ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

М.УЛУҒБЕК НОМИДАГИ САМАРҚАНД ДАВЛАТ АРХИТЕКТУРА-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ

Н.М. МЕЛИҚУЛОВ

Материаллар қаршилигидан амалий машғулотлар учун қўлланма

(машқлар ва масалалар тўплами)

(2-қисм)

Олий техника ўқув юртлари талабалари учун ўқув қўлланма

С а м а р қ а н д   2007 й и л

Н.М.Меликулов. Материаллар қаршилигидан амалий машғулотлар учун қўлланма (2-қисм). Қурилиш олий ўқув юртларининг талабалари учун ўқув қўлланма. Самарқанд, 2007 йил 136 бет

Қўлланмада материаллар қаршилиги фанининг “Эгилишда балканинг деформацияларини аниқлаш”, “Статик аниқмас балкалар ҳисоби”, “Мураккаб қаршилик”, “Очиқ профилли юпқа деворли стерженлар”, “Эгри стерженлар”, “Сиқилган стерженларнинг устиворлиги (бўйлама эгилиш)” ва “Динамик кучлар ва зарб юклар таъсири” мавзуларидан қисқача назарий маълумотлар, назорат саволлари, шу мавзуларга доир типавий мисол ва масалаларни ечиш усуллари кўрсатилган, юқоридаги ҳамма мавзуларда мустақил ечиш учун мисол ва масалалар берилган.

Тақризчилар : техника фанлари доктори
Исмайилов Кўбоймурод Исмойилович

техника фанлари номзоди, доцент
Маматқулов Мардон Маматқулович

М. Улуғбек номидаги Самарқанд давлат архитектура-қурилиш институти илмий кенгаши 2007 йил 30 август (баённома № 1) қарори билан ўқув қўлланма сифатида тавсия этилган.

Сўз боши

“Материаллар қаршилиги фанини ўзлаштиришда амалий дарс, лаборатория машғулотлари, талабалар томонидан бажариладиган ҳисоблаш график ишлари ўқув жараёнининг мухим таркибий қисми ҳисобланади.

Ушбу қўлланма талабаларга “Материаллар қаршилиги” фанидан амалий машғулотларда типовий масалаларни ечиш усулини мустақил ўрганишга ёрдам беради. Қўлланманинг тузилиши ва материалининг баён этилиш услуби ана шу мақсадни кўзлаб танланган.

Қўлланмада материаллар қаршилиги фанининг “Эгилишда балканинг деформацияларини аниқлаш”, “Статик аниқмас балкалар ҳисоби”, “Мураккаб қаршилик”, “Очиқ профилли юпқа деворли стерженлар”, “Эгри стерженлар”, “Сиқилган стерженларнинг устиворлиги (бўйлама эгилиш)” ва “Динамик кучлар ва зарб юклар таъсири” мавзулари бўйича қисқача назарий маълумотлар берилган бўлиб, бу эса талабаларга кам вақт сарф қилиб маърузада ўтилган материалларни эслашга ёрдам беради. Ўқув қўлланманинг асосий қисми типовий мисол ва масалаларни ечишга ажратилган ва батафсил баён қилинган, бунда талабанинг ўқитувчи ёрдамисиз масалани ечиш усулини мустақил тушуниб олишга имкон беради.

Ўқув қўлланманинг юқорида айтилган ҳар бир мавзусида мустақил ечиш учун келтирилган мисол ва масалалар талабага фаннинг мавзуси бўйича масалалар ечиш усулларини қанчалик ўзлаштириб олганлигини текшириб кўришга имкон беради.

Қўлланма қурилиш таълим йўналишидаги олий ўқув юртларининг талабалари учун мўлжалланган.

Эгилишда балкаларнинг деформацияларини аниқлаш

Балка бош инерция текисликларидан бирида ётган ташқи кучлар таъсирида тўғри эгилади ва унинг ўқи ҳам шу текисликда эгилади. Балканинг деформацияланган ўқига эластик чизиқ дейилади.

Балканинг деформацияси: салқилик ва айланиш бурчаги билан ҳарактерланади.

Балка кўндаланг кесими огирлик марказининг балка ўқига тик равишда кўчиши унинг кесимдаги салқилиги дейилади ва z ҳарфи билан белгиланади.

Балка ҳар бир кесимининг аввалги вазиятига нисбаттан бурилиш бурчаги шу кесимнинг айланиш бурчаги дейилади ва θ билан белгиланади.

Балканинг салқилиги z абсцисса ўқи x орасидаги муносабатни ифодаловчи $z(x) = f(x)$ тенгламага эластик чизиқ тенгламаси дейилади.

Математикадан маълумки, $z(x) = f(x)$ эгри чизиққа ўтказилган уринманинг абсциссалар ўқи билан ҳосил қилган бурчаги

$$tg\theta = \frac{dz}{dx} \tag{7.1}$$

бўлади .

Амалда бу бурчак 1^0 дан кичик бўлганлиги учун $tg\theta \approx \theta$ деб олиб, (7.1) ни қуйидагича ёзамиз:

$$\theta = \frac{dz}{dx} = z'. \tag{7.2}$$

Тўғри эгилишда эластик чизиқнинг эгрилиги, эгувчи момент ва балка бикрлиги орасида қуйидаги муносабат мавжуддир:

$$\frac{1}{\rho(x)} = \frac{M(x)}{EJ_y}; \tag{7.3}$$

бунда: $M(x)$ - координата бошидан x масофада турган кесимдаги эгувчи момент;

$\rho(x)$ - балка эластик чизиғининг шу кесимдаги эгрилик радиуси;

EI_y - балка кўндаланг кесимининг бикрлиги.

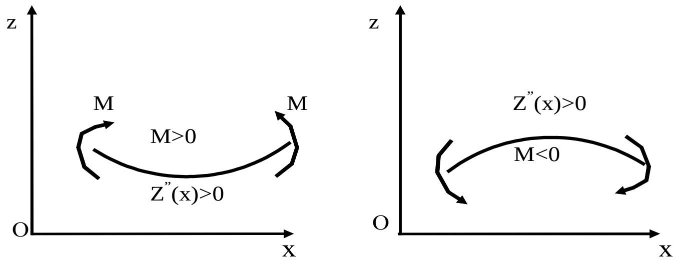
(7.3) муносабатдан фойдаланиб балка эластик чизиғининг тақрибий дифференциал тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$EJ_y z''(x) = M(x) \tag{7.4}$$

Агар z ўқининг йўналиши юқорига қараса (7.1-шакл), (7.4) тенгламанинг иккала томонининг ишоралари бир хил бўлади. (7.4) тенгламани бир марта интеграллаб кесимнинг айланиш бурчагининг, яна бир марта интеграллаб кесим салқилигини топиш учун қуйидаги ифодаларни ҳосил қиламиз:

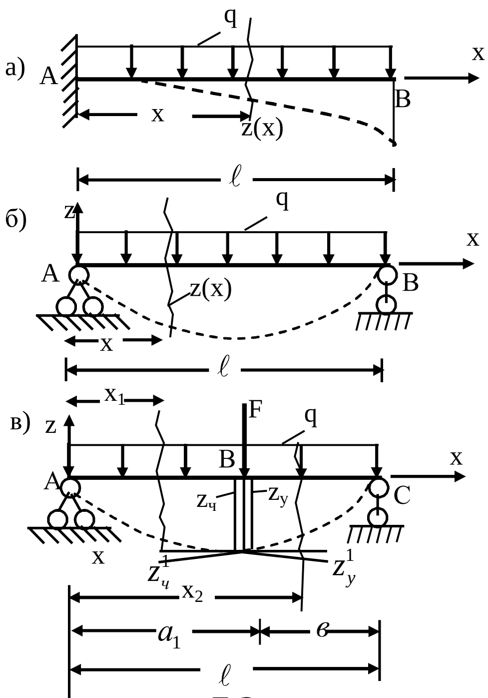
$$\theta(x) = \frac{1}{EJ_y}\left[\int M(x)dx + C\right]; \qquad (7.5)$$

$$Z(x) = \frac{1}{EJ_y}\left[\int dx \int M(x)dx + Cx + D\right]; \qquad (7.6)$$



7.1-шакл

Бу тенгламалардаги C ва D ихтиёрий ўзгармас сонларнинг қийматларини балканинг тиралиш шартларидан фойдаланиб топамиз:



7.2- шакл

$$x = 0 \quad \text{бўлганда} \quad \left.\begin{array}{l} z_A^1(0) = 0 \\ z_A(0) = 0 \end{array}\right\} \qquad (7.7)$$

$$x = 0 \quad \text{бўлганда} \quad z_A(0) = 0$$

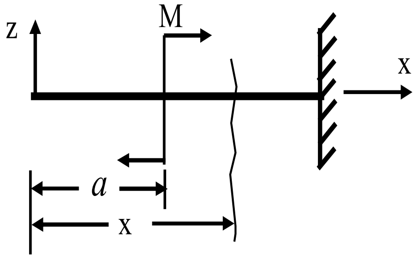
$$x = \ell \quad \text{бўлганда} \quad z_B(\ell) = 0 \qquad (7.8)$$

$$x_1 = x_2 = a \quad \text{бўлганда} \quad \left.\begin{array}{l} z_ч^1(a) = z_y^1(a) \\ z_ч(a) = z_y(a) \end{array}\right\} \qquad (7.9)$$

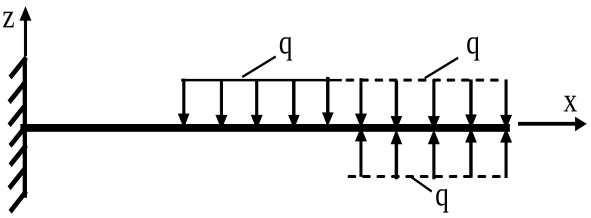
Агар балка бир участкадан иборат бўлса, ўзгармаслар сони 2 га тенг, n та бўлса, $2n$ та ўзгармас сон бўлади. Буларни топиш учун эса $2n$ та тенгламани биргаликда ечишга тўғри келади, бу эса кўп вақт ва меҳнат талаб қилади.

Қуйида махсус йўлларни тадбиқ этиб участкалар сони қанча бўлишидан қатъий назар ўзгармаслар сонини иккитага келтириш мумкин:

1) Эгувчи момент тенгламаларини координата боши билан тегишли кесим орасида жойлашган ташқи кучлардан тузамиз.
2) Эгувчи момент тенгламаларини қавсларини очмасдан интеграллаймиз.
3) Эгувчи момент тенгламасига кирган жуфт куч ҳадини $(x-a)^0$ биномга кўпайтирамиз , бу бином 1 га тенг бўлганлиги учун жуфт куч қийматига халал етказмайди (7.3-шакл).
4) Текис ёйилган куч балканинг охиригача етмаган бўлса, уни балканинг охиригача давом эттирамиз ва унинг илгариги мувозанатини бузмаслик учун давом эткизилган куч интенсивлигидаги кучни тегишли масофада тескари йўналишда қўямиз (7.4-шакл).



7.3 - шакл



7.4 - шакл

Ўзгармас кесимли балкага барча кучлар, яъни тўпланган, жуфт ва ёйилган кучлар таъсир этаётган ҳолда юқоридаги махсус йўлларни ҳисобга олиб унинг салқилиги ва айланиш бурчаги учун умумлашган тенгламани ёзамиз:

$$z(x) = f_0 + \theta_0 \cdot x + \frac{1}{EJ_y}\left[\sum M\frac{(x-a)^2}{2} + \sum F\frac{(x-в)^3}{6} + \sum q\frac{(x-c)^4}{24} - \sum q\frac{(x-d)^4}{24}\right]; \tag{7.10}$$

$$\theta(x) = z'(x) = \theta_0 + \frac{1}{EJ_y}\left[\sum M(x-a) + \sum F\frac{(x-в)^2}{2} + \sum q\frac{(x-c)^3}{6} - \sum q\frac{(x-d)^3}{6}\right]; \tag{7.11}$$

бунда f_0 ва θ_0 - лар мос равишда координата боши жойлашган кесимнинг бошланғич салқилиги ва айланиш бурчагини ифодалайди.

Бу формулаларга бошланғич параметрлар усули ёки универсал формулалар дейилади.

Агар координата боши қистириб маҳкамланган таянчга жойлашса $f_0 = \theta_0 = 0$, агар оддий шарнирли таянчга жойлашса $f = 0,\ \theta_0 \neq 0$

бўлиб, ўнг таянчда салқилик нолга тенглик шартидан θ_0 топилади, агар консолнинг эркин учига жойлашган бўлса, $f_0 \neq \theta_0 \neq 0$ бўлади ва иккаласи ҳам қистириб маҳкамланган таянчда салқилик ва айланиш бурчаги нолга тенглик шартидан топилади.

Умумий ҳолда ташқи кучларнинг бажарган иши қуйидагича бўлади:

$$T = \sum \frac{F_n \delta_n}{2}; \tag{7.12}$$

бунда T - ташқи кучларнинг бажарган иши;

F_n - умумлашган кучлар;

δ_n - умумлашган кўчишлар.

Эгувчи момент ва кесувчи кучларни ҳисобга олган холда кўндаланг эгилишда деформациянинг потенциал энергияси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$U = \sum \int_0^{\ell} \frac{M^2 dx}{2EJ_y} + \sum \int_0^{\ell} \frac{\eta Q^2 dx}{2GA}; \tag{7.13}$$

бунда η - балка кўндаланг кесимининг шаклига боғлиқ бўладиган коэффициент масалан, тўғри тўртбурчак учун $\eta = 1{,}2$; доиравий кесим учун $\eta = 1{,}11$; қўштавр учун $\eta = 2{,}5$ ва хоказа.

Амалда биринчи интегралга нисбатан иккинчи интеграл жуда кичик бўлганлиги учун уни ҳисобга олмасак ва потенциал энергиянинг тақрибий ифодасидан фойдаланамиз:

$$U = \sum \int_0^{\ell} \frac{M^2 dx}{2EJ_y}; \tag{7.14}$$

Кастильяно теоремасини тадбик этиб балка кесимларининг деформациясини топишнинг умумий усулларидан биридир. «Деформациянинг потенциал энергиясидан умумлашган кучга нисбатан олинган хусусий ҳосила шу умумлашган куч йўналишидаги кўчишга тенгдир».

$$\Delta_{iF} = \frac{\partial u}{\partial F}; \tag{7.15}$$

бунда u - балка кесимининг потенциал энергияси бўлиб, $u = \int_0^{\ell} \frac{M^2(x)dx}{2EJ_y}$ га тенгдир.

F - умумлашган куч бўлиб F ёки M га тенг;

Δ - умумлашган кўчиш бўлиб z ёки θ га тенгдир.

Бу формулага Кастильяно теоремаси дейилади.

Хусусий ҳосила тўпланган кучга ёки моментга нисбатан олинса, у эластик система чизиқли элементининг мос равишда тўпланган куч йўналишидаги салқилиги ёки момент йўналишидаги айланиш бурчагига тенг бўлади:

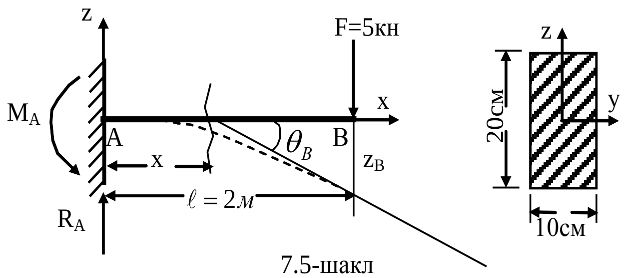
$$z = \frac{\partial u}{\partial F}; \quad \theta = \frac{\partial u}{\partial M}; \tag{7.16}$$

Потенциал энергия (u) ўрнига унинг (7.13) формуладаги балка учун чиқарилган қийматини қўйиб, (7.12) формулани балкага тадбиқ этиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\Delta_{iF} = \sum \frac{1}{EJ_y} \int_0^{\ell} M(x) \frac{\partial M(x)}{\partial F} dx; \tag{7.17}$$

7.1-мисол.

Кўндаланг кесими тўғри тўртбурчакдан иборат бўлган ёғоч консоль эркин учининг айланиш бурчаги ва салқилиги бевосита интеграллаш усули билан аниқлансин (7.5-шакл).



7.5-шакл

Ечиш: Таянч реакциялари: $R_A = 5кн,\ M_A = 10кнМ$. бўлади. Координата бошини шаклда кўрсатилгандек жойлаштириб эгилган ўқнинг дифференциал тенгламасини (7.4) формуладан фойдаланиб тузамиз:

$$EJ_y z''(x) = M(x).$$

Координата бошидан x масофада кесим олиб, унга нисбатан эгувчи момент тенгламасини тузамиз:

$$M(x) = -F(\ell - x)/$$

У холда эгилган ўқнинг дифференциал тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$EJ_y z''(x) = -F(\ell - x).$$

Бу тенгламани икки марта интеграллаб ихтиерий кесимнинг айланиш бурчаги ва салқилигини топиш тенгламаларини ҳосил қиламиз:

$$EJ_y z^{'}(x) = -F(\ell x - \frac{x^2}{2}) + C; \qquad (1)$$

$$EJ_y z(x) = -F(\ell\frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6}) + C\cdot x + D; \qquad (2)$$

(7.7) чегара шартидан фойдаланиб, C ва D ўзгармас сонларни топамиз:

$x = 0$ бўлганда $z_{\text{A}}^1(0) = 0$ бўлади, (1) дан C=0,

$z_{\text{A}}(0) = 0$ бўлади, (2) дан D=0 ларни топамиз.

Бу қийматларни (1) ва (2) га қўямиз ва қуйидагига эга бўламиз:

$\text{E}J_y z'(x) = -F(\ell x - \frac{x^2}{2})$; $\qquad \text{E}J_y z(x) = -F(\ell x\frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6})$;

Бу тенгламаларга $x = \ell = 2м$ ни қўйиб, консолнинг эркин учининг айланиш бурчаги ва салқилигини топамиз:

$$z_B^1(0) = \ \theta = -\frac{F}{\text{E}J_y}(\ell\cdot\ell - \frac{\ell^2}{2} = -\frac{F\cdot\ell^2}{2\text{E}J_y} = -\frac{5\cdot10^2(200)^2}{2\cdot1\cdot10^5 10\cdot(20)^3} = -0.00375\,рад.$$

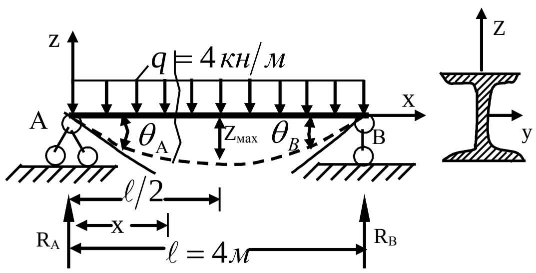
$$z_B(0) = -\frac{F}{\text{E}J_y}(\ell\frac{\ell^2}{2} - \frac{\ell^3}{6}) = -\frac{F\ell^3}{3\text{E}J_y} = -\frac{5\cdot10^2(200)^2\cdot12}{2\cdot1\cdot10^5\cdot10\cdot(20)^3} = -0{,}25\ см.$$

<u>7.2- мисол</u>.

Қўштавр кесимли пўлат балканинг танчларининг айланиш бурчаги ва балка ўртасининг салқилиги бевосита интеграллаш усули билан топилсин (7.6-шакл) Қўштавр №20, $J_y = 1840\,см^4$.

Ечиш: Таянч реакциялари $R_{\text{A}} = R_B = 8\,кн$ бўлади.

Чап таянчдан x масофада кесим олиб, чап томондаги кучлардан кесим марказига нисбатан моментлар йиғиндисини оламиз:



7.6-шакл

$$\Sigma\text{M}_0 = 0; \quad \text{M}(x) = R_{\text{A}}\cdot x - q\frac{x^3}{3}) = 2(4x - x^2).$$

Буни хисобга олиб, (7.5) ва (7.6) ларни қуйидагича ёзамиз:

$$\theta(x) = \frac{2}{\text{E}J_y}(4\frac{x^2}{6} - \frac{x^3}{3}) + C \qquad (1)$$

$$z(x) = \frac{2}{\text{E}J_y}(4\frac{x^3}{6} - \frac{x^4}{12}) + C\cdot x + D \qquad (2)$$

Бу ифодалардаги C ва D ўзгармаслар (7.8) чегара шартидан фойдаланиб аниқланади;

$x = 0$ бўлганда (2) дан $D = 0$ бўлади;

$x = \ell$ бўлганда (2) дан $\frac{2}{\mathrm{E}J_y}(4\frac{\ell^3}{6} - \frac{\ell^4}{12}) + C\ell = 0;$ бундан $C = -\frac{32}{3\mathrm{E}J_y}$ бўлади.

C ва D ларнинг қийматини (1) ва (2) га қўйиб, $\theta\,(x)$ *ва* $z(x)$ учун қуйидаги ифодаларни оламиз.

$$\theta\,(x) = \frac{2}{\mathrm{E}J_y}(2x^2 - \frac{x^3}{3} - \frac{16}{3}) \; ; \qquad (3)$$

$$z(x) = \frac{2}{\mathrm{E}J_y} = \frac{2}{\mathrm{E}J_y}(\frac{2x^2}{3} - \frac{x^4}{12} - \frac{16}{3}x) \; ; \qquad (4)$$

Энди масаланинг шартини бажаришга ўтамиз:

$x = 0$ бўлганда (3) дан

$$\theta_{\mathrm{A}}(0) = \frac{32}{3EJ_y} = -\frac{32 \cdot 10^6}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1840} = -0{,}0029 \text{ рад},$$

$x = \ell = 4м$ бўлганда (3) дан

$$\theta_B(4) = \frac{2}{3EJ_y}\left(2 \cdot 4^2 - \frac{4^3}{3} - \frac{16}{3} \right) = \frac{32}{3\mathrm{E}J_y} = 0{,}0029 \text{ рад},$$

$x = \frac{\ell}{2} = 2м$ бўлганда (4) дан

$$z_{мах}(2) = \frac{2}{\mathrm{E}J_y}\left(\frac{2 \cdot 2^3}{3} - \frac{2^4}{12} - \frac{16}{3} \cdot 2\right) = -\frac{40}{3\mathrm{E}J_y} = -\frac{40 \cdot 10^8}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 1840} = -0{,}36см.$$

7.3- мисол.

Доиравий кўндаланг кесимли ёғоч балканинг таянчларининг айланиш бурчаги ва B кесимининг салқилиги бевосита интеграллаш усули билан аниқлансин (7.7-шакл).

Ечиш: Таянч реакцияларини ҳисоблаймиз :

$$\Sigma M_{\mathrm{A}} = -R_c \cdot 6 + q \cdot 4 \cdot 4 + F \cdot 2 = 0;$$

$$R_c = \frac{16q + 2F}{6} = \frac{16 \cdot 4 + 2 \cdot 1}{6} = 11кн \; ;$$

$$\Sigma M_c = R_{\mathrm{A}} \cdot 6 - F \cdot 4 - q \cdot 4 \cdot 2 = 0; \qquad R_{\mathrm{A}} = \frac{4F + 8q}{6} = \frac{4 \cdot 1 + 8 \cdot 4}{6} = 6кн.$$

Текшириш: $\Sigma Z = R_{\mathrm{A}} - F - q \cdot 4 + R_c = 6 - 1 \cdot 4 + 11 = 17 - 17 = 0.$

Демак, таянч реакциялари тўғри топилибди.

Балка иккита AB ва BC участкаларга бўлинади.

AB участкада $(0 \le x_1 \le 2)$; $\quad$ $M_1(x) = R_A \cdot x_1 = 6x_1$.

Эластик чизиқнинг дифференциал тенгламаси $EJ_y z_1^{11}(x) = 6x_1$;

Буни икки марта интеграллаймиз:

$$EJ_y z_1^1(x) = 6\frac{x_1^2}{2} + C_1 \qquad (1)$$

$$EJ_y z_1(x) = 6\frac{x_1^3}{6} + C_1 x_1 + D_1 \qquad (2)$$

BC участкада $(2 \le x_2 \le 6)$;

$$M_2(x) = R_A \cdot x_2 - F(x_2 - 2) - q\frac{(x_2 - 2)^2}{2} = 6x_2 - 1(x_2 - 2) - 2(x_2 - 2)^2.$$

Эластик чизиқнинг дифференциал тенгламаси $EJ_y z_2^{11}(x) = 6x_2 - 1(x_2 - 2) - 2(x_2 - 2)^2$.

Буни икки марта интеграллаймиз:

$$EJ_y z_2^1(x) = 6\frac{x_2^2}{2} - 1\frac{(x_2 - 2)^2}{2} - 2\frac{(x_2 - 2)^3}{-3} + C_2 \qquad (3)$$

$$EJ_y z_2(x) = 6\frac{x_2^3}{6} - 1\frac{(x_2 - 2)^3}{6} - 2\frac{(x_2 - 2)^{43}}{12} + C_2 x_2 + D_2 \qquad (4)$$

C_1, C_2, D_1 ва D_2 ўзгармас сонлар (7.8) ва (7.9) чегара шартларидан фойдаланиб аниқланади:

$x_1 = 0$ бўлганда (2) дан $D_1 = 0$ бўлади.

$x_1 = x_2 = 2$ бўлганда $z_1^1(2) = z_2^1(2)$, бўлади, (1) ва (3) дан $C_1 = C_2$ ни оламиз.

$x_1 = x_2 = 2$ бўлганда $z_1(2) = z_2(2)$ бўлади, (2) ва (4) дан $D_1 = D_2 = 0$ ни оламиз.

$x_1 = x_2 = 2$ бўлганда $z_2(6) = 0$ бўлади, (4) дан $D_1 = D_2 = 0$ ни оламиз.

$x_2 = 6$ бўлганда $z_2(6) = 0$ бўлади (4) дан

$0 = 6^3 - \frac{4^3}{6} - \frac{4^4}{6} + C_2 \cdot 6$; $\quad C_2 = -\frac{244}{9}$.

Демак, $C_1 = C_2 = -\frac{244}{9}$; $\quad D_1 = D_2 = 0$ бўлар экан.

Барча номаълумлар топилди, энди масаланинг шартини бажаришга ўтамиз:

$x_1 = 0$ бўлганда (1) тенгламадан A таянчнинг айланиш бурчагини аниқлаймиз:

$$\theta_A = z_A^1(0) = -\frac{C_1}{EJ_y} = -\frac{244 \cdot 10^6 \cdot 64}{9 \cdot 1 \cdot 19^5 \cdot 3{,}14 \cdot 25^4} = -0{,}014 \text{ рад.}$$

$x_1 = 2м$ бўлганда (2) тенгламадан B кесимнинг салқилигини аниқлаймиз:

$$z_B^{(2)} = \frac{1}{EJ_y}\left[x_1^3 + C_2 \cdot x_1\right] = \frac{10^8 \cdot 64}{1 \cdot 10^5 \cdot 3{,}14 \cdot 25^4}\left(2^3 - \frac{244}{9} \cdot 2\right) = -2{,}4см$$

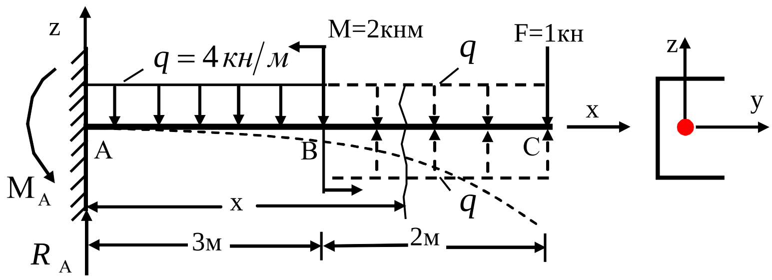
$x_2 = 6м$ бўлганда (3) тенгламадан C кесимнинг айланиш бурчагини аниқлаймиз:

$$\theta_c = z_c^1(6) = \frac{1}{EJ_y}\left[3 \cdot x_2^2 - \frac{(x_2-2)^2}{2} - 2\frac{(x_2-2)^3}{6} + C_2\right] =$$

$$= \frac{10^6 \cdot 64}{1 \cdot 10^5 \cdot 3{,}14 \cdot 25^4}\left(3 \cdot 6^2 - \frac{4^2}{2} - \frac{4^3}{3} - \frac{244}{9}\right) = 0{,}008 рад.$$

7.4-мисол.

Кўндаланг кесими швеллердан иборат бўлган пўлат консолнинг эркин учининг айланиш бурчаги ва салқилиги бошланғич параметр усулидан фойдаланиб аниқлансин (7.8-шакл). Швеллернинг №20 бўлиб, $J_y = 1520 см^4$ бўлади.



7.8-шакл

Ечиш: Таянч реакцияларини ҳисоблаймиз:

$$\Sigma z = R_A - q \cdot 3 - F = 0$$

$$R_A = 3q + F = 3 \cdot 4 + 1 = 13кн\ ;$$

$$\Sigma M_A = -M_A + F \cdot 5q \cdot 3 \cdot 1{,}5 = 0;$$

$$M_A = 5F - M + 4.5q = 5 \cdot 1 - 2 + 4{,}5 \cdot 4 = 21кнм.$$

Консолнинг иккинчи участкасидан олинган кесими учун (7.10) ва (7.11) формуладан фойдаланиб универсал формулаларни ёзамиз:

$$z(x) = f_0 + \theta_0 \cdot x + \frac{1}{EJ_y}\left[-M_A\frac{x^2}{2} + R_A\frac{x^3}{6} - q\frac{x^4}{24} - M\frac{(x-3)^2}{2} + q\frac{(x-3)^4}{24}\right], \qquad (1)$$

$$z^1(x) = \theta_0 + \frac{1}{EJ_y}\left[-M_A \cdot x + R_A\frac{x^2}{2} - q\frac{x^3}{6} - M(x-3) + q\frac{(x-3)^3}{6}\right], \qquad (2)$$

бунда f_0 ва θ_0 лар мос равишда координата бошининг бошланғич салқилиги ва айланиш бурчагини ифодалайди.Координата боши қистириб маҳкамланган таянчда жойлашганлиги учун иккаласи ҳам $f_0 = \theta_0 = 0$ га тенг бўлади

(1) ва (2) формулаларга $x = \ell = 5м$ ни қўйиб, консолнинг эркин учининг, яъни C кесимининг салқилиги ва айланиш бурчагини топамиз:

$$z_c(5) = \frac{1}{EJ_y}\left[-21\frac{5^2}{2} + 13\frac{5^3}{6} - 4\frac{5^4}{24} - 2\frac{2^2}{2} + 4\frac{2^4}{24}\right] = -\frac{583\cdot 10^8}{6\cdot 2\cdot 10^6\cdot 1520} = -3{,}20см.$$

$$z^1_C(5) = \theta_B = \frac{10^6}{2\cdot 10^6\cdot 1520}\left[-21\cdot 5 + 13\frac{5^3}{6} - 4\frac{5^2}{2} - 4\frac{5^2}{6} - 2\cdot 2 + 4\frac{2^3}{6}\right] = -0{,}089\ рад.$$

<u>7.5- мисол</u>

7.9 шаклда кўрсатилган пўлат балка таянчларининг айланиш бурчаги ва B, D кесимларнинг салқилиги бошланғич параметр усули билан топилсин.

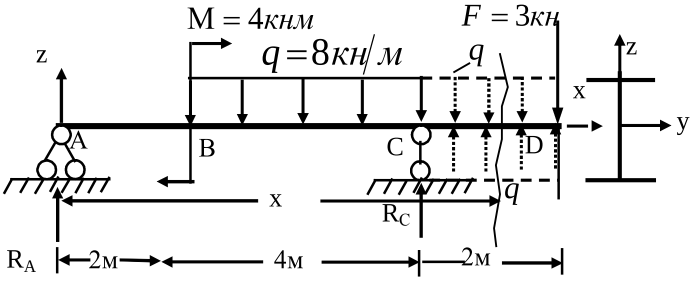
Қўштаврнинг №50 бўлиб, $J_y = 39290см^4$ га тенгдир.

Ечиш: таянч реакцияларини хисоблаймиз :

$\Sigma M_A = F\cdot 8 - R_C\cdot 6 + q\cdot 4\cdot 4 + M = 0$;

$$R_C = \frac{8\cdot F + R_C + M}{6} = \frac{8\cdot 3 + 16\cdot 8 + 4}{6} = 26кн$$

$\Sigma M_C = R_A\cdot 6 + M - q\cdot 4\cdot 2 + F\cdot 2 = 0$;



7.9-шакл

$$R_A = \frac{8q - M - 2F}{6} = \frac{8\cdot 8 - 4 - 2\cdot 3}{6} = 9кн.$$

Текшириш: $\Sigma Z = R_A - q\cdot 4 + R_C - F = 9 - 8\cdot 4 + 26 - 3 = 35 - 35 = 0.$

Демак, таянч реакцияларининг қийматлари тўғри топилибди.

