Q_1 + R_1 \sin 30^\circ = 80 + 2685 \cdot 0,5 = 1423\text{H}.$$

Иккинчи шкивдан эса

$$P_2' = Q_2 + R_2 \sin 45^\circ = 120 + 2148 \cdot 0,707 = 1639 \text{ Н.}$$

Биринчи шкивдан тушадиган горизонтал юк қуйдагига тенг:

$$P_1' = R_1 \cos 30^\circ = 2685 \cdot 0,866 = 2365 \text{ Н.}$$

Иккинчи шкивдан эса

$$P_2' = R_2 \cos 45^\circ = 2148 \cdot 0,707 = 1519 \text{ Н.}$$

Бунда юклар  $P_1'$  ва  $P_2'$  қарама-қарши томонга йўналган (расм, в га қаранг).

Вертикал текисликда таъсир қиладиган юклар  $P_1'$  ва  $P_2'$  учун оддий усулда реакцияларни аниқлаймиз:  $A' = 2716 \text{ Н}$  ва  $B' = 345 \text{ Н}$ , эгувчи моментлар  $M_y = M_y$  эпюрасини ясаймиз (расм, б га қаранг). Худди шунга ўхшаш, горизонтал текисликда таъсир қиладиган юклар  $P_1'$  ва  $P_2'$  дан таянч реакцияларни аниқлаймиз:  $A'' = 2341 \text{ Н}$  ва  $B'' = 1535 \text{ Н}$ , эгувчи моментлар  $M_z = M_z$  эпюраларини ясаймиз (расм, в га қаранг).

Нативавий эгувчи момент  $A$  таянчда ёки  $C$  кесимда энг катта қийматга эришиши мумкин, чунки иккала моментлар эпюралари учлари шу кесимларда ётган синиқ чизиқлардан иборат. Бу кесимларда нативавий момент қиймати қуйдагига тенг:

$$M_A = \sqrt{(M_A')^2 + (M_A'')^2} = \sqrt{711^2 + 1163^2} = 1363 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_C = \sqrt{(M_C')^2 + (M_C'')^2} = \sqrt{259^2 + 1151^2} = 1181 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Шундай қилиб, кесим  $A$  хавфли кесим ҳисобланади. Нативавий эгувчи момент эпюраси расм, г да келтирилган.

Тўртинчи мустаҳкамлик назарияси бўйича ҳисобий момент қуйдагига тенг:

$$M_{\text{ҳисоб}} = \sqrt{M_A^2 + 0,75 M_C^2} = \sqrt{1369^2 + 0,75 \cdot 358^2} = 1398 \text{ Нм.}$$

Валнинг зарур диаметрини қуйдаги формуладан топамиз:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 M_{\text{ҳисоб}}}{\pi [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 139800}{3,14 \cdot 800}} = 12,1 \text{ см.}$$

10.73. Думалоқ кўндаланг кесимли яхлит пўлат вал хавфли кесимда буровчи момент  $M_6 = 10 \text{ кНм}$  ва эгувчи момент  $M_3 = 12 \text{ кНм}$  таъсирида туради. Учинчи мустаҳкамлик назарияси-га кўра мустаҳкамлик шартидан зарур вал диаметрини аниқланг. Йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 80 \text{ кН/м}^2$ . Агар ҳисобни тўртинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб бажарилганда валнинг диаметри қандай бўлиши керак эди?

Жавоб: 126 мм; 124 мм.

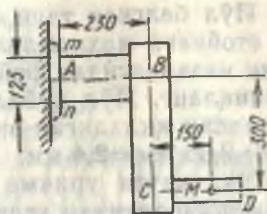
10.74. Ички диаметри ташқи диаметрининг 0,6 улушини ташкил қилиши керак бўлган ичи бўш пўлат вал хавфли кесимда эгувчи момент  $M_3 = 9 \text{ кНм}$  ва буровчи момент  $M_6 = 12 \text{ кНм}$  таъсирига учрайди. Агар йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 1200 \text{ Н/см}^2$  бўлса ва энг катта уринма кучланишлар назариясидан фойдаланилса, валнинг ташқи ва ички диаметрларини аниқланг.

Жавоб: 245 мм, 147 мм.





10.76- масалага ойд



10.77- масалага ойд

10.75. Ташқи диаметри 160 мм ва ички диаметри 100 мм бўлган ичи бўш чуян валининг айланиш тезлиги 100 айл/мин бўлиб, 200 о. к. қувват узатади. Таянч подшипниклар орасидаги масофа 1,2 м. Шу масофа ўртасида валга кўндаланг тўпланган куч 3 кН қўйилган. Иккинчи мустақамлик назариясидан фойдаланиб, валининг хавfli кесимидаги энг катта ҳисобий кучланиш қийматини аниқланг.  $\mu = 0,25$ .

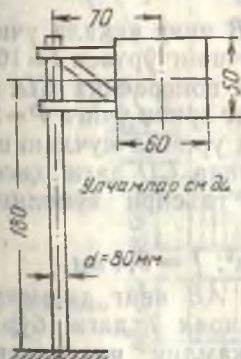
Жавоб:  $409 \text{ Н/см}^2$ .

10.76. Думалоқ кўндаланг кесимли пўлат стержень АВ даги энг катта ҳисобий кучланишни аниқланг. У икки бир хил юк  $P = 100 \text{ Н}$  билан юкланган. Юклар расмда кўрсатилгандек қўйилган. Агар юклардан бири олиб қўйилса, стержендаги энг катта ҳисобий кучланиш нимага тенг бўлади? Тўртинчи мустақамлик назариясидан фойдаланинг.

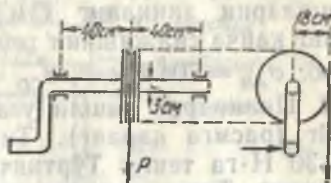
Жавоб:  $1273 \text{ Н/см}^2$ ,  $1518 \text{ Н/см}^2$ .

10.77. Пўлат тирсаклик стержень ABC расмда кўрсатилгандек маҳкамланган. АВ қисмининг думалоқ кўндаланг кесими диаметри 125 мм. 2 кН куч М нуқтада чизма текислигига перпендикуляр қўйилган. Кўндаланг кучларнинг уринма кучланишларини ҳисобга олмай, энг хавfli нуқта М даги бош кучланишларни ҳамда учинчи ва тўртинчи мустақамлик назариялари бўйича ҳисобий кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_1 = 451 \text{ Н/см}^2$ ;  $\sigma_2 = -54 \text{ Н/см}^2$ ;  $\sigma_{xIII} = 505 \text{ Н/см}^2$ ,  $\sigma_{xIV} = 480 \text{ Н/см}^2$



10.78- масалага ойд



10.79- масалага ойд

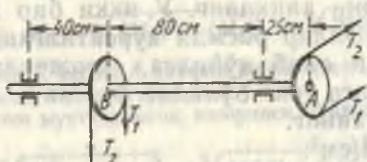
10.78. Йўл белгиси ташқи диаметри 80 мм бўлган ичи бўш думалоқ стойкага маҳкамланган (расмга қаранг). Учинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб, стойка деворининг қалинлигини аниқланг. Йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 800 \text{ Н/см}^2$ , белгига таъсир қиладиган энг катта шамол кучи  $150 \text{ Н/м}^2$ .

Жавоб: 2,36 мм  $\approx$  2,4 мм.

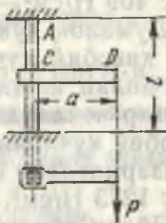
10.79. Энг катта уринма кучланишлар назариясига кўра мустаҳкамлик шартидан келиб чиқиб, ғалтак ёрдамида кутариш мумкин бўлган энг катта йўл қўйиладиган юк  $P$  қийматини аниқланг (расмга қаранг). Ғалтак валининг думалоқ кундаланг кесими диаметри 30 мм. Вал материали учун йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 800 \text{ Н/см}^2$ .

Жавоб: 79 Н.

10.80. Иккита бир хил шкив  $A$  ва  $B$  валга ўтказилган (расмга қаранг). 100 айл/мин да етакчи шкив  $A$  10 о. к. узатади.  $A$  шкивдаги тасманинг иккала тармоғи горизонтал,  $B$  шкивдагиники вертикал. Тасмаларнинг таранглиги:  $T_2 = 150 \text{ Н}$ ,  $T_1 > T_2$ .



10.80- масалага оид



10.81- масалага оид

шкивларнинг диаметри 60 см га тенг. Учинчи мустаҳкамлик назариясига кўра мустаҳкамлик шартидан келиб чиқиб, валнинг зарур диаметрини аниқланг. Йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 800 \text{ Н/см}^2$ .

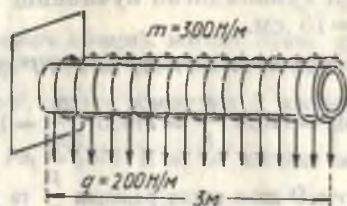
Жавоб: 60 мм.

10.81. Квадрат кесимли пўлат брус  $AB$  нинг иккала учи қисилган, кесим ўлчамлари  $20 \times 20 \text{ мм}$ , қулочнинг ўртаси  $l = 160 \text{ см}$  да брусга худди ўшандек кесимли пўлат поперечина  $CD$  маҳкамланган. Унинг узунлиги  $a = 30 \text{ см}$ . Унинг эркин учига  $P = 30 \text{ Н}$  куч қўйилган (расмга қаранг). Энг катта уринма кучланишлар назариясига кўра брус  $AB$  ва поперечина  $CD$  даги ҳисобий кучланишларни аниқланг ҳамда  $P$  куч таъсири йўналишида нуқтанинг қанча силжишини топинг.

Жавоб:  $\sigma_{AB} = 704 \text{ Н/см}^2$ ;  $\sigma_{CD} = 675 \text{ Н/см}^2$ ;  $f = 9,4 \text{ мм}$ .

10.82. Цилиндрик тишли узатма вали  $AB$  нинг диаметрини аниқланг (расмга қаранг). Тишли ғилдирак  $I$  даги буровчи момент  $30 \text{ Н} \cdot \text{га}$  тенг. Тўртинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланинг. Тишли ғилдиракларнинг хусусий оғирликларини ҳисобга олманг. Йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 800 \text{ Н/см}^2$ .





10.83- масалага оид

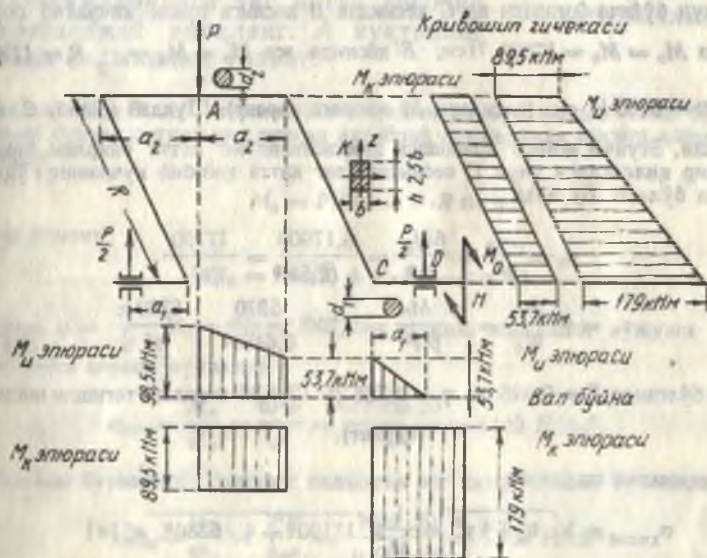
Жавоб: 56,2 мм; 57,8 мм.

Жавоб: 56,2 мм; 57,8 мм.

Жавоб:  $\sigma_{\text{хисоб}} = 612 \text{ Н/см}^2$ ,  $f = 3,48 \text{ см}$ ;  $\varphi = 0,03 \text{ рад} = 1^\circ 43,3'$

**Жавоб:**  $\sigma_{\text{хисоб}} = 612 \text{ Н/см}^2$ ,  $f = 3,48 \text{ см}$ ;  $\varphi = 0,03 \text{ рад} = 1^\circ 43,3'$

**10.84.** Энг катта уринма кучланишлар назариясидан фойдаланиб, расмда схематик тарзда тасвирланган кривошипли механизмнинг вали бўйни, щекалари ва мотила бўйни ўлчамла-



10.84- мяслага онд

рини аниқланг.  $P$  кучининг ва подшипниклардаги реакцияларнинг таъсир йўналиши кривошип текислигига перпендикуляр.  $n=200$  айл/мин да двигателдан узатиладиган қувват  $N=50$  о. к. Йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma]=800$  Н/см<sup>2</sup>,  $R=30$  см,  $a_1=18$  см,  $a_2=15$  см.

Ечи м. Момент  $M_6$  ва куч  $P$  қийматларини формулалардан топамиз:

$$M_6 = 71620 \frac{N}{h} = 71620 \frac{50}{200} = 17900 \text{ Н.м} \text{ ва } P = \frac{M_6}{R} = \frac{17900}{30} = 597 \text{ Н.}$$

Кесим  $D$  даги таянч реакция  $\frac{P}{2}$  га тенг.

$CD$  участкада вал бўйни буралиш ва эгилиш таъсирига учрайди. Бу участкадаги буровчи момент ўзгармас бўлиб,  $M_6 = 17900$  Н.см, эгувчи момент чизиқли қонун бўйича ўзгаради ва  $C$  кесимда энг катта қийматга эришади. Бунда:  $M_3 = M_3^{\max} = \frac{P}{2} a_1 = \frac{597}{2} \cdot 18 = 5370$  Н.см (расмдаги  $M$  эпюрага қаранг). Шундай қилиб,  $C$  кесим хавfli хисобланади. Учинчи мустаҳкамлик назариясига қўра мустаҳкамлик шартидан келиб чиқиб,

$$\sigma_{\text{хисоб}} = \frac{1}{W_y} \sqrt{M_3^2 + M_6^2} \leq [\sigma].$$

Демак,

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{32}{\pi [\sigma]} \sqrt{M_3^2 + M_6^2}} = \sqrt[3]{\frac{32}{3,14 \cdot 800} \sqrt{5370^2 + 17900^2}} \approx 6,2 \text{ см.}$$

Реакция  $D$  ни ва кучлар жуфти  $M_0$  ни  $C$  кесимга кўчириб, кривошип шчекаси ҳам буралиш ва ҳам эгилишга учрашини кўраимиз. Шчека бўйича буровчи момент ўзгармайди, у  $M_6 = \frac{P}{2} a_1 = 5370$  Н.см га тенг, эгувчи момент эса чизиқли қонун бўйича ўзгаради ва  $C$  кесимдан  $B$  кесимга томон қичрайиб боради.  $C$  кесимда  $M_3 = M_6 = 17900$  Н.см,  $B$  кесимда эса  $M_3 = M_0 = \frac{P}{2} R = 17900 - \frac{597}{2} \cdot 30 = 8950$  Н.см. (расмдаги  $M$  эпюрага қаранг). Шундай қилиб,  $C$  кесим хавfli экан. Эгувчи момент кривошип шчекасининг энг катта бикрлик текислигида таъсир қилганлиги учун  $C$  кесимдаги энг катта ҳисобий кучланиш  $z$  ўқидаги  $K$  нуқтада бўлади. Бу ерда

$$\sigma_k = \frac{M_3}{W_y} = \frac{6M_0}{bh^2} = \frac{6 \cdot 17900}{b(2,5b)^2} = \frac{17190}{b^3},$$

$$\tau_k = \gamma \frac{M_6}{W_6} = \gamma \frac{M_6}{\beta b^3} = 0,766 \frac{5370}{0,645b^3} = \frac{6380}{b^3}.$$

$\frac{h}{b} = 2,5$  бўлганда  $\beta = 0,645$  ва  $\gamma = 0,766$  (§ 13.4.38 масалага тегишли жадвалга қаранг).

Мустаҳкамлик шартидан

$$\sigma_{\text{хисоб}} = \sqrt{\sigma_k^2 + 4\tau_k^2} = \frac{1}{b^3} \sqrt{17190^2 + 4 \cdot 6380^2} \leq [\sigma]$$



Ушбуни топамиз:

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 190^3 + 4 \cdot 6380^3}{800}} = 2,79 \approx 2,8 \text{ см. } h = 2,5 \cdot b = 7 \text{ см.}$$

Реакция  $D$  ва кучлар жуфти  $M_0$  ни  $B$  кесимга кўчириб, мотило бўйни ҳам эгилиш ва буралишга учрашини курамиз.  $AB$  участкадаги буровчи момент узгармайди ва  $M_0 = M_0 - \frac{P}{2} R = 8950 \text{ Н см}$  га тенг, эгувчи момент эса  $B$  кесимдан

$A$  кесимга ўсиб боради.  $B$  кесимда  $M_3 = \frac{1}{2} P a_1 = 5370 \text{ Н см}$ .  $A$  кесимда эса

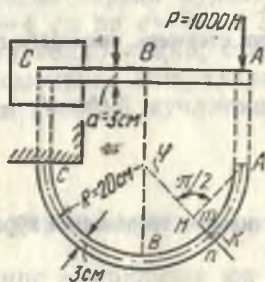
$$M_3 = \frac{P}{2} (a_1 + a_2) = \frac{597}{2} (18 + 15) = 9850 \text{ Н см. (расмдаги } M \text{ эпюрага қаранг).}$$

Шунинг учун  $A$  кесим хавфли кесим ҳисобланади. Мустаҳкамлик шартидан қуйидагини топамиз:

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{32}{\pi [\sigma]} \sqrt{M_3^2 + M_0^2}} = \sqrt[3]{\frac{32 \sqrt{9850^2 + 9860^2}}{3,14 \cdot 800}} = 5,5 \text{ см.}$$

Кривошипли механизмнинг  $A$  кесимидан чандаги участкалари кўриб чиқилган  $AB$ ,  $BC$  ва  $CD$  участкаларга қараганда анча қулай шароитда туради.

10.85. Квадрат кўндаланг кесими  $3 \times 3 \text{ см}$  ли пулат стержень ярим доира кўринишида букилган бўлиб,  $C$  учи билан деворга қисилган. Унинг эркин учига куч  $P = 1000 \text{ Н}$  қўйилган (расмга қаранг). Тўртинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб, стерженьнинг  $B$  ва  $C$  кесимларидаги энг катта ҳисобий кучланишларни аниқланг.  $A$  нуқтанинг вертикал силжишини топинг.



10.85- масалага оид

Ечим. Куч  $P$   $AB$  стерженьнинг эгилиши ва буралишига сабаб бўлади.  $A$  кесимга  $\varphi$  бурчак остида қия турган нхтвёрий  $mn$  кесимда (расмга қаранг) эгувчи момент

$$M_3 = P \cdot \overline{HA} \approx P \cdot R \sin \varphi,$$

буровчи момент

$$M_0 = P \cdot \overline{HK} = P \cdot R (1 - \cos \varphi).$$

$B$  кесимда  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ,  $M_3 = M_0 = P \cdot R$ . Бу кесимда эгилишдан вужудга келадиган энг катта нормал кучланиш

$$\sigma_{\max} = \frac{M_3}{W_3} = \frac{6PR}{a^3} = \frac{6 \cdot 1000 \cdot 20}{3^3} = 4440 \text{ Н/см}^2.$$

$C$  кесимда буралишдан вужудга келадиган энг катта уринма кучланиш

$$\tau_{\max} = \frac{M_0}{W_0} = \frac{PR}{\beta a^3} = \frac{1000 \cdot 20}{0,208 \cdot 3^3} = 3560 \text{ Н/см}^2$$

(квадрат кесим учун коэффициент  $\beta = 0,208$ —13-§ даги 4.38-масаладаги жадвалга қаранг). Эгри чизиқли стерженнинг бурилиши натижасида пайдо бўладиган кучланишлар кичик бўлгани учун ҳисобга олмаيمиз.