Энди координата бошини A таянчга жойлаштириб, балканинг охирги участкасидан олинган x кесим учун (7.10) ва (7.11) формулалардан фойдаланиб универсал формулаларни тузамиз:

$$z(x) = f_0 + \theta_0\cdot x + \frac{1}{EJ_y}\left[R_A\frac{x^3}{6} + M\frac{(x-2)^2}{2} - q\frac{(x-2)^4}{24} + R_C\frac{(x-6)^3}{6} + q\frac{(x-6)^4}{24}\right], \quad (1)$$

$$z'(x)=\theta_0+\frac{1}{EJ_y}\left[R_A\frac{x^2}{6}+M(x-2)-q\frac{(x-2)^3}{6}+R_C\frac{(x-6)^{21}}{2}+q\frac{(x-6)^3}{6}\right], \qquad (2)$$

бунда f_0 ва θ_0 лар мос равишда координата бошининг бошланғич салқилиги ва айланиш бурчагини ифодалайди, координата боши шарнирли таянчга қўйилганлиги сабабли $f_0=0$ тенг бўлиб, $\theta_0\neq 0$ фарқлидир. θ_0 С таянчда салқилик нолга тенглик шартидан топилади. $x=6м$ ни (1) формулага қўйсак, кесим С таянчга кўчади, юқоридаги қоидани биринчи пунктига асосан, кесимдан ташқарида қолган иккита ҳади эътиборсиз қолдирилади.

$$z(6)=\theta_0\cdot 6+\frac{1}{EJ_y}\left[9\frac{6^3}{6}+4\frac{4^2}{2}-8\frac{4^4}{24}\right]=0\,; \quad \theta_0=-\frac{406}{9EJ_y},$$

f_0 ва θ_0 ларнинг қийматларини (1) ва (2) формулаларга қўйиб масаланинг шартини бажарамиз:

x=0 бўлганда (2) формуладан А таянчнинг айланиш бурчагини топамиз:

$$z^1_A(0)=\theta_A=-\frac{406}{9EJ_y}=-\frac{406\cdot 10^6}{9\cdot 2\cdot 10^6\cdot 38290}=-0{,}0057\,рад.$$

x=2 м бўлганда (1) формуладан фойдаланиб, В кесимнинг салқилигини топамиз:

$$z_B(2)=-\frac{406}{9EJ_y}\cdot 2+\frac{1}{EJ_y}\left(9\frac{2^3}{6}\right)=-\frac{812\cdot 10^8}{9\cdot 2\cdot 10^6\cdot 1840}+\frac{12\cdot 10^8}{2\cdot 10^6\cdot 39290}=-0{,}099\,см\ .$$

x=6 м бўлганда (2) формуладан С таянчнинг айланиш бурчагини топамиз:

$$z^0(6)=\theta_C=-\frac{406}{9EJ_y}+\frac{1}{EJ_y}\left(9\frac{6^2}{2}+4\cdot 4-8\frac{4^3}{6}\right)=\frac{428\cdot 10^6}{9\cdot 2\cdot 10^6\cdot 39290}=0{,}0006\ рад.$$

x=8 м ни (1) формулага қўйиб D кесимнинг салқилигини топамиз:

$$z_D(8)=-\frac{406}{9EJ_y}\cdot 8+\frac{1}{EJ_y}\left(9\frac{8^3}{6}+4\frac{6^2}{2}-8\frac{4^4}{24}+26\frac{2^3}{6}+8\frac{2^4}{24}\right)=\frac{3904\cdot 10^8}{9\cdot 2\cdot 10^6\cdot 39200}=0{,}55\,см.$$

7.6-мисол.

Ўзгармас кўндаланг кесимли ёғоч балка учун кесимнинг салқилиги ва айланиш бурчаги эпюраси қурилсин (7.10-шакл).

Ечиш: Таянч реакцияларини ҳисоблаймиз:

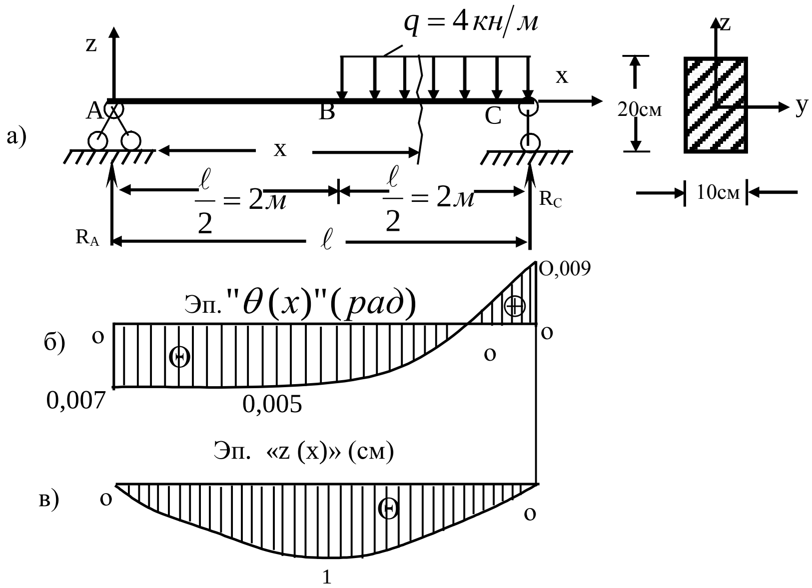
$$\Sigma M_A=-R_c\cdot\ell+q\cdot\frac{\ell}{2}075\ell=0\,;$$

$$R_c = \frac{0{,}75q\ell^2}{2\ell} = \frac{3}{8}q\ell = 6\text{кн}$$

$$\Sigma M_c = R_A \cdot \ell - q \cdot \frac{\ell}{2} \cdot 0{,}25\ell = 0$$

$$R_A = \frac{0{,}25q\ell^2}{2\ell} = \frac{1}{8}q\ell = 2\text{кн}.$$

Текшириш: $\Sigma Z = R_A - q \cdot 2 + R_c = 2 - 4 \cdot 2 + 6 = 8 - 8 = 0.$



7.10-шакл

Энди балканинг иккинчи участкасидан олинган x кесимнинг чап томонидаги ташқи кучлардан (7.10) ва (7.11) дан фойдаланиб универсал формулани тузамиз:

$$z(x) = f_0 + \theta_0 \cdot x + \frac{1}{EJ_y}\left[R_A \frac{x^3}{6} - q\frac{(x-2)}{24}\right], \qquad (1)$$

$$z^1(x) = \theta_0 + \frac{1}{EJ_y}\left[R_A \frac{x^2}{2} - q\frac{(x-2)^3}{6}\right], \qquad (2)$$

бунда $f_0 = 0$, $\theta_0 \neq 0$ бўлиб ўнг таянчда салқилик нолга тенглик шартидан фойдаланиб аниқланади.

$$z(4) = \theta_0 \cdot 4 + \frac{1}{EJ_y}\left[2\frac{4^3}{6} - 4\frac{2^4}{24}\right] = 0\ ;$$

бундан $\theta_0 = -\frac{14}{3EJ_y}$ бўлади.

Топилган қийматларини эътиборга олиб, (2) формуладаги x нинг ўрнига бир нечта қийматлар қўйиб айланиш бурчагининг қийматларини топиб унинг эпюрасини қурамиз:

$$z_{\mathrm{A}}^{1}(0)=\theta_{\mathrm{A}}=-\frac{14}{3EJ_4}=-\frac{14\cdot10^6\cdot12}{3\cdot1\cdot10^5\cdot10\cdot20^3}=-0{,}007\,рад.$$

$$z_{B}^{1}\left(\ell/2\right)=\theta=-\frac{14}{3EJ_y}+\frac{1}{EJ_y}\left(2\frac{2^2}{2}\right)=-\frac{10\cdot10^6\cdot12}{3\cdot1\cdot10^5\cdot10\cdot20^3}=-0{,}005\ рад,$$

$$z_{c}^{1}(\ell=4)=\theta_c=-\frac{14}{3EJ_y}+\frac{1}{EJ_y}\left(2\frac{4^2}{2}-4\frac{2^3}{6}\right)=\frac{18\cdot10^6\cdot12}{3\cdot1\cdot10^5\cdot10\cdot20^3}=0{,}009\ рад\ .$$

Энди (1) формуладаги x га бир нечта қийматлар қўйиб салқилик қийматларини топиб, унинг эпюрасини қурамиз :

$$z_{\mathrm{A}}(0)=-\frac{14}{3EJ_y}\cdot0=0\,;\quad Z_{\mathrm{A}}(0)=0,$$

$$z_B(2)=-\frac{14}{3EJ_y}\cdot2+\frac{1}{EJ_y}\left(2\frac{2^3}{6}\right)=-\frac{20\cdot10^8\cdot12}{3\cdot1\cdot10^5\cdot10\cdot20^3}=-1{,}0см,$$

$$z_c(4)=-\frac{14}{3EJ_y}\cdot4+\frac{1}{EJ_y}\left[2\frac{4^3}{6}-4\frac{24}{24}\right]=-\frac{56}{3EJ_y}+\frac{56}{3EJ_y}=0\,.$$

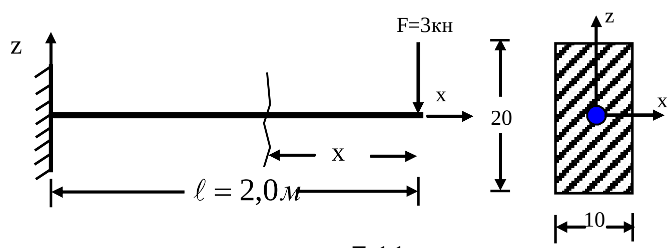
Кесимнинг айланиш бурчаги ва салқилигининг топилган қийматларидан фойдаланиб қурилган эпюралар 7.10-шакл, б, в да кўрсатилган.

7.7-мисол.

Кўндаланг кесими $30\times10\,см^2$ бўлган тўғри тўртбурчак бўлган ёғоч консолнинг потенциал энергияси ва эркин учининг эгилиш салқилиги аниқлансин (7.11-шакл).

Ечиш: Потенциал энергиянинг қийматини қуйидаги формуладан $U=\int_0^\ell\frac{M^2(x)dx}{2EJ_y}$ фойдаланиб хисоблаймиз:

Кесимнинг эркин учидан x масофада кесим олсак, унга нисбатан M(x) ни аниқлаймиз:



7.11-шакл

Кўндаланг кесимнинг инер–ция моменти

$$J_y=\frac{вh^3}{12}=\frac{10(30)^3}{12}=22500см^4\ ,$$

$$U=\int_0^\ell\frac{M^2(x)dx}{2EJ_y}=\frac{F^2}{2EJ_y}\int_0^\ell x^2dx=\frac{F^2\ell}{6EJ_y}=\frac{(300)^2\cdot(200)^3}{6\cdot1\cdot10^5\cdot22500}=533{,}3кгсм\ .$$

Балка эркин учининг эгилиш салқилигини (7.14) формуладан аниқлаймиз:

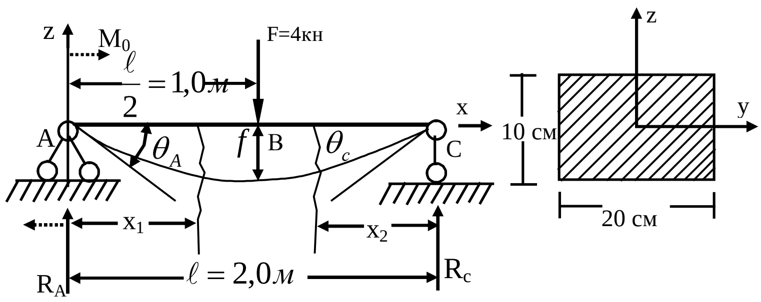
$$\Delta = f = \frac{1}{EJ_y}\int_0^{\ell} M(x)\frac{dM(x)}{dF}dx;$$

бундан $M(x) = -F\cdot x;\ \frac{dM(x)}{dF} = -x$ бўлади.

$$\Delta = f = \frac{1}{EJ_y}\int_0^{\ell} F\cdot x\cdot xdx = \frac{F}{EJ_y}\int_0^{\ell} x^2dx = \frac{F\cdot\ell^3}{3EJ_y} = \frac{300(200)^3}{3EJ_y} = 0{,}356\textit{см}.$$

<u>7.8-мисол.</u>

Ўзгармас кўндаланг кесимли ёгоч балканинг куч қўйилган нуқтасининг эгилиш салқилиги ва таянчлар кесимининг айланиш бурчаги аниқлансин (7.12-шакл).



7.12-шакл

Ечиш: 1) (7.14) формуладан фойдаланиб тўпланган F куч қўйилган кесимнинг эгилиш салқилигини хисоблаймиз:

$$J_y = \frac{вh^3}{12} = \frac{20(10)^3}{12} = \frac{20(10)^3}{12} = 1666{,}67\textit{см}^4\ ,$$

АВ участкада $\left(0 \le x_1 \le \ell/2\right)$; $M_1(x) = R_A\cdot x_1 = \frac{F}{2}\cdot x;\qquad \frac{\partial M_1}{\partial F} = \frac{x_1}{2},$

СВ участкада $(0 \le x_2 \le \ell/2)$; $M_2(x) = R_c\cdot x_2 = \frac{F}{2}\cdot x_2;\qquad \frac{\partial M_2(x)}{\partial F} = \frac{x_2}{2}.$

Балка симметрик юкланганлиги сабабли иккала участка учун ҳам чиқарилган қийматларни (7.14) формулага қўямиз:

$$\Delta = f = \frac{1}{EJ_y}\int_9^{2} M(x)\frac{\partial M(x)}{\partial F} = \frac{2}{EJ_y}\int_0^{\ell/2}\frac{F}{2}\cdot x\cdot\frac{x}{2} = \frac{F\ell^3}{48EJ_y} = \frac{400\cdot(200)^3}{48\cdot1\cdot10^5\cdot1666{,}67} = 0{,}4\textit{см}.$$

2) А таянчга жуфт куч (M_0), яъни вактинчалик умумлашган кучни қўйиб, унинг айланиш бурчагини аниқлаймиз:

Балканинг таянч реакциялари: $R_A = \frac{F}{2} - \frac{M_0}{\ell};\ R_c = \frac{F}{2} + \frac{M_0}{\ell}$ га тенг бўлади.

Иккала участкадаги эгувчи моментлар:

АВ участкада $\mathrm{M}_1(x)=\left(\dfrac{F}{2}-\dfrac{M_0}{\ell}\right)\cdot x_1+M_0$; $\dfrac{\partial M_1(x)}{\partial M_0}=-\dfrac{x_1}{\ell}+1=1-\dfrac{x_1}{\ell}$;.

СВ участкада $\mathrm{M}_2(x)=\left(\dfrac{F}{2}+\dfrac{M_0}{\ell}\right)\cdot x_2$; $\dfrac{\partial M_2(x)}{\partial M_0}=-\dfrac{x_2}{\ell}$.

Буларнинг ҳаммасини эътиборга олиб (7.13) дан θ_A ни топамиз:

$$\theta_{\mathrm{A}}=\frac{1}{\mathrm{E}J_y}\left(\int_0^{\ell/2}M_1(x)\frac{\partial M_1(x)}{\partial M_0}dx+\int_0^{\ell/2}M_2(x)\frac{\partial M_2(x)}{\partial M_0}dx\right)=$$

$$=\frac{1}{\mathrm{E}J_y}\left\{\int_0^{\ell/2}\left[\left(\frac{F}{2}-\frac{\mathrm{M}_0}{\ell}\right)\cdot x_1+\mathrm{M}_0\right]\left(1-\frac{x_1}{\ell}\right)dx_1+\int_0^{\ell/2}\left(\frac{F}{2}+\frac{\mathrm{M}_0}{\ell}\right)\cdot x_2\cdot\frac{x_2}{\ell}dx_2\right\};$$

Агар $\mathrm{M}_0=0$ бўлишини эътиборга олсак, θ_{A} қуйидагича бўлади:

$$\theta_{\mathrm{A}}=\frac{F}{2\mathrm{E}J_y}\left[\int_0^{\ell/2}\left(x_1-\frac{x_1^2}{\ell}\right)dx_1+\int_0^{\ell/2}\frac{x_2^2}{\ell}dx_2\right]=\frac{F}{2\mathrm{E}J_y}\left(\frac{\ell^2}{8}-\frac{\ell^2}{24}+\frac{\ell^2}{24}\right)=\frac{F\ell^2}{16\mathrm{E}J_y}.$$

Балка симметрик юкланганлиги сабабли

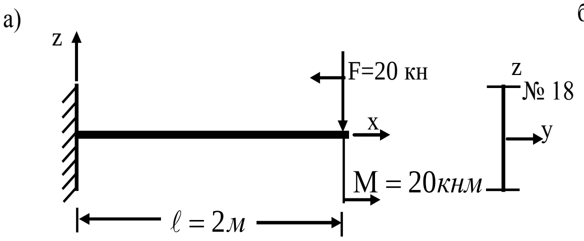
$$\theta_{\mathrm{A}}=-\theta_c=\frac{F\ell^2}{16\mathrm{E}J_y}=\frac{400\cdot(200)^2}{16\cdot1\cdot10^5\cdot1666{,}67}=0{,}006\ \text{рад.}$$

Мустақил ечиш учун мисоллар

7.1. Шаклда кўрсатилган консолларнинг эркин учининг айланиш бурчаги ва салқилиги эгилган укнинг дифференциал тенгламасини интеграллаш йўли билан аниқлансин.

Жавоби: а) $\theta = 0$; б) $\theta = -0{,}0054$ рад;

$f = -0{,}516 см$, $f = 0$.



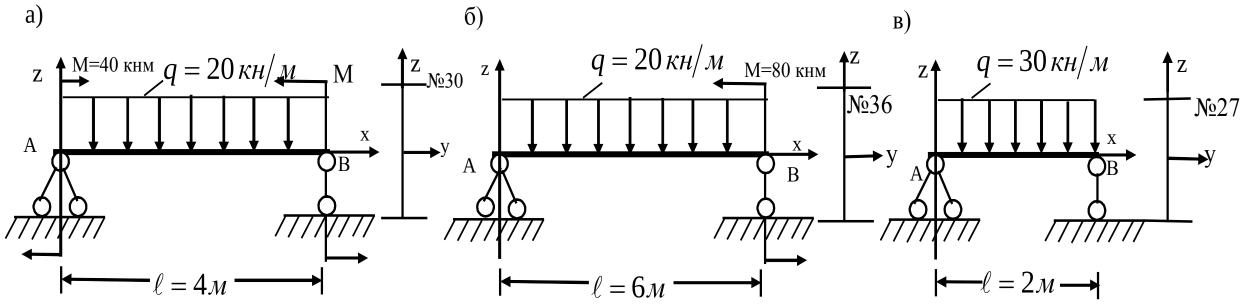
7.1-мисол учун

7.2. Шаклда кўрсатилган балкаларнинг таянчларидаги θ_A ва θ_B айланиш бурчаклари ва пролётларининг ўртасидаги салқилик аниқлансин

Жавоби: а) $\theta_A = -\theta_B = -0{,}0094 рад$; б) $\theta_A = 0{,}0097 рад$; $\theta_B = -0{,}0127 рад$;

$f = -1{,}04 см$; $f = -1{,}94 см$.

в) $\theta_A = -\theta_B = -0{,}001 рад$; $f = -0{,}062 см$.



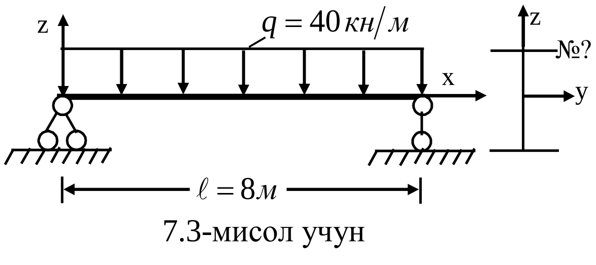
7.2-мисол учун

7.3. Кўндаланг кесими қўштаврдан иборат бўлган икки таянчда ётувчи пўлат балка учун $[f] = \ell/400$ бўлганда сортамент жадвалидан қўштавр танлансин ва мустаҳкамлиги текширилсин.

Жавоби:

Қўштавр №55;

$\sigma_{мах} = 1600 кг/см^2 = [\sigma]$.



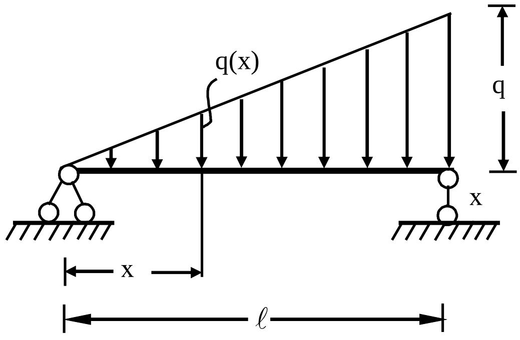
7.3-мисол учун

7.4. Бошланғич параметр усулидан фойдаланиб, шаклда кўрсатилган балка учун энг катта $\left(f_{max} \right)$ салқилик ва пролёт ўртасидаги $\left(f_{\ell/2} \right)$ салқилиги топилсин.

Жавоби:

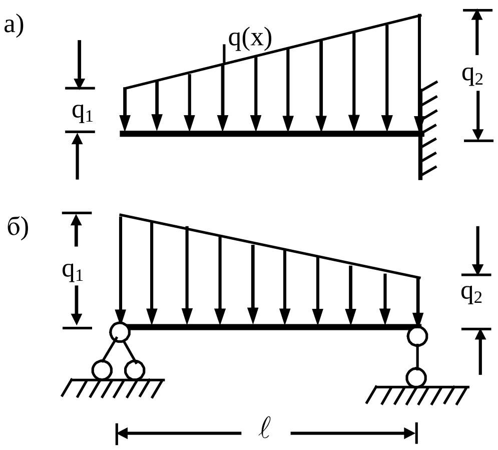
$$x = 0{,}52\,\ell \;\; да \quad f_{max} = -0{,}00652\frac{q\ell^4}{EJ};$$

$$x = 0{,}5\,\ell \;\; да \quad f_{max} = -0{,}00651\frac{q\ell^4}{EJ};$$



7.4-мисол учун

7.5. Шаклда кўрсатилган консолнинг эркин учидаги балканинг таянчларидаги айланиш бурчаги, пролёт ўртасининг салқилиги бошланғич параметр усулидан фойдаланиб аниқлансин.



7.5-мисол учун

Жавоби:

а)
$$\theta = \frac{\left(3q_1 + q_2\right)\ell^3}{24EJ};$$
$$f = -\frac{5\left(q_1 + q_2\right)\ell^4}{120EJ}$$

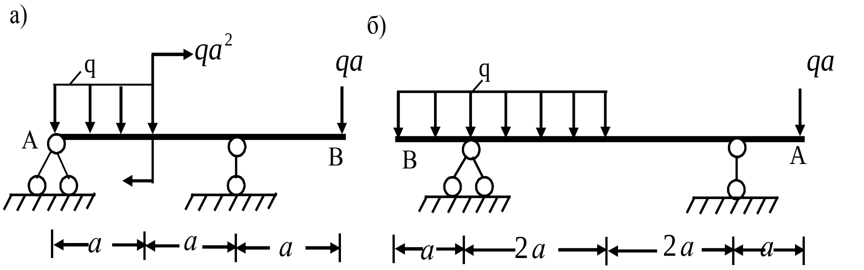
б)
$$\theta_A = -\frac{\left(8q_1 + 7q_2\right)\ell^3}{360EJ}; \quad \theta_B = \frac{\left(7q_1 + 8q_2\right)\ell^3}{360EJ};$$
$$f = -\frac{5\left(q_1 + q_2\right)\ell^4}{768EJ}.$$

7.6. Шаклда кўрсатилган балкалар В кесимининг салқилиги ва А кесимнинг айланиш бурчаклари аниқлансин.

Жавоби:

а) $f_B = \dfrac{37qa^4}{48EJ}; \qquad \theta_A = -\dfrac{11qa^3}{48EJ}.$

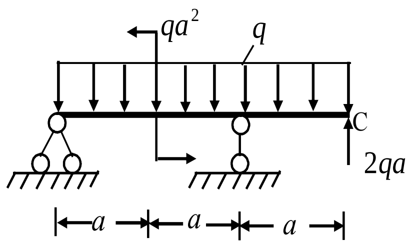
б) $f_B = -\dfrac{qa^4}{24EJ}; \;\; \theta_A = \dfrac{qa^3}{EJ}.$



7.6-мисол учун

7.7. Шаклда кўрсатилган балка С кесимининг салқилиги ва айланиш бурчаги аниқлансин.

Жавоби: $f_c = -\dfrac{43qa^4}{24EJ}$; $\theta_c = -\dfrac{25qa^3}{12EJ}$

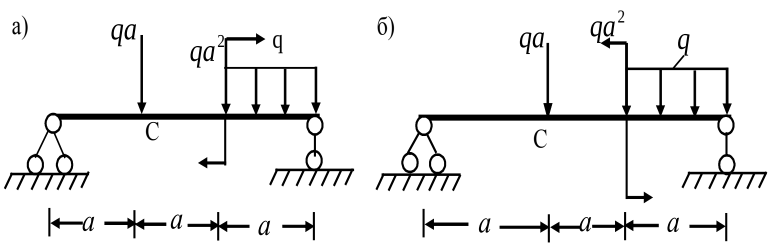


7.7-мисол учун

7.8. Шаклда кўрсатилган балкалар С кесимларининг салқилиги аниқлансин.

Жавоби: а) $f_c = \dfrac{47qa^4}{72EJ}$;

б) $f_c = \dfrac{67qa^4}{72EJ}$



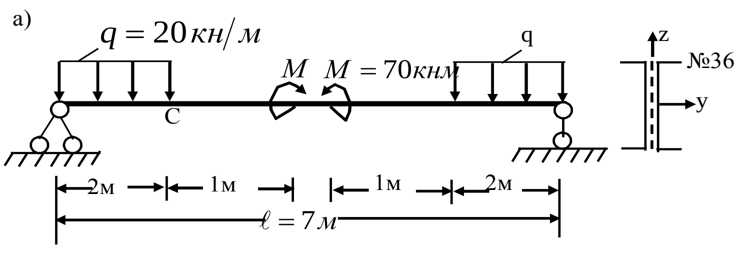
7.8-мисол учун

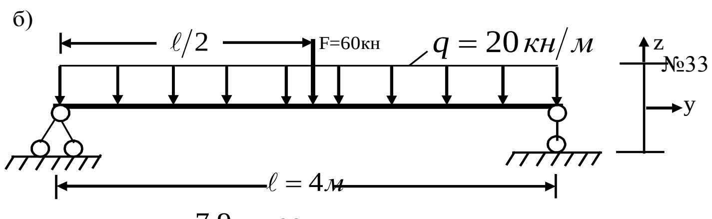
7.9. Агар шаклда кўрсатилган пўлат балкаларнинг салқилиги $\dfrac{\ell}{800}$ дан ошмаса, уларнинг бикрлиги текширилсин.

Жавоби:

а) бикрлиги етарли: $f = 0{,}9[f]$.

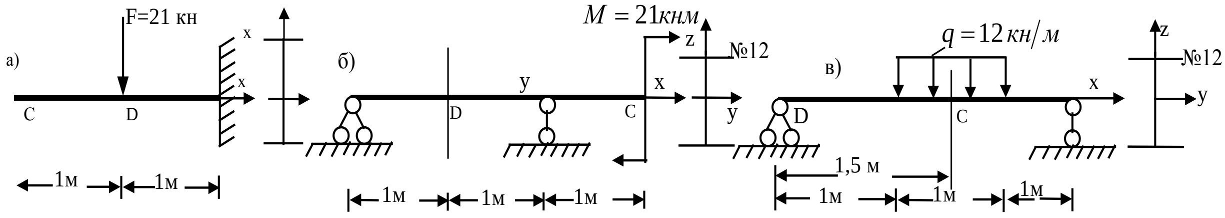
б) бикрлиги етарли эмас: $f = 1{,}15\,[f]$.





7.9-мисол учун

7.10. Шаклда кўрсатилган балкаларнинг С кесимининг салқилиги ва D кесимнинг айланиш бурчагини Кастильяно теоремасидан фойдаланиб топинг.



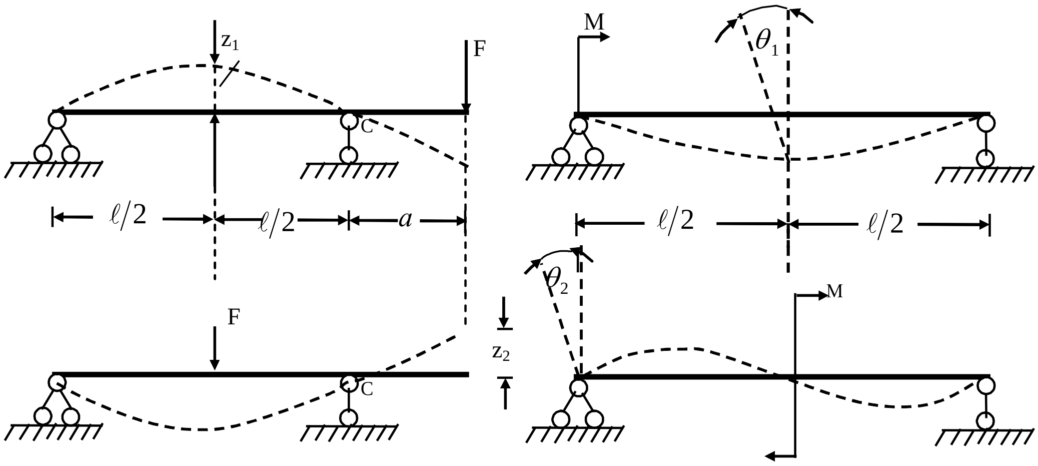
7.10 -мисол учун

Жавоби: а) $f_c = -2{,}5 см$; б) $f_c = -3{,}5 см$; в) $f_c = -0{,}916 см$;

$\theta_D = 0{,}015\, рад$, $\theta_D = 0{,}0025\, рад$, $\theta_D = 0{,}0025\, рад$.

7.11. Шаклда кўрсатилган икки балканинг кўчишини хисоблаш йўли билан икки хусусий мисолда ўзаро кўчиш теоремасининг тўғрилигини текширинг.

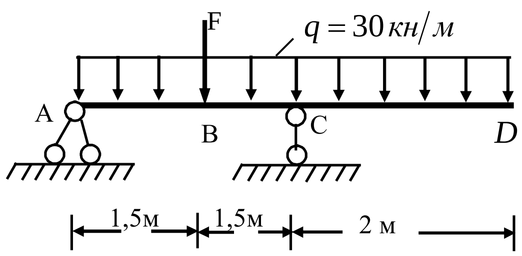
Жавоби: $z_1 = z_2 = \dfrac{F\ell^2 a}{16EJ}$; $\theta_1 = \theta_2 = \dfrac{M \cdot \ell}{24EJ}$.



7.11-мисол учун

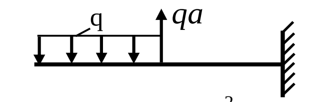
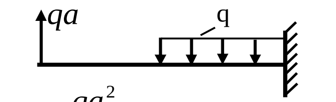
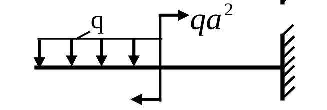
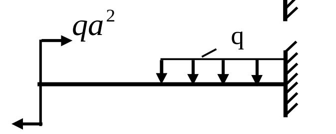
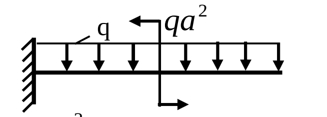
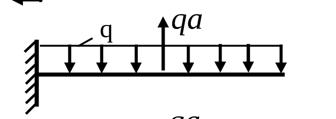
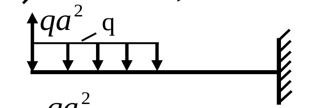
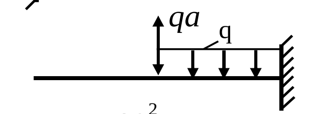
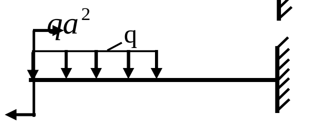
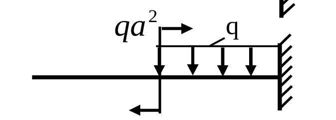
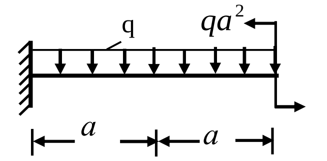
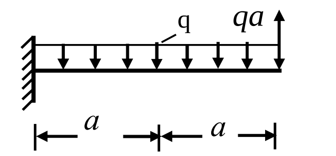
7.12. Шаклда кўрсатилган консолли балканинг консоли чидаги D кесимнинг салқилиги F кучнинг қандай қийматида нолга тенг бўлишини аниқланг.

Жавоби: $F = 100\, кн$.



7.12-мисол учун

7.13. Қуйидаги консолларнинг пролёти ўртасининг айланиш бурчаги ва эркин учининг салқилиги топилсин.

Схемалар	жавоблар		Схемалар	жавоблар	
	EJz	E$J\theta$		EJz	E$J\theta$
	$-\frac{7}{8}qa^4$	$\frac{1}{2}qa^3$		$\frac{19}{8}qa^4$	$-\frac{4}{3}qa^3$
	$-\frac{5}{24}qa^4$	о		$\frac{41}{24}qa^4$	$-\frac{5}{6}qa^3$
	$-\frac{1}{2}qa^4$	$-\frac{1}{6}qa^3$		$-\frac{7}{6}qa^4$	$-\frac{2}{3}qa^3$
	$\frac{23}{24}qa^4$	$-\frac{1}{2}qa3$		$\frac{13}{24}qa^4$	$-\frac{1}{3}qa3$
	$\frac{7}{24}qa^4$	о		$\frac{29}{24}qa^4$	$-\frac{5}{6}qa^3$
	о	$-\frac{1}{6}qa^3$		$\frac{2}{3}qa^4$	$\frac{1}{3}qa^3$

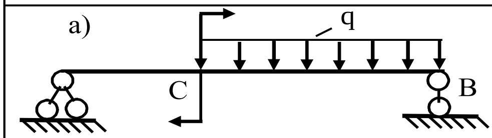
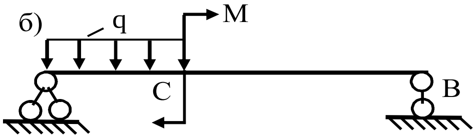
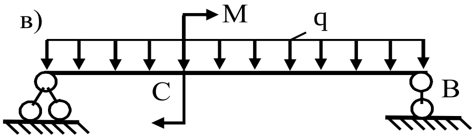
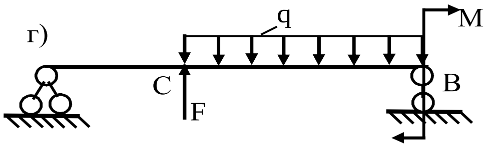
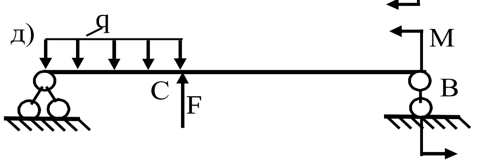
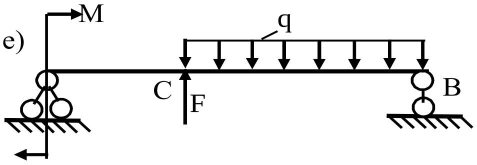
7.13-мисол учун

7.14. Жадвалда келтирилган балкалар учун С кесимнинг салқилиги $\left(z_C\right)$ ва В таянчнинг айланиш бурчаги аниқлансин. Кўндаланг кесими қўштаврдан иборат бўлиб унинг номери ҳар бир вариант учун берилган. Балкаларга таъсир этувчи кучлар икки вариантда бўлади:

1) $q = 20\ кн/м$; $F = 40\,кн$; $M = 60\,кнм$;.

2) $q = 40\ кн/м$; $F = 60\,кн$; $M = 30\,кнм$;

Агар ҳар кайси балканинг хусусий оғирлиги ҳисобга олинса, уларнинг салқилиги канчага (Δz_C) ўзгаради?

Схемалар	вариант	куштавр номери	жавоблар		
			$z_{C,}$ (см)	$\theta_{B,}(рад)$	$\Delta z_{C,}(см)$
а) 	1	33	-1,355	0,00926	-0,031
	2	40	-1,197	0,00806	-0,022
б) 	1	27^{a}	-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	27^{a}	-1,858	0,001192	-0,045
	2	36	-1,046	0,00775	-0,027
$a = 2м$ $\quad 2a = 4м$					

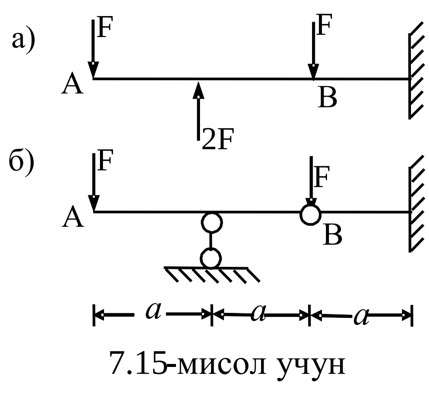
7.14-мисол учун

7.15. Шаклда кўрсатилган, махкамланиш шартлари бўйича ҳар хил бўлган икки балканинг А ва В кесимларидаги салқилик ва айланиш бурчаклари топилсин.

Жавоби:

а) $z_A = -\dfrac{Fa^3}{EJ}$; $z_B = 0$; $\theta_A = \dfrac{Fa^2}{EJ}$; $\theta_B = 0$.

б) $z_A = -\dfrac{2Fa^3}{3EJ}$; $z_B = 0$; $\theta_A = \dfrac{5Fa^2}{6EJ}$; $\theta_B = \dfrac{Fa^2}{6EJ}$;



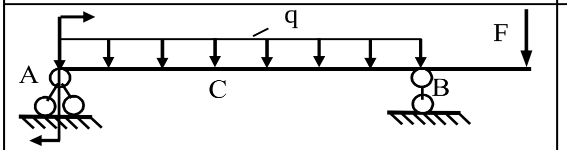
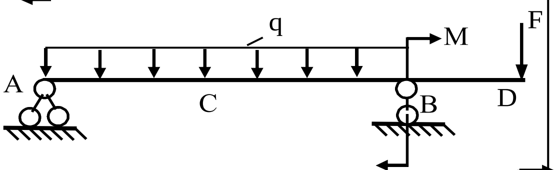
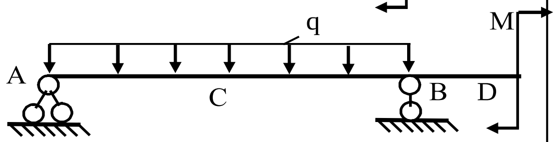
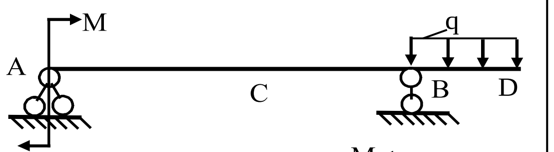
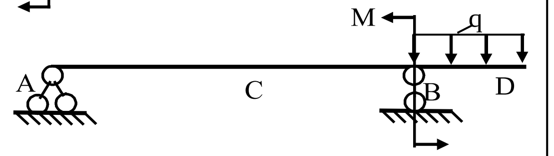
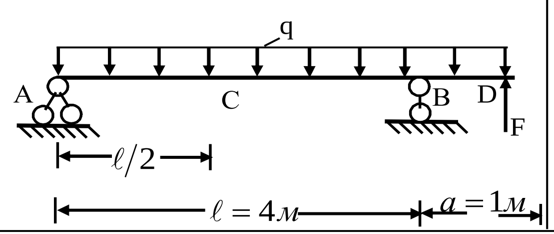
7.15-мисол учун

7.16. Жадвалда кўрсатилган консолли балканинг пролётини ўртасини ва консоль эркин учининг салқилиги ва чап (А) таянчнинг айланиш бурчаги топилсин.

Кўндаланг кесими қўштаврдан иборат бўлиб, балканинг юкланиши икки вариантда бўлади:

1) $q = 20\,кн/м$; $F = 40\,кн$; $M = 60\,кнм$;

2) $q = 40\,кн/м$; $F = 60\,кн$; $M = 20\,кнм$;

Схемалар	вариант	куштавр номери	жавоблар		
			ZC, (см)	Z D, (см)	θ_{A}, (рад)
	1	27	-0,866	0,266	-0,01067
	2	27	-0,931	0,196	-0,00931
	1	33	0,169	-0,474	0,00068
	2	30 [a]	-0,343	-0,129	-0,00343
	1	27	-0,067	-0,566	-0,00133
	2	30	-0,799	0,494	-0,00659
	1	27	-0,498	0,241	-0,00732
	2	18	0	-0,711	-0,00518
	1	24 [a]	-0,658	0,844	-0,00438
	2	18	0	-0,194	0
	1	27	-0,965	1,042	-0,00432
	2	33	-0,881	0,89	-0,00678

7.16-мисол учун

7.17. Пролёти ℓ бўлган ва икки шарнирли таянчга қўйилган бикрлиги ўзгармас ($EJ = const$) бўлган балканинг ўртасига F ва M кучлар таъсир қилади.

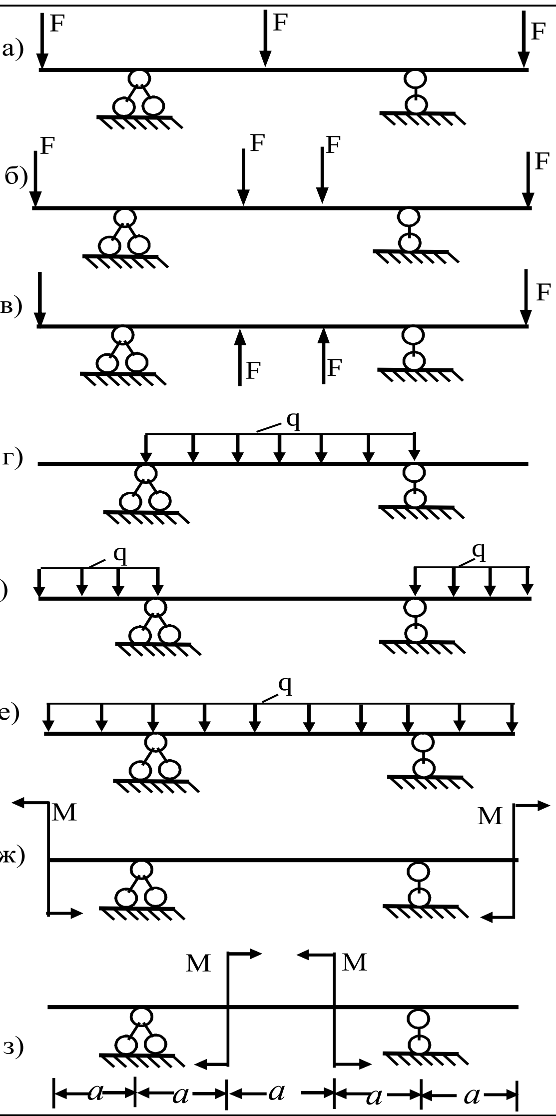
Балка деформациясининг потенциал энергиясининг қийматини хисобланг.

Жавоби: $\dfrac{F^2\ell^3}{96EJ} + \dfrac{M^2\ell}{24EJ}$

7.18. Пролёти ℓ, бикрлиги EJ ва баландлиги h, бўлган ўзгармас кесимли балка соф эгилиш таъсирида турибди. Балкадаги энг катта нормал кучланишлар рухсат этилган кучланиш $[\sigma]$ га тенг деб хисоблаб, балкада тўпланган потенциал энергиянинг қийматини хисобланг.

Жавоби: $\dfrac{2[\sigma]^2 J\ell}{Eh^2}$.

7.19. Жадвалда кўрсатилган икки консолли симметрик балкалар симметрик юк билан юкланган. Консол учидаги салқилик (Z_y) ни, пролёт ўртаси (Z_{yp}) ни ва чап таянчдаги кесимнинг айланиш бурчагини ҳарфлар тарзида аниқланг.



Схемалар	Жавоблар		
	EJz_y	EJz_y	$EJ\theta$
а)	$-\frac{61}{48}Fa^3$	$\frac{9}{16}Fa^3$	$\frac{15}{16}Fa^2$
б)	$-\frac{5}{6}Fa^3$	$\frac{1}{6}Fa^3$	$\frac{1}{2}Fa^2$
в)	$-\frac{17}{6}Fa^3$	$\frac{25}{12}Fa^3$	$\frac{5}{2}Fa^2$
г)	$\frac{9}{8}qa^4$	$-\frac{135}{128}q^4$	$-\frac{9}{8}qa^3$
д)	$-\frac{7}{8}qa^4$	$\frac{9}{16}qa^4$	$\frac{3}{4}qa^3$
е)	$\frac{1}{4}qa^4$	$-\frac{63}{128}qa^4$	$-\frac{3}{8}qa^3$
ж)	$-2Ma^2$	$\frac{9}{8}Ma^2$	$\frac{3}{2}Ma$
з)	$\frac{1}{2}Ma^2$	$-\frac{5}{8}Ma^2$	$-\frac{1}{2}Ma$

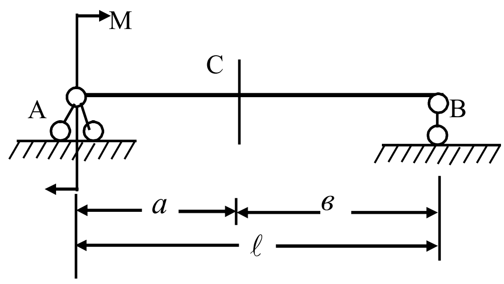
7.19-мисол учун

7.20. Шаклда кўрсатилган балканинг А ва В таянчларининг айланиш бурчагини ва С кесимининг салқилигини кастильяно теоремасидан фойдаланиб аниқланг.

Жавоби: $\theta_А = \dfrac{M_0\ell}{3EJ}$;

$\theta_B = \dfrac{M_0\ell}{6EJ}$;

$z_C = M_0 \dfrac{ав(a^2 + 3ав + 2в^2)}{6EJ(a+в)^2}$.



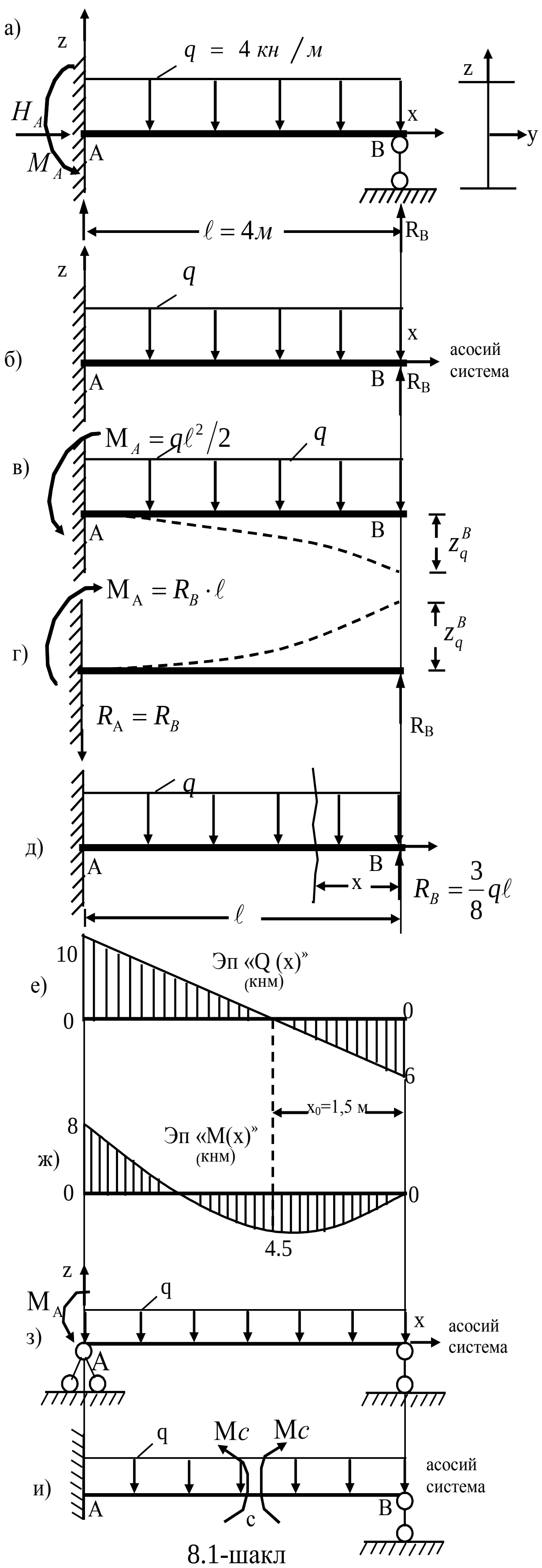
7.20- мисол учун

Статик аниқмас балкаларни ҳисоблаш

Балка таянч реакцияларини аниқловчи параметрларнинг сони шу балка учун лозим бўлган статиканинг мувозанат тенгламаларининг сонидан кўп бўлса бундай балкаларга статик аниқмас балкалар дейилади. Амалда машина ёки иншоот қисмлари учун ишлайдиган балкаларнинг бикрлигини ошириб, эгилишга мойиллигини камайтириш, яъни улардан унимлироқ фойдаланиш учун қўшимча таянчлар қўйишга тўғри келади.

<u>Натижада улар статик аниқмас балкаларга айланади.</u>

Статик аниқмас балкаларни ечиш учун статиканинг мувозанат тенгламаларидан ташкари яна деформация тенгламалари тузилади. Бу тенгламалар сони ортиқча номаълумлар сонига тенг бўлиши керак, шу ортиқча номаълумлар сони билан масаланинг статик аниқмаслик даражаси аниқланади. Статик аниқмас балкаларни ечишнинг бир неча усуллари мавжуддир.



8.1-шакл

<u>8.1-мисол</u>

8.1 шакл а) да кўрсатилгандек юкланган пўлат балканинг кўндаланг кесими танлансин.

Ечиш: Шу балка учун лозим бўлган статиканинг мувозанат тенгламаларини тузамиз :

$$\Sigma X = H = 0 \ ; \qquad H_A = 0 \ ; \tag{1}$$

$$\Sigma Z = R_A - q \cdot \ell + R_B = 0 \ ;$$

$$R_A + R_B = q\ell; \tag{2}$$

$$\Sigma M_A = -R_B \cdot \ell + q\frac{\ell^2}{2} - M_A = 0$$

$$M_A + R_B\ell = q\frac{\ell^2}{2} \ . \tag{3}$$

Демак, балка бир марта статик аниқмас экан, чунки уч номаълумли икки тенглама системаси ҳосил бўлди.

(R_A, R_B *ва* M_A номаълумлар, ҳамда (2), (3) тенгламалар) бу статик аниқмас балкани ўнг таянчдан озод қилиб, унинг таъсирини ҳозирча номаълум бўлган R_B куч билан алмаштириб, асосий система берилган системага тўла равишда эквивалент бўлиши лозим.

Кучлар таъсирининг мустақиллик принципидан фойдаланиб, q кучдан z_q^B ва реакция кучи $R_в$ дан $Z_{R_B}^B$ ҳосил бўлган В кесимнинг салқиликларни алоҳида-алоҳида топиб, уларнинг алгебрик йиғиндисини нолга тенглаштирамиз, чунки берилган системада D кесимда таянч бор, таянчда кўчиш нолга тенгдир:

$$z_B = z_q^B + z_{R_B}^B = 0; \tag{4}$$

Бундаги z_q^B ва $z_{R_B}^B$ ларни справочниклардан олиш мумкин, ёки айрим формулалардан фойдаланиб ҳисоблаш қийин эмас. Масалан, бошланғич пароментр усулидан фойдаланиб топиш қийин эмас, бунда $f_0 = \theta_0 = 0$ бўлади.

$$z_q^B = \frac{1}{EJ_y}\left[-\frac{M_A\ell^2}{2} + R_A \cdot \frac{\ell^3}{6} - q\frac{\ell^4}{24}\right] = \frac{1}{EJ_y}\left[-\frac{q\ell^4}{4} + \frac{q\ell^4}{6} - \frac{q\ell^4}{24}\right] = -\frac{q\ell^4}{8EJ_y};$$

$$z_{RB}^B = \frac{1}{EJ_y}\left[M_A\frac{\ell^2}{2} - R_A\frac{\ell^3}{6}\right] = \frac{1}{EJ_y}\left(R_B\frac{\ell^3}{2} - R_B\frac{\ell^3}{2} - R_B\frac{\ell^3}{6}\right) = \frac{R_B\ell^3}{3EJ_y}.$$

Буларни (4) тенгламага қўйиб, R_B ни топамиз.

$$-\frac{q\ell^4}{8EJ_y} + \frac{R_B \cdot \ell^3}{3EJ_y} = 0; \text{ бундан } \quad R_B = \frac{3}{8}q\ell = 6\,кн \text{ бўлади.}$$

(2) тенгламадан

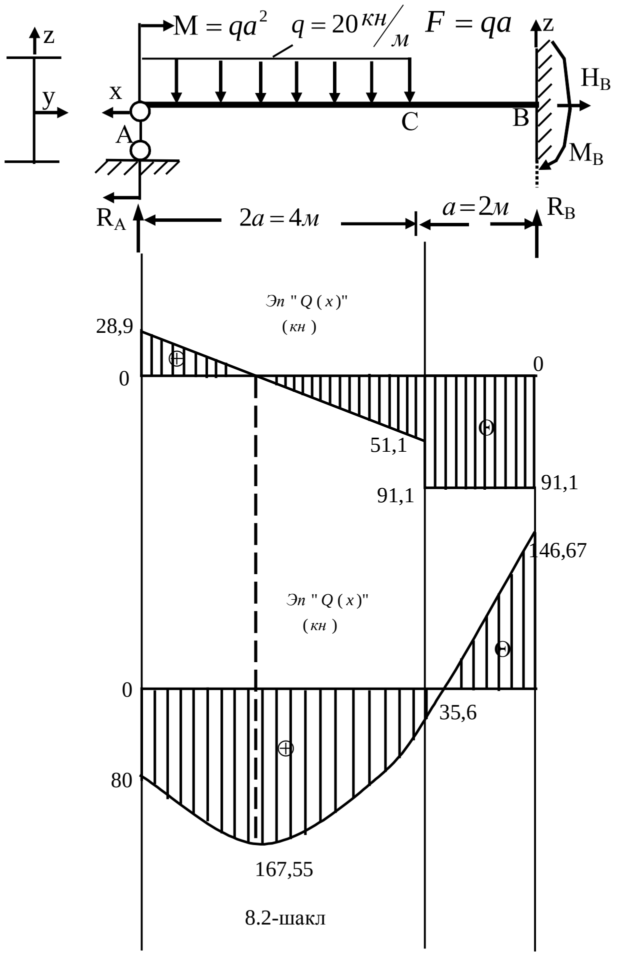
$$R_A = q\ell - R_B = q\ell - \frac{3}{8}q\ell = \frac{5}{8}q\ell = 10\,кн$$

бўлади.

(3) дан

$$M_A = q\frac{\ell^2}{2} - R_A\ell = q\frac{\ell^2}{2} - \frac{5q\ell^2}{8} = -\frac{q\ell^2}{8} = -8кнм.$$

Барча номаълумлар топилгандан кейин, статик аниқ балка сифатида $Q(x) ва M(x)$ эпюраларини қурамиз. $Q(x) ва M(x)$ эпюралари 8.1-шакл, е, ж ларда кўрсатилган.



8.2-шакл

Кесувчи кучнинг абсцесса ўқини кесиб ўтган нуқтасининг абсцессаси x_0 ни топиб, шу кесимдаги эгувчи момент қийматини топамиз:

$$\frac{dM(x)}{dx} = Q(x) = -R_B + qx_0 = 0; \quad x_0 = \frac{R}{q} = 1{,}5м.$$

$$M(x_0) = R_D \cdot x_0 - q\frac{x_3^2}{2} = 6 \cdot 1{,}5 - 4\frac{(1{,}5)^2}{2} = 9 - 4{,}5 = 4{,}5кнм.$$

Балканинг мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб, унинг кўндаланг кесимини танлаймиз:

$$\sigma_{мах} = \frac{M_{мах}}{W_y} \le [\sigma]; \quad бундан \quad W_y \ge \frac{M_{vfx}}{[\sigma]} = \frac{8 \cdot 10^4}{1600} = 50\,см^3.$$

Сортамент жадвалидан гост (8239 – 72) I № 12-номерли профилни танлаймиз, унинг қаршилик моменти $W_y = 58{,}4см^3$ га тенг.

Асосий системани кандай хилда танлаш ҳисоб ишини осонлаштириш ёки қийинлаштириши мумкин, лекин натижа бир хил бўлиб қолаверади. Асосий системани (8.1-шакл, з, и) ларда кўрсатилгандек қилиб олиш ҳам мумкин.

8.2-мисол

8.2-Шаклда кўрсатилган пўлат балканинг таянч реакциялари аниқлансин ва кўндаланг кесими қўштавр танлансин.

Ечиш: Статиканинг мувозанат тенгламаларини топамиз:

$\Sigma x = 0$; $\quad H_B = 0 \qquad (1)$

$\Sigma z = 0$; $\quad R_A - q \cdot 2a + R_B - F = 0;$

$R_A + R_B = 3qa \qquad (2)$

$\Sigma M_A = 0;$

$M_B - R_B \cdot 3a + F \cdot 2a + q2a \cdot a + M = 0;$

$3R_B \cdot a - M_B = 5qa^2 \qquad (3)$

Демак, масала бир марта статик аниқмас экан.

Масалани балка эгилган ўқининг дифференциал тенгламасини интеграллаш усулидан фойдаланиб ечамиз.

Бунда интеграллаш натижасида ҳосил бўлган ихтиёрий ўзгармас сонларни тенглаштириш усулидан фойдаланамиз.

Координата бошини қистириб маҳкамланган таянчга жойлаштирсак, ихтиёрий ўзгармас сонлар C ва D нолга тенг бўлади. Эластик чизиқнинг дифференциал тенгламасини тузамиз ва уларни икки марта интеграллаймиз:

$E\,J\,z_1^{11} = R_B \cdot x_1 - M_B \cdot x_1^0;\quad E\,J\,z_1^1 = R_B \dfrac{x^2}{2} - M_B x_1 + C_1$; (4) $\quad E\,J_y z_1 = R_B \cdot \dfrac{x^3}{6} - M_B \dfrac{x_1^2}{2} + C_1 \cdot x_1 + D_1 \qquad (5)$

$$EJz_2^{11} = R_B \cdot x_2 - M_{B2} \cdot x_0 - F(x_2 - a) - q\frac{(x_2 - a)^2}{2};$$

$$EJz_2^1 = R_B\,\frac{x_2^2}{2} - M_B \cdot x_2 - F\,\frac{(x_2 - a)^2}{2} - q\,\frac{(x_2 - a)^3}{6} + C_2, \qquad (6)$$

$$EJz_2 = R_B\frac{x_2^3}{6} - M_B \cdot \frac{x_2^2}{2} - F\frac{(x_2 - a)^5}{6} - q\frac{(x_2 - a)^4}{24} + C_2 \cdot x_2 + D_2\ ; \qquad (7)$$

C ва D ларни топиш учун қуйидаги шартларни ёзамиз.

$x_1 = 0$ бўлганда $z_1^1 = 0$ бўлади, бундан $C_1 = 0$;

$x_1 = 0$ бўлганда $z_1 = 0$ бўлади, бундан $D_1 = 0$;

$x_1 = x_{21} = a$ бўлганда $z_1^1 = z_2^1$ бўлади, бундан $C_1 = C_2 = 0$;

$x_1 = x_{21} = a$ бўлганда $z_1 = z_2^1$ бўлади, бундан $D_1 = D_2 = 0$.

$x_1 = 3a$ бўлганда $z_2 = 0$ бўлади ва (7) дан қуйидагини топамиз.

$R_B \cdot \dfrac{(3a)^3}{6} - M_B\dfrac{(3a)^2}{2} - F\dfrac{(2a)^3}{6} - q\dfrac{(2a)^4}{24} = 0$; бундан $9R_B\theta - 9M_B = 4qa^2 \qquad (8)$

ҳосил бўлади.

M_B ни топиш учун (3)нинг иккала томонини -3 га кўпайтириб, ҳосил бўлган ифодга (8) ни хадлаб қўшамиз:

$$\left.\begin{array}{l} 3R_B \cdot a - M_B = 5qa^2 \\ 9R_B \cdot a - 9M_B = 4qa^2 \end{array}\right| \quad -3$$

$$-6M_B = -11qa^2; \quad \text{бундан } \ \mathrm{M}_B = \frac{11}{6}qa^2 = \frac{11}{6}\cdot 20 \cdot 2^2 = 14667\,\text{кнм}.$$

M_B нинг қийматини (3) га қўйиб R_B ни топамиз:

$$3R_B \cdot a - \frac{11}{6}qa^2 = 5qa^2; \quad R_B = \frac{\frac{11}{6}qa^2 + 5qa^2}{3a} = \frac{\frac{11}{6}\cdot 20\cdot 2^2 + 5\cdot 20 \cdot 2^2}{3\cdot 2} = 91{,}1\,\text{кн}.$$

R_B нинг қийматини (2) га қўйиб, R_A ни топамиз :

$$R_A + R_B = 3qa; \qquad R_A = 3qa - R_B = 3\cdot 20\cdot 2 - 91{,}1 = 28{,}9\,\text{кн}.$$

Топилган таянч реакция ва таянч моментининг қийматлари тўғри топилганлигини текшириб кўрамиз:

$$\Sigma z = R_A + R_B - 3qa = 28{,}9 + 91{,}1 - 3\cdot 20 \cdot 2 = 120 - 120 = 0.$$

Демак, таянч реакцияларининг қийматлари тўғри топилибди.

Кесувчи куч $(Q(x))$ ва эгувчи момент $\mathrm{M}(x)(*)$ қиймати $\mathrm{M}_{max} = 167{,}55\,\text{кнм}$ ни олиб, балка кўндаланг кесимини танлаймиз.

$$W = \frac{\mathrm{M}_{max}}{[\sigma]} = \frac{167{,}55\cdot 10^4}{1600} = 1047{,}19\,\text{см}^3.$$

Сортамент жадвалидан №45 номерли қўштаврни танлаймиз.

8.3-мисол.

Шаклда кўрсатилган пўлат балка учун швеллер номери танлансин ва пролет ўртасидаги кесимнинг салқилиги топилсин (8.3-шакл).

Ечиш: Мувозанат тенгламаларини тузамиз.

$$\Sigma z = 0;\ R_A + R_B + R_c = q(a + в) \qquad (1)$$

$$\Sigma \mathrm{M} = 0;\ R_A(a + в) + R\cdot в = q\frac{(a+в)^2}{2}. \qquad (2)$$

Балканинг статик аниқмаслик даражасини аниқлаймиз:

$$z = f_0 + \theta_0 \cdot x + \frac{1}{\mathrm{E}J}\left[R_A\frac{x^3}{6} - q\frac{x^4}{24} + R_B\frac{(x-a)^3}{6}\right]; \qquad (a)$$

$$\mathrm{E}Jz_в = \mathrm{E}J\theta_A \cdot a + R_A\frac{a^3}{6} - q\frac{a^4}{24} = 0; \qquad (3)$$

$$EJz_C = EJ\theta_A(a+в) + R_A\frac{(a+в)^3}{6} + R_в\frac{в^3}{6} - q\frac{(a+в)^4}{24} = 0. \qquad (4)$$

(1), (2), (3) ва (4) тенгламаларни биргаликда ечиб, барча номаълумларни топамиз: $R_A = 40{,}5кн,\ \ R_B = 105{,}3кн$ ва $R_c = 14{,}2кн.$

Текшириш:

$$\Sigma z = R_A + R_B - q(a+в) = 40{,}5 + 105{,}3 + 14{,}2 - 20\cdot 8 = 160 - 160 = 0.$$

Демак, таянч реакцияларининг қиймати тўғри топилибди.

Кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини одатдагидек қурамиз ва улар б), в) шаклларда келтирилган.

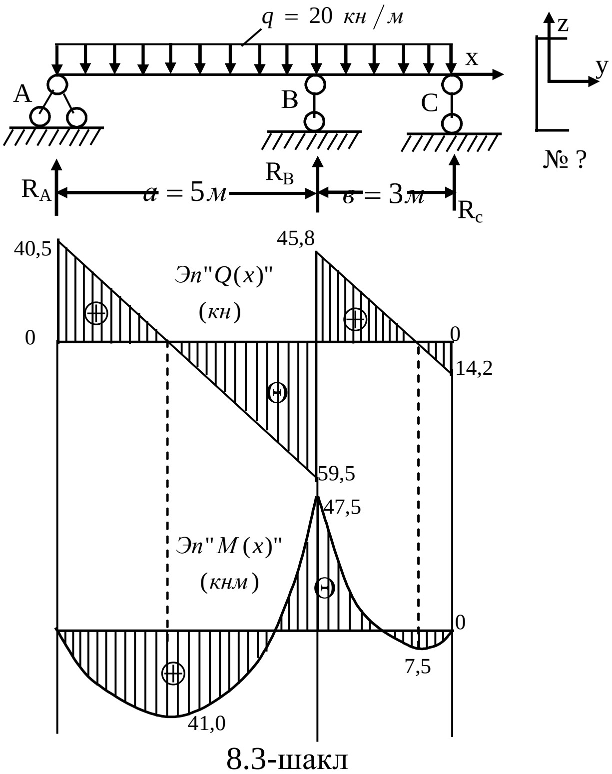
Эпюрадан $M_{мах} = 47{,}5кнм$ ни олиб, балка кесимининг зарурий қаршилик моментини танлаймиз:

$$W_y = \frac{M_{мах}}{[\sigma]} = \frac{47{,}5\cdot 10^4}{1600} = 296{,}875\ см^3$$

.