Тўртинчи мустақамлик назарияси бўйича  $B$  кесимдаги энг катта ҳисобий кучланиш

$$\max \sigma_{\text{ҳисоб}} = \sqrt{\sigma_{\text{тах}}^2 + 3\tau_{\text{тах}}^2} = \sqrt{4440^2 + 3 \cdot 3560^2} = 7600 \text{ Н/см}^2.$$

$C$  кесимда  $\varphi = \pi$ .  $M_9 = 0$  ва  $M_6 = 2P \cdot R$ . Шунинг учун  $\sigma = 0$ ,  $\tau_{\text{тах}} = 2 \cdot 3560 = 7120 \text{ Н/см}^2$ .

Бу кесимдаги ҳисобий кучланиш

$$\max \sigma_{\text{ҳисоб}} = \sqrt{3\tau_{\text{тах}}^2} = \sqrt{3} \tau_{\text{тах}} = 1,732 \cdot 7120 = 12330 \text{ Н/см}^2.$$

$C$  кесим  $B$  кесимга қараганда ёмон шароитда туради.

$ABC$  стержень  $A$  учининг  $P$  куч таъсири йўналишида кўчишини Кастильяно теоремаси ёрдамида аниқлаймиз. Бунда стерженнинг эгилиш ва бурилиш потенциал энергиясини ҳисобга оламиз. Стерженнинг  $ds = R d\varphi$  узунликдаги элементида эгилиш ва бурилиш потенциал энергияси қуйидагига тенг:

$$dU_9 + dU_6 = \frac{M_9^2 d\varphi \cdot R}{2EJ_9} + \frac{M_6^2 R d\varphi}{2GJ_6}.$$

Бутун стержень ҳажмидаги потенциал энергия:

$$U = U_9 + U_6 = \int_0^\pi \left( \frac{M_9^2}{2EJ_9} + \frac{M_6^2}{2GJ_6} \right) R \cdot d\varphi.$$

$$\text{Кастильяно теоремасига кўра } f_A = \frac{\partial U}{\partial P} = \int_0^\pi \left( \frac{M_9}{EJ_9} \frac{\partial M_9}{\partial P} + \frac{M_6}{GJ_6} \frac{\partial M_6}{\partial P} \right) R \cdot d\varphi.$$

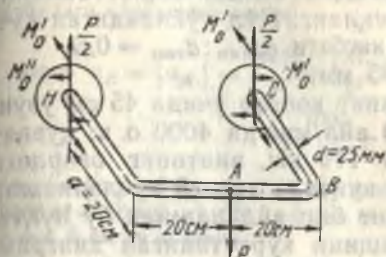
$$\frac{\partial M_9}{\partial P} = R \sin \varphi, \quad \frac{\partial M_6}{\partial P} = R(1 - \cos \varphi), \quad G = 0,4E, \quad J_9 = \frac{\alpha^4}{12} \text{ ва } J_6 = \alpha \cdot \alpha^4 = 0,14\alpha^4.$$

$$\begin{aligned} f_A &= \frac{PR^3}{E\alpha^4} \int_0^\pi \left[ 12 \sin^2 \varphi + \frac{(1 - \cos)^2}{0,42} \right] d\varphi = \frac{3\pi PR^3}{E\alpha^4} \left( 2 + \frac{1}{0,82} \right) = \\ &= \frac{3,14 \cdot 3 \cdot 100 \cdot 20^3}{34 \cdot 2 \cdot 10^6} \left( 2 + \frac{1}{0,8 \cdot 0,14} \right) = 0,51 \text{ см.} \end{aligned}$$

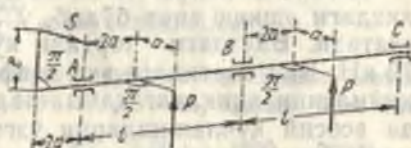
10.86. Диаметри 25 мм ли думалоқ кўндаланг кесимли тўғри тўртбурчак пўлат скоба икки учидан деворга қисилган ва  $P$  куч билан юкланган (расмга қаранг). Энг катта уринма кучланишлар назариясига кўра мустақамлик шартидан келиб чиқиб,  $P$  кучнинг энг катта йўл қўйиладиган қийматини аниқланг. Йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 80 \text{ МПа/м}^2$ . А нуқтанинг вертикал кўчишини ҳам топинг.

*Қўрсатма.* Деворга қисилган кесимларнинг ҳар бирида  $1/2 P$  га тенг вертикал реакция вужудга келади, вертикал текисликдаги таянч момент  $M_0^* = \frac{1}{2} P a$  ҳамда  $BC$  ёки  $DH$  ўқ атрофидаги таянч момент  $M_0^* = 0$ . Бу момент  $\frac{\partial U}{\partial M_0^*} = 0$





10.86-масалага оид



10.87-масалага оид

шартидан аниқланади. Симметрия туфайли эгилиш ва буралиш потенциал энергиясини фақат  $AB$  ва  $BC$  участкаларда ҳисоблаш kifоя.

Жавоб: 1200 Н; 0,07 мм.

**10.87.** Диаметри 28 мм ли кулачокли вал  $A$ ,  $B$  ва  $C$  подшипникларга маҳкамланган. У расмда схематик тарзда курсатилгандек юкланган.  $P=800$  Н,  $l=32$  см,  $a=4$  см ва  $e=5$  см. Энг катта уринма кучланишлар назариясидан келиб чиқиб, статик поаниқликни очинг, буровчи ва эгувчи моментлар эпюраларини ясанг ҳамда валнинг хавфли кесимидаги ҳисобий кучланишни ҳисобланг.

Жавоб: 5600 Н/см<sup>2</sup>.

### 34-§. Мураккаб қаршиликнинг умумий ҳоли

**10.88.** Қуйидаги ҳолларда материалнинг емирилиши юз берадиган юзалар стерженнинг кўндаланг кесим текислиги билан қандай  $\alpha$  бурчакни ташкил қилади:

а) оддий чўзилишда; б) буралишда ва в) бир вақтда буралиш ва чўзилишда? Емирилиш пайтида кўндаланг кесим текислигида  $\sigma=0,8\sigma_{\max}$  Материал мўрт ва пластик ҳолатда турган ҳолни кўриб чиқамиз. Масалани ечишда биринчи ва учинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланинг.

Жавоб: Материал мўрт ҳолатда бўлганда: б)  $\alpha=0^\circ$ , в)  $\alpha=45^\circ$ , а)  $\alpha=34^\circ 6'$ .

Материал пластик ҳолатда бўлганда: а)  $\alpha=45^\circ$ , б)  $\alpha=0$ , в)  $\alpha=10^\circ 54'$ .

**10.89.** Ташқи диаметри 80 мм ва ички диаметри 60 мм бўлган трубасимон стерженни momenti 4000 Нм бўлган кучлар жуфти бурайди. Агар йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma]=160$  МПа бўлса, стерженга қўшимча равишда қандай энг катта чўзувчи куч қўйиш мумкин? Тўртинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланинг.

Жавоб: 273 кН.

**10.90.** Ичи бўш вал бир вақтнинг ўзида momenti 40 кНм бўлган кучлар жуфти билан буралишга ва 300 кН куч билан ўқ бўйлаб чўзилишга учрамоқда. Учинчи мустаҳкамлик наза-

риясига кўра мустаҳкамлик шартидан келиб чиқиб, валнинг ташқи ва ички диаметрларини аниқланг. Йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 120$  МПа. Диаметрлар нисбати  $d_{\text{и.к.}} : d_{\text{т.ш}} = 0,6$ .

Жавоб:  $d_{\text{т.ш}} = 159$  мм;  $d_{\text{и.к.}} = 95$  мм.

10.91. Диаметри 22 см ли валнинг консол учида 45 см узунликдаги эшкак винт бўлиб, у 300 айл/мин да 4000 о.к. қувват узатади. Винтдаги тортиш кучи 170 кН, винтнинг оғирлиги 20 кН. Вал сиртидаги энг хавфли нуқтада асосий кучланишлар қийматини аниқланг ҳамда валнинг бир айланишида бу нуқтада асосий кучланишларни ўзгаришини кўрсатадиган диаграммани ясанг. Энергетика назариясига кўра ўша нуқтада ҳисобий кучланиш қийматини аниқланг.

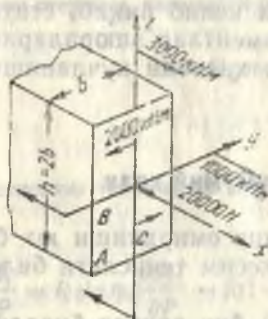
Жавоб:  $\max \sigma_1 = 52,7$  МПа;  $\max \sigma_3 = -39,6$  МПа;  $\sigma_{\text{ҳисоб}} = 80,2$  МПа.

10.92. Ички диаметри 80 мм ва деворининг қалинлиги 5 мм бўлган пулат труба ўқ бўйлаб сиқувчи куч 40 кН ва буровчи момент 3 кНм таъсирига учрамоқда. Учинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб, труба қўшимча равишда учраши мумкин бўлган энг катта йўл қўйиладиган ички (атмосфера босимидан ортиқча) босим қийматини аниқланг.

$[\sigma] = 120$  МПа. Ички босим трубада бўйлама зўриқишлар ҳосил қилмайди деб ҳисобланг. Энг катта уринма кучланишлар таъсир қиладиган юзаларнинг труба ўқига қиялик бурчагини аниқланг.

Жавоб: 17,8 ат;  $10^\circ 48'$ .

10.93. Расмда кўрсатилгандек кучлар қўйилган тирсакли вал шчекасининг тўғри тўртбурчак қўндаланг кесими ўлчамларини аниқланг. Томонларининг нисбати  $h : b = 2$ . Энг катта уринма кучланишлар назариясини қўлланг.  $[\sigma] = 80$  МПа.



10.93- масалага оид

Е ч и м. Кесимдаги энг хавфли нуқта қуйидагилардан бири ҳисобланади:

1) А нуқта, бунда куч  $N$  ва моментлар  $M_y$  ва  $M_z$  нинг нормал кучланишлари бир хил ишорали (сиқилиш), бу нуқтада уринма кучланишлар бўлмайди;

2) В нуқта, унда буралишдан ҳосил бўладиган уринма кучланишлар энг катта бўлади, сиқувчи нормал кучланишлар эса фақат  $N$  кучдан ва  $M_z$  моментдан пайдо бўлади;

3) С нуқта, бунда буралишдан вужудга келадиган уринма кучланишлар В нуқтадагидан бир оз кичик бўлади, сиқувчи нормал кучланишлар эса  $N$  кучдан ва  $M_y$  моментдан каттароқ  $M_z$  моментдан пайдо бўлади.

Учинчи мустаҳкамлик назарияси бўйича бу нуқталардан ҳар қайсиси учун материалнинг мустаҳкамлик шартини тузамиз.

Шчека ўлчами  $b$  орқали ифодаланган кесимларнинг геометрик характери:

$$F = bh = 2b^2, \quad W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{4b^3}{6} = \frac{2}{3} b^3,$$

$W_z = \frac{hb^2}{6} = \frac{b^3}{3}$ . ва  $W_6 = \beta b^3 = 0,493 b^3$  ( $h : b = 2$  коэффициентда  $\beta = 0,493$ . § 13 даги 4.38 масаладаги жадвал).



Уқлар  $y$  ва  $z$  дан энг узоқ  $A$  нуқтада материалнинг мустаҳкамлик шarti қуйидаги кўринишни олади:

$$\text{ҳисоб } \sigma_A = |\sigma_A| = \frac{|N|}{F} + \frac{|M_y|}{W_y} + \frac{|M_z|}{W_z} = \frac{2000}{2b^3} + \frac{30000}{2b^3} \cdot 3 + \frac{10000}{b^3} \cdot 3 = \\ = \frac{1000}{b^3} + \frac{75000}{b^3} \leq [\sigma] = 8000 \text{ Н/см}^2.$$

$|\sigma_A| = |\sigma|$  деб ҳисоблаб,  $b$  ни аниқлаш учун қуйидаги тенгламани оламиз:  $8000 b^3 - 1000b - 75000 = 0$  ёки  $b^3 - 1,25b - 93,75 = 0$ . Танлаш йўли билан  $b = 4,6$  см ни топамиз.

$$\text{В нуқтадаги нормал кучланиш } |\sigma_B| = \frac{|N|}{F} + \frac{|M_z|}{W_z} = \frac{1000}{b^3} + \frac{30000}{b^3}.$$

Уринма кучланиш эса

$$|\tau_B| = \frac{|M_y|}{W_y} = \frac{20000}{0,493b^3} = \frac{40570}{b^3}.$$

Мустаҳкамлик шarti

$$\text{ҳисоб } \sigma_{B_1} = \sqrt{\sigma_B^2 + 4\tau_B^2} = \sqrt{\left(\frac{1000}{b^3} + \frac{30000}{b^3}\right)^2 + 4\left(\frac{40570}{b^3}\right)^2} \leq [\sigma] = \\ = 8000 \text{ Н/см}^2.$$

$\sigma_B = [\sigma]$  деб ҳисоблаб, қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$b^6 - 1,563 b^2 + 93,75 b - 11690 = 0.$$

Танлаш йўли билан  $b = 4,8$  см ни топамиз.

$$\text{С нуқтадаги нормал кучланиш: } |\sigma_C| = \frac{|N|}{F} + \frac{|M_y|}{W_y} = \frac{1000}{b^3} + \frac{45000}{b^3},$$

$$\text{уринма кучланиш эса: } |\tau_C| = \gamma |\tau_B| = 0,795 \cdot \frac{40570}{b^3} = \frac{32250}{b^3};$$

$h:b = 2$  да  $\gamma = 0,795$ .

Мустаҳкамлик шarti қуйидаги кўринишни олади:

$$\text{ҳисоб } \sigma_C = \sqrt{\sigma_C^2 + 4\tau_C^2} = \sqrt{\left(\frac{1000}{b^3} + \frac{45000}{b^3}\right)^2 + 4\left(\frac{32250}{b^3}\right)^2} \leq [\sigma] = 800 \text{ Н/см}^2.$$

$\sigma_C = [\sigma]$  деб ҳисоблаб, қуйидаги тенгламани оламиз:

$$b^6 - 1,563 b^2 - 140,63b = 9665 = 0.$$

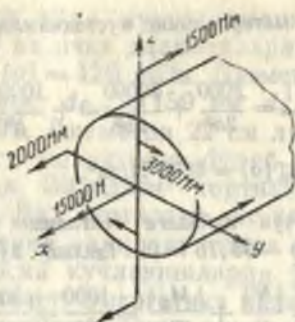
Танлаш йўли билан  $b = 4,7$  см ни топамиз.

В нуқта энг хавфли нуқта экан. Вал щекаси ўлчамларини қуйидагиларга тенг деб қабул қилиш керак:  $b = 4,8$  см ва  $h = 2 \cdot 4,8 = 9,6$  см.

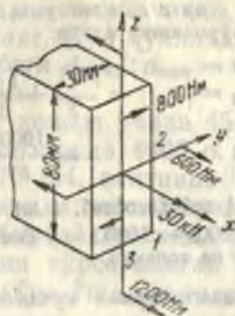
**10.94.** Тўғри тўртбурчак кўндаланг кесими  $10 \times 4$  см ли стержень momenti 1000 Нм бўлган жуфт кучлар таъсирида буралади ва марказий қўйилган куч 60 кН таъсирида чўзилади. Учинчи мустаҳкамлик назариясига кўра энг катта ҳисобий кучланиш қийматини аниқланг.

Жавоб: 5060 Н/см<sup>2</sup>.

**10.95.** Тирсакли валнинг мотило бўйни расмда кўрсатилгандек юкланган. Тўртинчи мустаҳкамлик назариясига кўра мустаҳкамлик шartидан келиб чиқиб, бўйиннинг зарур диаметрини



10.95- масалага оид



10.96- масалага оид

аниқланг.  $[\sigma] = 120$  МПа. Хавфли нуқта координаталарини кўрсатинг.

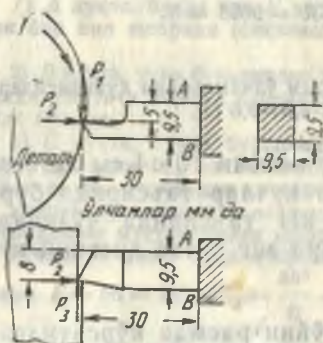
Жавоб: 68 мм;  $y_0 = -2,73$  см;  $z_0 = -2,04$  см.

10.96. Тўғри тўртбурчак кўндаланг кесим  $3 \times 8$  см ли тирсакли вал бўйни расмда кўрсатилгандек юкланган. Нейтрал ўқ вазиятини аниқланг ва учинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб, шчеканинг кўндаланг кесимидаги энг хавфли учта нуқтада ҳисобий кучланишларни топинг (тўғри тўртбурчаклик бурчаги учида ва унинг томонлари ўртасида).

Жавоб:  $a_y = -0,375$  см;  $a_z = +1,33$  см;  $\sigma_{x_1} = 100$  МН/м<sup>2</sup>;

$\sigma_{x_2} = 105,4$  МН/м<sup>2</sup>;  $\sigma_{x_3} = 82,1$  МН/м<sup>2</sup>.

10.97. Деталь йўнилаётганда токарлик станогини кескичининг тиғи (расмга қаранг) учта ўзаро перпендикуляр зўриқиш таъсирига учрайди:  $P_1$ —тор маънода кесишга қаршилик,  $P_2$ —кескични орқага қайтаришга интиладиган радиал куч ва  $P_3$ —деталь ўқига параллел бўлган ўқ бўйлаб йўналган зўриқиш ёки узатиш зўриқиши.

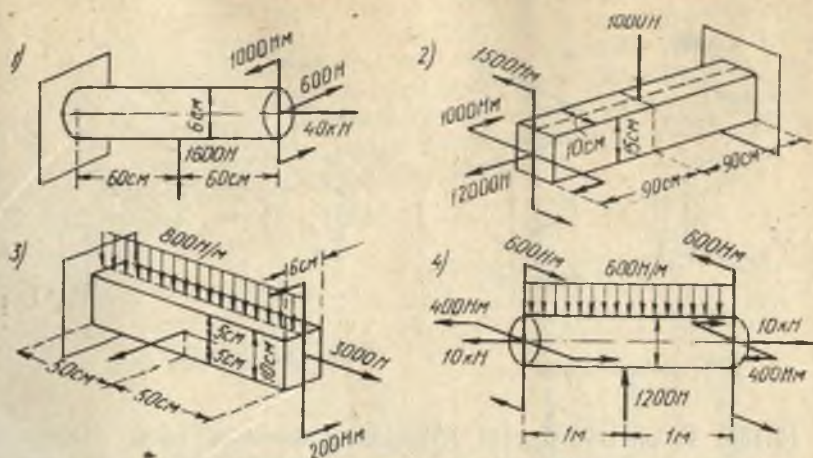


10.97- масалага оид

Энергетика мустаҳкамлик назариясига кўра энг хавфли учта нуқтада ва кескичининг АВ кесими марказида (кескични бу кесимда қисилган деб ҳисоблаб) ҳисобий кучланишни аниқланг.  $P_1 = 600$  Н,  $P_2 = 0,15 P_1$  ва  $P_3 = 0,35 P_1$ . Ҳисобни кўндаланг кучлар тушадиган уринма кучланишларни ҳисобга олиб ва ҳисобга олмай бажаринг. Айтилган нуқталарда ажратилган элементларнинг қирралари бўйича қандай кучланишлар таъсир этишини кўрсатинг.

Жавоб: Кўндаланг кучларни ҳисобга олганда: 169,2 МПа, 130,5 МПа,





10.98- масалага оид

6,04 МПа, 21,2 МПа. Кўндаланг кучларни ҳисобга олмаганда: 169,2 МПа, 127,1 МПа, 48,5 МПа, 1,0 МПа.

**10.98.** Расмда тасвирланган думалоқ ва тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли стерженлар учун учинчи мустаҳкамлик назариясига кўра энг катта ҳисобий кучланишларни аниқланг.

Жавоб: 1) 85 МПа; 2) 19,91 МПа; 3) 9,5 МПа; 4) 8,83 МПа.

**10.99.** Думалоқ кўндаланг кесимли *ABCD* пулат тирсакли стержень учи *A* нинг тўлиқ силжиш катталигини ҳамда силжиш-ни ташкил қиладиган учта ясовчи катталигини аниқланг (расм-га қаранг).