Сортамент жадвалидан №27 номерли швеллерни танлаймиз. $W_y = 308\ см^3;\ J_y = 4160 см^4;$

$EJ_y = 832\cdot 10^7 кг\ см^2.$



8.3-шакл

Ҳохлаган кесимнинг салқилигини топиш учун олдин (3) тенгламадан EJQ_A нинг қийматини аниқлаймиз.

$$EJ\theta_A = -R_A\frac{a^2}{6} + q\frac{a^3}{24} =$$

$$= -40{,}5\cdot\frac{5^3}{6} = -\frac{1550}{24}кнм^2.$$

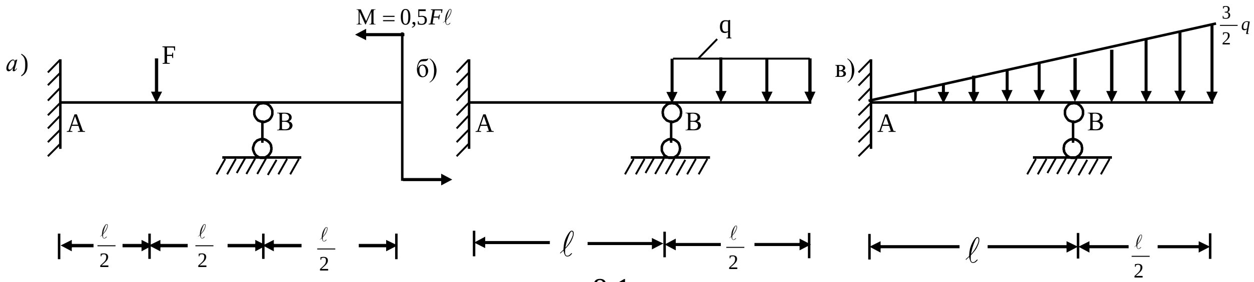
Катта пролет ўртасидаги салқиликни топиш учун (а) формулага $x = 2{,}5м$ ни қўямиз.

$$EJz(2{,}5) = EJ\theta_A\cdot 2{,}5 + R_A\frac{(2{,}5)^3}{6} - q\frac{(2{,}5)^4}{24} = -\frac{1550}{24}\cdot 2{,}5 + 40{,}5\frac{(2{,}5)^3}{6} -$$

$$-20\frac{(2{,}5)^4}{24} = 88{,}54кн\,м^3;\quad бундан\ z(2{,}5) = -\frac{88{,}54}{EJ} = -\frac{88{,}54\cdot 10^8}{2\cdot 10^6\cdot 4160} = -1{,}064 см.$$

Мустақил ечиш учун мисоллар.

8.1. Шаклда кўрсатилган балкаларнинг таянч реакция кучлари топилсин (8.1-мисол учун).



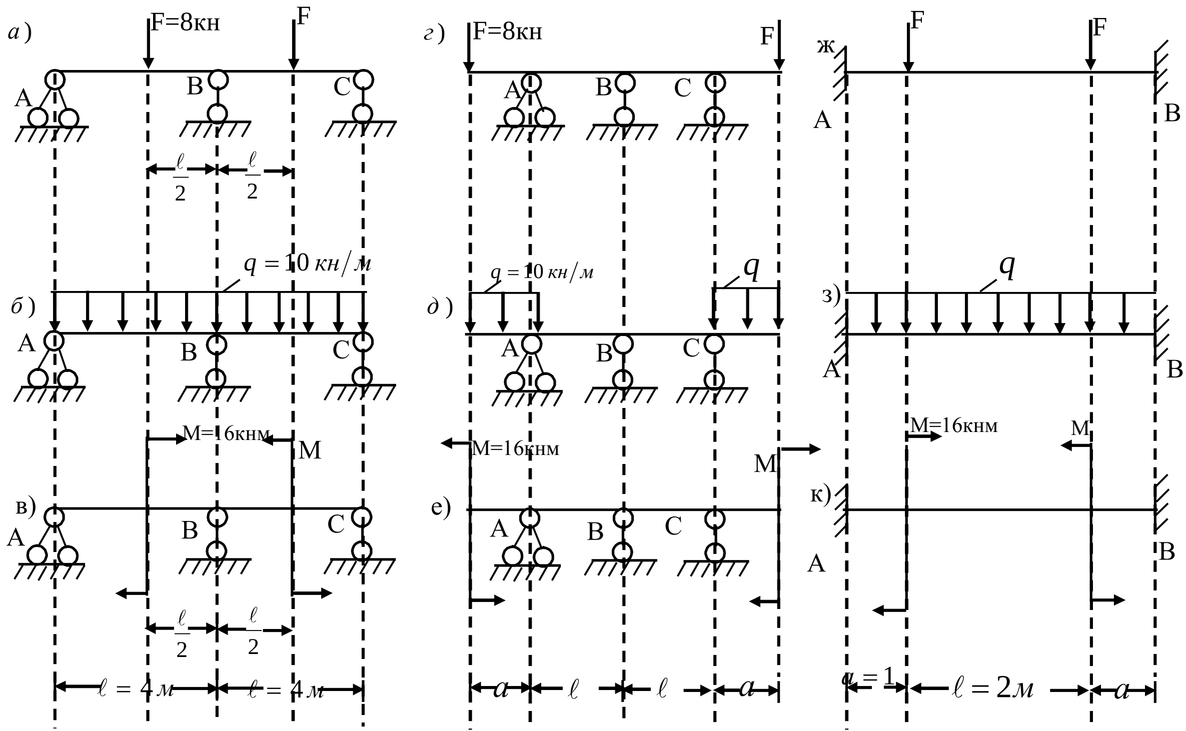
8.1-мисол учун

Жавоблар: $а)\ R_A = \frac{23}{16}F$; $R_B = -\frac{7}{16}F$; $M_A = -\frac{7}{16}F\ell$;

$б)\ R_A = -\frac{3}{16}q\ell$; $R_B = \frac{11}{16}q\ell$; $M_A = \frac{q\ell^2}{16}$;

$в)\ R_A = -\frac{q\ell}{40}$; $R_в = \frac{23}{20}q\ell$; $M_A = \frac{q\ell^2}{40}$.

8.2. Шаклда кўрсатилган балкаларнинг ҳар қайси учун исталган усулдан фойдаланиб, статик аниқмаслик даражасини топиб, таянч реакцияларини аниқланг.



8.2-мисол учун

Жавоблар: $а)\ R_A = R_C = 2{,}5кн$; $R_c = 11кн$; $M_B = -6кнм$; $M_F = 5кнм$

б) $R_A = R_C = 15кн$; $R_B = 50кн$; $M_B = -20кнм$; $M_F = 8{,}4375кнм$

в) $R_A = R_C = 4{,}5кн$; $R_c = 4{,}5кн$; $M_B = -2кнм$; $M_{мах} = 9кнм$

г) $R_A = R_C = 11кн$; $R_B = 6кн$; $M_B = -4кнм$; $M_A = -8кнм$

д) $R_A = R_C = 11{,}875кн$; $R_B = -3{,}75кн$; $M_B = 2{,}5кнм$; $M_A = -5кнм$

е) $R_A = R_C = 6кн$; $R_B = -12кн$; $M_B = 8кнм$; $M_A = -16кнм$

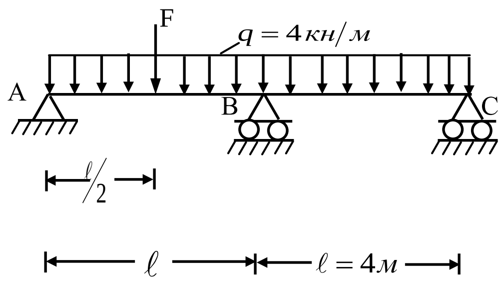
ж) $R_A = 8кн$; $R_в = 8кн$; $M_A = M_B = -6кнм$; $M_F = 2кнм$

з) $R_A = 20кн$; $R_B = 20кн$; $M_A = M_B = -10кнм$; $M_{\frac{2}{2}} = 5кнм$

и) $R_A = 0,$; $R_в = 0$; $M_A = M_B = -8кнм$; $м_{\frac{\ell}{2}} = 8кнм.$

8.3. Шаклда кўрсатилган балканинг С таянчига қўйилган учи кўтарилиб кетмаслиги учун F кучнинг қиймати нимага тенг бўлиши керак.

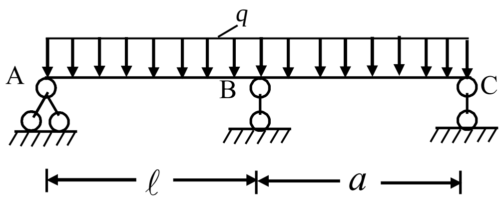
Жавоби: F= 16 кн



8.3-мисол учун

8.4. Шаклда кўрсатилган балканинг С таянчидаги реакция кучининг қиймати нолга тенг бўлиши учун a/ℓ нисбат кандай бўлиши керак.

Жавоби: $\frac{a}{\ell} = 0{,}433$.



8.4-мисол учун

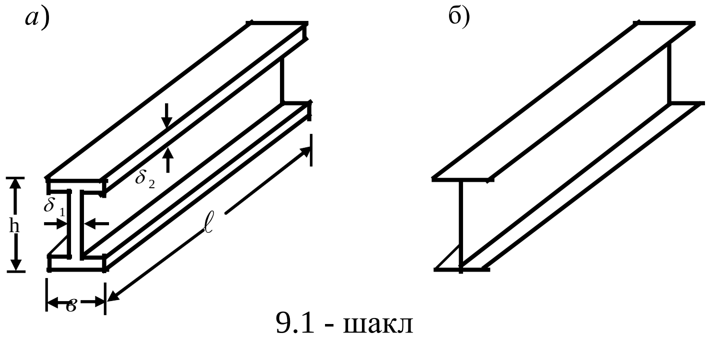
Очиқ профилли юпқа деворли стерженлар

Қурилиш конструкциялари ичида юпқа деворли стерженлар жуда кўп учрайди ва ундан кенг қўлланилади.

Деворнинг қалинлиги δ кўндаланг кесим юзасининг асосий ўлчамлари $в$ ёки h , дан кўндаланг кесим ўлчамлари эса ўзунлигидан 8-10 марта кичик бўлган стерженларга юпқа деворли стерженлар дейилади (9.1-шакл, а).

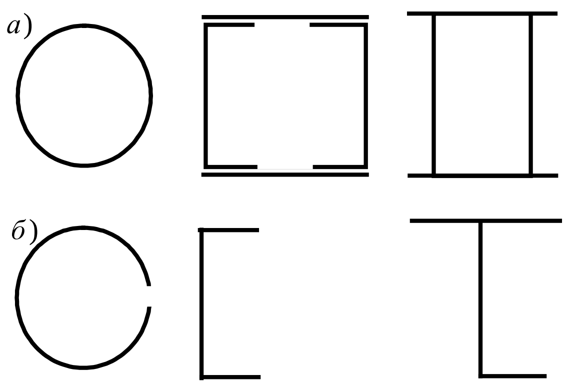
Юпқа деворли стерженлар кўндаланг кесим юзасининг кўринишига қараб, ёпик ва очик профилли бўлади (9.2-шакл а, б).

Юпқа деворли стерженларнинг ўрта сирти, унинг ҳисобий схемесини ҳосил қилади (9.1-шакл, б).



9.1 - шакл

Юпқа деворли стерженларда буралишни ҳосил қилувчи кучлар таъсиридан деформацияланиш жараёнида кўндаланг кесим юзаси текислигича қолмасдан, кесим юзаси депланцияга учрайди, яъни текис кесим гипотезаси бузилади, бундай ҳол юпқа деворли стерженларнинг ўзига хос асосий хусусиятидир.



9.2 - шакл

Юпқа деворли стерженнинг барча кўндаланг кесим юзаларида депланация бир хил бўладиган буралишга эркин буралиш дейилади. Бундай ҳолда стерженнинг кўндаланг кесимида фақат уринма кучланиш ҳосил бўлади.

Буралиш бурчаги қуйидаги формуладан топилади

$$\theta = \frac{M_t}{GJ_t} z . \qquad (9.1)$$

Нисбий буралиш бурчаги $\theta^I = \frac{d\theta}{dz} = \frac{M_t}{GJ_t}$ (9.2) бундан $\mathrm{M}_t = \Theta^1 GJ_{t.}$ бўлади.

Энг катта уринма кучланиш қуйидагича топилади.

$$\tau_{мах} = \frac{\mathrm{M}_t}{J_t}\cdot\delta = \frac{\mathrm{M}_t}{W_t} \qquad (9.3)$$

бунда $W_d = {J_d}/{\delta_{мах}}$, (9.4)

буларда: M_t - соф буралиш моменти;

$G-$ силжиш модули;

$\delta-$ кўндаланг кесим қалинлиги;

W_t- кесимнинг қаршилик моменти;

J_t- кесимнинг инерция моменти, таркибий кесимлар учун

$$J_t = J_{1t} + J_{2t} + \cdots + J_{it} \qquad (9.5)$$

кўринишда топилади:

Энсиз полосалардан ясалган турли прокат буюмлар учун қуйидагича топилади:

$$J_t = \alpha\sum_{i=1}^{n}\frac{hi\,\delta i^{\,3}}{3}, \qquad (9.6)$$

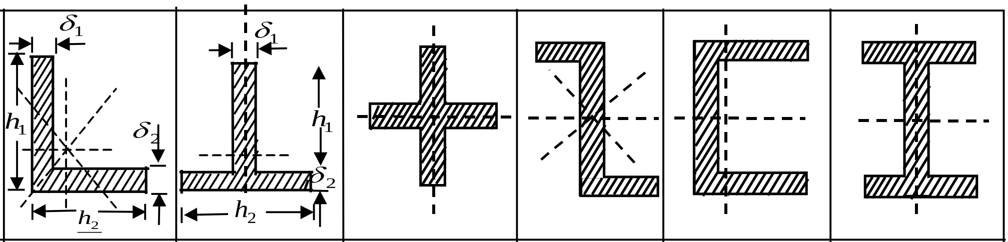
бунда h_i - ўрта чизиги бўйича ўлчанадиган ҳар бир қисмининг узунлиги;

δ_i - мазкур қисмнинг қалинлиги;

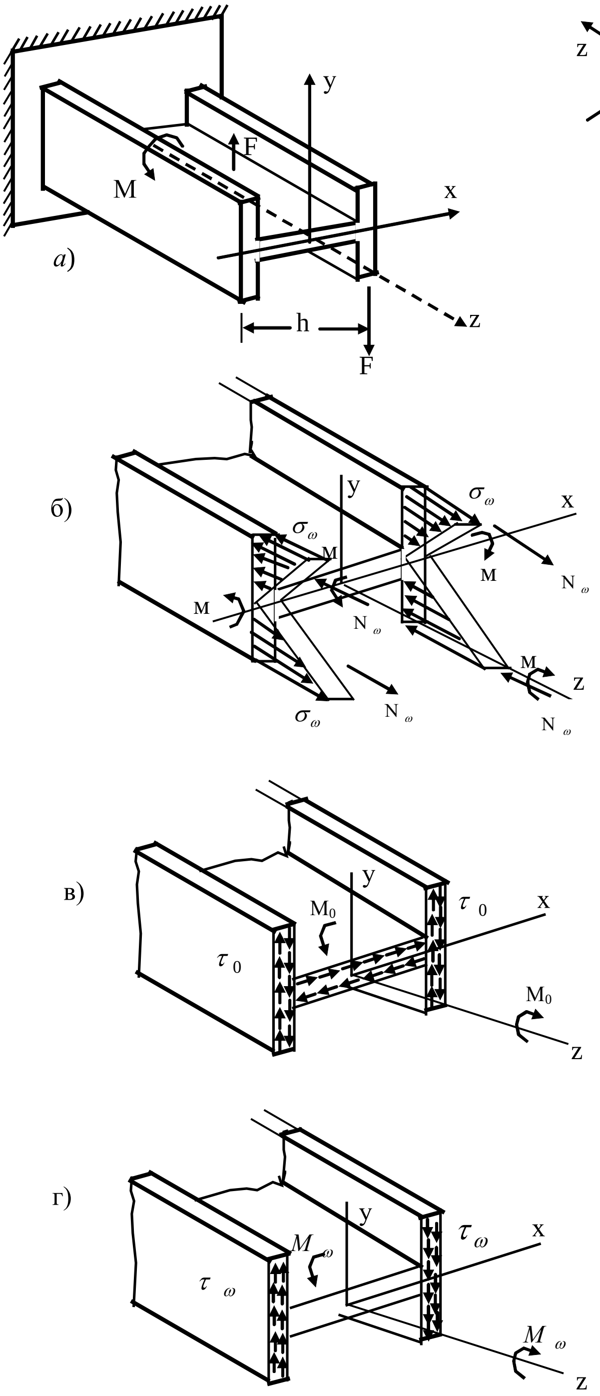
$\alpha-$прокат буюмларнинг шаклига боғлик бўлган коэффициент бўлиб унинг қиймати қўйидаги жадвалда келтирилган.

Турли кесимлар учун α коэффициентининг қийматлари.

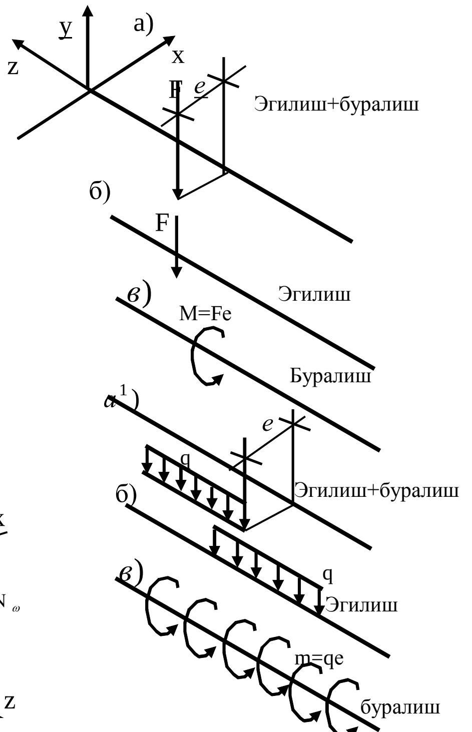
9.1.жадвал.

Кесим тури						
α	0,97 ÷ 1,0	1,08	1,17	1,17	1,0 ÷ 1,3	1,15 ÷ 1,3

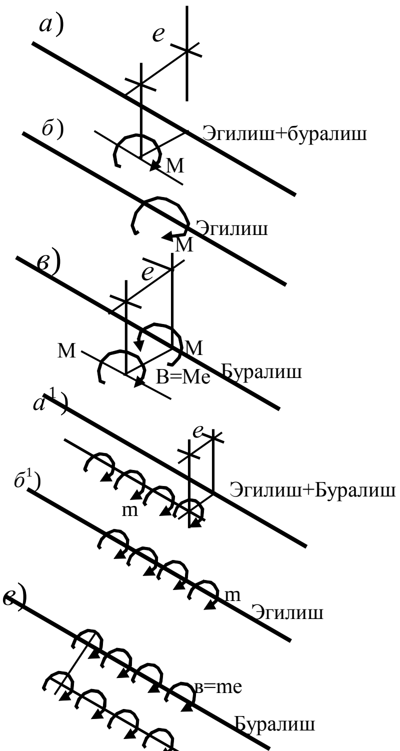
Юпқа деворли стерженларнинг турли кўндаланг кесим юзаларида депланация турлича бўладиган буралишга эркинмас буралиш дейилади. Масалан, қўштавр кесимли стерженни бир учини қистириб маҳкамлаб иккинчи учига буровчи жуфт куч қўйилса (9.3 шакл), маҳкамланган кесим ўзининг текис ҳолатида қолади (депланацияланмайди), эркин учида эса депланация энг катта бўлади. Шунга ўхшаш, стерженнинг узунлиги бўйича турли нуқталарнинг кўчиши турлича бўлади ва толаларининг нисбий чўзилиши пайдо бўлади $(\varepsilon_z \neq 0)$ демак, кўндаланг кесимда уринма кучланиш ҳам ҳосил бўлади. Шу билан бирга қўштаврнинг токчалари қарама-қарши йўналишда эгилади ва қийшаяди.



9.3-шакл



9.4-шакл



9.5-шакл

Қаралаётган қўштаврнинг эркинмас буралиш ҳолида кўндаланг кесимнинг токчасига таъсир этувчи ички кучлар системаси қарама-қарши томонга йўналган иккита жуфт кучга келтирилади (9.3-шакл, б). Параллель текисликда ётувчи бундай иккита жуфт куч йиғиндисига қўшалоқ жуфт куч дейилади. Қўшалоқ жуфт кучнинг қиймати бимомент (B_{ω}) билан баҳоланади ва

$$\mathrm{B}_{\omega} = \mathrm{M} \cdot h \tag{9.7}$$

га тенг бўлади, бунда h - қўшалоқ жуфт кучнинг елкаси.

Кўндаланг кесимда нормал кучланишдан ташқари икки турдаги уринма кучланиш ҳосил бўлади: а) τ_t, эркин буралишга муносиб келувчи (9.3-шакл, в) ва соф буралишга берувчи умумий буровчи моментдан (М) ҳосил бўлувчи ва M_t билан белгиланувчи; б) τ_{ω}. σ_{ω} нормал кучланишнинг пайдо бўлиши билан ҳосил бўлувчи, эгувчи-буровчи момент M_{ω}ни келтириб чиқарувчи умумий буровчи момент (М) нинг иккинчи кесимини ташкил қилади. Булар қўштавр токчаси бўйича ўзаро қарама-қарши йўналган бўлиб текис таксимланган деб қабул қилинади (9.3-шакл г). Уринма кучланиш оқимининг моменти, эгилиш марказига нисбатан стержень қалинлиги бўйича текис тақсимланган бўлиб, эгилиш-буралиш моменти M_{ω}га тенг ва қуйидаги формула билан аниқланади.

$$\mathrm{M}_{\omega} = -\mathrm{E}J_{\omega}\Theta^{III} \tag{9.8}$$

Юпқа деворли стерженларга таъсир этувчи кучларни ташқил этувчиларига тарқатиш ва фақат эркинмас буралишни ҳосил қилувчи компанентларини ажратиш талаб этилади.

Ташқи кучларни ажратиш қуйидаги схема бўйича ўтказилади.

1) 9.4-шакл, а) да кўрсатилган стержень эгилиш-буралиш мураккаб қаршилик ҳолатида бўлади. Бу кучни ўзига параллель равишда эгилиш марказига кўчирамиз ва $F \cdot e$ момент қўшилади. У ҳолда F кучнинг таъсирида стержень фақат эгилиш ҳолатида бўлади (9.4-шакл, б), $\mathrm{M} = F \cdot e$ таъсирида эса буралиш ҳолатида бўлади (9.4-шакл, в).

Бунга ўхшаш ажратиш, стерженга узунлиги бўйича таксимланган куч таъсир этганда ҳам худди шундай бажарилади (9.4-шакл, $а^1$, $б^1$, $в^1$).

2) 9.5-шакл, *д*) да кўрсатилгандек юкланган стержень ҳам эгилиш-буралиш мураккаб қаршилик ҳолатида бўлади. Бундай жуфтларни ҳамма вақт ҳам М момент билан 9.5-шакл, б, в ларда кўрсатилгандек

алмаштириш мумкин. Бунга ўхшаш икки жуфтларнинг йиғиндисига қўшалоқ жуфт куч дейилади.

Стерженнинг эгилиш маркази орқали ўтувчи текисликда таъсир этувчи жуфт уни фақат эгади, қўшалоқ жуфт эса фақат бурайди.

Бу моментларнинг бирини елкасига кўпайтмасига бимомент дейилади ва B_{ω} билан белгиланади. Бимомент қуйидаги формуладан топилади:

$$\text{B}_{\omega} = -\text{E}J_{\omega}\Theta^{II} \tag{9.9}$$

Секториал нормал кучланишнинг кесим бўйича ўзгариш қонуни қўйидаги тенглама билан ифодаланади.

$$\sigma_{\omega} = -\text{E}\Theta^{II}\omega \tag{9.10}$$

Бу формуладан кўринадики, юпқа деворли стерженнинг эркинмас буралишида нормал кучланиш кўндаланг кесимда секториал юзалар қонуни бўйича таксимланади.

Секториал уринма кучланишнинг кесим бўйича ўзгариш қонуни қўйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$\tau_{\omega} = \text{E}\Theta^{III}S^{1}_{\omega} \ /\delta \ , \tag{9.11}$$

бундан кўринадики, τ_{ω} кўндаланг кесим юзи бўйича секториал статик момент қонуни бўйича ўзгарар экан.

Эркинмас буралиш ҳолатида бўлган, юпқа деворли стерженларни ҳисоблашда, нормал кучланишни қуйидаги формуладан аниқлаш лозим.

$$\sigma_{\omega} = \text{B}_{\omega}\cdot\omega/J_{\omega}\,, \tag{9.12}$$

бунда B_{ω} - ҳисобий эгувчи буровчи бимомент, $H\cdot см^2$;

J_{ω} – секториал инерция момент, см^6;

ω – секториал юза, см^2

Секториал уринма кучланиш қуйидаги формуладан аниқланади

$$\tau_{\omega} = M_{\omega}S^{1}_{\omega}\,/\,J_{\omega}\cdot\delta\,, \tag{9.13}$$

бунда M_{ω} - эгувчи- буровчи момент, $\text{H}\cdot см$; S^{1}_{ω} – кесимнинг, $\tau_{\omega}=0$ ва τ_{ω} аниқланадиган нуқталар оралиғида ажратилган қисми, секториал статик моменти; δ – уринма кучланиш аниқланадиган нуқтадан ўтувчи девор кесимининг қалинлиги.

Секториал характеристикалар $\omega\ , J_{\omega,}\ S_{\omega}$ ва эгилиш марказини аниқлаш усуллари 4-бобда келтирилган эди.

Қўштавр ва швеллер профилларининг секториал геометрик характеристикалари (9.2), (9.3) жадвалларда ва эгилиш маркази координаталарини аниқлаш формулалари ҳамда айрим метал профилларнинг секториал инерция моментлари (9.4) жадвалда келтирилган.

Стержень буралиш бурчагининг тенгламасини тузиш учун эркинмас буралишда ташқи ва ички моментлар боғланиш шартидан фойдаланилади, яъни

$$\mathrm{M} = \mathrm{M}_{\omega} + \mathrm{M}_{t}, \qquad (a)$$

бунда М - эгилиш марказига нисбатан момент.

Бу (а) ифодага M_{ω} ни (9.8) дан ва M_{t} ни (9.2) дан қийматларини қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз.

$$\mathrm{E}J_{co}\theta^{III} - GJ_{t}\theta^{1} = -M. \qquad (9.14)$$

(9.14) ни z бўйича, дифференциаллаб, буралиш бурчагининг дифференциал тенгламасини ҳосил қиламиз:

$$\theta^{IV} - K^{2}\theta^{II} = \frac{m}{\mathrm{E}J_{\omega}}, \qquad (9.15)$$

бунда $K = \sqrt{GJ_{t}/\mathrm{E}J_{\omega}}$ - эгилиш-буралиш ҳарактеристикаси; $m = -{dм}/{dz}$ - стерженга oz ўқи бўйлаб, таъсир этувчи ташқи ёйилган буровчи момент интенсивлиги.

(9.15) тенгламанинг бошланғич параметр усули бўйича ечими буралиш бурчагининг ифодасини беради.

$$\theta = \theta_{o} + \frac{\theta_{0}^{1}}{\kappa}Shkz + \frac{B_{0}}{GJ_{t}}(1 - chkz) + \frac{\mathrm{M}_{0}}{\kappa GJ_{t}}(\kappa z - Shkz) + f(z)\cdot \qquad (9.16)$$

Бу ерда $\theta_{o}, \theta_{o}^{1}, B_{o}$ *ва* M_{o} – мос равишда, координата бошининг, буралиш бурчаги, нисбий буралиш бурчаги, бимоменти ва умумий буралиш моменти; $f(z)$ – кучлар ва деформация таъсиридаги функциялар факторлари, пролетда берилган +(9:5 – жадвал).

Ҳар хил маҳкамланиш усули ва юкланиш схемалари учун бошланғич параметр қийматлари 9.6-жадвалда келтирилган.

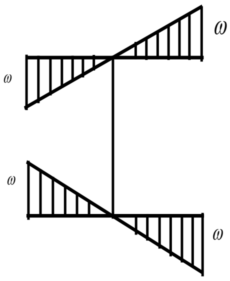
Кучлар таъсирининг мустақиллик принципидан фойдаланиб, турли хил кучлар бирикмаси учун бошланғич парметрларни топиш мумкин. Куч ва геометрик фактлари орасида қуйидаги дифференциал боғланиш мавжуд:

$$\mathrm{M}_{t} = \Theta^{1}GJ_{t}, \qquad (9.17)$$

бунда M_{t} – соф буралишдаги момент, $H \cdot M$.

M_{t} дан z , бўйича биринчи ҳосила олиб ва уни $-\frac{1}{\kappa^{2}}$ га кўпайтириб бимомент тенгламасини ҳосил қиламиз.

$$\mathrm{B}_{\omega} = -\frac{1}{\kappa^{2}}\frac{d\mathrm{M}_{t}}{dz}. \qquad (9.18)$$

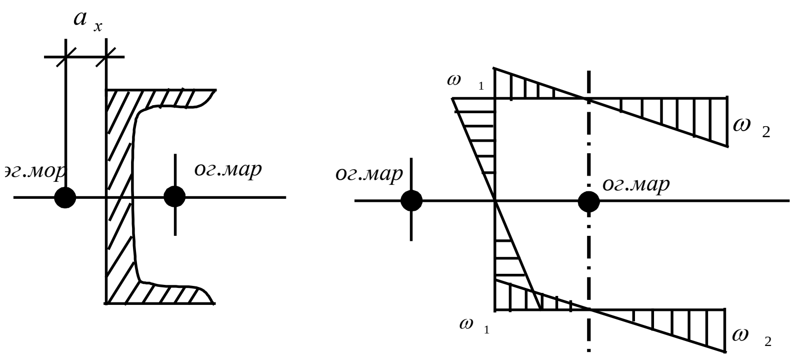


Қўштавр прокатларнинг секториал геометрик характеристикалари

9.2 - жадвал.

Профил номери	**Секториал Инерция моменти** $J_\omega^I (см^6)$	**Профил четки нуқталари учун секториал юза** $w_{\max,(см^2)}$	**Секториал қаршилик момент** $W_\omega,(см^4)$	**Соф Бурилишда секториал моменти** $J_t(см^4)$	Эгувчи-бурувчи эластик характеристика $= \sqrt{GJ_t / EJ_\sigma^3} (см^{-1})$
10	644,3	15,25	42,26	2,873	0,04122
12	1353	20,10	67,33	4,243	0,03457
14	2560	25,54	100,23	5,911	0,02966
16	4879	32,25	151,30	8,406	0,02562
18	8219	38,90	211,28	11,37	0,02295
20	13121	46,15	284,31	14,81	0,02074
22	22799	55,91	407,33	20,32	0,01844
24	33799	64,48	524,15	25,57	0,01698
27	52987	76,68	690,99	31,93	0,01515
30	76704	88,38	867,93	38,83	0,01389
33	107160	100,69	1064,3	46,19	0,01281
36	154820	115,19	1344,0	56,85	0,01183
40	228900	134,13	1706,6	68,75	0,01070
45	376630	159,75	2357,6	05,31	0,009819
50	611990	187,10	3270,9	131,2	0,009038
55	906350	216,19	4180,8	159,9	0,008198
60	1349900	251,22	5373,4	195,5	0,007425

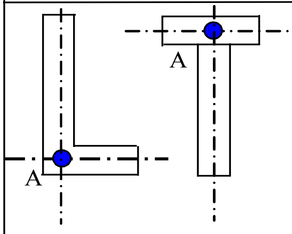
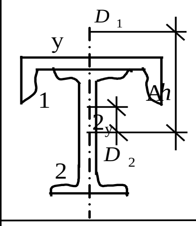
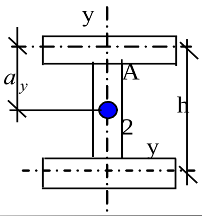
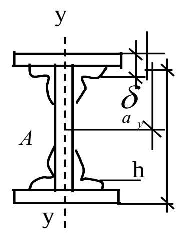
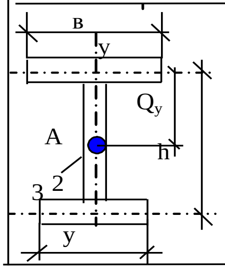
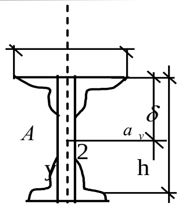
Швеллер прокатларнинг секториал геометрик ҳарактеристикалари



9.3 – жадвал

Профил номери	Эгилиш мар-кази-нинг координа-таси $a_x,(см)$	Секто риал инер -ция ментни $J_\omega,(см^6)$	Секториал юза		Секториал қаршилик моменти		Соф буралишда инерция моменти J	Эгувчи-бурувчи эластик характе-ристика $K=\sqrt{\frac{G J_t,}{EJ_\omega}}(см^{-1})$ $(см^{-1})$
			ω_1 $(см^2)$	$)$	W_{co_1} $(см^4)$	W_{co_2} $(см^4)$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	1,08	24,91	2,70	4,26	9,22	5,85	1,350	0,14370
6,5	1,15	64,88	3,86	6,36	16,80	10,21	1,497	0,09315
8	1,22	141,8	5,15	8,75	27,57	16,20	1,940	0,07219
10	1,34	254,8	7,19	12,71	49,35	27,92	2,727	2,05411
12	1,48	768,3	9,54	17,31	80,51	44,39	3,634	0,04245
14	1,58	1512	12,03	22,63	125,74	66,85	4,815	0,03483
16	1,68	2760	14,74	28,63	187,23	96,40	6,306	0,02950
18	1,83	47,45	17,68	35,32	268,41	134,34	8,128	0,02655
20	1,94	7698	21,27	42,46	361,95	181,28	9,84	0,02201
22	2,01	11593	24,84	49,60	466,69	233,73	11,66	0,01958
24	2,10	15326	27,48	55,21	557,74	277,59	13,21	0,01812
27	2,14	24337	31,85	66,46	764,11	366,19	16,25	0,01505
30	2,26	36645	37,21	76,54	984,87	478,78	20,39	0,01456
33	2,25	52630	41,39	88,54	1271,7	594,43	24,29	0,01326
36	2,47	92189	49,50	104,55	1862,2	881,11	38,91	0,01268
40	2,43	148100	55,18	121,67	2655,1	1217,2	59,74	0,01240

9.4-жадвал

Кесим тури	Эгилиш маркази координатас	Сект.инерц. Моменти J_ω	. кесим тури	Эгилиш маркази координатаси	Сектор.инерция моменти J_ω
1	2	3	1	2	3
				$a_y = \frac{J_{1y}h}{J_y}$	$J_{1\omega} + J_{2\omega} + \frac{J_{1y}J_{2y}h^2}{J_y}$
	$a_y = \frac{h}{2}$	$\frac{d_{zy}h^2}{2}$		$a_y = -\frac{h}{2}$	$\frac{J_y h^2}{4}$
	$a_y = \frac{J_{3y}h}{J_y}$	$\frac{J_{1y}J_{3y}h^2}{J_y}$		$a_y = \frac{2J_{zy}h}{J_y}$	$\frac{4J_{1y}J_{3y}h^2}{J_y}$

Эгувчи бурувчи момент

$$\mathrm{M}_\omega = \frac{dB_\omega}{dz} \qquad (9.19)$$

Умумий бурувчи момент $\mathrm{M} = \mathrm{M}_t + \mathrm{M}_\omega$ (9.20)

Яхлит моментли кучнинг интенсивлиги тенг:

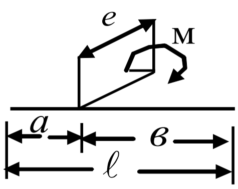
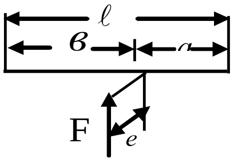
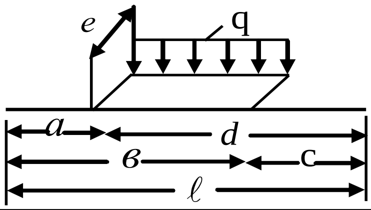
$$m = d\mathrm{M}/dz \qquad (9.21)$$

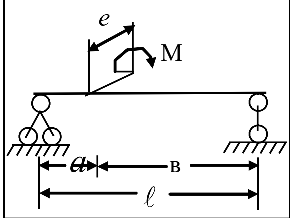
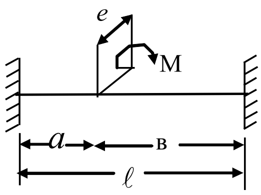
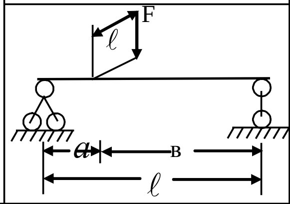
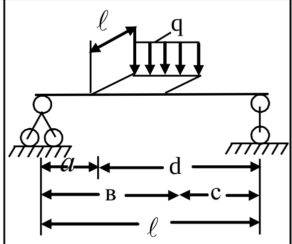
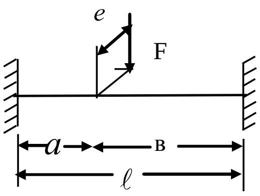
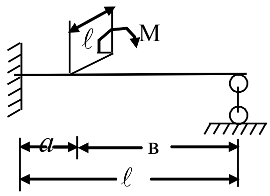
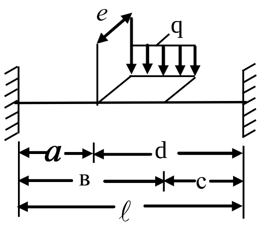
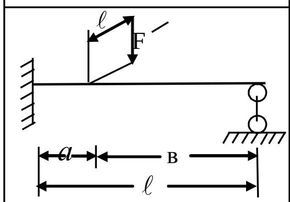
Эркинмас буралиш ва кўндаланг эгилиш орасида қуйидагича ўхшашлик мавжуддир:

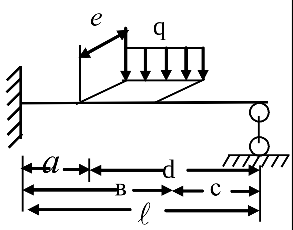
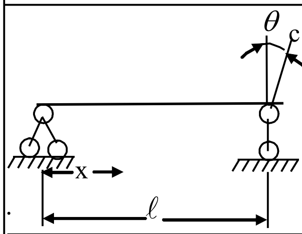
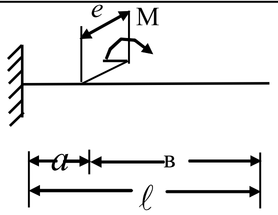
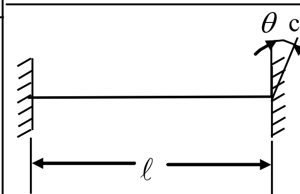
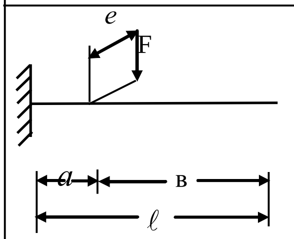
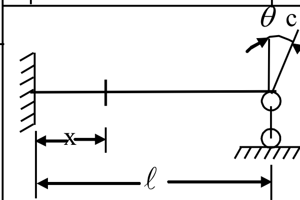
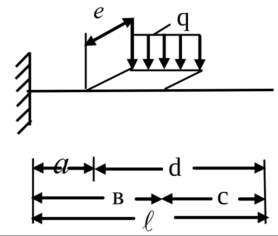
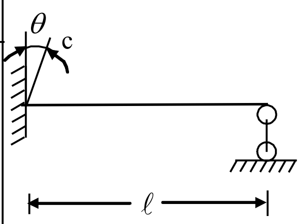
Эркинмас буралиш:	Кўндаланг эгилиш:
$\mathrm{E}J_\omega \Theta^{IV} = m;$	$\mathrm{E}J_y Z^{IV} = q;$
$\mathrm{E}J_\omega \Theta^{III} = M_\omega;$	$\mathrm{E}J_y Z^{III} = Q;$
$\mathrm{E}J_\omega \Theta^{II} = B_\omega;$	$\mathrm{E}J_y Z^{II} = M;$
$\mathrm{E}J_\omega \Theta^{I};$	$\mathrm{E}J_y Z^{I};$
$\mathrm{E}J_\omega \Theta\ ;$	$\mathrm{E}J_y Z\ ;$

f (x) функция ва унинг ҳосиласи

9.5 жадвал

функция	Юк турлари		
			
$f(x)$	$-\frac{\mathrm{M}\cdot e}{GJ_t}\left[1-ch(x-a)\right]$	$\frac{F\cdot e}{KGJ_t}\left[K(x-a)-sh\kappa(x-a)\right]$	Иккинчи участка $\frac{m}{\kappa^2 GJ_t}\left[\frac{\kappa^2(t-a)^2}{2}-ch\,\kappa(x-a)+1\right]$; Учинчи участка $\frac{m}{\kappa^2 GJ_t}\left[\frac{\kappa^2(z-a)^2}{2}-ch\kappa(x-a)-\frac{\kappa^2(x-в)^2}{2}+ch\kappa(x-в)\right]$
$f^1(x)$	$\frac{\mathrm{M}e\kappa^2}{GJ_t}sh\kappa(x-a)$	$\frac{Fe}{GJ_t}\left[1-ch\kappa(x-a)\right]$	Учинчи участка $\frac{m}{\kappa GJ_t}\left[\kappa(x-a)-sh\kappa(x-a)+sh\kappa(x-в)\right]$
$f^{11}(x)$	$\frac{\mathrm{M}e\kappa^2}{GJ_t}ch\kappa(x-a)$	$-\frac{Fe\kappa}{GJ_t}sh\kappa(x-a)$	Учинчи участка $\frac{m}{GJ_z}\left[ch\kappa(ch\kappa(x-в)-ch\kappa(x-a)\right]$

<table>
<tr><th colspan="4">Юпка деворли стерженларнинг хусусий юклаш усулида хисоблашда бошлангич параметрлар</th></tr>
<tr><th>Балка схемаси ва юк</th><th>Бошлангич параметрлари</th><th>Балка схемаси ва юк</th><th>Бошлангич параметрлари</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>$\theta_0^1 = \frac{Mek}{GJ_t}\left(\frac{1}{\kappa\ell} - \frac{ch\alpha\kappa\ell}{sh\kappa\ell}\right); \theta_0 = 0;$
$\mathrm{M}_0 = \mathrm{M}e/\ell; B_0 = 0; \alpha = в/\ell$</td>
<td rowspan="2"></td>
<td rowspan="2">$B_0 = \mathrm{M}\,e\big[(1 - ch\,\alpha\kappa\ell)(1 - ch\kappa\,\ell) +$
$+ sh\,\alpha\kappa\ell(\kappa\ell - sh\,\kappa\ell)\;\big]\big[2(1 - ch\kappa\,\ell) +$
$\kappa\ell sh\,\kappa\ell\;\big]^{-1};$
$\mathrm{M}_0 = \mathrm{M}\,e\kappa\big[sh\,\kappa\ell(1 - ch\,\alpha\,\kappa\ell) - sh\,\alpha\,\kappa\ell$
$(1 - ch\kappa\,\ell)\;\big]\big[2(1 - chr\kappa\,\ell) + \kappa\ell sh\,\kappa\ell\;\big]^{-1};$
$\theta_0 = 0;\;\; \theta_0^1 = 0$</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>$\theta_0^1 = -\frac{Fe}{GJ_t}(\alpha - \frac{sh\alpha\kappa\ell}{sh\kappa\ell});$
$\theta_0^1 = 0;\;\; \mathrm{M}_0 = -\alpha Fe; B_0 = 0;$
$\alpha = в/\ell$</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>$\theta_0^1 = -\frac{m}{KGJ_t}$
$\left[\left(\frac{\alpha^2\kappa\ell}{2} - \frac{ch\,\kappa\ell}{sh\kappa\ell}\right) - \left(\frac{\alpha_1^2\kappa\ell}{sh\kappa\ell}\right)\right];$
$\alpha = d/\ell;$
$\mathrm{M}_0 = -\frac{m\,\ell}{2}(\alpha^2 - \alpha_1^2);$
$\theta_0 = 0;$
$B_0 = 0;\; \alpha_1 = c/\ell$</td>
<td></td>
<td>$B_0 = -\frac{F\ell}{\kappa}\big[(\alpha\kappa\ell - sh\alpha\kappa\ell)(1 - ch\kappa\ell) -$
$(1 - ch\alpha\kappa\ell) - (\kappa\ell - sh\kappa\ell)\;\big]\;/$
$\big[2(1 - ch\kappa\ell) + \kappa\ell sh\kappa\ell)\;\big]$; $\mathrm{M}_0 = -F\ell\big[(\alpha\kappa\ell -$
$sh\alpha\kappa\ell)sh\kappa\ell + (1 - ch\alpha\kappa\ell)(1 - ch\kappa\ell)\;\big]$
$/\big[2(1 - ch\kappa\ell) + +\kappa\ell shr\kappa\ell\;\big]; \theta_0 = 0;\;\; \theta_0^1 = 0$</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>$\mathrm{B}_0 = -Me\frac{\kappa\ell ch\alpha\kappa\ell}{sh\kappa\ell - \kappa\ell ch\kappa\ell};$
$M_0 = -Me\kappa\,\frac{ch\kappa\,\ell - ch\,\alpha\kappa\ell}{sh\,\kappa\ell - \kappa\ell ch\kappa\,\ell};$
$\theta_0 = 0; \theta_0^1 = 0;\; в = c/\ell$</td>
<td rowspan="2"></td>
<td rowspan="2">$B_0 = \big\{\big[(0{,}5\kappa^2\alpha^2\ell^2 - ch\alpha\kappa\ell)(1 - ch\kappa\ell) - (\alpha\kappa\ell - ch\alpha\kappa\ell)$
$(\kappa\ell - sh\kappa\ell)\;\big]/\big[2(1 - ch\alpha\kappa\ell) + \kappa\ell sh\kappa\ell\;\big]\big\} -$
$\big\{\big[(0{,}5\kappa^2\alpha_1^2\ell^2 - ch\alpha_1\kappa\ell)(1 - ch\kappa\ell) -$
$-(\alpha_1\kappa\ell - sh\alpha_1\kappa\ell)(\kappa\ell - sh\kappa\ell)\;\big]/$
$/\big[2(1 - ch\kappa\ell) + \kappa\ell sh\kappa\ell\;\big]\big\};$
$\mathrm{M}_0 = \big\{\big[(0{,}5\kappa^2\alpha^2\ell^2 - ch\alpha_1\kappa\ell)sh\kappa\ell +$
$+(\alpha\kappa\ell - sh\,\alpha\kappa\ell)(1 - ch\kappa\ell)\;\big]/\big[2(1 -$
$- ch\kappa\ell) + \kappa\ell sh\kappa\ell\;\big]\big\} - \big\{\big[(0{,}5\kappa^2\alpha^2\ell^2 -$
$ch\,\alpha_1\kappa\ell)sh\kappa\ell + (\alpha_1\kappa\ell - sh\,\alpha_1\kappa\ell)(1 - ch\kappa\ell)$
$/\big[2(1 - ch\kappa\ell) + \kappa\ell sh\kappa\ell\;\big]\big\};$
$\theta_0 = 0;\;\; \theta_0^1 = 0$</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>$\mathrm{B}_0 = -Fe\,\ell\,\frac{\alpha sh\kappa\ell - sh\,\alpha\kappa\ell}{sh\kappa\ell - \kappa\ell ch\kappa\ell};$
$\mathrm{M}_0 = Fe\frac{\alpha\kappa\ell ch\kappa\ell - sh\,\alpha\kappa\ell}{sh\kappa\ell - \kappa\ell ch\kappa\ell};$
$\theta_0 = 0; \theta_0^1 = 0;\; \alpha = в/\ell$</td>
</tr>
</table>

Юпка деворли стерженларнинг хусусий юклаш усулида хисоблашда бошлангич параметрлар			
Балка схемаси ва юк	**Бошлангич параметрлари**	**Балка схемаси ва юк**	**Бошлангич параметрлари**
	$B_0=-\frac{m\ell}{\kappa}\left[\frac{1}{2}\ \frac{\alpha^2\kappa\ell sh\kappa\ell-ch\,\alpha\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}\right.$ $\left.\frac{1}{2}\ \frac{\alpha_1^2\kappa\ell sh\kappa\ell-ch\alpha_1\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}\right];$ $M_0=\frac{m}{\kappa}\left[\frac{\frac{1}{2}\alpha^2\kappa^2\ell^2 ch\kappa\ell-ch\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}-\right.$ $\left.-\frac{\frac{1}{2}\alpha_1^2\kappa^2\ell^2 ch\kappa\ell-ch\alpha_1\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}\right]$ $\theta_0=0;\ \theta_0^1=0;\ \alpha=d/\ell;\ \alpha_1=c/\ell;$.		
			$\theta_0=0;\theta_0^1=\theta_0/\ell;$ $B_0=0;M_0=GJ_t\theta_\ell/\ell$
	$B_0=M\ell\frac{ch\,\alpha\kappa\ell}{ch\kappa\ell};M_0=0;$ $\theta_\nu=0;\theta_0^1=0;\ \alpha=в/c.$		$B_0=-(\theta_\ell GJ_t th\kappa\ell/2)/(\kappa\ell-$ $-2th\kappa\ell/2\ );$ $\theta_0=0;\theta_0^1=0.$
	$B_0=\frac{Fe}{\kappa}\left(th\kappa\ell-\frac{sh\,\alpha\kappa\ell}{ch\kappa\ell}\right);$ $M_0=-Fe;\theta_0=0;\ \theta_0^1=0;$ $\alpha=в/\ell$		$B_0=-\theta_\ell GJ_t sh\kappa\ell/(\kappa\ell ch\kappa\ell-sh\kappa\ell);$ $M_0=GJ_t\theta_\ell\kappa ch\kappa\ell/(\kappa\ell ch\kappa\ell-sh\kappa\ell);$ $\theta_0=0;\theta_0^1=0.$
	$B_0=\frac{m}{\kappa^2}\left[\alpha\kappa\ell th\kappa\ell-\frac{ch\alpha\kappa\ell}{ch\kappa\ell}\right)-$ $-\left(\alpha_1\kappa\ell th\kappa\ell-\frac{ch\alpha_1\kappa\ell}{ch\kappa\ell}\right)\Big]$ $M_0=-m(d-c);\theta_0=0;\theta_0^1=0$		$B_0=\theta_\ell GJ_t sh\kappa\ell/(\kappa\ell ch\kappa\ell-sh\kappa\ell);$ $M_0=\theta_\ell\kappa GJ_t\ \kappa ch\kappa\ell/(\kappa\ell ch\kappa\ell-sh\kappa\ell);$ $\theta_0=0;\theta_0^1=0.$

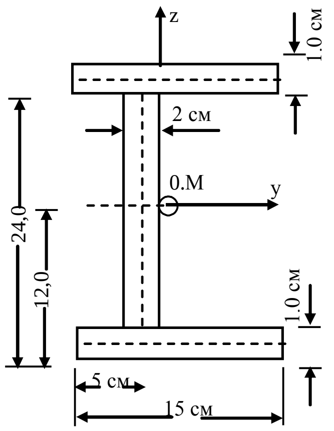
9.1-мисол.

9.6-шаклда кўрсатилган носимметрик қўштавр учун эгилиш маркази координаталари, ω ҳисобланадиган саноқ боши сифатида бош ноль нуқта топилсин, секториал инерция моменти ҳисоблансин.

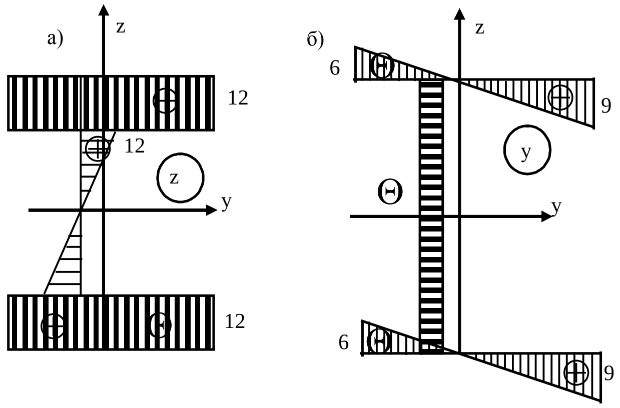
Ечиш: Бош марказий инерция моментларини z ва y эпюралари бўйича Верешчагин формуласидан фойдаланиб ҳисоблаймиз:

$$J_z=\int_A y^2 dA=2\cdot1\cdot24\cdot1+\frac{2\cdot1\cdot15}{6}\left[2(6\cdot6+9\cdot9-6\cdot9)\right]=678см^4;$$

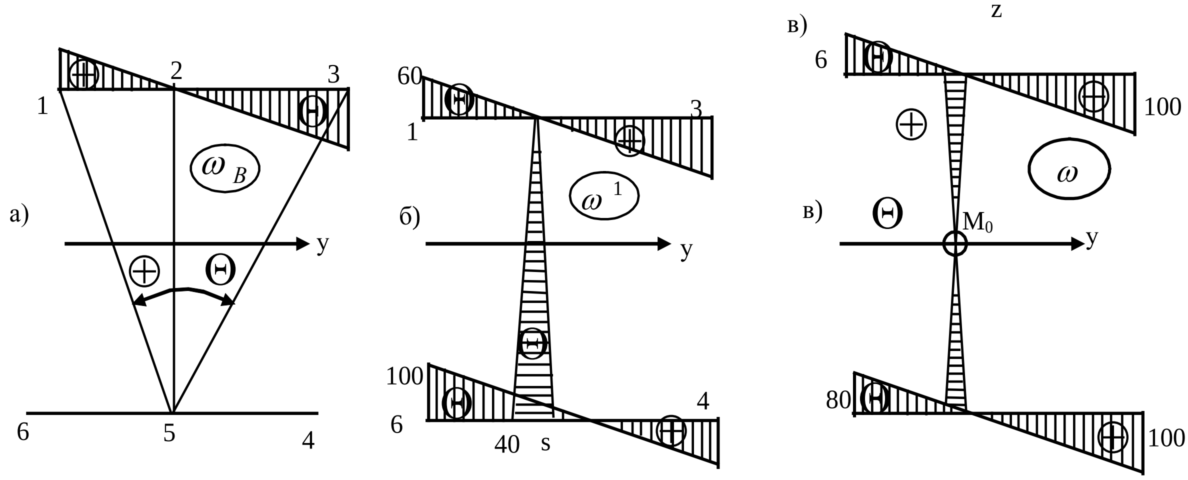
$$J_y=\int_A z^2 dA=2\cdot1\cdot12\cdot15\cdot12+\frac{2\cdot2\cdot12\cdot12}{2}\cdot\frac{2}{3}\cdot12=6624см^4.$$



9.6-шакл



9.7-шакл



9.8 -шакл

Қутб В ни 5 нуқтада, ω_B нинг ҳисоб боши нуқтасини 2 да олиб, ω_B эпюрасини қурамиз (9.8-шакл, а).

Бу эпюрани кетма-кет y ва z эпюраларига Верешчагин қоидаси бўйича кўпайтириб, секториал чизикли статик моментларни топамиз.

$$S_{\omega_{BZ}} = \frac{1 \cdot 15}{6}\left[-2 \cdot 6 \cdot 120 - 2 \cdot 9 \cdot 240 + 9 \cdot 120\right] = -8100\,см^5;$$

$$S_{\omega_{B_y}} = \frac{1 \cdot 120 \cdot 5}{2} \cdot 12 - \frac{1 \cdot 240 \cdot 10}{2} \cdot 12 = -10800\,см^5.$$

Эгилиш марказининг координаталари қуйидаги формуладан аниқланади.

$$\alpha_z = -\frac{S_{\omega Bz}}{J_z} = -\frac{-8100}{678} = 11.95\,см;$$

$$\alpha_y = -\frac{S_{\omega By}}{J_y} = -\frac{10800}{6624} = -1{,}63\,см.$$

Эгилиш маркази симметрия ўқи OY ўқида ётади.

Қутбни эгилиш марказида жойлаштириб, ω^1 эпюрасини қуриб бош ноль нуқтани топамиз, бунда 2 нуқтани ҳисоб боши нуқтаси деб олинади (9.8-шакл, б).

Верешчагин усули билан қуйидаги формула бўйича ω^1 эпюрасидан фойдаланиб, D ўзгармас сонни ҳисоблаймиз:

$$D=\frac{\int_A \omega^1 dA}{A}=\left[\left(\frac{-120+60}{2}\right)\cdot 15\cdot 1-\frac{1}{2}\cdot 40\cdot 24\cdot 2+\left(\frac{-100+80}{2}\right)\cdot 15\cdot 1\right]\cdot\frac{1}{76}=-20см^2.$$

$\omega=\omega^1-D$ тенгликдан фойдаланиб ω эпюрасини қуриш учун қуйидагиларни ҳисоблаймиз:

$$\begin{cases}\omega_1=60-(-20)=80см^2; \quad \omega_2=0-(-20)=20см^2; \quad \omega_3=-120-(-20)=-100см^2;\\ \omega_4=80-(-20)=100см^2; \quad \omega_5=-40(-20)=-20см^2; \; \omega_t=-100-(-20)=-80см^2.\end{cases}$$

Топилган қийматлардан фойдаланиб, ω эпюрасини қурамиз (9.8-шакл, в).

Секториал инерция моментини топиш учун ω эпюрасини ўзини-ўзига кўпайтирамиз:

$$J_\omega=\delta\int_A \omega^2 ds=2\frac{1\cdot 15}{6}\left[2(80\cdot 80+100\cdot 100-80\cdot 100)\right]+\frac{2\cdot 2\cdot 20\cdot 12}{2}\cdot\frac{2}{3}\cdot 20=90400см^{6,}.$$

<u>9.2-мисол.</u>

9.9-шакл, а) да кўрсатилган юпқа деворли стержень учун буралиш бурчаги, соф буралиш моменти, бимомент ва эгувчи-буровчи момент тенгламалари тузилсин. $M_{t,}\ B_\omega,\ M_\omega,\ Q\ ва\ M$ эпюралари қурилсин. Ҳамда хавфли кесим учун $\sigma_u,\sigma_\omega\ ва\ \sigma$ лар эпюралари қурилсин. Стержень кўндаланг кесим юзи 9.10-шакл, а) да кўрсатилган.

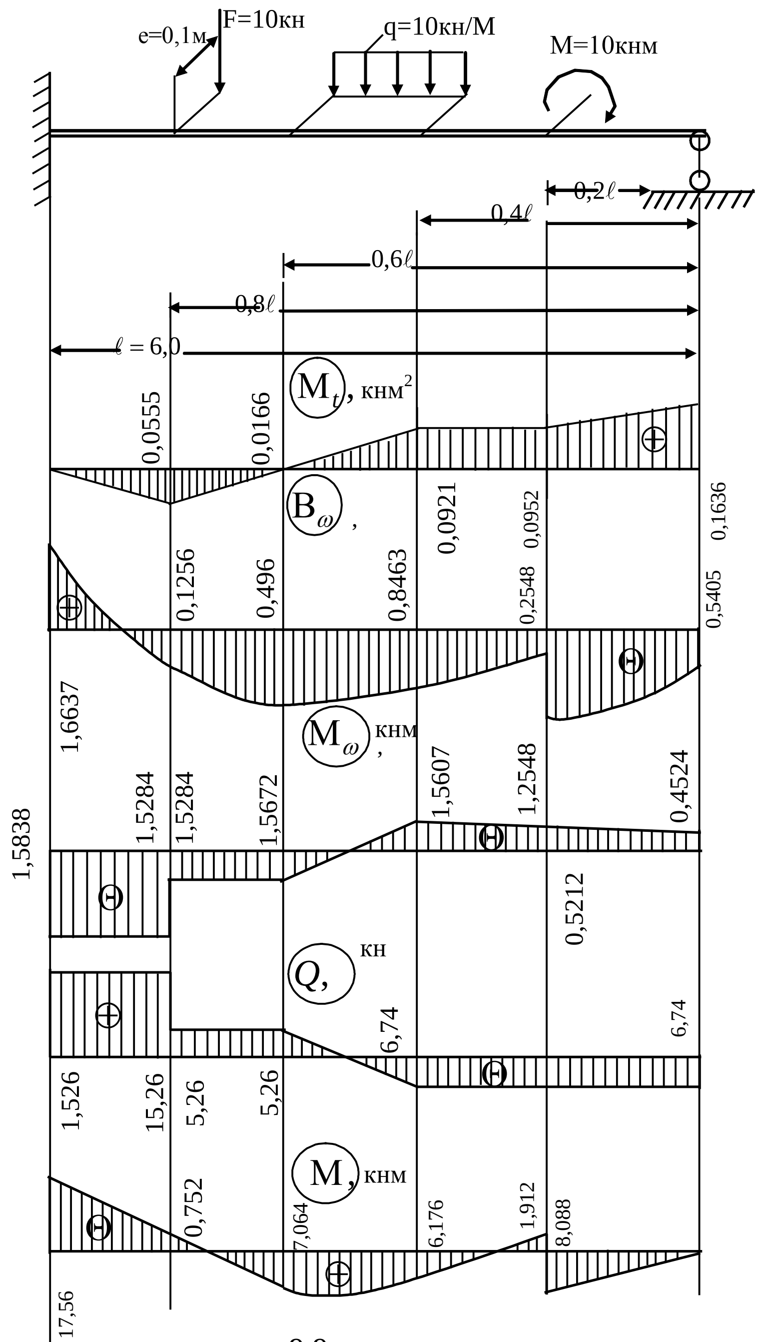
Ечиш: Кўндаланг кесимнинг геометрик ҳарактеристикаларини ҳисоблаймиз.

1) Кўндаланг кесим юзи:

$$A=2\cdot 20\cdot 3+70\cdot 3+40\cdot 3+110\cdot 3=780\ см^2.$$

2) y ўқига нисбатан оғирлик марказининг ҳолати:

$$Z_c=\frac{\sum S_y}{\sum A}=\frac{2\cdot 20\cdot 3\cdot 65+70\cdot 3\cdot 95-40\cdot 3\cdot 55}{780}=\frac{12750}{780}=16.3см.$$



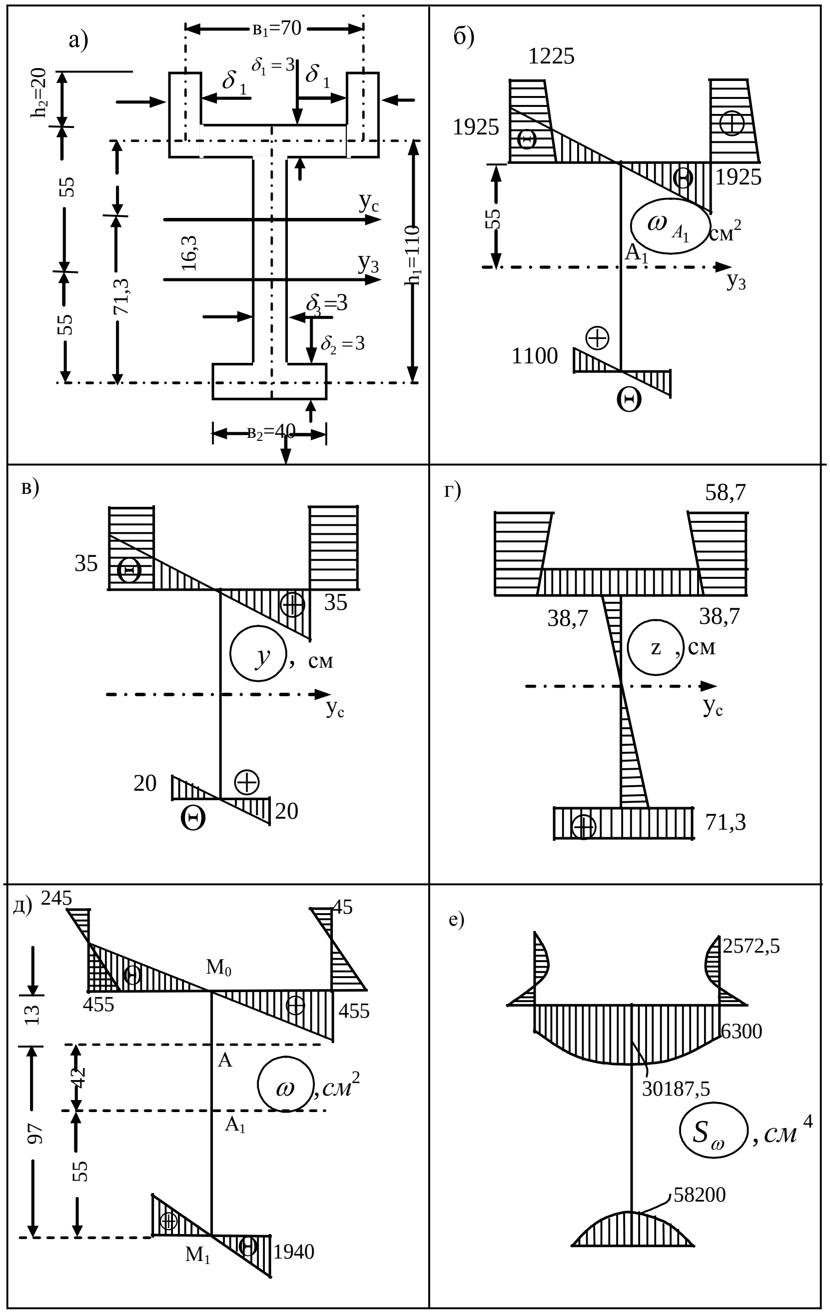
9.9-шакл

3) Кесимнинг бош марказий инерция моменти (9.10-шакл, a):

$$J_{zc} = 2\left(\frac{2{,}0\cdot 3^3}{12} + 20\cdot 3\cdot 35^2\right) + \frac{3\cdot 70^3}{12} + \frac{110\cdot 3^3}{12} + \frac{3\cdot 40^3}{12} = 249087\,см^4;$$

$$J_{zc} = 2\left(\frac{3\cdot 2{,}0}{12} + 3\cdot 2{,}0\cdot 48{,}7^2\right) + \left(\frac{70\cdot 3^3}{12} + 70\cdot 3\cdot 38{,}7^2\right) +$$

$$+\left(\frac{3\cdot 110^3}{12} + 3\cdot 110\cdot 16{,}3^2\right) + \left(\frac{40\cdot 3^3}{12} + 40\cdot 3\cdot 71{,}3^2\right) = 1633835{,}7\,см^4.$$



9.10-шакл

4) Ихтиёрий A_1 қутбга нисбатан секториал юзанинг эпюраси ёрдамида эгилиш марказининг ҳолатини топамиз. (9.10-шакл, б):

y ва z эпюраларини қурамиз (9.10-шакл, в, г).