Юкланиш  $P = 1000$  н.

Ечим.  $Q = 1$  куч йўналишида *A* нуқтанинг кўчиши қўйидагига тенг:

$$f_Q = -\frac{Pl_1 l_3^2}{2EJ_s} = -\frac{1000 \cdot 20 \cdot 30^3}{2 \cdot 10^7 \cdot 12,57} = -0,0358 \text{ см.}$$

*A* нуқта вертикал бўйича  $Q = 1$  куч йўналишига тескари томонга, яъни юқорига кўчади.

$H = 1$  куч йўналишидаги кўчиш қўйидагига тенг:

$$f_H = \frac{Pl_2 l_3^2}{2EJ_s} = \frac{1000 \cdot 25 \cdot 30^3}{2 \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 12,57} = 0,0448 \text{ см.}$$

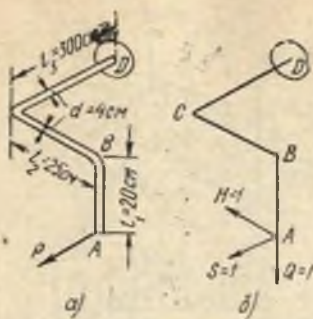
$S = 1$  куч йўналишидаги кўчиш қўйидагига тенг:

$$f_S = \frac{P}{E} \left[ \frac{l_3}{F} + \frac{l_1^2 l_2 E}{GJ_p} + \frac{1}{3J_0} (l_1^3 + l_2^3 + 3l_1^2 l_3 + 3l_2^2 l_3) \right] =$$

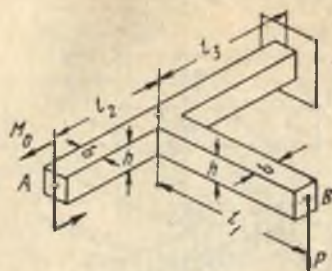
$$= \frac{1000}{2 \cdot 10^7} \left[ \frac{30}{12,57} + \frac{20^3 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 10^7}{8 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 12,57} + \frac{1}{3 \cdot 12,57} (20^3 + 25^3 + 3 \cdot 20^2 \cdot 30 + 3 \cdot 25^2 \cdot 30) \right] = 0,2035 \text{ см.}$$

*A* нуқтанинг фазодаги тўлиқ кўчиши:

$$f = \sqrt{f_Q^2 + f_H^2 + f_S^2} = \sqrt{0,0358^2 + 0,0448^2 + 0,2035^2} = 0,212 \text{ см.}$$



10.99- масалага оид

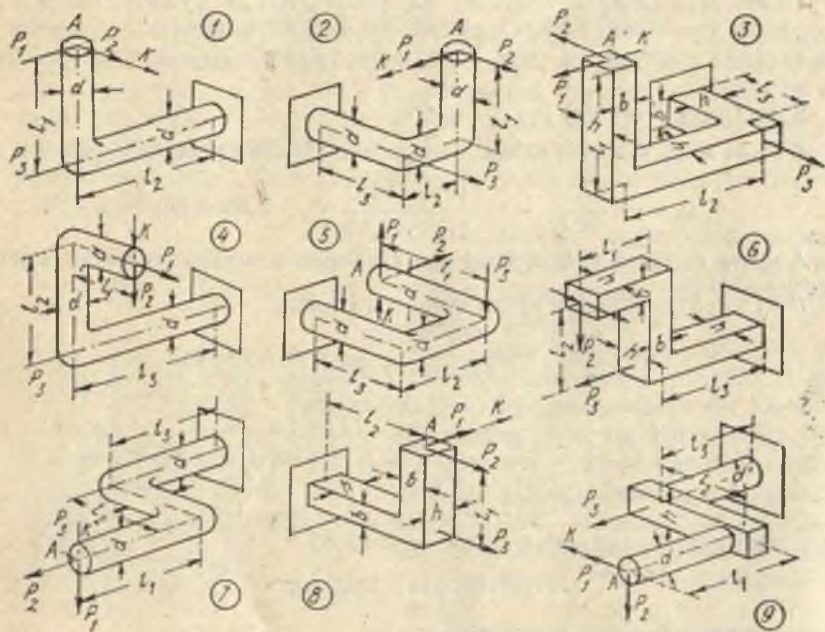


10.100- масалага оид

10.100. Тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли, пўлат тирсакли стерженнинг  $A$  ва  $B$  нуқталари вертикал силжишлари катталигини аниқланг (расмга қаранг),  $P = 10$  кН,  $M_0 = 10$  кНм,  $l_1 = 1$  м,  $l_2 = 0,8$  м,  $l_3 = 0,8$  м,  $l_3 = 1$  м,  $b = 8$  см ва  $h = 12$  см.

Жавоб:

$$f_A = 0,71 \text{ см}; f_B = 1,54 \text{ см}.$$



10.101- масалага оид



10.101. Расмда тасвирланган пўлат тирсакли стерженлар учун стерженнинг ҳар қайси участкасидаги бўйлама куч, буровчи ва эгувчи моментлар эпюраларини ясанг, учинчи мустақамлик назарияси бўйича энг катта ҳисобий кучланишларни аниқланг ва  $K$  стрелка билан кўрсатилган йўналишда  $A$  кесимнинг оғирлик маркази силжишини топинг. Стерженларнинг ўлчамлари ва юкланишларнинг катталиклари жадвалда берилган. Жадвалда жавоблар ҳам келтирилган.

10.101-масалага доир

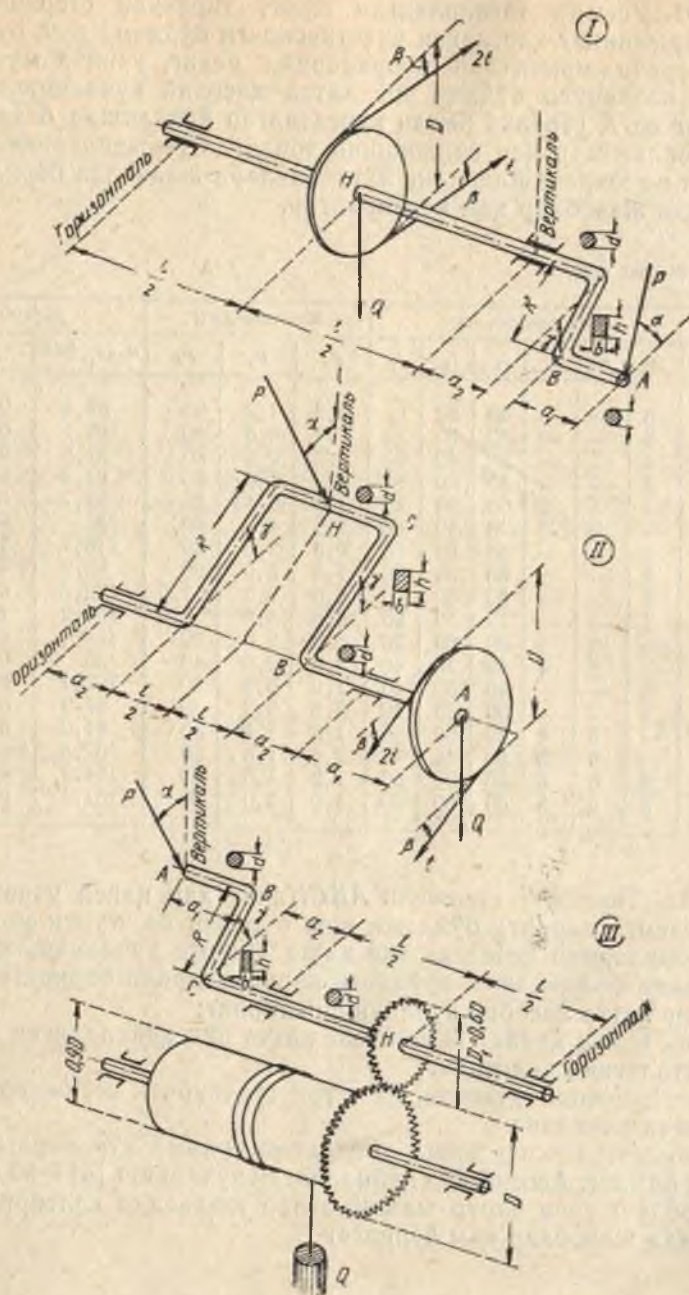
| Схема ва вариант номери | Ўлчамлари, см |     |     |       |       |       | Юкланиш, кН |       |       | Жавоб                              |                 |
|-------------------------|---------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|------------------------------------|-----------------|
|                         | $d$           | $h$ | $b$ | $l_1$ | $l_2$ | $l_3$ | $P_1$       | $P_2$ | $P_3$ | $\sigma_{\text{ҳис.}} \text{ МПа}$ | $l, \text{ см}$ |
| 1a                      | 6             | —   | —   | 60    | 80    | —     | 0,8         | 1,2   | 90    | 89,4                               | 0,57            |
| 1б                      | 5             | —   | —   | 90    | 60    | —     | 1           | 0,6   | 40    | 109,1                              | 0,90            |
| 2a                      | 4             | —   | —   | 30    | 40    | 60    | 0,5         | 0,3   | 20    | 87,8                               | 0,45            |
| 2б                      | 7             | —   | —   | 50    | 80    | 40    | 1,2         | 1,0   | 80    | 64,4                               | 0,23            |
| 3a                      | —             | 5   | 3   | 60    | 30    | 20    | 7,5         | 0,45  | 25    | 99,7                               | 0,83            |
| 3б                      | —             | 9   | 5   | 70    | 40    | 60    | 2,5         | 4,0   | 60    | 133                                | 0,87            |
| 4a                      | 6             | —   | —   | 60    | 80    | 60    | 0,9         | 2,0   | 30    | 116,1                              | 1,49            |
| 4б                      | 8             | —   | —   | 80    | 90    | 60    | 1,6         | 3,0   | 90    | 96,2                               | 1,31            |
| 5a                      | 9             | —   | —   | 80    | 60    | 90    | 6,0         | 9,0   | 7,5   | 122,7                              | 0,75            |
| 5б                      | 7             | —   | —   | 70    | 50    | 80    | 6,0         | 4,0   | 2,0   | 161,2                              | 1,90            |
| 6a                      | —             | 10  | 6   | 40    | 60    | 50    | 5,0         | 6,0   | 90    | 150                                | 0,54            |
| 6б                      | —             | 8   | 4   | 40    | 30    | 40    | 3,6         | 2,0   | 40    | 155                                | 0,51            |
| 7a                      | 5             | —   | —   | 40    | 50    | 40    | 1,0         | 0,8   | 40    | 102,1                              | 0,71            |
| 7б                      | 4             | —   | —   | 30    | 20    | 40    | 0,6         | 0,8   | 30    | 97,9                               | 0,38            |
| 8a                      | —             | 6   | 4   | 30    | 50    | —     | 1,8         | 1,6   | 38    | 84,0                               | 0,19            |
| 8б                      | —             | 8   | 3   | 60    | 40    | —     | 2,0         | 1,5   | 60    | 162,3                              | 0,73            |
| 9a                      | 5             | 6   | 6   | 50    | 30    | 50    | 1,2         | 1,0   | 50    | 154,7                              | 0,69            |
| 9б                      | 8             | 9   | 6   | 60    | 50    | 40    | 4,0         | 5,0   | 80    | 151,7                              | 0,55            |

10.102. Тирсакли стержень  $ABCH$ нинг ҳар қайси участкаси учун (расмга қаранг) бўйлама куч, буровчи ва эгувчи моментлар эпюраларини ясанг ва энг катта уринма кучланишлар назариясидан фойдаланиб, қуйидаги вариантлардан бирини ечинг:

- энг катта ҳисобий кучланишни топинг;
- юк  $Q$  ёки қувват  $N$  нинг энг катта йўл қўйиладиган оғирлик катталигини белгиланг;
- стерженнинг думалоқ ва тўғри тўртбурчак кесимлари ўлчамларини аниқланг.

Қўндаланг кучлар ҳосил қиладиган уринма кучланишларни ҳисобга олманг. Асосий йўл қўйиладиган кучланиш  $[\sigma] = 80 \text{ МПа}$ .

Ҳисоблаш учун зарур маълумотлар жадвалда келтирилган. Жадвалда жавоблар ҳам берилга



10.102- масалага онд



| Тартиб номери | Схема ва ва-рианти номери | Стержень ўл-чамлари, см |                |    |    |    | Кесимлар ўл-чамлари, мм |    |     |     | Бурчаклар |     |     | N<br>о.к. | n<br>авл/мин | Q, кг | Жавоб                                                                  |
|---------------|---------------------------|-------------------------|----------------|----|----|----|-------------------------|----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----------|--------------|-------|------------------------------------------------------------------------|
|               |                           | a <sub>1</sub>          | a <sub>2</sub> | l  | R  | D  | d                       | b  | h   | h/b | α         | β   | γ   |           |              |       |                                                                        |
| 1             | I—a                       | 8                       | 8              | 20 | 40 | 60 | 100                     | 65 | 110 | —   | 45°       | 0°  | 30° | 150       | 250          | 70    | σ <sub>0</sub> ≈ 806 кг/см <sup>2</sup>                                |
| 2             | I—б                       | 10                      | 15             | 18 | 28 | 36 | 68                      | 32 | 80  | —   | 60°       | 30° | 0°  | —         | 500          | 0     | [N] = 120 л.с                                                          |
| 3             | I—в                       | 12                      | 10             | 16 | 25 | 40 | —                       | —  | —   | 3   | 90°       | 30° | 0°  | 100       | 300          | 60    | d = 74 мм,<br>h = 99 мм,<br>σ <sub>хнс</sub> = 816 кг/см <sup>2</sup>  |
| 4             | II—a                      | 11                      | 18             | 25 | 30 | 60 | 40                      | 20 | 50  | —   | 20°       | 45° | 30° | 9         | 300          | 90    | σ <sub>хнс</sub> = 816 кг/см <sup>2</sup>                              |
| 5             | II—б                      | 15                      | 10             | 24 | 40 | 40 | 90                      | 60 | 96  | —   | 18°       | 45° | 0°  | —         | 600          | 0     | [N] = 189 л.с                                                          |
| 6             | II—в                      | 15                      | 12             | 20 | 50 | 50 | —                       | —  | —   | 1,7 | 24°       | 90° | 0°  | 145       | 500          | 60    | d = 82 мм,<br>h = 90,9 мм<br>σ <sub>хнс</sub> = 823 кг/см <sup>2</sup> |
| 7             | III—a                     | 24                      | 16             | 80 | 40 | 30 | 30                      | 14 | 35  | —   | 30°       | —   | 45° | —         | —            | 120   | [Q] = 117,9 кг                                                         |
| 8             | III—б                     | 20                      | 10             | 90 | 30 | 27 | 32                      | 12 | 45  | —   | 0°        | —   | 0°  | —         | —            | —     | d = 25,8 мм,<br>h = 28 мм                                              |
| 9             | III—в                     | 15                      | 10             | 80 | 32 | 28 | —                       | —  | —   | 2,5 | 90°       | —   | 90° | —         | —            | 80    |                                                                        |

## 35- §. Юпка деворли стерженлар

10.103. Расм, а да тасвирланган профиль учун эгилиш маркази вазиятини аниқланг, асосий секториал координаталар эпюрасини ясанг ва секториал инерция моменти катталигини ҳисобланг.

Еч и м и. Кесим з ўққа нисбатан симметрик бўлгани учун оғирлик маркази C ва эгилиш маркази A бир ўқда ётади. Кесим оғирлик марказининг пастки тоқча ўрта чизигидан масофаси z<sub>C</sub> қуйидагига тенг:

$$z_C = \frac{S_{y0}}{F} = \frac{-4 \cdot 0,5 \cdot 8 - 8 \cdot 0,4 \cdot 4}{4 \cdot 0,5 + 8 \cdot 0,4 + 6 \cdot 0,5} = -\frac{28,8}{8,2} = -3,51 \text{ см.}$$

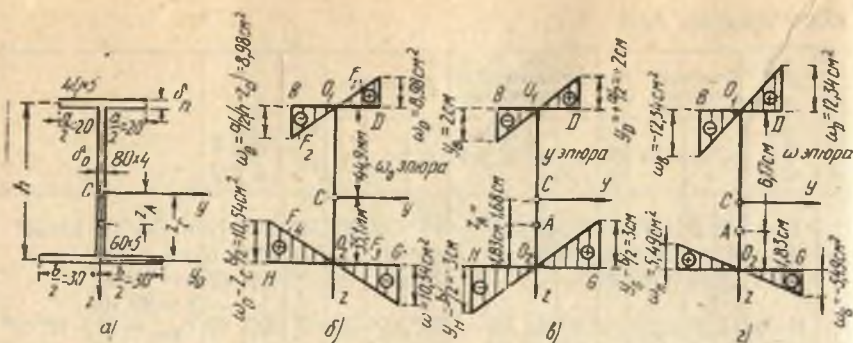
C кесим оғирлик марказидан эгилиш маркази A гача бўлган масофа z<sub>A</sub> ни топиш учун қуйидаги формуладан фойдаланилади: z<sub>A</sub> = - $\frac{S_{\omega_0 y}}{J_z}$ , бунда: S<sub>ω<sub>0</sub>y</sub> — қутб C га нисбатан кесимнинг секториал-чизикли статик моменти; J<sub>z</sub> — асосий марказий инерция ўқи 2 га нисбатан кесимнинг инерция моменти. Ҳисоб боши сифатида O<sub>1</sub> нуқтани қабул қилиб, секториал юзаларнинг қўшимча эпюрасини ω<sub>0</sub> ни ясаймиз (расм, б га қаранг).

Секториал чизикли статик мемент S<sub>ω<sub>0</sub>y</sub> ушбу ифодадан аниқланади:

$$S_{\omega_0 y} = \int_F \omega_0 y dF = \int_F \omega_0 y \delta_T dy.$$

Интеграл Верешчагин усулида ҳисобланиши мумкин. Бунинг учун эпюра юзаларининг оғирлик марказлари тагида ётган масофалар y ни эпюралари координаталарига кўпайтириш керак (расм, в га қаранг). Устки тоқчанинг ўнг

ярми учун эпюра ω<sub>0</sub> юзаси мусбат бўлиб, F<sub>1</sub> =  $\frac{1}{2} (h - z_C) \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{a}{2} = \frac{h - z_C}{8} a^2$  га тенг. Юза F<sub>1</sub> оғирлик маркази тагидаги эпюра, y ординаталари эса мусбат бўлиб, y<sub>1</sub> =  $\frac{2}{1 \cdot 3} \cdot \frac{a}{2} = \frac{a}{3}$  га тенг. Шундай қилиб, S' <sub>ω<sub>0</sub>y</sub> =  $\frac{a^3}{24} (h - z_C) \delta_T$ . Устки



### 10.103- масалага оид

токчанинг чап ярми учун  $F_2 = -\frac{1}{8}(h - z_c)a^2$ , ордината эса  $y_2 = -\frac{a}{3}$ .

Шунинг учун  $S_{II} \omega_0 y = \frac{a^3}{24}(h - z_c)\delta_T$ .