Верешчагин қоидасини тадбиқ этиб, ω ва y эпюрасидан чизикли секториал статик моментни аниқлаймиз:

$$S_{(\omega A_1 Y)} = \int_A \omega_{A1} \cdot y dA = 2\left(\frac{1925\cdot 35}{2}\cdot\frac{2}{3}\cdot 35\cdot 3 + \frac{1925+1225}{2}\cdot 20\cdot 35\cdot 3 - \frac{1100\cdot 20}{2}\cdot\frac{2}{3}\cdot 20\cdot 3\right) =$$

$$= 10451250 \ см^5.$$

Кесимнинг Z ўқи симметрик бўлганлигидан чизиқли секториал статик момент $S_{(\omega_{A1} z)} = 0$ бўлади.

Эгилиш маркази А координаталарини, A_1 нуқта координаталари орқали ифодалаймиз: $S_{(\omega_{A1}z)} = 0$, бўлганлигидан , $a_y = 0$;

$$\alpha_z = -\frac{S_{(\omega A_1 y)}}{J_{zc}} = \frac{10451250}{249087} = -42 см.$$

5) Бош нуқта $М_0$, профил ўрта чизиғининг симметрия ўқида эгилиш марказига яқин нуқтада кесишган нуқтасига тўғри келади.

6) Бош секториал координата ω эпюрасини қурамиз (9.10-шакл, ∂).

7) Верешчагин қоидаси бўйича ω эпюрасини ўзини-ўзига кўпайтириб, секториал инерция моменти топилади:

$$J_\omega = \int_A \omega^2 dA + \sum A_\omega \cdot \omega_c \, \delta \, ,$$

бунда A_ω – секториал юза эпюрасининг алоҳида участкасининг юзаси;

ω_c – шу эпюра алоҳида участкалари юзаси оғирлик марказининг ординатаси;

δ – кесим элементларининг қалинлиги:

$$J_\omega = 2\left[\frac{20}{6}(2\cdot 455\cdot 455 + 2\cdot 245\cdot 245 - 455\cdot 245\cdot 455)\cdot 3 + \frac{455\cdot 35}{2}\frac{2}{3}455\cdot 3 + \frac{1940\cdot 20}{2}\cdot\frac{2}{3}\cdot 1940\cdot 3\right] =$$

$$= 171260745 \quad см^6$$

8) Буралиш инерция моменти J_t қуйидаги формуладан топилади

$$J_t = \frac{\alpha}{3}\sum h_i \ \delta_i^{\ 3} \ ,$$

бунда h_i *ва* δ_i - профилнинг ҳар бир тўғри тўртбурчак элементининг баландлиги ва қалинлиги ;

α – профил шаклига боғлик бўлган коэффициент, берилган шакл учун $\alpha = 1{,}15 га$ тенг.

9.10- шакл, a) билан мос ҳолда топамиз

$$J_t = \frac{1.15}{3}(2\cdot 20\cdot 3^3 + 70\cdot 3^3 + 110\cdot 3^3 + 40\cdot 3^3) = 2691 \, см^4 .$$

9) Эгилиш буралиш ҳарактеристикаси

$$K = \sqrt{\frac{GJ_t}{EJ_\omega}} = \sqrt{\frac{8\cdot 10^5\cdot 2691}{2\cdot 10^6\cdot 17126745}} = 0{,}00251\frac{1}{см} = 0{,}251\frac{1}{м} .$$

10) Буралиш бурчагининг тенгламаси (9.16) стержень чап кесимининг маҳкамланишини ҳисобга олсак у қуйидаги кўринишни олади.

$$\theta=\frac{B_0}{GJ_t}(1-chkx)+\frac{M_0}{\kappa GJ_t}(\kappa x-shkx)+f(x). \qquad (a)$$

Бошланғич параметрлар 9.6-жадвалнинг 4-6 схемалари бўйича топилади:

$$B_0=-Fe\ell\frac{\alpha_F sh\kappa\ell-sh\alpha_F\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}-\frac{m\ell}{\kappa}\left[\frac{0{,}5\alpha_q^2\kappa\ell sh\kappa\ell-ch\alpha_{1q}\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}-\frac{0{,}5\alpha_{1q}^2\kappa\ell sh\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}\right]-$$

$$-\mathrm{M}e\frac{\kappa\ell ch\alpha_м\kappa\ell-sh\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}, \qquad (б)$$

$$M_0=Fe\frac{\alpha_F\kappa\ell c\ell-sh\alpha_F\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}+\frac{m}{\kappa}\left[\frac{0{,}5\alpha_q^2\kappa^2\ell^2 sh\kappa\ell-ch\kappa\ell-ch\alpha_q\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}-\frac{0{,}5\alpha_{1q}^2\kappa^2\ell^2 ch\kappa\ell-\alpha_{1q}\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}\right]-$$

$$-\mathrm{M}\cdot e\cdot\kappa\frac{ch\kappa\ell-ch\alpha_м\kappa\ell}{sh\kappa\ell-\kappa\ell ch\kappa\ell}, \qquad (в)$$

бунда

$$\alpha_м=0{,}2;\quad \alpha_{1q}=0{,}4;\quad \alpha_q=0{,}6;\quad \alpha_F=0{,}8\quad (9.9-шакл);$$

$$\kappa\ell=0{,}00251\cdot 600=1{,}506;\quad m=qe=10\cdot 0{,}1=1{,}0;$$

Берилган ҳол учун буралиш $\mathrm{M}_o=\mathrm{M}_\omega$ бўлади.

Гиперболигик функциялар таблицасидан топамиз:

$$sh\kappa\ell=sh1{,}506=2{,}1434;\qquad ch\alpha_q\kappa\ell=ch\,0{,}9036=1{,}4366;$$

$$sh\alpha_F\kappa\ell=sh1{,}2048=1{,}5182;\qquad ch\alpha_{1q}\kappa\ell=ch\,0{,}6024=1{,}1870;$$

$$ch\kappa\ell=ch1{,}506=2{,}3652;\qquad ch\alpha_м\kappa\ell=ch\,0{,}3012=1{,}0457.$$

Топилган бу қийматларни (б) га қўямиз:

$$\mathrm{B}_0=-10\cdot 0{,}1\cdot 6\frac{0{,}8\cdot 2{,}1434-1{,}5182}{2{,}1434-1{,}506\cdot 2{,}3652}-\frac{1\cdot 6}{0{,}251}\left[\frac{0{,}5\cdot 0{,}6^2\cdot 1{,}506\cdot 2{,}1434-1{,}4366}{2{,}1434-1{,}506\cdot 2{,}3632}-\right.$$

$$\left.-\frac{0{,}5\cdot 0{,}4^2\cdot 1{,}506\cdot 2{,}1434-1{,}1870}{2{,}1434-1{,}506\cdot 2{,}3652}\right]-10\cdot 0{,}1\left[\frac{1{,}506\cdot 1{,}506^2\cdot 2{,}3652-1{,}4366}{2{,}1434-1{,}506\cdot 2{,}3652}=\right.$$

$$=-1{,}6637кн\cdot м^2$$

$$\mathrm{M}_0=10\cdot 0{,}1\frac{0{,}8\cdot 1{,}506\cdot 2{,}3652-1{,}5182}{2{,}1434-1{,}506\cdot 2{,}3652}+\frac{1}{0{,}251}\left[\frac{0{,}5\cdot 0{,}6^2\cdot 1{,}506^2\cdot 2{,}3652-1{,}4366}{2{,}1434-1{,}506\cdot 2{,}3652}-\right.$$

$$\left.\frac{0{,}5\cdot 0{,}4^2\cdot 1{,}506^2\cdot 2{,}3652-1{,}1870}{2{,}1434-1{,}506\cdot 2{,}3652}\right]-10\cdot 0{,}1\cdot 0{,}251\frac{2{,}3652-1{,}0457}{2{,}1434-1{,}517\cdot 2{,}3652}=-1{,}5838\kappa H\cdot\mathrm{M}.$$

(а) формулага B_0, M_0 ларнинг қийматини ва 9.5-жадвалидан $f(x)$ функциянинг қийматини 5-участканитнг буралиш бурчаги тенгламасига қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\theta=\frac{1}{GJ_t}\left\{1.6637(1-ch0{,}251x)-\frac{1{,}5838}{0{,}251}(0{,}251x-sh\ 0{,}251x)+\frac{F\cdot e}{0{,}251}\left[0{,}251(x-1{,}2)-\right.\right.$$

$$\left.-sh0.251\ (x-1{,}2)\right]+\frac{m}{0.251^2}\left[\frac{0.251^2(x-2{,}4)^2}{2}-ch\ 0{,}251(x-2{,}4)+1\right]-$$

$$\left.-\frac{m}{0.251^2}\left[\frac{0{,}251^2(x-3{,}6)^2}{2}-ch0{,}251(x-3{,}6)+1\right]-M\cdot e\left[1-ch0{,}251(x-4{,}8)\right]\right\}\qquad (г)$$

Бундан ташқари, қуйидаги момент тенгламаларига эгамиз:

Соф буралиш

$$\text{M}_t=\theta^1GJ_t=-1{,}6637\cdot0{,}251\cdot sh0{,}251x-1{,}5838(1-ch0{,}251x)+$$

$$+Fe\left[1-ch0{,}251(x-1{,}2)\right]+\frac{m}{0{,}251}\left[0{,}251(x-2{,}4\right]-\frac{m}{0{,}251}\left[0{,}251(x-0{,}6)-sh0{,}251(x-3{,}6)\right]+$$

$$+Me0{,}251sh0{,}251(x-4{,}8);\qquad (д)$$

Бимомент

$$\text{B}_\omega=\frac{1}{\kappa^2}\frac{dM_t}{dx}=1{,}6637ch0{,}251x\frac{-1{,}5838}{0{,}251}sh0{,}251x+\frac{F\cdot e}{0{,}251}sh0{,}251(x-1{,}2)-$$

$$-\frac{m}{0{,}251^2}\left[1-ch0{,}251(x-2{,}4)\right]+\frac{m}{0{,}251^2}\left[1-ch0{,}251(x-3{,}6)\right]-Mech0{,}251(x-4{,}8);\ (е)$$

Эгилиш-буралиш

$$\text{M}_\omega=\frac{dB_\omega}{dz}=1{,}6637\cdot0{,}251sh\ 0{,}251x-1{,}5838(1-ch0{,}251x)+Fe\left[1-0{,}251(x-1{,}2)\right]+$$

$$+\frac{m}{0.251}\left[0{,}25(x-2{,}4)--sh0{,}251(x-2{,}4)-\frac{m}{0.251}\right[x-0{,}8)-Sh0{,}251(x-3{,}6)\Big]+$$

$$+\text{M}e0{,}25sh0.251(x-4{,}8);\qquad (ж)$$

Буровчи $\text{M}=\text{M}_t+\text{M}_\omega=-1{,}5838+Fe+m(x2{,}4)-m(x-3{,}6)$ (з)

$\text{M}_t,\text{M}_\omega,\ B_\omega$ ва M тенгламаларини қолган участкалар учун x нинг қийматига қараб, ўнг томондаги куч факторларини ташлаб юбориш йўли билан ҳосил қиламиз.

$\text{M}_t,,\ B_\omega$ *ва* M_ω эпюраларини қуриш учун юқоридаги тенгламаларга $F,q,$ M *ва* e ларнинг қийматларини қўямиз (9.9-шакл).

Кесувчи куч ва эгувчи момент эпюраларини қуриш учун бошланғич параметр бўйича салқилик тенгламасини тузамиз:

$$\text{E}Jz=\frac{f_0}{2}x^2+\frac{\theta_{00}}{6}x^3-\frac{F(x-1{,}2)^3}{6}-\frac{q(x-2{,}4)^4}{24}+\frac{q(x-3{,}6)^4}{24}+\frac{\text{M}(x-4{,}8)^2}{2};\qquad (и)$$

энди

$$\theta=\frac{dz}{dx}=f_0\cdot x+\theta_0\frac{x^2}{2}-F\frac{F(x-1{,}2)^3}{2}-\frac{q(x-2{,}4)^3}{6}+q\frac{(x-3{,}6)^3}{6}+M(x-4{,}8)\ ;\quad (к)$$

$$\mathrm{M}=\frac{d\theta}{dx}=f_0+\theta_0\cdot x-F(x-1{,}2)-q\frac{(x-2{,}4)^2}{2}+q\frac{(x-3{,}6)^2}{2}+M; \qquad (л)$$

$$Q=\frac{d\mathrm{M}`}{dx}=\theta_0-F-q(x-2{,}4)+q(x-3{,}6). \qquad (м)$$

Бошланғич параметр θ_0 *ва* f_0 ларни топамиз:

$$\theta_0=\frac{F}{2}(3\alpha_F-\alpha_F^3)+\frac{q\ell}{8}\left[(6\alpha_q^2-\alpha_й^4-(6\varepsilon_{1q}^4-\alpha_{1й}^4)\right]\frac{3M}{2\ell}(1-\alpha_M^2)=\frac{10}{2}(3\cdot0{,}8-0{,}8^3)+\frac{10\cdot6}{8}$$

$$\left[\left(6\cdot0{,}6^2-0{,}6^4\right)\right]-\left(6\cdot0{,}4^2-0{,}4^4\right)\frac{3\cdot10}{2\cdot6}(1-0{,}2^2)-\frac{3\cdot10}{2\cdot6}(1-0{,}2^2)=15{,}26\,кн.$$

$$f_0=-\frac{F\ell}{2}(\alpha_F-\alpha_F^3)-\frac{q\ell^2}{8}\left[\left(2\alpha_q^2-\alpha_q^4\right)-(2\alpha_{1q}^2-\alpha_{1q}^4\right]+\frac{M}{2}(1-3\alpha_M^2)=-\frac{10\cdot6}{2}(0{,}8-0{,}8^3)-$$

$$-\frac{10\cdot6^2}{8}\left[\left(2\cdot0{,}6^2-0{,}6^4\right)-\left(2\cdot0{,}4^2-0{,}4^4\right]+\frac{10}{2}(1-3\cdot0{,}2^2)=-17{,}56\,кнм.$$

Q_0 ва f_0 ларнинг қийматларини (л) ва (М) тенгламаларга қўйиб Q ва M эпюраларини қурамиз (9.9-шакл).

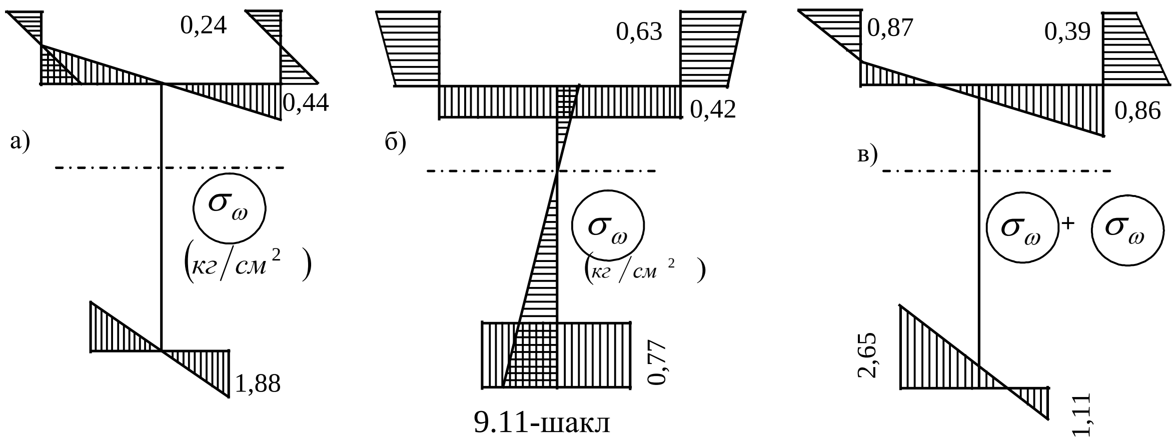
11. Кучланишларни ҳисоблаш, нормал кучланишлар бўйича ҳисобий кесим учун M *ва* B_ω катта қийматга эришишини қабул қиламиз. Бундай ҳол $\mathrm{M}=17{,}56кнм^2$ ва $\mathrm{B}_\omega=1{,}6637\,кнм^2$ бўлган кесим бўлади.

Секториал нормал кучланиш σ_ω қуйидаги формуладан топилади

$$\sigma_\omega=\frac{B_\omega}{J_\omega}\cdot\omega=\frac{1{,}6637\cdot10^4}{171260745\cdot10^{-12}}\cdot\omega=97\cdot\omega\,кг/см^2. \qquad (н)$$

Эгувчи момент таъсиридан ҳосил бўладиган нормал кучланишни топамиз:

$$\sigma_ы=\frac{\mathrm{M}}{J_y}\cdot z=\frac{17.56\cdot10^4}{1633835{,}7\cdot10^{-8}}\cdot z=10{,}75\cdot z\,кг/см^2\,. \qquad (0)$$



9.11-шакл

Умумий нормал кучланиш σ_ω *ва* σ_u ларнинг алгебраик йиғиндисига тенгдир. ($н$) *ва* (0) тенгламалардан фойдаланиб қурилган σ_ω *ва* σ_u ва $\sigma_\omega + \sigma_u$ эпюралари 9.11-шаклда кўрсатилган. Q, M_t *ва* M_ω лар таъсиридан уринма кучланиш ҳосил бўлади.

Уринма кучланиш бўйича ҳисобий кесим учун $M_t = 0{,}0555\ кнм$; $M_\omega = 1{,}5284\ кнм$ *ва* $Q = 15{,}26\ кн$ бўлган кесимини оламиз.

Соф буралишдан ҳосил бўлган уринма кучланиш қуйидаги формуладан топилади:

$$\tau_t = \frac{M_t}{J_t}\left(\frac{J_{tt}}{W_{tt}}\right) = \frac{\mathrm{M}_t}{J_t}\ \frac{\beta\delta^3}{\alpha\delta^2}.$$

5.1 Жадвалдан $\frac{в}{\delta} > 10$ бўлганда $\alpha = \beta = 0{,}313$ бўлганлиги учун

$$\tau_t = \frac{\mathrm{M}_t}{J_t}\delta = \frac{0{,}0555 \cdot 10^4}{2691 \cdot 10^{-8}} = 3 \cdot 10^{-2} = 0{,}62\, кг/см^2,$$

$$\frac{0{,}555 \cdot 10^4}{2691 \cdot 10^{-8}} \cdot 3 \cdot 10^{-} = 0{,}62\ кг/см^2.$$

Уринма кучланиш қуйидаги формуладан топилади

$$\tau_\omega = \frac{M_\omega \cdot S_\omega^I}{J_\omega \cdot \delta}.$$

Кесимда улар секториал статик моментга пропорционал равишда ўзгаради ва энг катта қийматга пастки токчанинг ўртасида эришади (9.10-шакл, е).

$$\tau_{\omega max} = \frac{1{,}5284 \cdot 10^4}{2691 \cdot 10^{-8}} 0{,}33 = 0{,}17\, кг/см^2$$

Кесувчи кучдан ҳосил бўлган уринма кучланиш Журовский формуласи бўйича қуйидагича топилади:

$$\tau = \frac{Q_y S_x^1}{J_y \delta}.$$

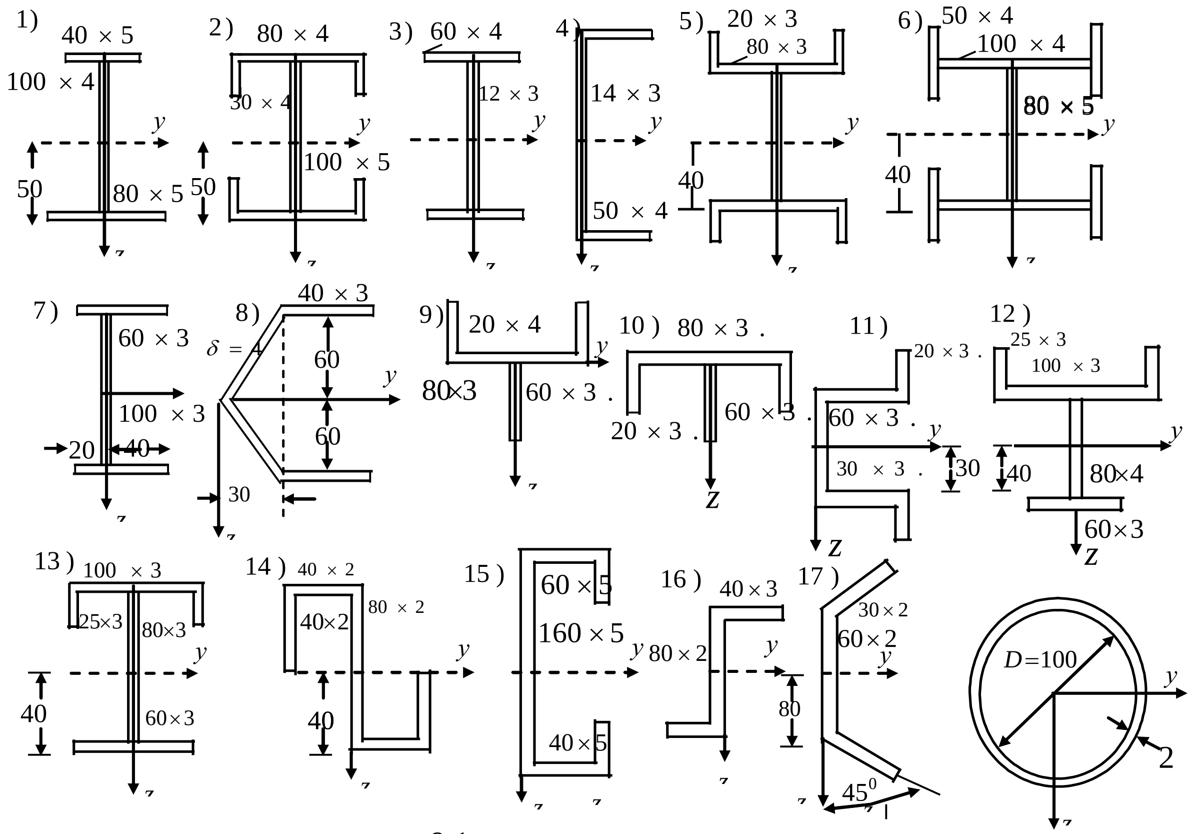
Бунинг энг катта қиймати деворда марказий ўқ бўйича бўлиб, улар қуйидагича бўлади:

$$\tau = \frac{15{,}26 \cdot 10^3 \cdot 16{,}2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}}{16{,}34 \cdot 10^5 \cdot 10^{-8} \cdot 0{,}03} = 5\, кг/см^2$$

бу ерда $S_x^1 = 16{,}217 \cdot 10^3 см^3 - y_c$ марказий ўқдан юзаларида ёки пастдаги ажратилган кесимнинг статик моменти.

Мустақил ечиш учун масалалар

9.1. Шаклда кўрсатилган профиллар учун эгилиш маркази (А нуқта) вазияти аниқлансин, асосий секториал юзалар эпюраси қурилсин, шу эпюранинг энг катта ординатаси $\omega_{мах}$ аниқлансин ва секториал инерция моменти қиймати ҳисоблансин.



9.1-мисол учун

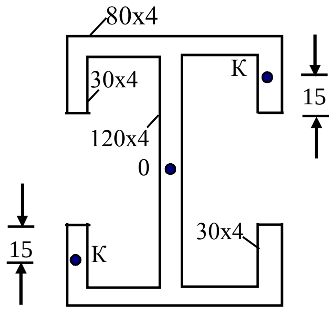
жавоблари: 9.1-жадвал

Схема номери	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$У_A(см)$	0	0	0	-1,85	0	0	-0,78	-1,33	0	0	1,259	0	0	0	-3,64	0	-3,64	0
$Z_A(см)$	+3,88	0	0	0	0	0	0	0	+0,6	-0,6	0	-2,67	-4,051	0	0	0	0	+10
$\lvert\omega_{мах}\rvert$ $(см^2)$	117,76	32	18	22,05	16	32,5	16,1	16	5,6	5,6	5,22	20	24,15	21,3	57,45	11,2	2,74	78,5
$J_\omega(см^6)$	237	4156	518,5	726	768	4683	289,5	319,5	14,1	14,1	30,0	304	423,5	547	9890	112,5	4,28	5065

9.2. Шаклда кўрсатилган кўндаланг кесимли стержень иккита куч F=6 кН билан чўзилади. Кучлар учларидаги кесимга қўйилган. Агар:

а) F кучлар кесим оғирлик маркази (о га қўйилган;

б) Кесим деворидаги К нуқтага иккитадан $F/2$ кучлар қўйилган бўлса, стержень кўндаланг кесимидаги энг катта чўзувчи ва сиқувчи кучланишлар топилсин.



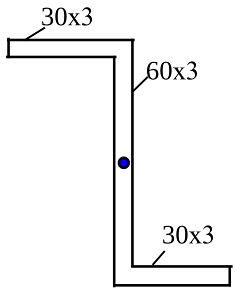
9.2-мисол учун

Жавоби: а) $\sigma = 375 кг/см^2$ (чўзилиш);

б) $\sigma = 1530 кг/см^2$ (чўзилиш) ва $\sigma = 781 кг/см^2$ (сиқилиш).

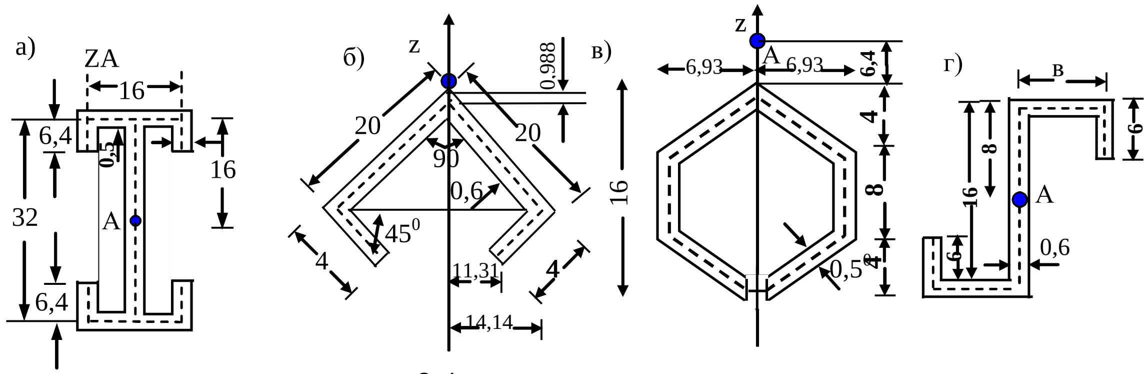
9.3 Зет шаклидаги кўндаланг кесимли стержень F=30 кН куч билан марказий чўзилади. Стержень кўндаланг кесимидаги энг катта чўзувчи ва сиқувчи кучланиш аниқлансин.

Жавоби: $\sigma_и = 1333 кг/см^2$; $\sigma_c = -667 кг/см^2$



9.3-мисол учун

9.4. Шаклда кўрсатилган кесимлар учун эгилиш маркази А берилган, ҳар бир кесим учун абсолют қиймати бўйича $\omega_{0мах}$ нинг энг катта координаталари аниқлансин ва секториал инерция моменти J_ω ҳисоблансин.



9.4-мисол учун

жавоби: 9.4-жадвал

кесимлар	а	б	в	г
$\omega_0 мах, (см^2)$	179,2	68,8	166,3	76,4
J_ω $(см^6)$	575039	7915	88580	26159

9.5 Узунлиги 2,5 м бўлган 24 а номерли (гост 10017-39), тоғарасимон профилли стерженнинг иккита учи қистириб маҳкамланган ва узунлигининг ўртасига қўйилган 100 кгм буровчи момент билан буралади. Энг катта секториал нормал кучланиш ва соф буралишдаги энг катта уринма кучланишларнинг қиймати аниқлансин. Тоғарасимон профилнинг геометрик характеристикалари 9.2-жадвалдан олинади.

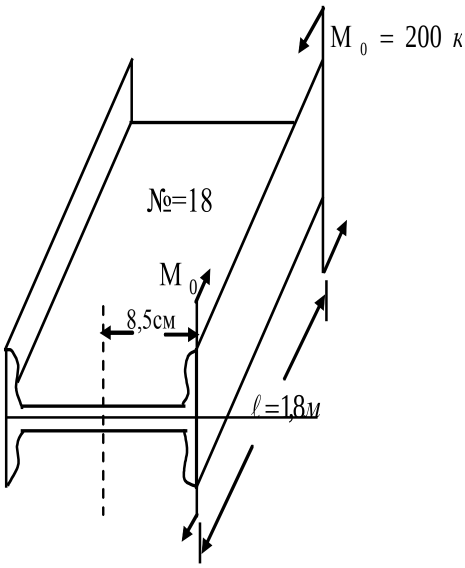
Жавоби: $\sigma_{\omega}^{мах} = 807\, кг/см^2$; $\tau_{к}^{мах} = 189\, кг/см^2$.

9.6 Қўштавр кундаланг кесимли 18-номерли (гост-39) стержень учларидан бўйлама ўқ йўналишида бурила олмайдиган қилиб маҳкамланган лекин у эркин айланиши мумкин.

Токчаларининг бири текислигида таъсир этувчи $M_0 = 200 кгм$ ли жуфт кучи қўйилган. Стержень кўндаланг кесими–даги энг катта нормал ва уринма кучла-нишлар аниқлансин.

Қўштаврнинг секториал геометрик характеристикалари 9.2-жадвалдан оли–нади.

Жавоби: $\sigma_{мах} = 1574\, кг/см^2$; $\tau_{мах} = 319\, кг/см^2$.

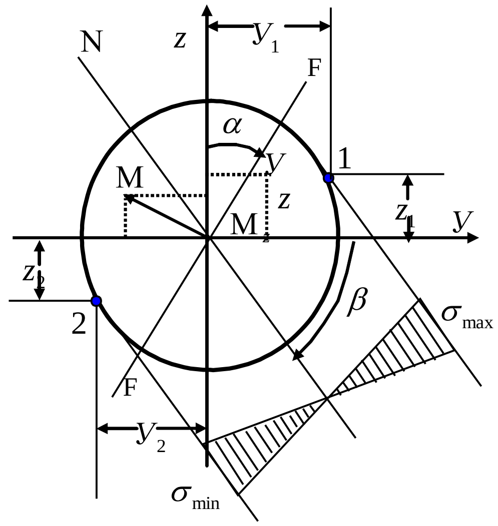


9.6-мисол учун

Мураккаб қаршилик

Балкага таъсир этаётган кучлар унинг ўқига тик бўлиб, бош инерция ўқларидан ўтмайдиган тексиликларда ётган ҳолларда, балкада қийшиқ эгилиш деформацияси ҳосил бўлади (10.1-шакл).

Балкага таъсир этувчи кучни кўндаланг кесимнинг бош ўқлари бўйича ташкил этувчиларига ажратиб, қийшик эгилишни ўзаро тик бўлган бош текисликларда ҳосил бўлувчи икки тўғри эгилиш йиғиндисидан иборат деб қараш мумкин.



10.1-шакл

Қийшиқ эгилиш ҳолатидаги балканинг мустаҳкамлиги фақат нормал кучланиш бўйича текширилади.

Кўндаланг кесимнинг бирор нуқтасидаги нормал кучланиш кучлар таъсирининг бир-бирига халал бермаслик принципидан фойдаланиб қуйидагича аниқланади:

$$\sigma = \frac{M_y}{J_y} z - \frac{M_z}{J_z} y, \qquad (10.1)$$

бунда M_y, $M_я$ - кўндаланг кесимнинг марказий бош ўқларга нисбатан эгувчи моментлари;

J_y, J_z - кўндаланг кесимнинг марказий бош ўқларига нисбатан инреция моментлари;

y, z - кучланиши аниқланадиган нуқтанинг координаталари.

Кучланиш аниқланадиган нуқта биринчи чоракда ётса M_y ва M_z га чўзувчи нормал кучланишлар мос келиб, формулада эгувчи моментлар мусбат ишора билан, агар сиқувчи бўлса, манфий ишора билан олинади, y ва z лар ўз ишораси билан олинади.

Нейтрал ўқнинг тенгламасини чиқариш учун (10.1) формуланинг ўнг томонини нолга тенглаштирамиз, чунки нейтрал ўқ устидаги нуқталарда кучланиш нолга тенгдир:

$$\frac{M_y}{J_y} z + \frac{M_z}{J_z} y = 0; \quad \text{ёки} \quad z = -\frac{M_z J_y}{M_y\, J_z} y,$$

бу тўғри чизиқ тенгламаси бўлиб, ўқнинг бурчак коэффициенти

$$k = tg\alpha = \frac{M_z J_y}{M_y J_z} = -\frac{J_y}{J_z} tg\,\varphi, \qquad (10.2)$$

бунда $\varphi -$ кучнинг вертикал ўқига оғиш бурчаги.

Қийшиқ эгилишда нейтрал чизиқ куч чизиғига тик бўлмайди.

Тўла салқилик ва айланиш бурчаги бош ўқларнинг йўналишлари бўйича ҳосил бўладиган салқиликларнинг ва айланиш бурчакларнинг геометрик йиғиндисига тенг бўлади:

$$f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2}, \qquad \theta = \sqrt{\theta_y^2 + \theta_z^2}, \qquad (10.3)$$

бунда f_y, f_z, θ_y ва θ_z лар мос равишда y ва z ўқлари йўналиши бўйича салқиликлари ва шу ўқлар бўйича айланиш бурчаклари. Қийшиқ эгилишда тўла салқиликнинг йўналиши куч чизиғи бўйлаб йўналмай, балки нейтрал чизиққа тик йўналган бўлади, (шунинг учун бундай эгилишга қийшиқ эгилиш дейилади).