Худди шунга ўхшаш пастки токчанинг ўнг ва чап ярми учун қуйидагини то-  
памиз:

$$S_{\omega_0 y}^{IV} = S_{\omega_0 y}^{IV} = -\frac{b}{24} z_c \delta_T.$$

Секториал-чизикли статик моментнинг тулиқ катталиги қуйидагига тенг:

$$\begin{aligned} S_{\omega_0 y} &= 2(S_{\omega_0 y}^I + S_{\omega_0 y}^{III}) = \frac{\delta_T}{12}[a^3(h - z_c) - b^3 z_c] = \\ &= \frac{0,5}{12}[4^3 \cdot (8 - 3,51) - 6^3 \cdot 3,51] = -19,62 \text{ см}^5. \end{aligned}$$

Кесиянинг  $z$  ўққа нисбатан инерция моменти қуйидагига тенг:

$$J_z = \frac{h\delta_y^3 + (a^3 + b^3)}{12} \delta_T = \frac{8 \cdot 0,4^3 + (4^3 + 6^3)}{12} \cdot 0,5 = 11,71 \text{ см}^4,$$

эгилиш маркази координатаси эса

$$z_A = \frac{S_{\omega_0 y}}{J_z} = + \frac{19,62}{11,72} = 1,68 \text{ см.}$$

Энди нуқта  $A$  ни асосий секториал қутб учун қабул қилиб,  $O_1$  ва  $O_2$  нуқта-  
ларни эса асосий нолинчи секториал нуқталар учун қабул қилиб, асосий сек-  
ториал координаталар эпюрасини ясаймиз (расм, 2 га қаранг). Бунда

$$\begin{aligned} \omega_D &= -\omega_B = \frac{a}{2}[z_{O_1}] = 6,17 \cdot \frac{4}{2} = 12,34 \text{ см}^2 \text{ ва } \omega_H = -\omega_C = \frac{b}{2}|z_{O_2}| = \\ &= 1,83 \cdot \frac{6}{2} = 5,49 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

Секториал инерция моментини ҳисоблаш учун  $J_\omega = \int_F \omega^2 dF$ , яна Верещагин  
усулидан фойдаланамиз. Устки токчанинг ўнг ярми учун қуйидагига эга бўла-  
миз:  $J'_\omega = \frac{1}{2} \omega_D \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{2}{3} \omega_D \delta_T = \frac{1}{6} a \delta_T \cdot \omega_D^2$



устки токчанинг чап ярми учун

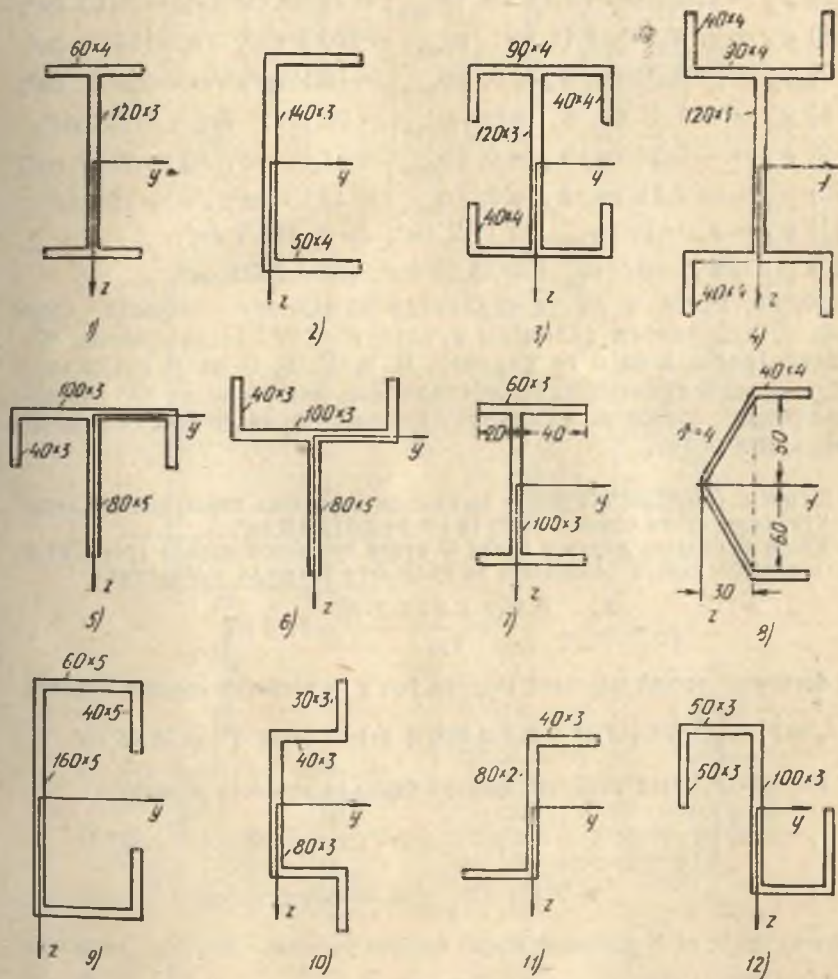
$$J_{\omega}^* = \frac{1}{6} a \delta_T \cdot \omega_B^2 = \frac{1}{6} a \delta_T \cdot \omega_D^2;$$

пастки токчанинг чап ва ўнг ярми учун

$$J_{\omega}^m = J_{\omega}^{IV} = \frac{1}{6} b \delta_T \cdot \omega_G^2;$$

шунинг учун

$$J_{\omega} = 2 (J_{\omega}^* + J_{\omega}^m) = \frac{1}{3} \delta_T (a \omega_D^2 + b \omega_G^2) = \frac{0.5}{3} (4 \cdot 12,34^2 + 6 \cdot 5,49^2) = 131,7 \text{ см}^6.$$



10.104- масалага оид

10.104. Расмда тасвирланган профиллар учун эгилиш маркази ( $A$  нуқта) вазиятини аниқланг, асосий секториал юзалар эпюрасини ясанг, шу эпюранинг энг катта ординатаси  $\omega_{\max}$  ни аниқланг ва секториал инерция моменти катталигини ҳисобланг. Расмдаги ўлчамлар мм да берилган.

Жавоб: (рақамлар яхлитланган):

1)  $y_A = z_A = 0$ ;  $|\omega_{\max}| = 18 \text{ см}^2$ ;  $J\omega = 518,5 \text{ см}^6$ ;

2)  $y_A = -1,85 \text{ см}$ ,  $z_A = 0$ ;  $|\omega_{\max}| = 22,05 \text{ см}^2$ ;  $J\omega = 726 \text{ см}^6$ .

3)  $y_A = z_A = 0$ ;  $|\omega_{\max}| = 45 \text{ см}^2$ ;  $J\omega = 10220 \text{ см}^6$ ;

4)  $y_A = z_A = 0$ ;  $|\omega_{\max}| = 27 \text{ см}^2$ ;  $J\omega = 3995 \text{ см}^6$ ;

5)  $y_A = 0$ ,  $z_A = -1,41 \text{ см}$ ;  $|\omega_{\max}| = 12,95 \text{ см}^2$ ;  $J\omega = 150,5 \text{ см}^6$ ;

6)  $y_A = 0$ ,  $z_A = +1,41 \text{ см}$ ;  $|\omega_{\max}| = 12,95 \text{ см}^2$ ,  $J\omega = 150,5 \text{ см}^6$ ;

7)  $y_A = -0,78 \text{ см}$ ,  $z_A = 0$ ;  $|\omega_{\max}| = 16,1 \text{ см}^2$ ;  $J\omega = 289,5 \text{ см}^6$ ;

8)  $y_A = -1,33 \text{ см}$ ,  $z_A = 0$ ;  $|\omega_{\max}| = 16 \text{ см}^2$ ;  $J\omega = 319,5 \text{ см}^6$ ;

9)  $y_A = -3,64 \text{ см}$ ,  $z_A = 0$ ;  $|\omega_{\max}| = 57,45 \text{ см}^2$ ;  $J\omega = 9890 \text{ см}^6$ ;

10)  $y_A = -2,31 \text{ см}$ ,  $z_A = 0$ ;  $|\omega_{\max}| = 12,15 \text{ см}^2$ ;  $J\omega = 189 \text{ см}^6$ ;

11)  $y_A = z_A = 0$ ;  $|\omega_{\max}| = 11,2 \text{ см}^2$ ;  $J\omega = 112,5 \text{ см}^6$ ;

12)  $y_A = z_A = 0$ ;  $|\omega_{\max}| = 33,35 \text{ см}^2$ ,  $J\omega = 2500 \text{ см}^6$ .

10.105. Расм,  $a$  да тасвирланган кўндаланг кесимли стержень  $K$  нуқталарга қўйилган кучлар  $P = 1200 \text{ Н}$  таъсирида қўзилади (расм,  $a$  ва  $b$  га қаранг).  $B$ ,  $a$ ,  $H$ ,  $L$ ,  $Q$  ва  $R$  нуқталардаги нормал кучланишлар катталигини аниқланг ва бу кучланишларнинг стержень кўндаланг кесими бўйича тақсимланиш эпюрасини ясанг.

Ечилиши. Стержень кўндаланг кесимининг геометрик характеристикалари: Кўндаланг кесим юзаси  $F = 0,25 (6 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 2) = 4,5 \text{ см}^2$ .

Кесим  $C$  оғирлик маркази билан  $O$  нуқта орасидаги масофа (расм,  $\theta$ )  $O$  нуқтада профиль девори баландлиги ва қалинлиги ўртасида жойлашган:

$$y_C = \frac{S_{z_0}}{F} = \frac{0,25(2 \cdot 4 \cdot 2 + 2 \cdot 2 \cdot 4)}{4,5} = 1,78 \text{ см}.$$

Кесимнинг асосий марказий инерция ўқи  $y$  га нисбатан инерция моменти

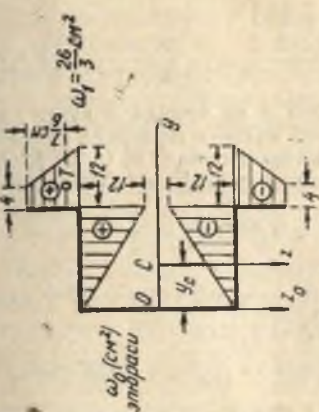
$$J_y = 0,25 \left[ \frac{1}{12} (6^3 + 2 \cdot 2^3 + 2 \cdot 4 \cdot 0,25^2) + 2 \cdot 4 \cdot 3^2 + 2 \cdot 2 \cdot 4^2 \right] = 38,85 \text{ см}^4.$$

Кесимнинг асосий марказий инерция ўқи  $z$  га нисбатан моменти:

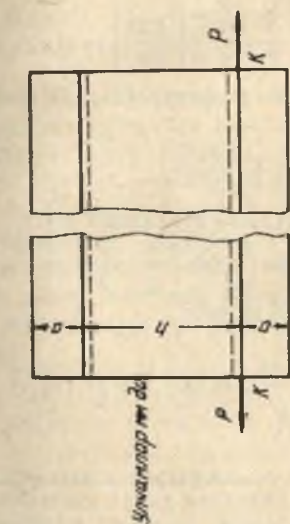
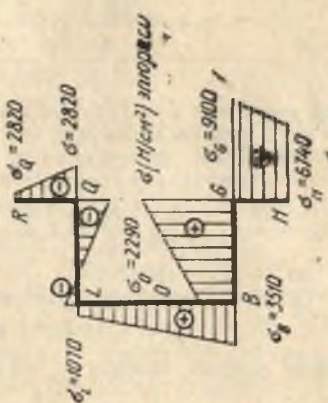
$$J_z = 0,25 \left[ \frac{1}{12} (6 \cdot 0,25^3 + 2 \cdot 2 \cdot 0,25^3 + 2 \cdot 4^3) + 6 \cdot 1,78^2 + 2 \cdot 4 \cdot 0,22^2 + 2 \cdot 2 \cdot 2,22^2 \right] = 12,45 \text{ см}^4.$$

$P$  кучлар қўйилган  $K$  нуқтанинг асосий инерция ўқларига нисбатан эксцентриситетлари ушбуга тенг:  $z_P = \frac{h}{2} = 3 \text{ см}$  ва  $y_P = \frac{b}{2} - y_C = \frac{4}{2} - 1,78 = 0,22 \text{ см}.$

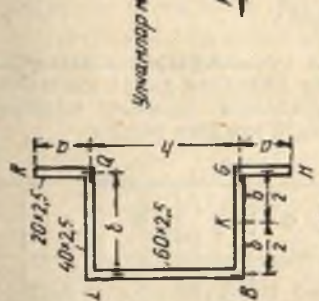
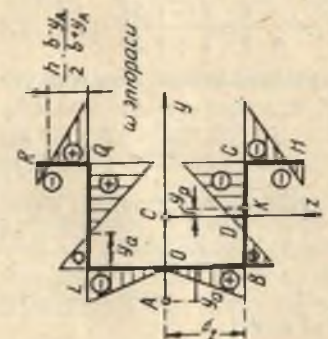




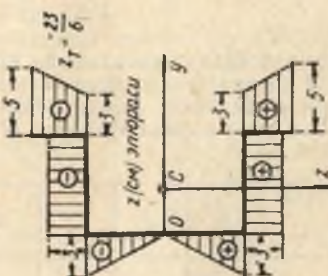
б)



д)



а)



10.105- масалага онд

Эгилиш марказининг вазиятини топиш учун қутбдаги ва ҳисоб боши  $O$  нуқтадаги секториал координаталарнинг қўшимча эпюраси  $\omega_0$  (расм,  $e$ ) ҳамда профиль нуқталарнинг  $y$  ўқдан масофалари эпюраси (расм,  $z$ ) ясалган.

Эгилиш марказининг профиль девори ўрта чизигидан масофаси  $y_A$  қуйидаги формуладан ҳисобланади:

$$y_A = \frac{S_{\omega, z}}{J_y} = \frac{-2 \cdot 0,25 \left( \frac{12,4}{2} \cdot 3 + \frac{3+5}{2} \cdot 2 \cdot \frac{23}{6} \right)}{38,85} = -\frac{51,35}{38,85} = -1,32 \text{ см.}$$

Асосий секториал координаталар эпюраси  $\omega$  ни ясашда  $A$  нуқта асосий секториал қутб сифатида,  $O$  нуқта эса асосий нолиничи секториал нуқта сифатида қабул қилинган. Эпюра  $\omega$  расм,  $d$  да тасвирланган.  $B, G, H, I, Q$  ва  $R$  нуқталардаги секториаллар координаталарининг қийматлари қуйидагига тенг:

$$\begin{aligned} \omega_B = -\omega_L = y_A \cdot \frac{h}{2} &= 1,32 \cdot \frac{6}{2} = 3,95 \text{ см}^2; \omega_G = -\omega_Q = \\ &= \omega_B - \frac{bh}{2} = 3,95 - \frac{4 \cdot 6}{2} = -8,04 \text{ см}^2; \omega_H = -\omega_R = \omega_G + a(b + y_A) = \\ &= -8,04 + 2(4 + 1,32) = 2,6 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

Секториал инерция моменти  $J_\omega$  ни Верещчагин усулида ҳисоблаймиз:

$$\begin{aligned} J_\omega &= 2 \cdot 0,25 \left[ 3,95^2 + \frac{1}{3} 3,95^2 \cdot 1,32 + \frac{1}{3} \cdot 8,04^2 \cdot 2,68 + \right. \\ &\left. + \frac{1}{3} \cdot 8,04^2 \cdot \frac{6}{2} \cdot \frac{4-1,32}{4+1,32} + \frac{1}{3} \cdot 2,6^2 \left( 2 - \frac{6}{2} \cdot \frac{4-1,32}{4+1,32} \right) \right] = 61,95 \text{ см}^6. \end{aligned}$$

Нормал кучланишларни аниқлаш учун қуйидаги формулалардан фойдаланамиз

$$\sigma = P \left( \frac{1}{F} + \frac{y_P y}{J_z} + \frac{z_P z}{J_y} \right) + \frac{B\omega}{J_\omega}.$$

$P$  кучлар қўйилган кесимлардаги бимомент катталиги қуйидагига тенг:

$$\begin{aligned} B = B_{\max} = P\omega_k = P \left( \omega_B - \frac{bh}{4} \right) &= 1200 \left( 3,95 - \frac{6}{2} \cdot \frac{4}{2} \right) = \\ &= -1200 \cdot 2,04 = -2448 \text{ кг см}^2. \end{aligned}$$

Шундай қилиб,

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1200}{4,5} + \frac{1200 \cdot 0,22}{12,45} \cdot y + \frac{1200 \cdot 3}{38,85} \cdot z - \frac{2448}{61,95} \omega = 266,7 + 21,19y + \\ &+ 92,68z - 39,52\omega. \end{aligned}$$

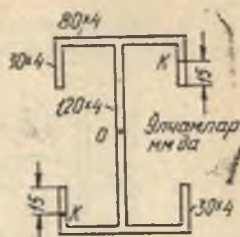
Сўнги формула бўйича ҳисобланган нормал кучланишларнинг катталиклари ва нуқталар координаталарининг қийматлари жадвалда ҳамда кучланишларнинг стержень кўндаланг кесими бўйича тарқалиши эпюрада келтирилган (расм,  $e$ ). Энг катта нормал кучланиш  $G$  нуқтада вужудга келади:

$$\sigma_G = 910 \text{ Н/см}^2.$$

| нуқталар             | B     | D     | G     | H     | O     | L     | N     | θ     | R     |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| катталиклар          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| y, см                | -1,78 | +0,46 | +2,22 | +2,22 | -1,78 | -1,78 | +0,46 | +2,22 | +2,22 |
| z, см                | +3    | +3    | +3    | +5    | 0     | -3    | -3    | -3    | -5    |
| ω, см <sup>2</sup>   | +3,96 | 0     | -8,04 | +2,6  | 0     | -3,96 | 0     | +8,04 | -2,6  |
| σ, Н/см <sup>2</sup> | +351  | +554  | +910  | +674  | +229  | +107  | -2    | -282  | -47   |



10.106. Кўндаланг кесими расмда тасвирланган стержень иккита куч  $P=6$  кН билан чўзилган. Кучлар учларидаги кесимларга қўйилган. Агар: а)  $P$  кучлар учларидаги кесимларнинг оғирлик марказлари  $O$  га қўйилган ва б) учларидаги кесимларга девор қалинлигининг ўртасидаги  $K$  нуқтага иккитадан  $P/2$  кучлар қўйилган бўлса (расмга қаранг), стерженьнинг кўндаланг кесимидаги энг катта чўзувчи ва сиқувчи кучланишларни аниқланг.



10.106- масалага оид

Жавоб: а)  $\sigma = 3750$  Н/см<sup>2</sup> (чўзилиш); б)  $\sigma = 15300$  Н/см<sup>2</sup> (чўзилиш) ва  $\sigma = 7810$  Н/см<sup>2</sup> (сиқилиш).

10.107. Расмда тасвирланган стержень кучлар  $P=1,5$  кН билан юкланган. Бу кучлар учларидаги кесимларнинг  $K_1$  ва  $K_2$  нуқталарига қўйилган. Оралиқ кесимдаги  $B, D, Q, H, L$  ва  $N$  нуқталардаги нормал кучланишлар катталигини аниқланг ва бу кучланишларнинг стержень кўндаланг кесими бўйича тарқалиш эпюрасини ясанг.

Жавоб:  $\sigma_D = -\sigma_B = 2100$  Н/см<sup>2</sup>;  $\sigma_H = -\sigma_G = 14500$  Н/см<sup>2</sup>;  $\sigma_N = -\sigma_L = 10500$  Н/см<sup>2</sup>.

10.108. Кўндаланг кесими расмда тасвирланган стержень марказга қўйилган кучлар  $P=160$  кН билан чўзилади. Стерженьдаги энг катта чўзувчи ва сиқувчи кучланишларни аниқланг.

Жавоб:  $\sigma = 11640$  Н/см<sup>2</sup> (чўзилиш),  $\sigma = 3640$  Н/см<sup>2</sup> (сиқилиш).

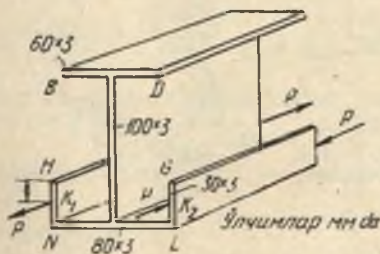
10.109. Узунлиги  $l=2$  м бўлган ва бир учидан қисилган тоғарасимон профилли пўлат стержень (расм, а га қаранг) иккинчи учидан тўпланган куч  $P=2000$  Н билан юкланган. Бу куч токча энининг ўртасига қўйилган (расм, б га қаранг). Энг катта нормал ва уринма кучланишлар катталикларини аниқланг.

Ечими. А. Стержень кўндаланг кесимининг геометрик характеристикалари.