Балка мўрт материалдан, яъни чўзилиш билан сиқилишга турлича қаршилик кўрсатса ва кесим нейтрал ўққа нисбатан симметрик бўлмаса хавфли кесимда энг катта чўзувчи (A) ва энг катта сиқувчи (B) кучланишли нуқталар учун мустаҳкамликка текшириб кўрилади :

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{\underline{max}} &= \frac{M_y}{J_y} z_A + \frac{M_z}{J_z} y_A \le [\sigma_ч] \\ \sigma_{max} &= \frac{M}{J_y} z_B + \frac{M_z}{J_z} y_B \le [\sigma_ч] \end{aligned}\right\} \qquad (10.4)$$

бунда $y_{A,\,B,}$, $z_{A,B}$ - нейтрал ўқдан энг узоқда турган нуқталарнинг координаталари.

Агар $[\sigma_ч] > |[\sigma_c]|$ бўлса, биз текшираётган ҳол учун A нуқтанинг, яъни чўзувчи кучланиши энг катта бўлган нуқта учун текширилади.

Кўндаланг кесими тўғри тўртбурчакли, қўштаврли балкаларнинг мустаҳкамлиги қуйидагича бўлади:

$$\sigma_{max} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} \le [\sigma], \quad \text{ёки} \quad \sigma_{max} = (M/W_y)|cos\alpha + (W_y/W_z)\sin\alpha| \le [\sigma] \quad (10.5)$$

бунда W_y, W_z - кесимнинг y ва z ўқларига нисбатан қаршилик моментлари.

Чўзилиш (сиқилиш) билан бирга эгилишга қаршилик кўрсатувчи балка фақат нормал кучланиш бўйича мустаҳкамликка ҳисобланади, яъни $N_{(x)}$ куч ва M_y, M_z эгувчи моментларнинг таъсири ҳисобга олинади.

Қийшиқ эгилишда кесимни танлаш, аввал, $N_{(x)}$нинг таъсирини ҳисобга олмасдан бажарилади. Доиравий кесим учун $W_y = W_z = \left(\sqrt{M_y^2 + M_z^2}\right)/[\sigma]$. Тўғри тўртбурчак, қўштавр кесим учун $W_y \geq \left(M_y + CM_z\right)/[\sigma]$; бунда $C = W_y / W_z$, тўғри тўрт бурчак учун бу нисбат $\frac{W_y}{W_z} = \frac{h}{в}$ бўлади, қўштавр учун $C = 8$ ва швеллер учун $C = 6$берилади, кейин кетма-кет яқинлашиш усули билан керакли кесим танланади. Кейин $N_{(x)}$ таъсири хисобга олиниб, текшириб кўрилади.

Чўзилиш (сиқилиш) билан эгилишга қаршилик кўрсатучи балка кўндаланг кесимининг ихтиёрий нуқтасидаги нормал кучланиш қуйидаги формула билан аниқланади (10.2 –шакл).

$$\sigma = \frac{N_{(x)}}{A} + \frac{M_y}{J_y} z + \frac{M_z}{J_z} y. \tag{10.6}$$

Кесим нейтрал чизиқ тенгламасини ҳосил килиш учун (10.6) формулани ўнг томонини нолга тенглаштирамиз:

$$\frac{N_{(x)}}{A} + \frac{M_y}{J_y} z + \frac{M_z}{J_z} y = 0. \tag{10.7}$$

Бу холда нейтрал чизиқ координата бошидан ўтмайдиган тўғри чизиқдир.

Нейтрал чизиқ тенгламасини координаталар системасидан кесиб ажратган кесимлари бўйича тўғри чизиқ тенгламасини қуйидаги кўринишида ифодалаймиз:

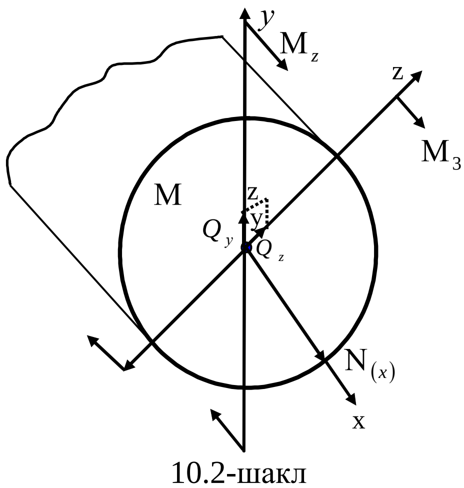
$$\frac{y}{a_y} + \frac{z}{a_z} = 1 \tag{10.8}$$

бунда $a_y = -\frac{J_z}{A}\frac{N_{(x)}}{M_z};\quad a_z = -\frac{J_y}{A}\frac{N_{(x)}}{M_y}$,

ёки $a_z = -\frac{r_y^2 \cdot N_{(x)}}{M_y},\quad a_y = -\frac{r_z^2}{}\frac{N_{(x)}}{M_z};\qquad (10.9)$

бунда $r_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}},\ \ r_z = \sqrt{\frac{J_z}{A}}\qquad (10.10)$

бу ифодаларга балка кўндаланг кесимининг бош инерция радиуслари дейилади; a_y ва a_z лар – нейтрал чизиқнинг координаталар ўқидан кесиб ажратган кесимларининг узунликлари.



10.2-шакл

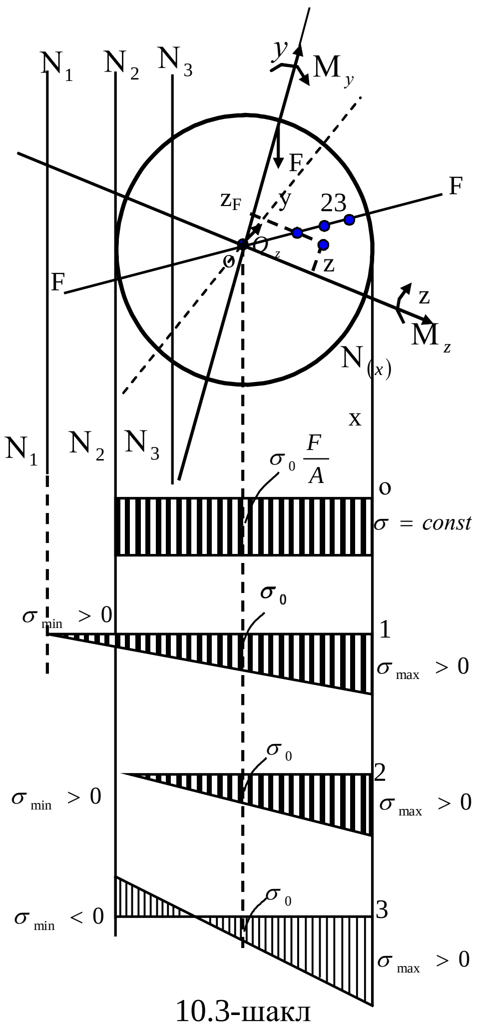
Агар балка материали чўзилиш ва сиқилишга бир хилда қаршилик кўрсатса кесимнинг нейтрал ўқидан энг узоқдаги нуқтаси учун мустахкамликка текшириб кўрилади:

$$\sigma_{max} = \frac{\mathrm{N}_{(x)}}{\mathrm{A}} + \frac{\mathrm{M}_y}{J_y} z_{max} + \frac{\mathrm{M}_z}{J_z} y_{max} \leq [\sigma]. \qquad (10.11)$$

Агар балка материали мўрт бўлса, унинг мустахкамлиги энг катта чўзувчи ва сиқувчи кучланишли нуқталар учун алоҳида-алоҳида хисобланади.

Балка кўндаланг кесими тўғри тўртбурчакли, ва қўштаврли ва симметрия ўқига эга бўлган пластик материалдан ясалган бўлса, хавфли нуқтаси кесимнинг четки бурчагида бўлиб, ҳар бир куч факторига мос келувчи кучланиш ишоралари бир хил бўлади ва мустаҳкамлиги қуйидагича топилади:

$$\sigma_{max} = \frac{\mathrm{N}_{(x)}}{A} + \frac{\mathrm{M}_y}{W_y} + \frac{\mathrm{M}_z}{W_z} \leq [\sigma]. \qquad (10.12)$$



10.3-шакл

Марказий бўлмаган сиқилишда умумий ҳолда стержень марказий сиқилиш ва соф қийшиқ эгилишга қаршилик кўрсатади. Хар қандай кўндаланг кесимдаги ички куч факторлари $\mathrm{N}_{(x)} = F$ ва иккита $\mathrm{M}_y = F \cdot z_F$, $\mathrm{M}_z = F \cdot y_F$ эгувчи моментларга келтирилади (10.3-шакл).

Кесимнинг ихтиёрий нуқтасидаги нормал кучланиш қуйидаги формуладан топилади:

$$\sigma = \frac{\mathrm{N}_{(x)}}{\mathrm{A}} + \frac{\mathrm{M}_y}{J_y} \cdot z + \frac{\mathrm{M}_z}{J_z} y = \frac{F}{\mathrm{A}}\left(1 + \frac{z \cdot z_F}{r_y^2} + \frac{y \cdot y_F}{r_z^2}\right) \qquad (10.13)$$

$\mathrm{N} - \mathrm{N}$ нейтрал чизиқ тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$1 + \frac{z \cdot z_F}{r_y^2} + \frac{y \cdot y_F}{r_z^2} = 0; \text{ ёки } -\frac{y_0}{a_y} + \frac{z_0}{a_z} = 1, \qquad (10.14)$$

бундан $\alpha_y = -\dfrac{r_z^2}{y_F}$; $\alpha_z = -\dfrac{r_y^2}{z_F}$ бўлади, (10.15) бу ерда α_y ва α_z лар координата ўқлардан кесиб ажратган кесимлари; y_F ва z_F лар куч қўйилган нуқтанинг координаталари.

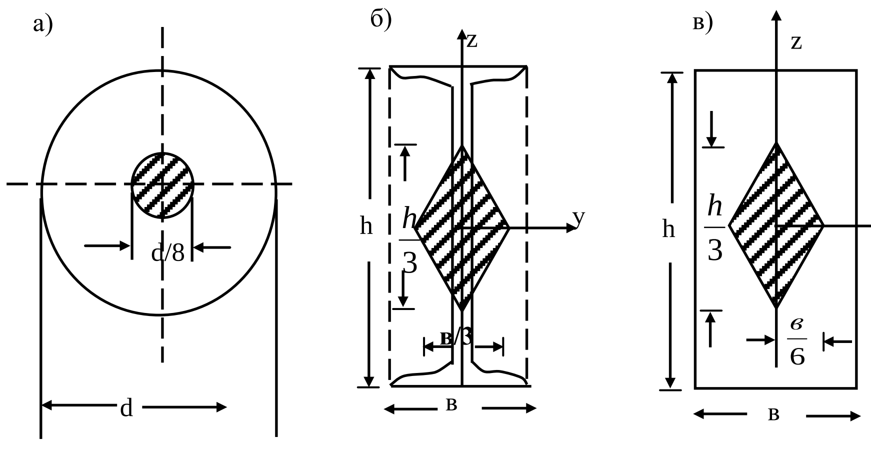
Агар куч қўйилган нуқта координата бошидан ўтувчи $F-F$ тўғри чизиқ устида ётган нуқталарга қўйилса уларга мос келадиган нейтрал ўқ ўз-ўзига параллель равишда кўчиб ё координата бошига яқинлашади ёки узоқлашади. Масалан: кучни 0, 1, 2, 3 нуқталарга қўйсак, уларга мос келадиган нейтрал ўқлар N_1-N_1; N_3-N_3 ҳолатларда N_0-N_0 эса чексизликда бўлади.

Агар куч қўйилган нуқта координата бошидан ўтмаган $F-F$ тўғри чизиқ устида ётадиган нуқталарга кўйилса, нейтрал ўқ бирор в нуқта атрофида айланар экан.

Агар бу холнинг аксини олсак, яъни нейтрал ўқ бирор кўзгалмас в нуқта атрофида айланса куч қўйилган нуқта координата бошидан ўтмайдиган $F-F$ тўғри чизиқ устида харакат килади.

Агар куч кўйилган нуқта oz ўқи устида ётса, у холда $y_F=0$ бўлади ва стерженда ўқ бўйлаб чўзилувчи ёки сикилувчи ва соф текис эгилиш деформацияси содир бўлади. Марказий бўлмаган сиқилишда чўзилишга заиф қаршилик кўрсатувчи материаллардан ясалган стерженларнинг мустахкамлиги таъминланиши учун, унга қўйиладиган сиқувчи куч кўндаланг кесимда чўзувчи кучланиш ҳосил килмаслиги лозимдир.

Кесимнинг оғирлик маркази атрофидан ажратилган ёпиқ соҳа ичкарисидаги нуқтага қўйилган кучдан кесим юзида фақат бир хил ишорали кучланиш ҳосил бўлса, бундай ёпиқ соҳага кесим ядроси деб аталади (10-шакл, а, б, в).



10.4-шакл

Доиравий кучланиш ҳосил бўлса, бундай ёпиқ соҳага кесим ядроси деб аталади (кўндаланг кесимли стерженларга кучлар таъсирининг умуми ҳолига: буралиш ва эгилишнинг бирга таъсири, чўзилиш (сиқилиш) нинг буралиш билан биргаликдаги таъсирлари киради. Буралиш билан эгилишнинг биргаликдаги таъсирида стержень кўндаланг кесимида буровчи момент - M_x , $M_{б,}$ ва эгувчи моментлар - M_y , M_z ҳосил бўлади, чўзилиш (сиқилиш) нинг буралиш билан биргаликдаги таъсирида эса, бўйлама куч N_x ва M_x ҳосил бўлади.

Бундай ҳолларда стерженнинг мустаҳкамлиги эквивалент кучланиш бўйича текширилади. Эквивалент кучланишнингг қиймати энг катта бўлган нуқталари хавфли ҳисобланади.

Юқоридаги мустаҳкамлик назариялари асосида эквивалент кучланишларни қуйидаги формулалардан бири бўйича ҳисоблаш мумкин :

$$\sigma_{экв}^{\mathrm{III}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}\,;\ \sigma_{экв}^{\mathrm{IY}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}\,;\ \sigma_{экв}^{мор} = \frac{1-\mu}{2}\cdot\sigma + \frac{1+\mu}{2}\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}\,, \quad (10.16)$$

буларда σ, τ - кўндаланг кесим хавфли нуқтасидаги нормал ва уринма кучланишлар.

Доиравий кўндаланг кесимли стерженни буралиш билан эгилишга ҳисоблашда хавфли кесим учун эквивалент момент деб аталувчи момент ҳисобланади.

Мустаҳкамликнинг III-назарияси бўйича

$$M_{экв}^{\mathrm{III}} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}\,. \quad (10.17)$$

Энергетик назарияси бўйича $M_{'rd}^{\mathrm{IY}} = \sqrt{0{,}75M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$, (10.18)

$M_{экв}$ – энг катта қийматга эришадиган кесим хавфли кесим бўлади.

Мустаҳкамлик шарти қуйидагича бўлади :

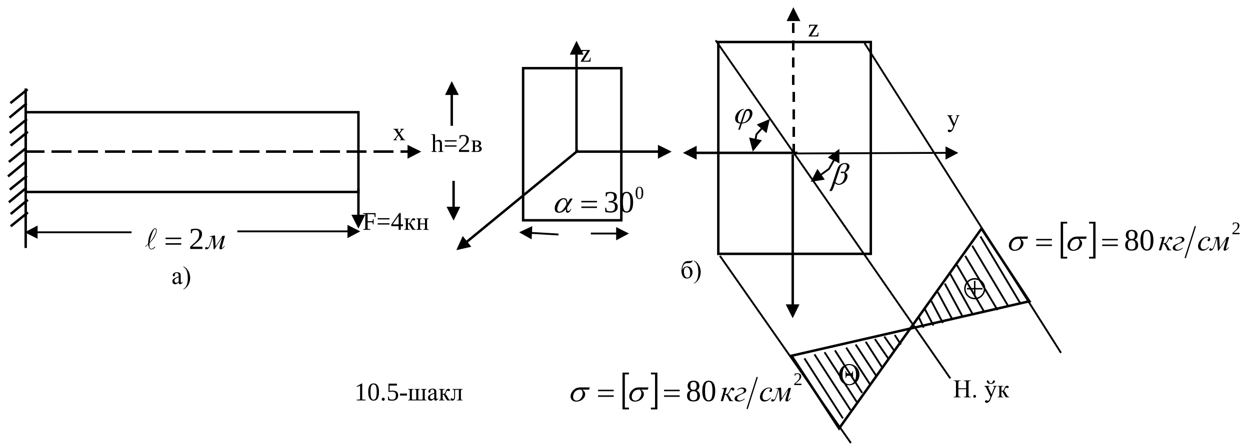
$$\sigma_{экв} = \frac{M_{экв}}{W_э} \le [\sigma_ч]. \quad (10.19)$$

Стерженнинг кўндаланг кесимининг диаметрини топиш учун (10.19) формуладан $W_э$ ни топамиз:

$$W_э \ge \frac{M_{экв}}{[\sigma_ч]}\,;\ \frac{\pi d^3}{32} \ge \frac{M_{экв}}{[\sigma_ч]}\ ;\quad d \ge \sqrt[3]{\frac{32M_{экв}}{\pi[\sigma_ч]}}$$ бўлади.

10.1-мисол.

Кўндаланг кесими тўғри тўртбурчакдан иборат бўлган ёғоч балканинг эркин учининг салкилиги, кўндаланг кесим ўлчамлари ва нейтрал ўқнинг ҳолати аниқлансин (10.5-шакл).



10.5-шакл

Ечиш: y ва z ўқлари бўйича F кучни ташкил этувчиларга ажратамиз:

$$F_y = F \cdot \sin\alpha = F \cdot \sin 30^0 = 4 \cdot 0{,}5 = 2кН,$$

$$F_z = F\cos\alpha = F \cdot \cos^0 = 4 \cdot 0{,}866 = 3{,}464\,кН.$$

Консолнинг қистириб махкамланган кесими хавфли кесим бўлади, горизонтал текислик $M_z = F\sin\alpha = F \cdot \sin 30^0 = 4 \cdot 0{,}5 = 2кН$,

вертикал текисликда $M_y = F\cos\alpha = F \cdot \cos 30^0 = 4 \cdot 0{,}866 = 3{,}464\,кН$.

Тўла эгувчи момент F куч қўйилган тексиликда таъсир этади.

(10.2) формуладан фойдаланиб нейтрал ўқнинг ҳолатини аниқлаймиз :

$$K = tg\varphi = \frac{J_y}{J_z} tg\alpha = \frac{\frac{вh^3}{12}}{\frac{hв^3}{12}} tg\alpha = \left(\frac{h}{в}\right)^2 tg\alpha = \left(\frac{h}{в}\right)^2 tg30^0 = 2^2 \cdot 0{,}5774 = 2{,}31,$$

жадвалдан, яъни $tg\varphi = 2{,}31$ дан $\varphi = 66^0 40^1$ ни топамиз.

Абсолют қиймати бўйича энг иккита нормал кучланиш кесимнинг A ва B нуқталарида ҳосил бўлади, A нуқтада чўзувчи кучланиш ва B нуқтада эса сикувчи кучланиш ҳосил бўлади. Буларни (10.5) формуладан аниқлаймиз:

$$\sigma_{мах} = \left(M/W_y\right)\left[cos\alpha + \left(W_y/W_z\right)\sin\alpha\right] = \frac{1}{W_y}\left(M_y + M_z\frac{W_y}{W_z}\right) = \frac{1}{W_y}\left(6{,}928 + 4 \cdot 2\right) = 14{,}928/W_y;$$

бунда $\dfrac{W_y}{W_z} = \dfrac{\left(вh^2/6\right)}{hв^2/6} = \dfrac{h}{в} = 2$.

Энг катта кучланишни рухсат этилган кучланиш билан тенглаштирамиз:

$\sigma_{\max} = 14{,}928/W_y = [\sigma] = 80\,кг/см^2$ бундан кесимнинг талаб килинадиган қаршилик моменти $W_y = \dfrac{14{,}928\cdot 10^4}{80} = 1866\,см^3$,

иккинчи томондан $W_y = \dfrac{вh^2}{6} = \dfrac{в(2в)^2}{6} = \dfrac{2}{3}в^3$.

Бу ифодаларнинг ўнг томонларини тенглаштирамиз:

$$\frac{2}{3}в^3 = 1866; \qquad в = \sqrt[3]{\frac{3\cdot 1866}{2}} = 14{,}1\,см \quad ; \quad h = 2в = 2\cdot 14{,}1 = 28{,}2\,см.$$

$$\sigma_{\max} = \frac{14{,}928\cdot 10^4}{\dfrac{14,(28{,}2)^2}{6}} = 79{,}9\,кг/см^2 = 80\,кг/см^2 .$$

Демак, балканинг кўндаланг кесимининг ўлчамларини $в = 14{,}1см$ ва $h = 28{,}2\,см$ қилиб олсак, унинг мустахкамлиги таъминланар экан.

Балка эркин учи F_z куч таъсиридан вертикал f_z га пастга кўчади, F_y куч таъсиридан эса f_y га горизонтал силжийди. f_y ва f_z лар қуйидагича аниқланади:

$$J_y = \frac{вh^3}{12} = \frac{14{,}1(28{,}2)^3}{12} = 26350{,}3см^4; \quad J_z = \frac{28,(14{,}1)^3}{12} = 6587{,}5см^4,$$

$$f_y = \frac{F_y\cdot \ell^3}{3EJ_z} = \frac{2\cdot 10^2\cdot 200^3}{3\cdot 10^5\cdot 6587{,}5} = 0{,}81см \qquad f_z = \frac{F_z\cdot \ell^3}{3EJ_y} = \frac{3{,}464\cdot 10^2\cdot 200^3}{3\cdot 10^5\cdot 26350{,}3} = 0{,}35\,см .$$

Балка эркин учининг тўла салқилигини (10.3) формуладан топамиз

$$f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2} = \sqrt{(0{,}81)^2 + (0{,}35)^2} = 0{,}882\,см .$$

Салқиликнинг йўналиши Z ўқи билан β бурчак ҳосил килади.

$$tg\,\beta = \frac{f_y}{f_z} = \frac{0{,}84}{0{,}35} = 2{,}31.$$

Бинобарин кутгандек, $tg\beta = tg\varphi,$ бўлиб чиқди.

10.2-мисол.

Кўндаланг кесими қўштаврдан иборат бўлган пўлат балка учун кўндаланг кесим танлансин, нейтрал ўқ ҳолати аниқлансин ва энг катта салқилик ҳисоблансин (10.6- шакл, а)

Ечиш: Қистириб махкамланган кесимдаги энг катта эгувчи моментни хисоблаймиз:

$$\mathrm{M}_z = F \cdot \ell \cdot \sin\alpha = 300 \cdot 200 \cdot \frac{1}{2} = 60000\,кг\,см,$$

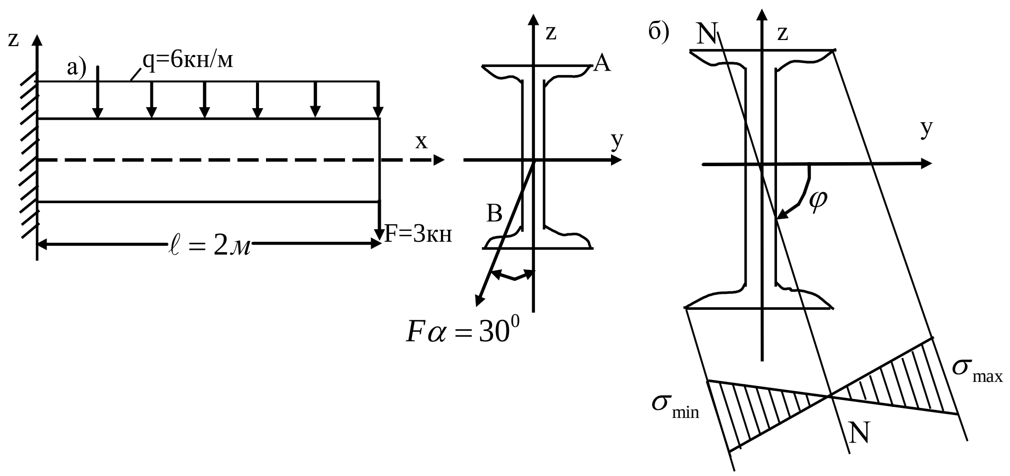
$$\mathrm{M}_y = q\frac{\ell^2}{2} + F\ell\cos\alpha = 6\frac{40000}{2} + 300 \cdot 200 \cdot 0.866 = 171960\,кг\,см.$$

Биринчи яқинлашишш учун $c = \frac{W_y}{W_z} = 8$ деб оламиз:

$$W_y = \frac{\mathrm{M}_y + cM_z}{[\sigma]} = \frac{171960 + 8 \cdot 60000}{1600} = 407{,}47 см^3.$$

Сортамент (Гост 8239-72) жадвалидан 27[а] номерли қўштаврни танлаймиз:

$$W_y = 407\,см^3 \quad \text{ва} \quad W_z = 50\,см^3.$$



10.6-шакл

Қистириб махкамланган кесимда A ва B нуқтадаги кучланишлар $\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$ бўлади, шунинг учун

$$\sigma_{\max} = \frac{\mathrm{M}_y}{W_y} + \frac{\mathrm{M}_z}{W_z} = \frac{171960}{407} + \frac{60000}{50} = 1622{,}5\ кг/см^2.$$

Демак, $\frac{\sigma_{\max} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100 = \frac{1622.5 - 1600}{1600}100 = 1{,}4 < 5\%.$

Шундай қилиб, 27[а] номерли қўштаврни танласак балканинг мустахкамлиги таъминланар экан.

Бу қўштавр учун $J_y = 5500 см^4$ ва $J_z = 337 см^4$ бўлади, шунинг учун қистириб махкамланган кесимда $tg\varphi = \frac{M_z J_y}{M_y J_z} = \frac{60000 \cdot 5500}{171960 \cdot 337} = 5{,}69$.

Тўрт хонали математик жадвалдан $\varphi = 80^0 2'$.

Бу қийматдан фойдаланиб $N - N$ нейтрал ўқ ўтказилган ва қистириб махкамланган кесим учун нормал кучланиш эпюраси 10.6-шакл, б) да кўрсатилган.

Энг катта салқилик консолнинг эркин учида ҳосил бўлади:

$$f_y = \frac{F\ell^3 \sin\alpha}{3EJ_z} = \frac{300(200)^3 \cdot 0{,}5}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 337} = 0{,}593 \ см.$$

$$f_z = \frac{1}{EJ_y}\left(\frac{q\ell^4}{8} + \frac{F \cdot \ell^3 \cos\alpha}{3}\right) = \frac{1}{2 \cdot 10^6 \cdot 5500}\left(\frac{6 \cdot (200)^4}{8} + \frac{300(200)^3 \cdot 0.866}{3}\right) = 0{,}172 \ см.$$

(10.3) формуладан фойдаланиб энг катта салқилигини топамиз:

$$f_{\max} = \sqrt{f_y^2 + f_z^2} = \sqrt{(0.593)^2 + \left(0.17^2\right)^2} = 0{,}617 \ см.$$

Бу φ' бурчак остида z ўқига йўналтирилган

$$tg\varphi' = \frac{f_y}{f_z} = \frac{0{,}593}{0{,}172} = 3{,}44 \quad , \quad \text{ёки} \quad \varphi' = 73^0 48'.$$

10.3-мисол

Кўндаланг кесими иккита швеллердан иборат пўлат консоль учун мустаҳкамлик шартидан фойдалниб, шу швеллернинг номери аниқлансин (10.7-шакл, а)

Ечиш : Қистириб маҳкамланган кесим хавфли бўлиб, ундаги куч $N(x)$ ва M_y, M_z ларни ҳисоблаймиз:

$$N(x) = F_1 \cos\alpha + F_3 \cdot \cos\beta = 6 \cdot 0{,}966 + 1 \cdot 0{,}866 = 6{,}662 \ кн,$$

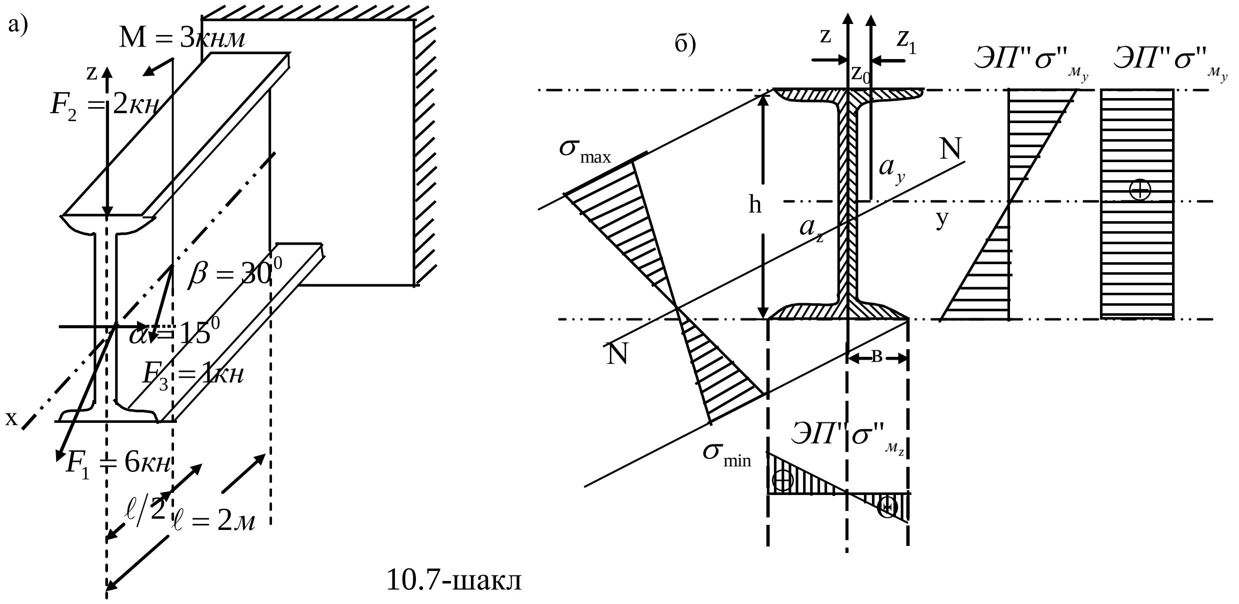
$$M_y = F_1\ell \sin\alpha + F_2 \cdot \ell + M = 6 \cdot 200{,}259 + 2 \cdot 2 + 3 = 10{,}11 \ кнм,$$

$$M_z = -F_3\ell / 2 \sin = -1 \cdot 1 \cdot 0{,}5 = -0{,}5 \ кнм.$$

Кўндаланг кесимнинг ўлчамларини аниқлаш учун M_y момент таъсирида тўғри эгилишга ҳисоблаб синаб кўрамиз:

$W_y = M_y / [\sigma] = 10{,}11 \cdot 10^4 / 1600 = 63{,}19 см^3$.

Сортамент (Гост 8239-72) жадвалидан битта швеллер учун $W_y^1 = 34{,}8 см^3$ 10- номерли швеллер тўғри келади, иккита швеллер учун $W_y = 69{,}6 см^3$ бўлади.



10.7-шакл

Балка кўндаланг кесимда M_y дан ташкари M_z ва $N(x)$ ҳосил бўлишини ҳисобга олиб текшириш учун 12-номерли швеллерни кабул киламиз ва унга тегишли қийматларни аниқлаймиз:

$W_y^1 = 50{,}6 см^3$ битта швеллер учун;

$W_y = 2W_y^1 = 101{,}2 см^3$ иккита швеллер учун

$A = 2A_1 \quad = 2 \cdot 13{,}3 = 26{,}6 см^2 -$ кесим юзи

$$J_z = 2\left(J_z^1 + A_1 \cdot z_0^2\right) = 2\left(31{,}4 + 13{,}3 \cdot 1{,}54^2\right) = 125{,}88 см^4,$$

$$W_z = \frac{J_z}{в} = \frac{125{,}88}{5{,}2} = 24{,}2 см^3.$$

Кесимнинг хавфли нуқтаси (A) даги энг катта кучланишни топиб 12-номерли швеллернинг мустаҳкамлигини текширамиз:

$$\sigma_{max} = \frac{N(x)}{A} + \frac{M_y}{W_y} - \frac{M_z}{W_z} = \frac{6.662 \cdot 10^2}{26.6} + \frac{10{,}11 \cdot 10^4}{101{,}2} + \frac{0{,}5 \cdot 10^4}{24{,}2} = 12{,}30{,}67 \, кг/см^2,$$

$$\frac{\sigma_{max} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100 = \frac{1230{,}67 - 1600}{1600} \cdot 100 = 2{,}3\%.$$

Бу 12-номерли швеллер тўғри келмас экан. Шунинг учун швеллернинг навбатдагиси 10-номерлиси текширамиз:

$$W_y = 2W_y^1 = 2 \cdot 34{,}8 = 69{,}6 см^3; \; A = 2A_1 = 2 \cdot 10{,}9 = 21{,}8 см^2,$$

$$J_z = 2\left(J_z^1 + A_1 \cdot Z_0^2\right) = 2\left(20{,}4 + 10{,}9 \cdot 1{,}44^2\right) = 86 см^4; \quad W_z = \frac{J_z}{в} = \frac{86}{4{,}6} = 18{,}69 \; см^3.$$

Бу швеллерни текшириб кўрамиз:

$$\sigma_{\max} = \frac{6{,}662 \cdot 10^2}{21{,}8} + \frac{10{,}11 \cdot 10^4}{69{,}6} + \frac{0{,}5 \cdot 10^4}{18{,}69} = 1750{,}66\, кг/см^2\ ,$$

$$\frac{\sigma_{\max} - [\sigma]}{[\sigma]} \cdot 100 = \frac{1750{,}66 - 1600}{1600} \cdot 100 = 9{,}4\%.$$

Бу швеллер, яъни 10-номерли швеллерни қабул қиламиз.