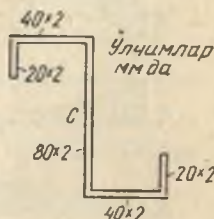
Кўндаланг кесим юзаси  $F=15,6$  см<sup>2</sup>.

Асосий марказий ўқ  $y$  га нисбатан инерция моменти:  $J_y = 652,8$  см<sup>4</sup>.

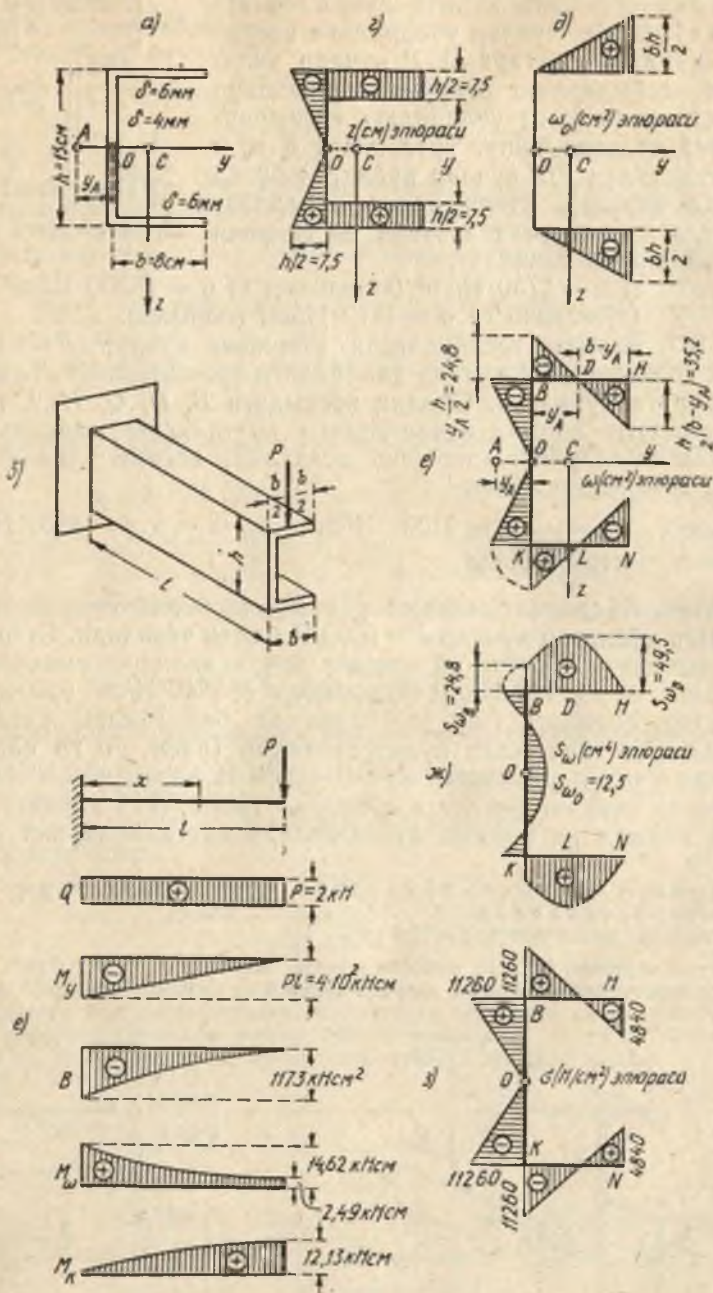
Соф буралишдаги кесимнинг инерция моменти  $J_0 = 1,609$  см<sup>4</sup>.



10.107- масалага оид



10.108- масалага оид





Қутб  $O$  ва асосий инерция ўқи  $z$  га нисбатан секториал-чизикли статик момент (расм,  $g$  ва  $d$  га қаранг) Верещачинг усулида ҳисобланган (10.103-масала ечимига қаранг):

$$S_{\omega z} = -2160 \text{ см}^3.$$

Эгилиш маркази координатаси:

$$y_A = \frac{S_{\omega z}}{J_y} = -3,31 \text{ см.}$$

Асосий секториал қутб  $A$  ва асосий нолинчи секториал нуқта  $O$  учун асосий секториал координаталар эпюраси  $\omega$  расм,  $e$  да тасвирланган. Верещачинг усулида ҳисобланган секториал инерция моменти  $J_{\omega} = 4370 \text{ см}^4$  га тенг.

Секториал-статик моментлар эпюраси  $S_{\omega}$  расм,  $ж$  да келтирилган.  $D$  нуқта учун  $S_{\omega D} = 49,5 \text{ см}^4$ .  $B$  нуқта учун  $S_{\omega B} = 24,85 \text{ см}^4$  ва  $O$  нуқта учун  $S_{\omega o} = -12,45 \text{ см}^4$ .

Уринма кучланишлар аниқланадиган нуқтадан бир томонда жойлашган кўндаланг кесим қисмининг  $y$  ўққа нисбатан оддий статик моментлари:  $D$  нуқта учун  $S_{yD} = 21,1 \text{ см}^3$ ,  $B$  нуқта учун  $S_{yB} = 36 \text{ см}^3$ , ва  $O$  нуқта учун  $S_{yo} = 47,25 \text{ см}^3$ .

Стерженьнинг эгилиш-бурилиш характеристикаси:

$$\alpha = \sqrt{\frac{GJ_{\phi}}{EJ_{\omega}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^8 \cdot 1,649}{2 \cdot 10^6 \cdot 4370}} = 0,0123 \frac{1}{\text{см}};$$

$$\alpha l = 0,0123 \cdot 200 = 2,46; \text{Sh}\alpha l = 5,79 \text{ ва ch}\alpha l = 5,88.$$

Кесимнинг эгилиш марказига нисбатан юкланишнинг қўйилиш эксцентриситети —  $e = b/2 + |y_A| = 8/2 + 3,31 = 7,31 \text{ см}$ .

Б. Стерженьнинг исталган кесимидаги куч омиллари. Қўрилайётган ҳолда би моментларнинг дифференциал тенгламаси ечими қўйидаги кўринишни олади (М. Н. Беляев. Сопротивление материалов, 1954 йилги ва кейинги нашрлари, 552-бет):

$$B = -\frac{Pe}{\alpha \text{ch}\alpha l} \text{Sh}\alpha(l-x), \quad M_{\omega} = \frac{Pe}{\text{ch}\alpha l} \text{ch}\alpha(l-x) \text{ ва}$$

$$M_{\phi} = \frac{Pe}{\text{ch}\alpha l} [\text{ch}\alpha l - \text{ch}\alpha(l-x)].$$

Ўқ  $y$  атрофида ясси эгилишдаги эгувчи момент ва кўндаланг куч қўйидагига тенг:  $M_y = -P(l-x)$  ва  $Q = +P$ . Стержень узунлиги бўйича куч омиллари  $y$  ўзгариш эпюралари расм,  $e$  да берилган.  $B$ ,  $M_{\omega}$  ва  $M_y$  лар қисилган кесимда энг катта қийматга эришади:  $x = 0$  да:

$$B_{\max} = -\frac{P \text{eSh}\alpha l}{\alpha \text{ch}\alpha l} = -\frac{2000 \cdot 7,31 \cdot 5,79}{0,0123 \cdot 5,88} = 1173000 \text{ Н см}^2,$$

$$M_{\omega \max} = Pe = 2000 \cdot 7,31 = 14620 \text{ Н} \cdot \text{см.}$$

$$M_{y \max} = -Pl = -2000 \cdot 200 = -400 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

Соф бурилиш моменти стерженьнинг эркин учига энг катта қийматга эришади,  $x = l$  да;

$$M_{\phi \max} = \frac{Pe(\text{ch}\alpha l - 1)}{\text{ch}\alpha l} = \frac{2000 \cdot 7,31}{5,88} (5,88 - 1) = 12,13 \text{ кН см}$$

шу кесимнинг ўзига

$$M_{\omega} = \frac{Pe}{\text{ch}\alpha l} = \frac{2000 \cdot 7,31}{5,88} = 2,49 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

Стержень узунлиги бўйича қўндаланг куч ўзгармайди:  $Q=P=2000 \text{ Н}$ .

В. Нормал ва уринма кучланишлар

Қисилган кесимда нормал кучланишлар қуйидаги формуладан ҳисобланади:

$$\sigma = \frac{M_{y \max}}{J_y} z + \frac{B_{\max} \omega}{J_{\omega}} = -\frac{40000}{652,8} z - \frac{117300}{4370} \omega = -61,3 z - 26,8 \omega.$$

Кесимнинг  $B, D, H, K, L$  ва  $N$  нуқталаридаги нормал кучланишлар ҳамда координаталар ва қийматлари жадвалда келтирилган. Жадвал маълумотларига кўра эпюра ясалган (расм, 8 га қаранг).

| нуқталар<br>катталиклар  | $H$   | $D$  | $B$   | $K$   | $L$  | $N$   |
|--------------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| $z, \text{ см}$          | -7,5  | -7,5 | -7,5  | +7,5  | +7,5 | +7,5  |
| $\omega, \text{ см}^2$   | +35,2 | 0    | -24,8 | +24,8 | 0    | -35,2 |
| $\sigma, \text{ Н/см}^2$ | -484  | +460 | +1126 | -1126 | -460 | +484  |

Қисилган кесимдаги уринма кучланишлар қўндаланг куч  $Q$  ҳамда эгилиш-бурилиш моменти  $M_{\omega}$  дан ҳосил бўладиган кучланишлардан йиғилади:

$$\tau = \tau_Q + \tau_{\omega} = \frac{Q \cdot S_y}{J_y \cdot \delta} + \frac{M_{\omega \max} \cdot S_{\omega}}{J_{\omega} \cdot \delta}.$$

Уринма кучланишлар  $O$  нуқтада энг катта қийматга эришади, бу нуқта  $\tau_Q$  ва  $\tau_{\omega}$  йўналишлари мос тушади:

$$\tau_{\max} = \tau_Q = \frac{2000 \cdot 47,25}{652,8 \cdot 0,4} + \frac{1462 \cdot 12,45}{4370 \cdot 0,4} = 36,2 + 10,4 = 46,6 \text{ Н/см}^2.$$

$\tau_Q$  ва  $\tau_{\omega}$  йўналишлари мос тушмайдиган  $D$  ва  $L$  нуқталарда

$$\tau_{D, L} = \frac{1462 \cdot 49,5}{4370 \cdot 0,6} - \frac{2000 \cdot 21,1}{652,8 \cdot 0,6} = 27,6 - 10,8 = 16,8 \text{ Н/см}^2;$$

$B$  ва  $K$  нуқталарда (бунда ҳам  $\tau_Q, \tau_{\omega}$  йўналишлар мос тушмайди):

$$\tau_{B, K} = \frac{2000 \cdot 36}{652,8 \cdot 0,4} - \frac{1462 \cdot 24,8}{4370 \cdot 0,4} = 27,6 - 20,8 = 6,8 \text{ Н/см}^2.$$

Стерженьнинг эркин учида уринма кучланишлар соф бурилиш кучланиши ва қўндаланг кучланишдан йиғилади:

$$\tau = \tau_{\sigma} + \tau_Q = \frac{M_{\sigma} \cdot \delta}{J_{\sigma}} + \frac{Q \cdot S'_y}{J_y \cdot \delta}.$$

Бу кесимда уринма кучланишлар стерженнинг ташқи сиртидаги  $B$  ва  $K$  нуқталарда энг катта қийматга эришади, бунда

$$\tau_{\max} = \tau_{B, K} = \frac{1213 \cdot 0,6}{1,649} + \frac{2000 \cdot 36}{652,8 \cdot 0,6} = 4414 + 184 \approx 4600 \text{ Н/см}^2.$$

10.110. Узунлиги  $l=1 \text{ м}$  бўлган дюралюминий стерженнинг учлари бўйлама ўқ атрофида бурила олмайди қилиб маҳкамланган, лекин улар бемалол айлана олиши мумкин. Стержень моменти  $M_0=100 \text{ Нм}$  бўлган кучлар жуфти билан юкланган. Кучлар жуфти стержень ўқиға перпендикуляр текисликда





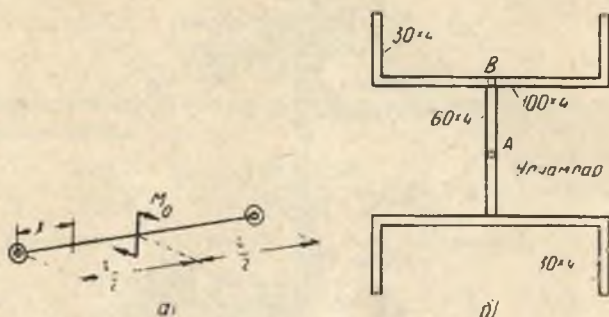
нуқталарда вужудга келади.  $\tau_{\omega \max} = 447 \text{ Н/см}^2$ . Стерженнинг таянч кесимидаги уринма кучланишлар соф буралиш кучланиши ва эгилиш-буралиш моменти  $M_{\omega}$  кучланишидан иборат бўлиб,  $G$  ва  $M$  нуқталарда энг катта қийматга эришади:

$$\tau_{\max} = \tau_0 + \tau_{\bullet} = 1875 + 314 \approx 2190 \text{ Н/см}^2.$$

Стержень ўрта кесимининг таянч кесимларга нисбатан буралиш бурчаги қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$\varphi = \frac{1}{GJ_0} \int_0^{l/2} M_0 dx = \frac{M_0 l}{4 GJ_0 \operatorname{ch} \frac{al}{2}} \left( \operatorname{ch} \frac{al}{2} - \frac{2}{al} \operatorname{sh} \frac{al}{2} \right) = 0,078 \text{ рад.}$$

10.111. Узунлиги  $l=2 \text{ м}$  бўлган пўлат стержень икки учидан қисиб қўйилган. Қулочи ўртасига  $M_0$  моментли кучлар жуфти қўйилган. У стержень ўқиға перпендикуляр текисликда таъсир қилади (расм,  $a$  га қаранг). Стерженнинг кўндаланг кесими



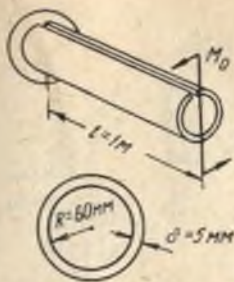
10.111- масалага оид

расм, б да тасвирланган. Стержень узунлиги бўйича куч омилларининг ўзгариш эпюраларини ясанг,  $M_0$  момент қийматини аниқланг (бунда энг катта секториал нормал кучланиш  $150 \text{ МПа}$  дан ошмасин), энг катта секториал уринма кучланишларни ва соф буралиш кучланишларини, шунингдек стержень ўрта кесимининг буралиш бурчагини аниқланг.

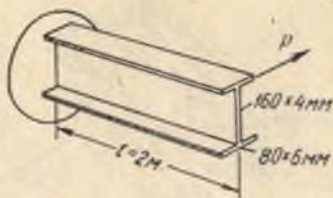
Жавоб:  $M_{0 \max} = 50,2 \text{ кН см} \approx 50 \text{ кН. м}$ ;  $\tau_{\omega \max} = \tau_B = 1560 \text{ Н/см}^2$  (қисилган ерда);  $\tau_K \max = 3690 \text{ Н/см}^2$  ( $x = 50 \text{ см да}$ );  $\tau_H \max = 4710 \text{ Н/см}^2$  ( $x = 50 \text{ см да}$ );  $\varphi = 0,078 \text{ рад}$ .

| куч омиллари \ x, см      | 0      | 25      | 50    | 75      | 100     |
|---------------------------|--------|---------|-------|---------|---------|
| $B, \text{ Н/см}^2$       | -95640 | -425100 | 0     | +425100 | +956400 |
| $M_{\omega}, \text{ Нсм}$ | 25000  | 18370   | 16330 | 18370   | 25000   |
| $M_{\phi}, \text{ Нсм}$   | 0      | 6630    | 8670  | 6630    | 0       |





10.112- масалага онд



10.113- масалага онд

**10.112.** Бўйлама қирқими бўлган труба симон кесимли пўлат стержень бир учидан қисилган (расмга қаранг). Стерженьнинг эркин учига қўйилган  $M = 200$  Нм моментли кучлар жуфти уни бўрайди. Энг катта секториал нормал ва уринма кучланишларни, соф буралиш Энг катта уринма кучланишларни ва стержень эркин учининг бурилиш бурчагини аниқланг.

Таққослаш учун худди ўшандек кесимли, лекин бўйлама қирқими бўлмаган стерженьдаги уринма кучланишларни ва бурчалиш бурчагини аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_{\omega \max} = 1610$  Н/см<sup>2</sup> (қисилган ерда);  $\tau_{\omega \max} = 128$  Н/см<sup>2</sup> (қисилган ерда);  $\tau_{\phi \max} = 6220$  Н/см<sup>2</sup> (эркин учига);  $\phi = 0,124$  рад. Қирқилмаган стерженьда.  $\tau_{\phi \max} = 1774$  Н/см<sup>2</sup> ва  $\phi = 0,00037$  рад.

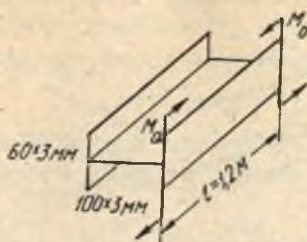
**10.113.** Қўштавр кесимли пўлат стержень бир учидан қисиб қўйилган. Унинг эркин учига  $P = 600$  Н куч қўйилган бўлиб, бу куч токчанинг ўрта чизиғи бўйича таъсир қилади (расмга қаранг). Энг катта нормал ва уринма кучланишларни, энг катта бурчалиш бурчагини ҳамда стержень эркин учининг оғирлик маркази  $P$  куч таъсирида йўналишида қандай қисилишини аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 12510$  Н/см<sup>2</sup>;  $\tau_{\max} = 1540$  Н/см<sup>2</sup>;  $\phi = 0,0444$  рад;  $f = 1,56$  см.

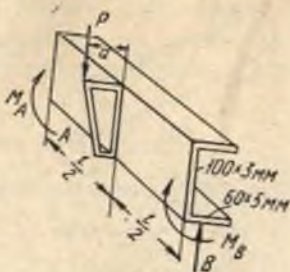
**10.114.** Қўштавр кўндаланг кесимли алюминий стержень бир учидан бўйлама ўқ йўналишида бурила олмайдиган қилиб маҳкамланган, лекин у эркин айланиши мумкин. Унга  $M_0$  моментли кучлар жуфти қўйилган. У токчалардан бири текислигида таъсир қилади (расмга қаранг). Стерженьдаги энг катта нормал кучланишлар  $[\sigma] = 8000$  Н/см<sup>2</sup> дан ошмайдиган энг катта момент  $M_0$  қийматини аниқланг. Энг катта секториал уринма кучланишлар ва соф бурчалиш кучланишларини топинг.  $E = 7 \cdot 10^6$  Н/см<sup>2</sup>,  $G = 2,7 \cdot 10^6$  Н/см<sup>2</sup>.

Жавоб:  $M_{0 \max} = 14,4$  кН см;  $\tau_{\omega \max} = 113$  Н/см<sup>2</sup>;  $\sigma_{\phi \max} = 958$  Н/см<sup>2</sup>.

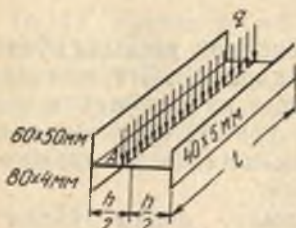
**10.115.** Тоғарасимон профили пўлат стерженьнинг учлари бўйлама ўқ атрофида бурила олмайдиган қилиб маҳкамланган,



10.114- масалага оид



10.115- масалага оид



10.116- масалага оид

лекин эркин айлана олиши мумкин. Қулоч ўртаси  $l = 1,6$  м га,  $P = 2500$  Н куч қўйилган (расмда кўрсатилган жойга қўйилган).  $a = 10$  см.

Стерженьнинг кўндаланг кесимидаги энг катта нормал ва уринма кучланишлар қийматини аниқланг.

Жавоб:  $\sigma_{\max} = 16290$  Н/см<sup>2</sup>;  $\tau_{\max} = 4660$  Н/см<sup>2</sup>.

10.116. Узунлиги  $l = 90$  см бўлган пулат стержень учлари бўйлама ўқ атрофида бурила олмайдиган қилиб маҳкамланган, лекин эркин айланиши мумкин. Стержень тенг тақсимланган  $q$  интенсивликдаги юк билан юкланган. Стерженьнинг кўндаланг кесими — тенгёнлимас қўштавр (расмга қаранг). Нагрузка  $q$  девор баландлигининг ўртасига қўйилган.

Стержендаги нормал кучланишлар 160 МПа дан ошмайдиган энг катта юк  $q$  қийматини аниқланг. Юк  $q = 50$  Н/см бўлганда энг катта нормал ва уринма кучланишларни ҳамда стержень ўрта кесимининг бўйлама ўқ атрофида бурилиш бурчагини аниқланг.

Жавоб:  $q_{\max} = 65,9$  Н/см;  $\sigma_{\max} = 12140$  Н/см<sup>2</sup>;  $\tau_{\max} = 2580$  Н/см<sup>2</sup>.  $\varphi = 0,0324$  рад.



## КОНСТРУКЦИЯЛАР ҚИСМЛАРИНИНГ УСТИВОРЛИГИ

### 36- §. Сиқилган стерженларнинг устиворлиги

11.1. Агар стержень қуйидаги материаллардан ясалган бўлса ва критик зўриқишларни ҳисоблаш учун ҳали Эйлер формуласи қўлланилса, стерженнинг энг кичик қайишқоқлигини аниқланг:

а) мутаносиблик чегараси  $\sigma_m = 220$  МПа ва нормал эластиклик модули  $E = 1,9 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup> бўлган пўлатдан;

б)  $\sigma_m = 490$  МПа ва  $E = 2,15 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup> бўлган 3,5% ли никелдан;

в)  $\sigma_m = 177$  МПа ва  $E = 7 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup> бўлган дюралюминийдан;

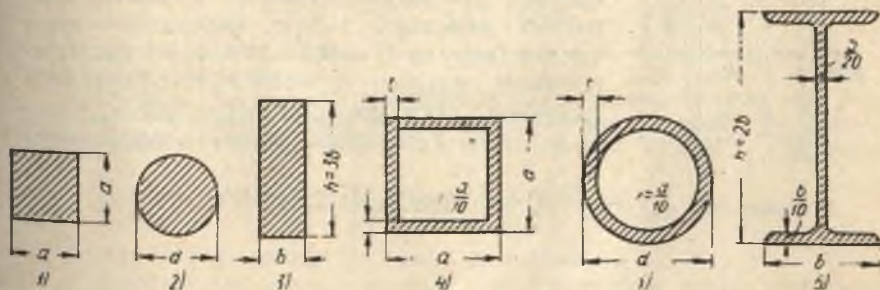
г)  $\sigma_m = 16$  МПа ва  $E = 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup> бўлган қарағай ёғочидан.

Жавоб: а) 92,3; б) 65,8; в) 62,5; г) 78,5.

11.2. Маҳкамланиш ва юкланиш шартлари бир хил бўлган, бир хил узунликдаги икки стержендан қайси бири қайишқоқроқ — квадрат кесимли стерженми ёки думалоқ кесимли стерженми?

Жавоб: иккинчи стерженнинг қайишқоқлиги 2,3% юқорироқ.

11.3. Эйлер формуласидан фойдаланиб, бир хил шароитда ишлайдиган, расмда тасвирланган кўндаланг кесимларнинг юзаси тенг бўлган устунларнинг критик зўриқишлари қийматлари нисбатини топинг.



11.3- масалага оид

Жавоб:  $P_{к1}:P_{к2}:P_{к3}:P_{к4}\{P_{к5}:P_{к6} = 1:0,955:0,333:4,56:4,35:$   
:2,38.

11.4. Қўштавр №27 кўндаланг кесимли қисилган устун учун критик куч ва критик кучланиш қийматларини аниқланг. Устуннинг иккала учи шарнирли тиралган (шарли шарнир). Устуннинг узунлиги 4 м. Материал — мутаносиблик чегараси  $\sigma_m = 200$  МПа ва эластиклик модули  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup> бўлган пўлат.

Ечи м.и. Қўштавр №27 учун  $F = 40,2$  см<sup>2</sup>,  $J_{\min} = J_y = 260$  см<sup>4</sup> ва  $i_{\min} = i_y 2,54$  см. Стерженнинг эгилувчанлиги

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{1 \cdot 400}{2,54} = 157,5 > \lambda_{\text{чегар}} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_m}} = 3,14 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11}}{2 \cdot 10^8}} = 99,3;$$

Шундай қилиб, Эйлер формуласини қўлласа бўлар экан. Критик зўриқиш:

$$P_k = \frac{E J_{\min} \cdot \pi^2}{(\mu l)^2} = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 260 \cdot 10^{-8} \cdot 9,87}{(1 \cdot 4)^2} = 320 \text{ кН га тенг};$$

критик кучланиш

$$\sigma_k = \frac{P_k}{F} = \frac{320800}{40,2 \cdot 10^{-4}} = 798 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

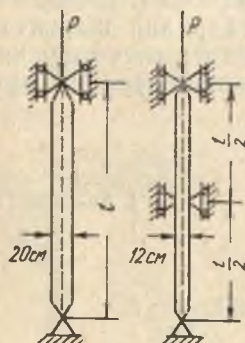
11.5. Эйлер формуласидан фойдаланиб, бўйлама сиқувчи юк  $P = 12,5$  кН учун сортамент бўйича 2,6 м узунликдаги устуннинг қўштаврли кўндаланг кесимни танланг. Устуннинг бир учи қисилган, иккинчи учи шарнирли тиралган. Материал — пўлат-3. Устиворлик запаси коэффиценти  $\kappa_y = 2$ .

Кўрсатма. Эйлер формуласидан  $J_{\min}$  нинг зарур қиймати аниқланади, сўнг-ра сортамент бўйича профиль номери топилади (бунда  $J_{\min} = J_y$  худди шундай ёки бундан каттароқ қийматга эга).

Бунда

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{0,7 \cdot 260}{1,55} = 117 > \lambda_{\text{чегар}} \approx 100,$$

яъни Эйлер формуласини қўлласа бўлади.



11.6- масалага онд

11.6. Кўндаланг кесими тўғри тўртбурчак  $12 \times 20$  см, узунлиги 6 см бўлган устун учун сиқувчи куч ва йўл қўйилган кучланиш қийматини аниқланг. Устун materiali — эластиклик модули  $E = 0,9 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup> ва мутаносиблик чегараси  $\sigma_m = 15$  МПа бўлган ёғоч (устуннинг икки проекцияси кўрсатилган, расм-га қаранг). Устиворлик запаси коэффиценти  $\kappa_y = 3$ .

Жавоб: 65800 Н; 2,74 МПа.



## ЮКЛАРНИНГ ДИНАМИК ВА УЗОҚ ТАЪСИРИ

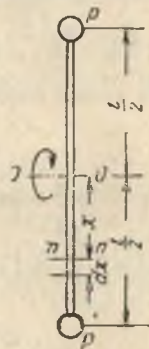
### 37- §. Инерция кучларининг таъсири.

12.1. Массаси 30 кН бўлган юк пўлат арқон ёрдамида раван тезланиш билан кўтарилади, дастлабки икки секундда юк 4 м баландликка кўтарилади. Арқоннинг кўндаланг кесим юзаси  $5 \text{ см}^2$ , узунлиги 90 м материалнинг ҳажмий оғирлиги  $7,2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ . Арқоннинг ўз оғирлигини ҳисобга олмаган ва ҳисобга олган ҳолда ундаги энг катта нормал кучланишни аниқланг.

Жавоб:  $722 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ;  $8 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ .

12.2. Думалоқ кўндаланг кесимли пўлат стерженнинг узунлиги  $l=1,6 \text{ м}$ ; унинг иккала учига  $P=30 \text{ Н}$  дан юк қўйилган. У горизонтал ўқ  $O-O$  атрофида раван айланади ( $600 \text{ айл/мин}$  тезликда) (расмга қаранг).

Агар йўл қўйилган кучланиш  $[\sigma]=120 \text{ МПа}$  бўлса, стерженнинг зарур кўндаланг кесим юзасини аниқланг. Стерженнинг узайишини топинг.



12.2- масалага оид

*Е ч и м и.* Юк  $P$  нинг айланиши натижасида вужудга келадиған инерция кучи  $P_d^*$  қуйидаги формуладан ҳисобланиши мумкин:

$$P_d^* = \frac{P}{g} \cdot \omega^2 \frac{l}{2} = \frac{P \pi^2 n^2 \cdot l}{1800 g}.$$

Бунда  $\omega$  — юкнинг айланиш бурчак тезлиги;  $n$  — минутига айланишлар сони;  $g$  — оғирлик кучи тезланиши.

Стерженнинг ўзи айланиши натижасида вужудга келадиған инерция кучи  $P''g$  ни топиш учун айланиш ўқидан  $x$  масофада стерженнинг  $dx$  элементини ажратамиз. Ажратилган элементга таъсир қиладиган инерция кучи  $dP''g$  қуйидагига тенг:

$$dP_d^n = \frac{F \gamma}{g} dx \cdot \omega^2 x = \frac{F \cdot \gamma \cdot \pi^2 \cdot n^2}{900 g} x dx;$$

бу ерда  $F$  — стерженнинг кўндаланг кесим юзаси.

Стерженнинг  $m$  кесимдаги инерция кучи  $P_g^n$  қийматини топиш учун стерженнинг  $m$  кесимдан  $P$  юккача бўлган узунлигидаги элементар инерция кучларини қўшиш керак.

$$P_d^* = \int_x^{l/2} dP_d'' = \frac{F \gamma \pi^2 n^2}{900 g} \int_x^{l/2} x dx = \frac{F \cdot \gamma \cdot \pi^2 \cdot n^2}{1800 g} \left( \frac{l^2}{4} - x^2 \right).$$

тп кесимдаги нормал кучланиш инерция кучлари  $P_d'$  ва  $P_d''$  дан ҳосил бўладиган динамик нагрузкалар йиғиндисидан иборат (юк оғирлигидан ва стерженнинг ўзидан ҳосил бўладиган статик кучланишлар кичик бўлганилиги туфайли улар ҳисобга олинмайди):

$$\sigma_d = \frac{1}{F} (P_d' + P_d'') = \frac{\pi^2 n^2}{1800 g} \left[ \frac{Pl}{F} + \gamma \left( \frac{l^2}{4} - x^2 \right) \right].$$

Стержендаги энг катта чўзувчи кучланиш айланиш ўқида ётади, яъни  $x = 0$  да; шунинг учун мустаҳкамлик шарти қуйидагича ёзилади;

$$\frac{\pi^2 n^2 l}{1800 g} \left( \frac{P}{F} + \gamma \frac{l}{4} \right) \leq [\sigma]$$

бундан

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \geq \frac{4 \pi n^2 l}{7200 g [\sigma] - \pi^2 n^2 l^2 g},$$

$F$  ифодасига сон қийматларни қўйиб қуйидагини топамиз:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3 \cdot 9,87 \cdot 600^2 \cdot 160}{3,14 (7200 \cdot 1200 \cdot 981 - 9,87 \cdot 600^2 \cdot 0,0078 \cdot 160)}} \approx 1,1 \text{ см.}$$

тп кесими олдида ажратилган  $dx$  узунликдаги стержень элементининг узайиши:

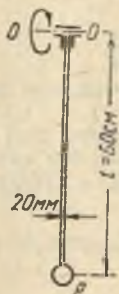
$$d\Delta l = \sigma_d \frac{dx}{E} = \frac{\pi^2 n^2}{1800 g E} \left[ \frac{Pl}{F} + \gamma \left( \frac{l^2}{4} - x^2 \right) \right] dx;$$

бутун стерженнинг узунлиги эса

$$\begin{aligned} \Delta l &= 2 \int_0^{l/2} d\Delta l = \frac{\pi^2 n^2 l}{900 g E} \int_0^{l/2} \left[ \frac{P}{F} + \gamma \left( \frac{l^2}{4} - x^2 \right) \right] dx = \frac{\pi^2 n^2 l}{1800 g E} \left( \frac{P}{F} + \frac{\gamma l}{6} \right) = \\ &= \frac{9,87 \cdot 600^2 \cdot 160}{1800 \cdot 981 \cdot 2 \cdot 10^6} \left( \frac{3 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,1^2} + \frac{0,0078 \cdot 160}{6} \right) = 0,087 \text{ см.} \end{aligned}$$

12.3. Думалоқ кўндаланг кесимли чўян стерженнинг эркин учидан юк  $P$  (расмга қ.) бўлиб, горизонтал ўқ  $O-O$  атрофидан  $120 \text{ сек}^{-1}$  доимий бурчак тезлик билан айланади. Агар чўяннинг чўзилишидаги мустаҳкамлик чегараси  $160 \text{ МПа}$ , ҳажмий оғирлиги  $7,2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$  бўлса, стержень емирладиган  $P$  юк қийматини аниқланг.

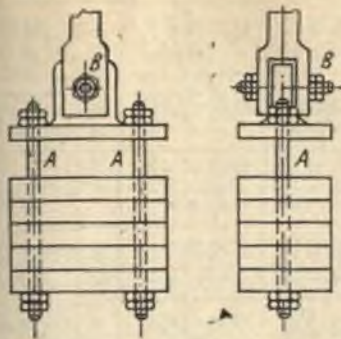
Жавоб: 50 Н.



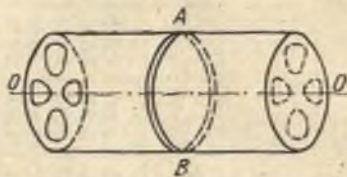
12.3- масалага  
оид

12.4. Массаси 6000 Н ли двигатель баландлиги 40 см, эни 60 см, узунлиги 80 см ли бетон пойдеворга ўрнатилган. Бетоннинг ҳажмий оғирлиги  $2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ . Айланувчи якорнинг мувозанатланмаган қисми 20 Н бўлиб, айланиш ўқидан 15 см масофада жойлашган. Инерция кучининг вертикал таъкил этувчиси йўналиши пойдеворнинг вертикал симметрия ўқиға мос тушади деб ҳисоблаб, пой-





12.5- масалага оид



12.6- масалага оид

девор асосида унинг ўз оғирлигидан, двигатель оғирлигидан ва инерция кучининг вертикал ташкил этувчисидан пайдо бўладиган энг катта сиқувчи кучланишни аниқланг. Буни икки ҳол учун бажаринг: а) двигатель ишламайди; б) двигатель 2000 айл/мин тезликда ишлайди.

Пойдеворнинг тебраниши ва инерция кучининг горизонтал ташкил этувчисидан пайдо бўладиган кучланишни ҳисобга олманг.

Жавоб: а)  $20,5 \text{ кН/м}^2$ ; б)  $48,5 \text{ кН/м}^2$ .

12.5. Кўтаргич посангисининг (расмга қ.) оғирлиги  $42 \text{ кН}$ . Кўтарилаётган кўтаргичга тормоз берилганда пасаяётган посангига  $1,5 \text{ м/сек}$  га тенг тезланиш таъсир қилади. Агар посанги болтларининг материали учун  $[\sigma] = 32 \text{ МПа}$  ва  $[\tau] = 20 \text{ МПа}$  бўлса, болтлар  $A$  ва  $B$  диаметрини аниқланг. Болтлар сони  $A$  — иккита,  $B$  — битта.

Жавоб:  $d_A = 31 \text{ мм}$ ;  $d_B = 39,3 \text{ мм}$ .

12.6. Юпқа деворли узун пўлат барабан (расмга қ.)  $O-O$  ўқ атрофида айланади ( $600 \text{ айл/мин}$ ). У айланиш ўқига фақат ёнлари билан маҳкамланган. Агар барабаннинг ўртача диаметри  $2 \text{ м}$  бўлса, барабан деворидан ажратилган ҳалқа  $AB$  даги нормал кучланишни аниқланг.

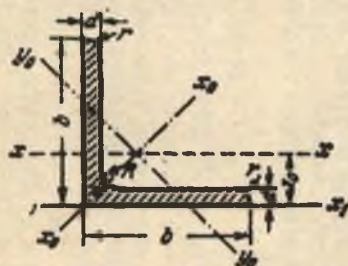
Торец кесимларидаги барабан маҳкамламалари таъсирини ҳисобга олманг.

Жавоб:  $314 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ .

## Тенг ёнли бурчакликлар

1-жадвал

| Проф. номери | Улчамлари |     | $F, \text{см}^2$ | $I_x, \text{см}^4$ | $i_x, \text{см}$ | $I_{x_{\text{макс}}}, \text{см}^4$ | $I_{x_{\text{мин}}}, \text{см}^4$ | $I_{y_{\text{мин}}}, \text{см}^4$ | $i_{y_0}, \text{см}^4$ | $I_{x_1}, \text{см}$ | $Z_0, \text{см}$ | Масса<br>1 п.м.<br>кг |
|--------------|-----------|-----|------------------|--------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------|------------------|-----------------------|
|              | $b$       | $d$ |                  |                    |                  |                                    |                                   |                                   |                        |                      |                  |                       |
| 5            | 50        | 3   | 2,96             | 7,11               | 1,55             | 11,3                               | 1,95                              | 2,95                              | 1,00                   | 12,4                 | 1,33             | 2,32                  |
|              |           | 4   | 3,89             | 9,21               | 1,54             | 14,6                               | 1,94                              | 3,80                              | 0,99                   | 16,6                 | 1,38             | 3,05                  |
|              |           | 5   | 4,80             | 11,20              | 1,53             | 17,8                               | 1,92                              | 4,63                              | 0,98                   | 20,9                 | 1,42             | 3,77                  |
| 5,6          | 56        | 4   | 4,38             | 13,1               | 1,73             | 20,8                               | 2,18                              | 5,41                              | 1,11                   | 23,3                 | 1,52             | 3,44                  |
|              |           | 5   | 5,41             | 16,0               | 1,72             | 25,4                               | 2,16                              | 6,59                              | 1,10                   | 29,2                 | 1,57             | 4,25                  |
| 6,3          | 63        | 4   | 4,96             | 18,9               | 1,95             | 29,9                               | 2,45                              | 7,81                              | 1,25                   | 33,1                 | 1,69             | 3,90                  |
|              |           | 5   | 6,13             | 23,1               | 1,94             | 36,6                               | 2,44                              | 9,52                              | 1,25                   | 41,5                 | 1,74             | 4,81                  |
|              |           | 6   | 7,28             | 27,1               | 1,93             | 42,9                               | 2,43                              | 11,20                             | 1,24                   | 50,0                 | 1,78             | 5,72                  |
| 7            | 70        | 4,5 | 6,20             | 29,0               | 2,16             | 46,0                               | 2,74                              | 12,0                              | 1,39                   | 51,0                 | 1,88             | 4,87                  |
|              |           | 5   | 6,86             | 31,9               | 2,16             | 50,7                               | 2,72                              | 13,2                              | 1,39                   | 56,7                 | 1,90             | 5,38                  |
|              |           | 6   | 8,15             | 37,6               | 2,15             | 59,6                               | 2,71                              | 15,5                              | 1,38                   | 68,4                 | 1,94             | 6,39                  |
|              |           | 7   | 9,42             | 43,0               | 2,14             | 68,2                               | 2,69                              | 17,8                              | 1,37                   | 80,1                 | 1,90             | 7,39                  |
|              |           | 8   | 10,70            | 48,2               | 2,13             | 76,4                               | 2,68                              | 20,0                              | 1,37                   | 91,9                 | 2,02             | 8,37                  |
| 7,5          | 75        | 5   | 7,39             | 39,5               | 2,31             | 62,6                               | 2,91                              | 16,4                              | 1,49                   | 69,6                 | 2,02             | 5,80                  |
|              |           | 6   | 8,78             | 46,5               | 2,36             | 73,9                               | 2,90                              | 19,3                              | 1,48                   | 83,9                 | 2,06             | 6,89                  |
|              |           | 7   | 10,1             | 53,3               | 2,29             | 84,6                               | 2,89                              | 22,1                              | 1,48                   | 98,3                 | 2,10             | 7,96                  |
|              |           | 8   | 11,5             | 59,8               | 2,28             | 94,6                               | 2,87                              | 24,8                              | 1,47                   | 113                  | 2,15             | 9,02                  |
|              |           | 9   | 12,8             | 66,1               | 2,27             | 105                                | 2,86                              | 27,5                              | 1,46                   | 127                  | 2,18             | 10,10                 |



1-жадвалнинг давоми.

| Проф. номери | Улчамлари |     | $F, \text{см}^2$ | $I_x, \text{см}^4$ | $i_x, \text{см}$ | $I_{x_{\text{макс}}}, \text{см}^4$ | $I_{x_{\text{мин}}}, \text{см}^4$ | $I_{y_{\text{мин}}}, \text{см}^4$ | $i_{y_0}, \text{см}^4$ | $I_{x_1}, \text{см}$ | $Z_0, \text{см}$ | Масса<br>1 п.м. кг |
|--------------|-----------|-----|------------------|--------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------|------------------|--------------------|
|              | $b$       | $d$ |                  |                    |                  |                                    |                                   |                                   |                        |                      |                  |                    |
| 8            | 80        | 5,5 | 8,63             | 52,7               | 2,47             | 83,6                               | 3,11                              | 21,8                              | 1,59                   | 93,2                 | 2,17             | 6,78               |
|              |           | 6   | 9,38             | 57,0               | 2,47             | 90,4                               | 3,11                              | 23,5                              | 1,58                   | 102                  | 2,19             | 7,36               |
|              |           | 7   | 10,8             | 65,3               | 2,45             | 104                                | 3,09                              | 27,0                              | 1,58                   | 119                  | 2,23             | 8,51               |
|              |           | 8   | 12,3             | 73,4               | 2,34             | 116                                | 3,08                              | 30,3                              | 1,57                   | 137                  | 2,27             | 9,65               |
| 9            | 90        | 6   | 10,3             | 82,1               | 2,78             | 130                                | 3,50                              | 34,0                              | 1,79                   | 145                  | 2,43             | 8,33               |
|              |           | 7   | 12,3             | 94,3               | 2,77             | 150                                | 3,49                              | 38,9                              | 1,78                   | 169                  | 2,47             | 9,64               |
|              |           | 8   | 13,9             | 106                | 2,76             | 168                                | 3,48                              | 43,8                              | 1,77                   | 194                  | 2,51             | 10,9               |
|              |           | 9   | 15,6             | 118                | 2,75             | 186                                | 3,46                              | 48,6                              | 1,77                   | 219                  | 2,55             | 12,2               |
| 10           | 100       | 6,5 | 12,8             | 122                | 3,09             | 193                                | 3,88                              | 50,7                              | 1,99                   | 214                  | 2,68             | 10,1               |
|              |           | 7   | 13,8             | 131                | 3,08             | 207                                | 3,88                              | 54,2                              | 1,98                   | 231                  | 2,71             | 10,8               |
|              |           | 8   | 15,6             | 147                | 3,07             | 233                                | 3,87                              | 60,9                              | 1,98                   | 265                  | 2,75             | 12,2               |
|              |           | 10  | 19,2             | 179                | 2,05             | 284                                | 3,84                              | 74,1                              | 1,96                   | 333                  | 2,83             | 17,9               |
|              |           | 12  | 22,8             | 209                | 3,03             | 331                                | 3,81                              | 86,9                              | 1,96                   | 402                  | 2,91             | 20,6               |
|              |           | 14  | 26,3             | 237                | 3,00             | 375                                | 3,78                              | 99,3                              | 1,94                   | 472                  | 2,99             | 23,3               |
| 11           | 110       | 7   | 15,2             | 176                | 3,40             | 279                                | 4,29                              | 72,7                              | 2,19                   | 308                  | 2,96             | 11,9               |
|              |           | 8   | 17,2             | 198                | 3,39             | 315                                | 4,28                              | 81,8                              | 2,18                   | 353                  | 3,00             | 13,5               |
| 12,5         | 125       | 8   | 19,7             | 294                | 3,37             | 467                                | 4,87                              | 122                               | 2,49                   | 516                  | 3,36             | 15,5               |
|              |           | 9   | 22,0             | 327                | 3,86             | 520                                | 4,86                              | 135                               | 2,48                   | 582                  | 3,40             | 17,3               |
|              |           | 10  | 24,3             | 360                | 3,85             | 571                                | 4,84                              | 149                               | 2,47                   | 649                  | 3,45             | 19,1               |
|              |           | 12  | 28,9             | 422                | 3,82             | 670                                | 4,82                              | 174                               | 2,46                   | 782                  | 3,53             | 22,7               |
|              |           | 14  | 33,4             | 482                | 3,80             | 764                                | 4,78                              | 200                               | 2,45                   | 916                  | 3,61             | 26,2               |
|              |           | 16  | 37,8             | 539                | 3,78             | 853                                | 4,75                              | 224                               | 2,44                   | 1051                 | 3,68             | 29,6               |
| 14           | 140       | 9   | 24,7             | 466                | 4,34             | 739                                | 5,47                              | 192                               | 2,79                   | 818                  | 3,78             | 19,4               |
|              |           | 10  | 27,3             | 512                | 4,33             | 814                                | 5,76                              | 211                               | 2,73                   | 911                  | 3,82             | 21,5               |
|              |           | 12  | 32,5             | 602                | 4,31             | 957                                | 5,43                              | 248                               | 2,76                   | 1097                 | 3,90             | 25,5               |

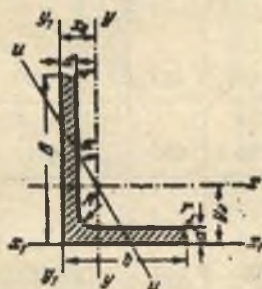


| Проф.номери | Ўлчамлари |     | $F, \text{ см}^2$ | $I_{x_0}, \text{ см}^4$ | $i_{x_0}, \text{ см}$ | $I_{x_0}^{\text{макс}}, \text{ см}^4$ | $I_{x_0}^{\text{мин}}, \text{ см}^4$ | $I_{y_0}^{\text{мин}}, \text{ см}^4$ | $i_{y_0}, \text{ см}^4$ | $I_{x_1}, \text{ см}^4$ | $Z_0, \text{ см}$ | Масса<br>1 п.м.кг |
|-------------|-----------|-----|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
|             | $b$       | $d$ |                   |                         |                       |                                       |                                      |                                      |                         |                         |                   |                   |
| 16          | 160       | 10  | 31,4              | 774                     | 4,96                  | 1229                                  | 6,25                                 | 319                                  | 3,19                    | 1356                    | 4,30              | 24,7              |
|             |           | 11  | 34,4              | 844                     | 4,95                  | 1341                                  | 6,24                                 | 348                                  | 3,18                    | 1494                    | 4,35              | 27,0              |
|             |           | 12  | 37,4              | 913                     | 4,94                  | 1450                                  | 6,23                                 | 376                                  | 3,17                    | 1633                    | 4,39              | 29,4              |
|             |           | 14  | 43,3              | 1046                    | 4,92                  | 1662                                  | 6,20                                 | 431                                  | 3,16                    | 1911                    | 4,47              | 34,0              |
|             |           | 16  | 49,1              | 1175                    | 4,89                  | 1866                                  | 6,17                                 | 485                                  | 3,14                    | 2191                    | 4,55              | 38,5              |
|             |           | 18  | 54,8              | 1299                    | 4,87                  | 2061                                  | 6,13                                 | 537                                  | 3,13                    | 2472                    | 4,63              | 43,0              |
|             |           | 20  | 60,4              | 1419                    | 4,85                  | 2248                                  | 6,10                                 | 589                                  | 3,12                    | 2756                    | 4,70              | 47,4              |
|             |           |     |                   |                         |                       |                                       |                                      |                                      |                         |                         |                   |                   |
| 18          | 180       | 11  | 38,8              | 1216                    | 5,60                  | 1933                                  | 7,06                                 | 500                                  | 3,59                    | 2128                    | 4,85              | 30,5              |
|             |           | 12  | 42,2              | 1317                    | 5,59                  | 2093                                  | 7,04                                 | 540                                  | 3,58                    | 2324                    | 4,89              | 33,1              |
| 20          | 200       | 12  | 47,1              | 1823                    | 6,22                  | 2896                                  | 7,84                                 | 749                                  | 3,99                    | 3182                    | 5,37              | 37,0              |
|             |           | 13  | 50,9              | 1961                    | 6,21                  | 3116                                  | 7,83                                 | 805                                  | 3,98                    | 3452                    | 5,42              | 39,9              |
|             |           | 14  | 54,6              | 2097                    | 6,20                  | 3333                                  | 7,81                                 | 861                                  | 3,97                    | 3722                    | 5,46              | 42,8              |
|             |           | 16  | 62,0              | 2363                    | 6,17                  | 3755                                  | 7,78                                 | 970                                  | 3,96                    | 4264                    | 5,54              | 48,7              |
|             |           | 20  | 76,5              | 2871                    | 6,12                  | 4560                                  | 7,72                                 | 1182                                 | 3,93                    | 5355                    | 5,70              | 60,1              |
|             |           | 25  | 94,3              | 3466                    | 6,06                  | 5494                                  | 7,63                                 | 1438                                 | 3,91                    | 6733                    | 5,89              | 74,0              |
|             |           | 30  | 111,5             | 4020                    | 6,00                  | 6351                                  | 7,55                                 | 1688                                 | 3,89                    | 8130                    | 6,07              | 87,6              |
|             |           |     |                   |                         |                       |                                       |                                      |                                      |                         |                         |                   |                   |
| 22          | 220       | 14  | 60,4              | 2814                    | 6,83                  | 4470                                  | 8,60                                 | 1159                                 | 4,38                    | 4941                    | 5,93              | 47,4              |
|             |           | 16  | 68,6              | 3175                    | 6,81                  | 5045                                  | 8,58                                 | 1306                                 | 4,36                    | 5661                    | 6,02              | 53,8              |
| 25          | 250       | 16  | 78,4              | 4717                    | 7,76                  | 7492                                  | 9,78                                 | 1942                                 | 4,98                    | 8286                    | 6,75              | 61,5              |
|             |           | 18  | 87,7              | 5247                    | 7,73                  | 8337                                  | 9,75                                 | 2158                                 | 4,96                    | 9342                    | 6,83              | 66,9              |
|             |           | 20  | 97,0              | 5765                    | 7,71                  | 9160                                  | 9,72                                 | 2370                                 | 4,94                    | 10401                   | 6,91              | 76,1              |
|             |           | 22  | 106,1             | 6270                    | 7,69                  | 9961                                  | 9,69                                 | 2579                                 | 4,93                    | 11464                   | 7,00              | 83,3              |
|             |           | 25  | 119,7             | 7006                    | 7,65                  | 11125                                 | 9,64                                 | 2887                                 | 4,91                    | 13064                   | 7,11              | 94,0              |
|             |           | 28  | 133,1             | 7717                    | 7,61                  | 12244                                 | 9,59                                 | 3190                                 | 4,89                    | 14674                   | 7,23              | 104,5             |
|             |           | 30  | 142,0             | 8177                    | 7,59                  | 12965                                 | 9,56                                 | 3389                                 | 4,89                    | 14753                   | 7,31              | 111,4             |
|             |           |     |                   |                         |                       |                                       |                                      |                                      |                         |                         |                   |                   |

Тенгёнлимас бурчакликлар  
ГОСТ—8510—72

2-жадвал

| Профиль<br>номери | Ўлчамлари,<br>мм |    |     | $F, \text{ см}^2$ | $I_{x_0}, \text{ см}^4$ | $i_{x_0}, \text{ см}$ | $I_{y_0}, \text{ см}^4$ | $i_{y_0}, \text{ см}$ | $I_{x_1}, \text{ см}^4$ | $i_{x_1}, \text{ см}$ | $I_{y_1}, \text{ см}^4$ | $i_{y_1}, \text{ см}$ | $\lg \alpha$ | $I_{x_1}^*, \text{ см}^4$ | $I_{y_1}^*, \text{ см}^4$ | $x_0, \text{ см}$ | $y_0, \text{ см}$ | Масса<br>1 п.м.кг |
|-------------------|------------------|----|-----|-------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                   | B                | b  | d   |                   |                         |                       |                         |                       |                         |                       |                         |                       |              |                           |                           |                   |                   |                   |
| 5,6/3,6           | 56               | 36 | 4   | 3,58              | 11,4                    | 1,78                  | 3,7                     | 1,02                  | 2,19                    | 0,78                  | 0,406                   | 23,2                  | 6,25         | 0,84                      | 1,82                      | 2,81              |                   |                   |
|                   |                  |    | 5   | 4,41              | 13,8                    | 1,77                  | 4,48                    | 1,01                  | 2,66                    | 0,78                  | 0,404                   | 29,2                  | 7,91         | 0,88                      | 1,86                      | 3,46              |                   |                   |
| 6,3/4             | 63               | 40 | 4   | 4,04              | 16,3                    | 2,01                  | 5,16                    | 1,13                  | 3,07                    | 0,87                  | 0,397                   | 33,0                  | 8,81         | 0,91                      | 2,03                      | 3,17              |                   |                   |
|                   |                  |    | 5   | 4,98              | 19,9                    | 2,00                  | 6,26                    | 1,12                  | 3,72                    | 0,86                  | 0,396                   | 41,4                  | 10,8         | 0,95                      | 2,08                      | 3,91              |                   |                   |
|                   |                  |    | 6   | 5,90              | 23,3                    | 1,99                  | 7,28                    | 1,11                  | 4,36                    | 0,86                  | 0,393                   | 49,9                  | 13,1         | 0,99                      | 2,12                      | 4,63              |                   |                   |
|                   |                  |    | 8   | 7,68              | 29,6                    | 1,96                  | 9,15                    | 1,09                  | 5,58                    | 0,85                  | 0,386                   | 66,9                  | 17,9         | 1,09                      | 2,20                      | 6,03              |                   |                   |
| 7/4,5             | 70               | 45 | 5   | 5,59              | 27,8                    | 2,23                  | 9,05                    | 1,27                  | 5,34                    | 0,98                  | 0,406                   | 56,7                  | 15,2         | 1,05                      | 2,28                      | 4,39              |                   |                   |
| 7,5/5             | 75               | 50 | 5   | 6,11              | 34,8                    | 2,39                  | 12,5                    | 1,43                  | 7,24                    | 1,09                  | 0,436                   | 69,7                  | 20,8         | 1,17                      | 2,39                      | 4,79              |                   |                   |
|                   |                  |    | 6   | 7,25              | 40,9                    | 2,38                  | 14,6                    | 1,42                  | 8,48                    | 1,08                  | 0,435                   | 83,9                  | 25,2         | 1,21                      | 2,44                      | 5,69              |                   |                   |
|                   |                  |    | 8   | 9,47              | 52,4                    | 2,35                  | 18,5                    | 1,40                  | 10,9                    | 1,07                  | 0,430                   | 112                   | 34,2         | 1,29                      | 2,52                      | 7,43              |                   |                   |
| 8/5               | 80               | 50 | 5   | 6,36              | 41,6                    | 2,56                  | 12,7                    | 1,41                  | 7,58                    | 1,09                  | 0,387                   | 84,6                  | 20,8         | 1,13                      | 2,60                      | 4,99              |                   |                   |
|                   |                  |    | 6   | 7,55              | 49,0                    | 2,55                  | 14,8                    | 1,40                  | 8,88                    | 1,08                  | 0,386                   | 102                   | 25,2         | 1,17                      | 2,65                      | 5,92              |                   |                   |
| 9/5,6             | 90               | 56 | 5,5 | 7,86              | 65,3                    | 2,88                  | 19,7                    | 1,58                  | 11,8                    | 1,22                  | 0,384                   | 132                   | 32,2         | 1,26                      | 2,92                      | 6,17              |                   |                   |
|                   |                  |    | 6   | 8,54              | 70,6                    | 2,88                  | 21,2                    | 1,58                  | 12,7                    | 1,22                  | 0,384                   | 145                   | 35,1         | 1,28                      | 2,95                      | 6,70              |                   |                   |
|                   |                  |    | 8   | 11,18             | 90,9                    | 2,85                  | 27,1                    | 1,56                  | 16,3                    | 1,21                  | 0,380                   | 194                   | 47,8         | 1,36                      | 3,04                      | 8,77              |                   |                   |
| 10/6,3            | 100              | 63 | 6   | 9,59              | 98,3                    | 3,23                  | 30,6                    | 1,79                  | 18,2                    | 1,38                  | 0,393                   | 198                   | 49,9         | 1,42                      | 3,23                      | 7,53              |                   |                   |
|                   |                  |    | 7   | 11,1              | 113                     | 3,19                  | 35,0                    | 1,78                  | 20,8                    | 1,37                  | 0,392                   | 232                   | 58,7         | 1,46                      | 3,28                      | 8,70              |                   |                   |
|                   |                  |    | 8   | 12,6              | 127                     | 3,18                  | 39,2                    | 1,77                  | 23,4                    | 1,36                  | 0,391                   | 266                   | 67,6         | 1,50                      | 3,32                      | 9,87              |                   |                   |
|                   |                  |    | 10  | 15,5              | 154                     | 3,15                  | 47,1                    | 1,75                  | 28,3                    | 1,35                  | 0,387                   | 333                   | 85,8         | 1,58                      | 3,40                      | 12,10             |                   |                   |





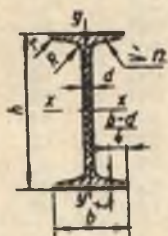
| Профиль<br>номери | Ўлчамлари, мм |     |          | $F$ , см <sup>2</sup> | $I_x$ , см <sup>4</sup> | $i_x$ , см   | $I_y$ , см <sup>4</sup> | $i_y$ , см   | $I_{\min}$ , см <sup>4</sup> | $i_{\min}$ , см | $\lg \alpha$   | $I_{x_1}$ , см <sup>4</sup> | $I_{y_1}$ , см <sup>4</sup> | $x_0$ , см   | $y_0$ , см   | Масса<br>п.м.кг |
|-------------------|---------------|-----|----------|-----------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|------------------------------|-----------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|-----------------|
|                   | $B$           | $b$ | $d$      |                       |                         |              |                         |              |                              |                 |                |                             |                             |              |              |                 |
| 11/7              | 110           | 70  | 6,5<br>8 | 11,4<br>13,9          | 142<br>172              | 3,53<br>3,51 | 45,6<br>54,6            | 2,00<br>1,98 | 26,9<br>32,3                 | 1,53<br>1,52    | 0,402<br>0,400 | 286<br>353                  | 74,3<br>92,3                | 1,58<br>1,64 | 3,55<br>3,61 | 8,98<br>10,90   |
| 12,5/8            | 125           | 80  | 7        | 14,1                  | 227                     | 4,01         | 73,7                    | 2,29         | 43,4                         | 1,76            | 0,407          | 452                         | 119                         | 1,80         | 4,01         | 11,0            |
|                   |               |     | 8        | 16,0                  | 256                     | 4,00         | 83                      | 2,28         | 48,8                         | 1,75            | 0,406          | 518                         | 137                         | 1,84         | 4,05         | 12,5            |
|                   |               |     | 10       | 19,7                  | 312                     | 3,98         | 100                     | 2,26         | 59,3                         | 1,74            | 0,404          | 649                         | 173                         | 1,92         | 4,14         | 15,5            |
|                   |               |     | 12       | 23,4                  | 365                     | 3,95         | 117                     | 2,24         | 69,5                         | 1,72            | 0,400          | 781                         | 210                         | 2,00         | 4,22         | 18,3            |
| 14/9              | 140           | 90  | 8        | 18,0                  | 364                     | 4,49         | 120                     | 2,58         | 70,3                         | 1,98            | 0,411          | 727                         | 194                         | 2,03         | 4,49         | 14,1            |
|                   |               |     | 10       | 22,2                  | 444                     | 4,47         | 146                     | 2,56         | 85,5                         | 1,96            | 0,409          | 911                         | 245                         | 2,12         | 4,58         | 17,5            |
| 16/10             | 160           | 100 | 9        | 22,9                  | 606                     | 5,15         | 186                     | 2,85         | 110                          | 2,20            | 0,391          | 1221                        | 300                         | 2,23         | 5,19         | 18,0            |
|                   |               |     | 10       | 25,3                  | 667                     | 5,13         | 204                     | 2,84         | 121                          | 2,19            | 0,390          | 1359                        | 335                         | 2,28         | 5,23         | 19,8            |
|                   |               |     | 12       | 30,0                  | 784                     | 5,11         | 239                     | 2,82         | 142                          | 2,18            | 0,388          | 1634                        | 405                         | 2,36         | 5,32         | 23,6            |
|                   |               |     | 14       | 34,7                  | 897                     | 5,08         | 272                     | 2,80         | 162                          | 2,16            | 0,385          | 1910                        | 477                         | 2,43         | 5,40         | 27,3            |
| 18/11             | 180           | 110 | 10       | 28,3                  | 952                     | 5,80         | 276                     | 3,12         | 165                          | 2,42            | 0,375          | 1933                        | 444                         | 2,44         | 5,88         | 22,2            |
|                   |               |     | 12       | 33,7                  | 1123                    | 5,77         | 324                     | 3,10         | 194                          | 2,40            | 0,374          | 2324                        | 537                         | 2,52         | 5,97         | 26,4            |
| 20/12,5           | 200           | 125 | 11       | 34,9                  | 1449                    | 6,45         | 446                     | 3,58         | 264                          | 2,75            | 0,392          | 2920                        | 718                         | 2,79         | 6,50         | 27,4            |
|                   |               |     | 12       | 37,9                  | 1568                    | 6,43         | 482                     | 3,57         | 285                          | 2,74            | 0,392          | 3189                        | 786                         | 2,83         | 6,54         | 129,7           |
|                   |               |     | 14       | 43,9                  | 1801                    | 6,41         | 551                     | 3,54         | 327                          | 2,73            | 0,390          | 3726                        | 922                         | 2,91         | 6,62         | 34,4            |
|                   |               |     | 16       | 49,8                  | 2026                    | 6,38         | 617                     | 3,52         | 367                          | 2,72            | 0,388          | 4264                        | 1061                        | 2,99         | 6,71         | 39,1            |
| 25/16             | 250           | 160 | 12       | 48,3                  | 3147                    | 8,07         | 1032                    | 4,62         | 604                          | 3,54            | 0,410          | 6212                        | 1634                        | 3,53         | 7,97         | 37,9            |
|                   |               |     | 16       | 63,6                  | 4091                    | 8,02         | 1333                    | 4,58         | 781                          | 3,5             | 0,408          | 8308                        | 2200                        | 3,69         | 8,14         | 49,9            |
|                   |               |     | 18       | 71,1                  | 4545                    | 7,99         | 1475                    | 4,56         | 866                          | 3,49            | 0,407          | 9358                        | 2487                        | 3,77         | 8,23         | 55,8            |
|                   |               |     | 20       | 78,5                  | 4987                    | 7,97         | 1613                    | 4,53         | 949                          | 3,48            | 0,405          | 10410                       | 2776                        | 3,85         | 8,31         | 61,7            |

## Қўштавр балкалар

ГОСТ—8239—72

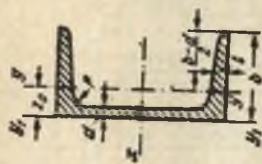
3-жадвал

| Проф.<br>номери | Ўлчамлари |     |     |      | $F$ , см <sup>2</sup> | $I_x$ , см <sup>4</sup> | $I_y$ , см <sup>4</sup> | $i_x$ , см | $S_x$ , см <sup>3</sup> | $I_{\min}$ , см <sup>4</sup> | $I_{y_{\min}}$ , см <sup>4</sup> | $i_{\min}$ , см | Масса<br>п.м. кг |
|-----------------|-----------|-----|-----|------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------|
|                 | $h$       | $b$ | $d$ | $t$  |                       |                         |                         |            |                         |                              |                                  |                 |                  |
| 10              | 100       | 55  | 4,5 | 7,2  | 12,0                  | 198                     | 39,7                    | 4,06       | 23,0                    | 17,9                         | 6,49                             | 1,22            | 9,46             |
| 12              | 120       | 64  | 4,8 | 7,3  | 14,7                  | 350                     | 58,4                    | 4,88       | 33,7                    | 27,9                         | 8,72                             | 1,38            | 11,5             |
| 14              | 140       | 73  | 4,9 | 7,5  | 17,4                  | 572                     | 81,7                    | 5,73       | 46,8                    | 41,9                         | 11,5                             | 1,55            | 13,7             |
| 16              | 160       | 81  | 5,0 | 7,8  | 20,2                  | 873                     | 109                     | 6,57       | 62,3                    | 58,6                         | 14,5                             | 1,70            | 15,9             |
| 18              | 180       | 90  | 5,1 | 8,1  | 23,4                  | 1290                    | 143                     | 7,42       | 81,4                    | 82,6                         | 18,4                             | 1,88            | 18,4             |
| 18a             | 180       | 100 | 5,1 | 8,3  | 25,4                  | 1430                    | 159                     | 7,51       | 89,8                    | 114                          | 22,8                             | 2,12            | 19,9             |
| 20              | 200       | 100 | 5,2 | 8,4  | 26,8                  | 1840                    | 184                     | 8,28       | 104                     | 115                          | 23,1                             | 2,07            | 21,0             |
| 20a             | 200       | 110 | 5,2 | 8,6  | 28,9                  | 2030                    | 203                     | 8,37       | 114                     | 155                          | 28,2                             | 2,32            | 22,7             |
| 22              | 220       | 110 | 5,4 | 8,7  | 30,6                  | 2550                    | 232                     | 9,13       | 131                     | 157                          | 28,6                             | 2,27            | 24,0             |
| 22a             | 220       | 120 | 5,4 | 8,9  | 32,8                  | 2790                    | 254                     | 9,22       | 143                     | 206                          | 34,3                             | 2,50            | 25,8             |
| 24              | 240       | 115 | 5,6 | 9,5  | 34,8                  | 3460                    | 289                     | 9,97       | 163                     | 198                          | 34,5                             | 2,37            | 27,3             |
| 24a             | 240       | 125 | 5,6 | 9,8  | 37,5                  | 3800                    | 317                     | 10,1       | 178                     | 260                          | 41,6                             | 2,63            | 29,4             |
| 27              | 270       | 125 | 6,0 | 9,8  | 40,2                  | 5010                    | 371                     | 11,2       | 210                     | 260                          | 41,5                             | 2,54            | 31,5             |
| 27a             | 270       | 135 | 6,0 | 10,2 | 43,2                  | 5500                    | 407                     | 11,3       | 229                     | 337                          | 50,0                             | 2,80            | 33,9             |
| 30              | 300       | 135 | 6,5 | 10,2 | 46,5                  | 7080                    | 472                     | 12,3       | 268                     | 337                          | 49,9                             | 2,69            | 36,5             |
| 30a             | 300       | 145 | 6,5 | 10,7 | 49,9                  | 7780                    | 518                     | 12,5       | 292                     | 436                          | 60,1                             | 2,95            | 39,2             |
| 33              | 330       | 140 | 7,0 | 11,2 | 53,8                  | 9840                    | 597                     | 13,5       | 339                     | 419                          | 59,9                             | 2,79            | 42,2             |
| 36              | 360       | 145 | 7,5 | 12,3 | 61,9                  | 13380                   | 743                     | 14,7       | 423                     | 516                          | 71,1                             | 2,89            | 48,6             |
| 40              | 400       | 155 | 8,3 | 13,0 | 72,6                  | 19062                   | 953                     | 16,2       | 545                     | 667                          | 86,1                             | 3,03            | 57,0             |
| 45              | 450       | 160 | 9   | 14,2 | 84,7                  | 27696                   | 1231                    | 18,1       | 708                     | 808                          | 101                              | 3,09            | 66,5             |
| 50              | 500       | 170 | 10  | 15,2 | 100                   | 39727                   | 1589                    | 19,9       | 919                     | 1043                         | 123                              | 3,23            | 78,5             |
| 55              | 550       | 180 | 11  | 16,5 | 118                   | 55962                   | 2035                    | 21,8       | 1181                    | 1356                         | 151                              | 3,39            | 92,6             |
| 60              | 600       | 190 | 12  | 17,8 | 138                   | 76806                   | 2560                    | 23,6       | 1491                    | 1725                         | 182                              | 3,54            | 108              |





$\sigma = f_w$



Швеллерлар  
ГОСТ 8240 — 72

4-жадвал

| проф. номери | ўлчамлари |     |     |      | $F$ , см <sup>2</sup> | $I_x$ , см <sup>4</sup> | $W_x$ , см <sup>3</sup> | $i_x$ , см | $S_x$ , см <sup>3</sup> | $I_y$ , см <sup>4</sup> | $W_y$ , см <sup>3</sup> | $i_y$ , см | $z_0$ , см | Масса, лп.м, кг |
|--------------|-----------|-----|-----|------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|------------|-----------------|
|              | $A$       | $b$ | $d$ | $t$  |                       |                         |                         |            |                         |                         |                         |            |            |                 |
| 5            | 50        | 32  | 4,4 | 7,0  | 6,19                  | 22,8                    | 9,1                     | 1,92       | 5,59                    | 5,61                    | 2,75                    | 0,954      | 1,16       | 4,84            |
| 6,5          | 65        | 36  | 4,4 | 7,2  | 7,51                  | 48,6                    | 15,0                    | 2,54       | 9,0                     | 8,7                     | 3,68                    | 1,08       | 1,24       | 5,90            |
| 8            | 80        | 40  | 4,5 | 7,4  | 8,98                  | 89,4                    | 22,4                    | 3,16       | 13,3                    | 12,8                    | 4,75                    | 1,19       | 1,31       | 7,05            |
| 10           | 100       | 46  | 4,5 | 7,6  | 10,9                  | 174                     | 34,8                    | 3,99       | 20,4                    | 20,4                    | 6,46                    | 1,37       | 1,44       | 8,59            |
| 14           | 140       | 58  | 4,9 | 8,1  | 15,6                  | 491                     | 70,2                    | 5,60       | 40,8                    | 45,4                    | 11,0                    | 1,70       | 1,67       | 12,3            |
| 14а          | 140       | 62  | 4,9 | 8,7  | 17,0                  | 545                     | 77,8                    | 5,66       | 45,1                    | 57,5                    | 13,3                    | 1,84       | 1,80       | 13,3            |
| 16           | 160       | 64  | 5,0 | 8,4  | 18,1                  | 747                     | 93,4                    | 6,42       | 54,1                    | 63,6                    | 13,8                    | 1,87       | 1,80       | 14,2            |
| 16а          | 160       | 68  | 5,0 | 9,0  | 19,5                  | 823                     | 103                     | 6,49       | 59,4                    | 78,8                    | 16,4                    | 2,01       | 2,00       | 15,3            |
| 18           | 180       | 70  | 5,1 | 8,7  | 20,7                  | 1090                    | 121                     | 7,24       | 69,8                    | 86                      | 17,0                    | 2,04       | 1,94       | 16,3            |
| 18а          | 180       | 74  | 5,1 | 9,3  | 22,2                  | 1190                    | 132                     | 7,32       | 76,1                    | 105                     | 20,0                    | 2,18       | 2,13       | 17,4            |
| 20           | 200       | 76  | 5,2 | 9,0  | 23,4                  | 1520                    | 152                     | 8,07       | 87,8                    | 113                     | 20,5                    | 2,20       | 2,07       | 18,4            |
| 20а          | 200       | 80  | 5,2 | 9,7  | 25,2                  | 1670                    | 167                     | 8,15       | 95,9                    | 139                     | 24,2                    | 2,35       | 2,28       | 19,8            |
| 22           | 220       | 82  | 5,4 | 9,5  | 26,7                  | 2110                    | 192                     | 8,89       | 110                     | 151                     | 25,1                    | 2,37       | 2,21       | 21,0            |
| 22а          | 220       | 87  | 5,4 | 10,2 | 28,8                  | 2330                    | 212                     | 8,99       | 121                     | 187                     | 30,0                    | 2,55       | 2,46       | 22,6            |
| 24           | 240       | 90  | 5,6 | 10,0 | 30,6                  | 2900                    | 242                     | 9,73       | 139                     | 208                     | 31,6                    | 2,60       | 2,42       | 24,0            |
| 24а          | 240       | 95  | 5,6 | 10,7 | 32,9                  | 3180                    | 265                     | 9,84       | 151                     | 254                     | 37,2                    | 2,73       | 2,67       | 25,8            |
| 27           | 270       | 96  | 6,0 | 10,5 | 35,2                  | 4160                    | 308                     | 10,9       | 178                     | 262                     | 37,3                    | 2,78       | 2,47       | 27,7            |
| 30           | 300       | 100 | 6,5 | 11,0 | 40,5                  | 5810                    | 387                     | 12,0       | 224                     | 327                     | 43,6                    | 2,84       | 2,52       | 31,8            |
| 33           | 330       | 105 | 7,0 | 11,7 | 46,5                  | 7980                    | 484                     | 13,1       | 281                     | 410                     | 51,8                    | 2,97       | 2,59       | 36,5            |
| 36           | 360       | 110 | 7,5 | 12,6 | 53,4                  | 10820                   | 601                     | 14,2       | 350                     | 513                     | 61,7                    | 3,10       | 2,68       | 41,9            |
| 40           | 400       | 115 | 8,0 | 13,5 | 16,5                  | 15220                   | 761                     | 15,7       | 444                     | 642                     | 73,4                    | 3,23       | 2,75       | 48,3            |

## МУНДАРИЖА

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Русча нашрига сўз боши . . . . .                                                        | 4   |
| Барча масалалар учун умумий маълумотлар . . . . .                                       | 4   |
| 1-боб. Бўйлама чўзилиш ва сиқилиш . . . . .                                             | 5   |
| 1-§. Статик аниқланадиган системалар . . . . .                                          | 5   |
| 2-§. Статик аниқланмайдиган системалар . . . . .                                        | 23  |
| 3-§. Хусусий оғирлигини ҳисоблаш . . . . .                                              | 45  |
| 4-§. Эластик ишлар . . . . .                                                            | 49  |
| 2-боб. Мураккаб зўриққан ҳолат. Мустаҳкамлик назарияси . . . . .                        | 54  |
| 5-§. Кучланишларни аниқлашнинг аналитик ва график усуллари . . . . .                    | 54  |
| 6-§. Деформациялар. Потенциал энергия . . . . .                                         | 60  |
| 7-§. Юпқа деворли идишлар . . . . .                                                     | 64  |
| 8-§. Контакт кучланишлар . . . . .                                                      | 71  |
| 3-боб. Силжиш ва эзилиш . . . . .                                                       | 73  |
| 9-§. Болтли ва парчинмихли бирикмалар . . . . .                                         | 73  |
| 10-§. Пайванд бирикмалар . . . . .                                                      | 79  |
| 11-§. Ҳийқлар, шпонкалар ва конструкцияларнинг бошқа элементлари . . . . .              | 82  |
| 4-боб. Буралиш . . . . .                                                                | 88  |
| 12-§. Думалоқ кесимли стерженларнинг буралиши . . . . .                                 | 88  |
| 13-§. Тўғри тўртбурчак кесимли стерженларни бураш . . . . .                             | 96  |
| 14-§. Кичик қадамли винтли пружиналар . . . . .                                         | 99  |
| 15-§. Силжиш ва буралишга ишлайдиган конструкциялар . . . . .                           | 103 |
| 5-боб. Ясси шаклларнинг геометрик характеристикалари . . . . .                          | 107 |
| 16-§. Симметрия ўқларига эга бўлган кесимларнинг геометрик характеристикалари . . . . . | 107 |
| 17-§. Носимметрик кесимларнинг геометрик характеристикалари . . . . .                   | 117 |
| 6-боб. Ясси эгилиш. Ички зўриқиш ва кучланишлар . . . . .                               | 125 |
| 18-§. Қундаланг кучлар ва эгувчи моментларнинг эпюралари . . . . .                      | 125 |
| 19-§. Эгилишдаги нормал кучланишлар . . . . .                                           | 141 |
| 20-§. Эгилишдаги уринма кучланишлар. Эгилиш маркази . . . . .                           | 154 |
| 21-§. Эгилишдаги бош кучланишлар. Балкаларнинг мустаҳкамлигини тўлиқ текшириш . . . . . | 165 |
| 7-боб. Эгилишдаги деформация ва кўчишлар . . . . .                                      | 173 |
| 22-§. Кўчишларни аниқлашнинг аналитик усуллари . . . . .                                | 173 |
| 23-§. Эгилишдаги силжишларни аниқлашнинг графоаналитик ва график усуллари . . . . .     | 187 |
| 24-§. Кўчишларни аниқлашнинг энергетик усуллари . . . . .                               | 196 |
| 25-§. Балкалардаги кўчишларни исталган усулда аниқлаш . . . . .                         | 206 |



|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 8-б о б. Таркибий балкалар. Узгарувчан кесимли балкалар . . . . .    | 214 |
| 26-§. Таркибий балкалар . . . . .                                    | 214 |
| 27-§. Узгарувчан кесимли балкалар . . . . .                          | 222 |
| 9-б о б. Статик аниқланмайдиган системалар . . . . .                 | 231 |
| 28-§. Балкалар . . . . .                                             | 231 |
| 29-§. Рамалар . . . . .                                              | 249 |
| 10-б о б. Мураккаб қаршилик . . . . .                                | 261 |
| 30-§. Қийшиқ ва фазовий эгилиш . . . . .                             | 261 |
| 31-§. Марказдан ташқаридаги чўзилиш ва сиқилиш . . . . .             | 275 |
| 32-§. Бўйлама ва кўндаланг кучларнинг бир вақтдаги таъсири . . . . . | 285 |
| 33-§. Эгилиш ва буралиш . . . . .                                    | 292 |
| 34-§. Мураккаб қаршилиқнинг умумий ҳоли . . . . .                    | 301 |
| 35-§. Юпқа деворли стерженлар . . . . .                              | 309 |
| 11-б о б. Конструкциялар қисмларининг устиворлиги . . . . .          | 323 |
| 36-§. Сиқилган стерженларнинг устиворлиги . . . . .                  | 323 |
| 12-б о б. Юқларнинг динамик ва узоқ таъсири . . . . .                | 325 |
| 37-§. Инерция кучларининг таъсири . . . . .                          | 325 |
| И л о в а л а р . . . . .                                            | 328 |

*Николай Михайлович Беляев,  
 Лев Александрович Белявский,  
 Яков Исаевич Кипнис,  
 Никита Юрьевич Кушелев  
 и Анатолий Константинович Синицкий*

### СБОРНИК ЗАДАЧ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

*Учебное пособие для студентов высших технических учебных заведений*

Перевод со второго издания. М., «Наука», 1972.

На узбекском языке

Издательство «Ўзбекистон»—1993—700129, Ташкент, Навои, 30.

Таржимон Б. Қорабоев  
 Муҳаррир С. Мирзобоева  
 Бадний муҳаррир Р. Неккадамбоев  
 Техн. муҳаррир А. Бахтиёрро  
 Мусаҳҳиҳа Г. Азизова

Теришга берилди 12.02.92. Босишга рухсат этилди 2.12.92. Бичими 60×90<sup>1/8</sup>. Босма қоғо-  
 зи № 2. Литературная гарнитурада. Юқори босма усулида босилди. Шартли б. л. 21,0.  
 Нашр л. 22.99. 3000 нусхада. Буюртма № 388. Баҳоси шартнома асосида.

«Ўзбекистон» нашриёти, 700129, Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Шартнома № 26—96.

Ўзбекистон Республикаси Давлат Матбуот қўмитаси Тошкент матбаа комбинатининг ижара-  
даги корхонасида босилди. 700129, Тошкент Навоий кўчаси, 30.