Хавфли кесимдаги нейтрал ўқнинг ҳолатини аниқлаймиз. 10-номерли швеллер учун: $r_y = 3{,}99\, см$,

$$r_y^2 = (3{,}99)^2 = 15{,}92\, см^2\ , \qquad r_z^2 = \frac{J_y}{A} = \frac{86}{21{,}8} = 3{,}945\ см^2.$$

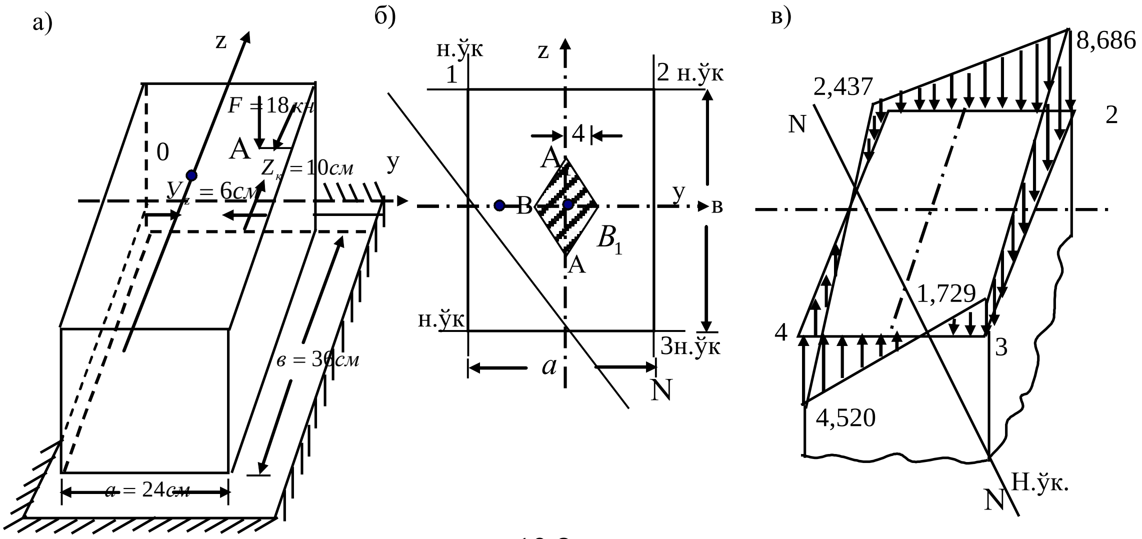
Координата ўқларидан нейтрал ўқнинг кесиб ажратган кесмаларини (10.9) формуладан топамиз.

$$a_z = -\frac{r_y^2 \mathrm{N}(x)}{\mathrm{M}_y} = -\frac{6{,}662 \cdot 10^2}{10{,}11 \cdot 10^4} \cdot 15{,}92 = -0{,}105\, см,$$

$$a_y = -\frac{z_z^2 \cdot \mathrm{N}(x)}{\mathrm{M}_z} = -\frac{6{,}662 \cdot 10^2}{-0{,}5 \cdot 10^4} \cdot 3{,}945 = 0{,}525 = 0{,}525\, см.$$

10.4-мисол.

10.8-шакл, а) да кўрсатилган устун учун кўндаланг кесимининг қирраларидаги нуқталаридаги кучланишлар; нейтрал ўқнинг ҳолати аниқлансин; кесим ядроси қурилсин ва кучланиш эпюраси аксонометрияда қурилсин.



10.8-шакл

Ечиш: I) (10.13) формуладан фойдаланиб, кўндаланг кесимнинг 1, 2, 3 ва 4 нуқталардаги кучланишларни қийматларини топамиз:

$$\sigma = \frac{F}{A}\left(1 + \frac{y_F \cdot y}{r_z^2} + \frac{z_F \cdot z}{r_y^2}\right); \quad r_y^r = \frac{J_y}{A} = \frac{ав^3}{12ав} = \frac{в^2}{12} = \frac{36^2}{12} = 108 см^2,$$

$$r_z^2 = \frac{a^2}{12} = \frac{24^2}{12} = \frac{24^2}{12 = 48} см^2,$$

$$\sigma_1 = \frac{18 \cdot 10^2}{24 \cdot 36}\left[1 + \frac{6 \cdot (-12)}{48} + \frac{10 \cdot 18}{108}\right] = 2{,}083(1 - 1{,}5 + 1{,}67) = 2{,}437 кн,$$

$$\sigma_2 = \frac{18 \cdot 10^2}{24 \cdot 36}\left[1 + \frac{6 \cdot 12}{48} + \frac{10 \cdot 18}{108}\right] = 2{,}083(1 + 1{,}5 + 1{,}67) = 8{,}686 кн,$$

$$\sigma_3 = \frac{18 \cdot 10^2}{24 \cdot 36}\left[1 + \frac{6 \cdot 12}{48} + \frac{10(-18)}{108}\right] = 2{,}083(1 + 1{,}5 - 1{,}67) = 1{,}729 кн,$$

$$\sigma_4 = \frac{18 \cdot 10^2}{24 \cdot 36}\left[1 + \frac{6 \cdot (-12)}{48} + \frac{10(-18)}{108}\right] = 2{,}083(1 + 1{,}5 - 1{,}67) = -4{,}520 кн,$$

II) Нейтрал ўқнинг ҳолатини (10.14) формуладан аниқлаймиз:

$$a_y = -\frac{r_z^2}{У_F} = -\frac{48}{6} = -8 см; \qquad a_z = -\frac{r_y^2}{Z_F} = -\frac{108}{10} = -10{,}8 см.$$

Бу қийматларни oy ва oz ўқларига масштаб билан қўйиб, a_y ва a_z кесмаларни ҳосил қиламиз ва ҳосил бўлган нуқталарни тўғри чизиқ билан туташтирсак, нейтрал чизиқни ифодаловчи тўғри чизиқ $\mathrm{N-N}$ ҳосил бўлади (10.8-шакл, б).

III). Кесим ядросини қурамиз:

Бунинг учун нейтрал ўқни кесимнинг томонларига уринма қилиб ўтказиб, ҳар бирига Oy *ва* Oz ўқларидан мос равишда кесиб ажратган кесмаларни аниқлаймиз: Кесимнинг инерция радиусларини ва кесмаларнинг қийматларини қуйидаги формулага қўямиз:

$$y_я = -\frac{r_z^2}{a_y}; \qquad z_я = -\frac{r_y^r}{a_z}.$$

1) Нейтрал ўқ 1-2 томонга уринма қилиб ўтказилганда, $a_y = \infty,\ a_z = -\frac{108}{+18} = -6 см.$

Буларни масштаб билан қўйиб $A(0;-6)$ нуқтани топамиз.

2) Нейтрал ўқ 3-4 томонга қўйилса, юқорида топилган нуқтага қарама-қарши томонда унинг қийматига тенг бўлган $A(0;6)$ нуқтани топамиз.

3) Нейтрал ўқни 2-3 томонга уринма қилиб қўйиб, $a_y = 12см;\ a_z = \infty$ ни топамиз.

$y_я = -\dfrac{48}{12} = -4см;\ z_я = -\dfrac{108}{\infty} = 0,$ яъни $B(-4;0)$ нуқтани топамиз.

4) Нейтрал ўқни 4-1 томонга қўйиб, В нуқтага қарама-қарши томонда ва қиймати тенг бўлган $B_1(4;\ 0)$ нуқтани топамиз.

Энди юқорида нейтрал ўқ билан куч қўйилган нуқта орасидаги муносабатларни эътиборга олиб, яъни нейтрал ўқ кесимнинг учларида айланган пайтда куч қўйилган нуқта координата бошидан ўтмаган тўғри чизиқ бўйлаб ҳаракатланишини ҳисобга олиб, A, B, A_1, B_1 нуқталарни тўғри чизиқ билан туташтирсак, натижада ромб шакли ҳосил бўлади, ана шу шаклга кесим ядроси дейилади (10.8- шакл, б).

IV) Биринчи пунктда аниқланган кучланиш $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3,$ ва σ_4 ларнинг қийматларини масштаб бўйича кесимнинг тегишли нуқталарига ишораларини ҳисобга олиб қўйиб уларнинг эпюрасини қурамиз (10.8-шакл, в).

10.5-мисол.

10.9-шаклда кўрсатилган тасмали узатма валининг диаметри, шкивларнинг оғирликлари ҳисобга олинмаган ҳолда тўртинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб аниқлансин.

$n = 600\ айл/мин;\quad [\sigma] = 600\,кг/см^2;\ T = 2t,\ D_1 = 46см,\ D_2 = 44см$ ва $D_3 = 32см$

деб олинсин.

Ечиш: Швеллерга таъсир этувчи кучларни вал ўкига келтириб $T + t$ кучларни ва $М_б$ момент билан бурувчи жуфт кучларни ҳосил қиламиз.

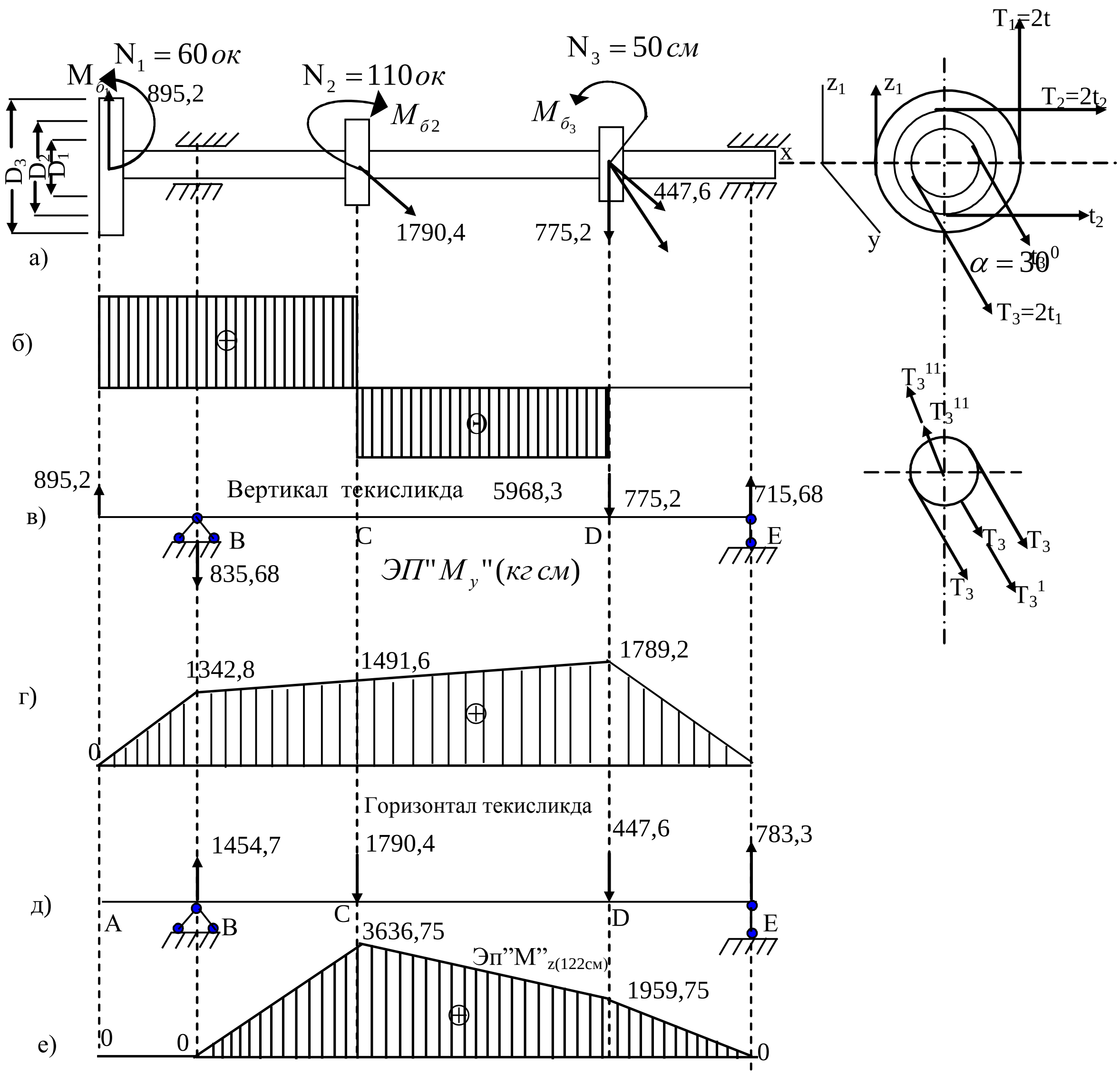
$$М_{б_1} = (T_1 - t_2)\cdot\frac{D_1}{2};\quad М_{б_2} = (T_2 - t_2)\frac{D_2}{2}\ \ ва\ М_{б_3} = (T_3 - t_3)\frac{D_3}{2}.$$

Швеллер томонидан узатиладиган буровчи моментларни ҳисоблаймиз:

$$М_{б_1} = 71620\cdot\frac{N_1}{n} = 71620\frac{60}{600} = 7162\ кг\,см,$$

$$М_{б_2} = 71620\cdot\frac{N_2}{n} = 71620\frac{60}{600} = 13130{,}3\,кг\,см,$$

$$М_{б_3} = 71620\cdot\frac{N_3}{n} = 71620\frac{50}{600} = 5968{,}3\ кг\,см.$$



10.9-шакл

Юкоридаги кучлар билан моментлар орасидаги муносабатлардан ва $T = 2t$ эканлигини эътиборга олиб ҳар бир шкивда тармоқларнинг таранглигини тортилиш кучларини аниқлаймиз.

$$t_1 = \frac{2M_{б_1}}{D_1} = \frac{2\cdot 7162}{48} = 298{,}4\,кг; \qquad T_1 = 2t_1 = 2\cdot 298{,}4 = 596{,}8\,кг.$$

$$T_1 + t_1 = 596{,}8 + 298{,}4 = 895{,}2\,кг$$

$$t_2 = \frac{2M_{б_2}}{D_2} = \frac{2\cdot 13130{,}3}{44} = 596{,}8\ кг, \qquad T_2 = 2t_2 = 2\cdot 596{,}8 = 1193{,}6\,кг$$

$$T_2 + t_2 = 1193{,}6 + 596{,}8 = 1790{,}4\ кг$$

$$t_3 = \frac{2M_{б3}}{D_3} = \frac{2\cdot 5968}{36} = 314.{,}10кг; \qquad T_3 = 2t_3 = 2\cdot 314{,}10 = 628{,}2\,кг$$

$T_3 + t_3 = 628{,}2 + 314{,}1 = 942{,}3\ кг$.

Вал $M_б$ моментлар таъсирида буралади, вертикал текисликда $(T_3 + t_3)$ кучнинг вертикал ташкил этувчиси $(T_3 + t_3)\cos 30^0 = 942{,}3 \cdot 0{,}866 = 775{,}2\,кг$ ва $T_3 + t = 895{,}2\,кг$ кучлар таъсиридаги эгилиш, ҳамда горизонтал текисликда $(T_3 + t)\sin 30^0 = 942{,}3 \cdot 0{,}5 = 447{,}6\,кг$ ва $T_2 + t_2 = 1790{,}4\,кг$ кучлар таъсиридаги эгилиш таъсирида бўлади.

Таянч реакцияларини аниқлаймиз:

$\sum \mathrm{M}_B = 895{,}2 \cdot 1{,}5 - R_E \cdot 10 + 775{,}2 \cdot 7{,}5 = 0;\ \ R_E = 725{,}48\,кг;$

$\sum \mathrm{M}_E = 892{,}2 \cdot 11{,}5 - R_B \cdot 10 - 775{,}2 \cdot 25 = 0;$

$R_B = 835{,}68\,кг.$

Текшириш: $895{,}2 - 835{,}65 - 775{,}2 + 725{,}08 = 1600{,}865 - 1610{,}88 = 0$.

Вертикал текисликдаги эгувчи момент эпюрасини қурамиз.

AB участкада $(0 \le x_1 \le 1{,}5)$;

$\mathrm{M}_1(x) = 895{,}2 \cdot x_1;\quad \mathrm{M}_1(0) = 0;\quad \mathrm{M}_1(1.5) = 1342{,}80\,кг\,см$,

BC участкада $(1{,}5 \le 7_2 \le 4{,}0)$;

$\mathrm{M}_2(x) = 895{,}2 \cdot x_2 - 835{,}68(x_2 - 1{,}5);\quad \mathrm{M}_2(1{,}5) = 1342{,}8;$

$\mathrm{M}_2(4) = 1491{,}6\,кг\ см,\quad \mathrm{M}_3(9) = 1789{,}2\,кг\,см,$

ED участкада $(0 \le x_{11} \le 2{,}5)$;

$Q_4(x) = -772{,}745\,кг;\quad M_4(x) = 715{,}68 \cdot x_4;\quad M_4(_0) = 0;\quad M_4(2{,}5) = 1789{,}2\,кгсм$.

Горизонтал текисликдаги эгувчи момент эпюрасини қурамиз.

AB участкада $(0 \le x_1 \le 2{,}5)$; $\mathrm{M}_1(x) = 0$;

BC участкада $(1{,}0 \le x_2 \le 4)$; $\mathrm{M}_2(x) = 1454{,}7(x_2 - 1{,}5)$;

$\mathrm{M}_2(1{,}5) = 0$; $\mathrm{M}_2\ (4) = 3636{,}75\ кгсм$;

CD участкада $(4 \le x_3 \le 9)$; $\mathrm{M}_3(x) = 1958{,}75\ кгсм$;

ED участкада $(0 \le x_4 \le 2{,}5)$; $\mathrm{M}_4(x) = 783{,}3 \cdot x_4$;

$\mathrm{M}_4(0) = 0;\quad \mathrm{M}_4\,(2{,}5) = 1959{,}75\ кг\,см$.

Юқорида топилган қийматлардан фойдаланиб қурилган вертикал ва горизонтал текисликдаги эгувчи моментларнинг эпюралари ва ҳисоблаш схемалари 10.9-шакл, в, г, д, е ларда кўрсатилган.

Эпюралардан кўринадики C кесим хавфли бўлар экан, чунки бу кесимда эквивалент момент энг катта қийматга эга бўлади:

$$\mathrm{M}^{IV}_{экв} = \mathrm{M}_{экв} = \sqrt{0{,}75\mathrm{M}_x^2 + \mathrm{M}_y + \mathrm{M}_z} =$$

$$= \sqrt{0{,}75 \cdot 7162^2 + 1491{,}6^2 + 3636{,}75^2} = 7343{,}13\,кг \cdot см.$$

Валнинг диаметрини балканинг мустаҳкамлик шартидан аниқлаймиз:

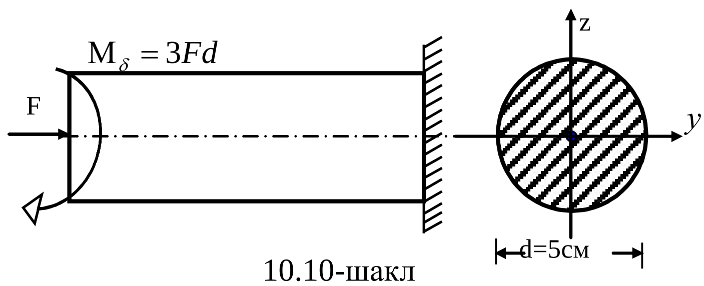
$$\sigma_{экв} = \frac{M_{экв}}{W_э} = \frac{M_{экв}}{\frac{\pi d^2}{32}} \le [\sigma]; \qquad d \ge \sqrt{\frac{32 \cdot M_{экв}}{\pi[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 7343{,}13}{3{,}14 \cdot 600}} = 5\,см.$$

10.6-мисол.

Агар чўян брус учун талаб этилган мустаҳкамликнинг эҳтиёт коэффициенти $[n] = 4{,}0$, материалининг мустаҳкамлик чегараси чўзилиш учун $\sigma_м^ч = 2000\,кг/\,см^2$ ва сиқилиш учун $\sigma_м^с = 8000\,кг/см^2$ бўлса, унинг учун рухсат этилган кучнинг қиймати аниқлансин (10.10-шакл).

Ечиш: Қаралаётган брус сиқилишга ва буралишга қаршилик кўрсатади.

Кўндаланг кесимлардан ҳар бирининг четки нуқталари хавфлидир, чунки уларда буралиш таъсиридан энг катта кучланиш пайдо бўлади.



10.10-шакл

Хавфли нуқтадаги кучланишни сиқувчи F куч орқали ифодалаймиз:

$$\sigma = -\frac{F}{A} = -\frac{4F}{\pi d^2}; \quad \tau = \frac{M_б}{W_\rho} = \frac{3Fd}{\frac{\pi d^3}{16}} = \frac{48F}{\pi d^2}.$$

(10.16) формуланинг учинчисидан фойдаланиб, қуйидаги мустаҳкамлик шартини ҳосил қиламиз: $\nu = \frac{\sigma_м^ч}{\sigma_м^с} = \frac{2000}{8000} = 0{,}25$.

$$\sigma_{экв}^{мар} = \frac{1-\mu}{2}\sigma + \frac{1+\mu}{2}\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \frac{1-0{,}25}{2}\left(-\frac{4F}{\pi d^2}\right) + \frac{1+0{,}25}{2}\frac{F}{\pi d^2}\sqrt{4^2 + 4 \cdot 48^2} \le \frac{\sigma_м^ч}{[n]}.$$

бундан $\frac{F}{\pi d^2}\left(-4\frac{3}{8} + \frac{5}{8}\sqrt{9232}\right) \le \frac{\sigma_м^ч}{[n]}$.

Рухсат этилган кучнинг қиймати қуйидагича бўлади:

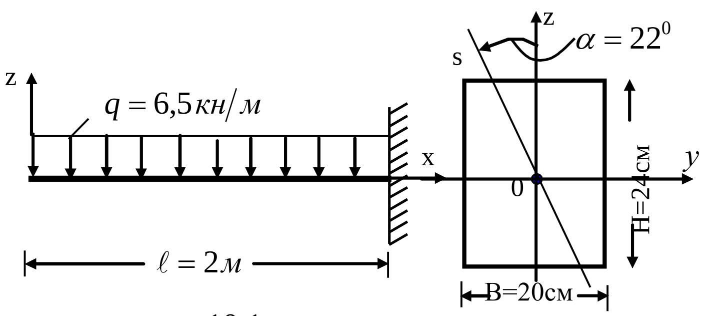
$$[F] \ge \frac{\pi d^2 \sigma_м^ч}{[n]\left(\frac{5}{8}\sqrt{9232} - \frac{3}{2}\right)} = \frac{3{,}14 \cdot 5^2 \cdot 2000}{4 \cdot 58{,}55} = 670{,}4\,кг.$$

Мустакил ечиш учун масалалар

.

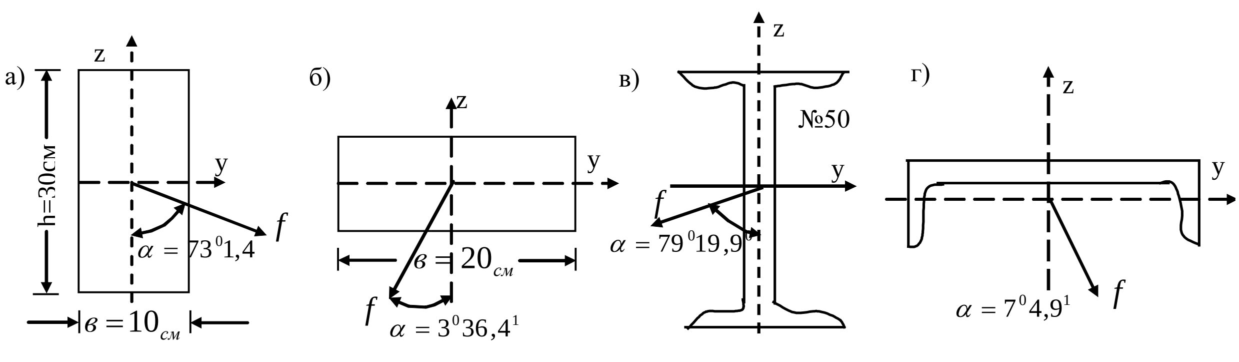
10.1-мисол. Шаклда кўрсатилган тўртбурчак кўндаланг кесимли консолга xos текислик бўйича текис ёйилган куч таъсир этади. Кесимнинг нейтрал ўқининг ҳолатини, эркин учининг тўла салқилигини ва хавфли кесимдаги энг катта чўзувчи кучланишларни аниқланг.

Жавоби : $\varphi = 30^0 13'$; $f = 0.03 кг$, $\sigma_{\frac{\max}{\min}} = \pm 93.2 кг/см^2$.



10.1-мисол учун

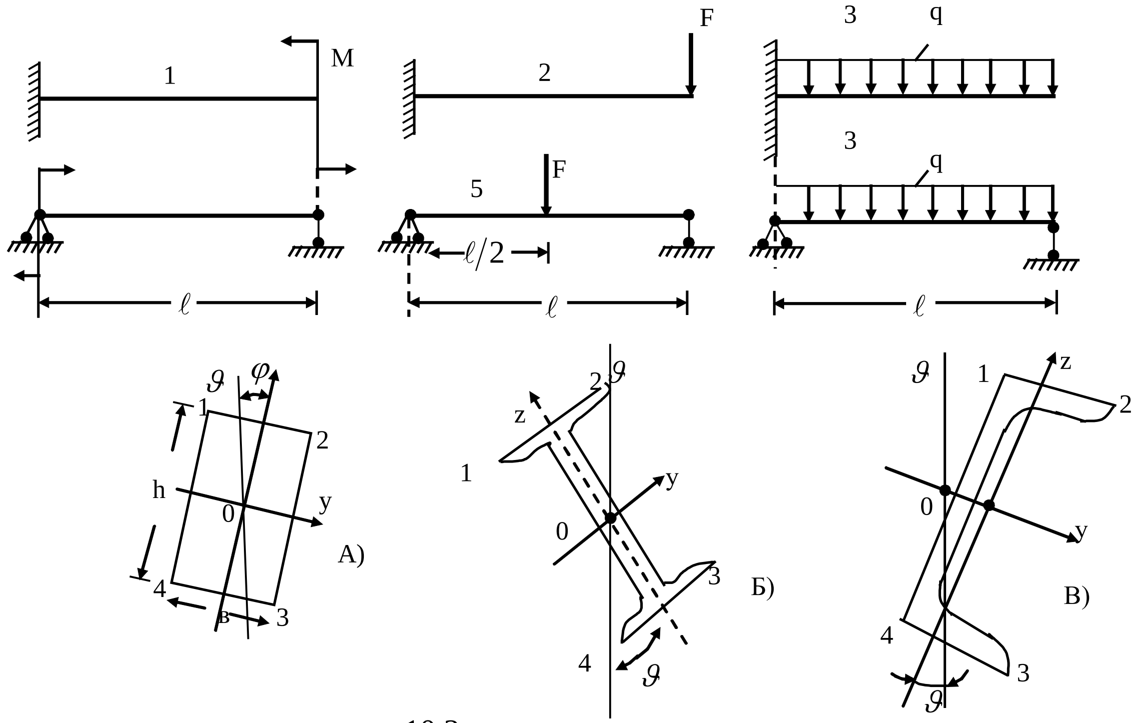
10.2-мисол. Кўндаланг кесимлари шаклда кўрсатилган балкаларнинг эгилиши натижасида кесимларнинг оғирлик марказлари кўрсатилган йўналишда сурилган. Балкаларнинг ҳар қайсиси учун ташқи кучларнинг таъсир текисликлари вазиятини аниқланг (φ бурчакнинг z ўқи билан).



10.2-мисол учун

Жавоблари: $а)\ \varphi = 20^0$, $б)\ \varphi = 35^0$, $в)\ \varphi = 8^0$, $г)\ \varphi = 60^0$

10.3-мисол. Шаклда кўрсатилган балкалар учун нейтрал чизиқнинг вазиятини топинг (ўқ y билан бурчак α), хавфли кесимда энг катта нормал кучланишларни аниқланг, кесим томонлари бўйича бу кучланишларнинг эпюраларини қуринг ва балканинг энг катта салқилигини аниқланг. Ҳамма ҳолда ҳам юкланишнинг таъсир текислиги кесимнинг эгилиш маркази – нуқта О орқали ўтадиган вертикал тексилик υ га тўғри келади. Балкаларнинг кўндаланг кесими А) бўлганда материали ёғоч, Б) ва В) – пўлат



10.3-мисол учун

N/N	Балка схема-си ва кесими	Про-лёт ℓ (м)	Юклар	Кесим ўлчам-лари	Бур-чак φ	жавоблар		
						Бурчак α	σ max $(кг/см^2$	f max $(см)$
1	1-А	1,5	М=4 кнм	12х20см	60^0	$78^0 16^1$	97,2	1,38
2	1-Б	1,4	М=2 кнм	Қўштавр № 12	30^0	$82^0 8^1$	1443	1,77
3	1-В	2,0	М=6 кнм	Швеллер №6 кнм	60^0	$87^0 55^1$	1492	1,98
4	2-А	2,0	F=0,8кн	10х15см	45^0	$66^1 2^1$	75,2	1,32
5	2-Б	1,5	F=2 кн	Қўшт. №16	30^0	$83^0 22^1$	1273	0,97
6	2-В	1,4	F=3 кн	Швел. №22	60^0	$87^0 38^1$	1552	0,79
7	3-А	2,0	q=2 кн/м	10х25 см	45^0	$80^0 55^1$	95,0	0,47
8	3-Б	1,2	q=3 кн/м	Қўшт. №14	30^0	$82^0 46^1$	1168	0,47

9	3-В	2,4	q=2 кн/м	Швел. №24	45^0	$85^0 54^1$	1481	1,41
10	4-А	2,5	М=6 кн/м	12х30 см	60^0	$84^0 43^1$	88,8	0,48
11	4-Б	3,0	М=8 кн/м	Кўшт. №27	45^0	$87^0 2^1$	1516	0,63
12	4-В	2,2	М=3 кнм	Швел №14[а]	30^0	$79^0 39^1$	1463	0,41
13	5-А	2,5	F=2.5 кн	9х51см	45^0	$70^0 12^1$	87,3	0,67
14	5-Б	4,0	F=12 кн	Кўшт. №36	60^0	$88^0 44^1$	1542	1,34
15	5-В	2,4	F=4 кн	Швел. №14	30^0	$80^0 54^1$	1388	0,64
16	6-А	3,2	q=6 кн/м	16х24см	60^0	$75^0 37^1$	90,0	0,89
17	6-Б	5,0	q=4 кн/м	Кўшт. №40	60^0	$88^0 50^1$	1326	2,12
18	6-В	4,0	q=1.2 кн/м	Швел. №16	45^0	$85^0 9^1$	1415	2,24

10.4-мисол. Шаклда кўрсатилган кўндаланг кесими № 20 номерли кўштаврдан иборат консолнинг эркин учидаги тўла салқилик $\vartheta_c = 1 см$ ва унинг йўналиши y ўқи билан $\beta = 20^0$ ташкил қилади.

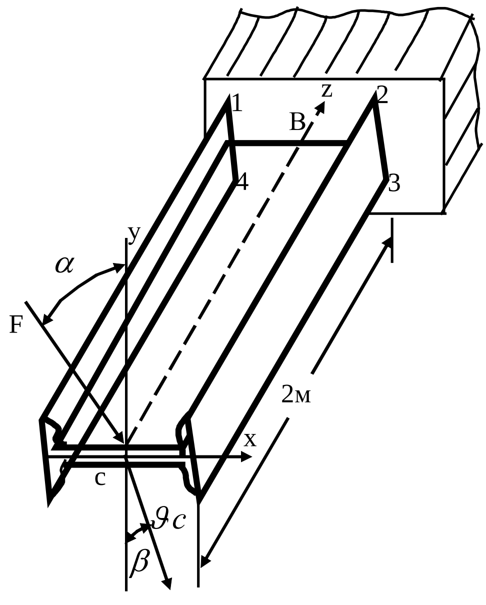
Қуйидагиларни топиш талаб қилинади:

1) α, бурчак ва F кучнинг қийматини;

2) нейтрал чизиқ ҳолати ва маҳкамланган кесимнинг 1, 2, 3 ва 4 нуқталаридаги кучланишларни.

Жавоби: 1) $\alpha = 80^0 15^1$; $F = 4{,}79 кн$;

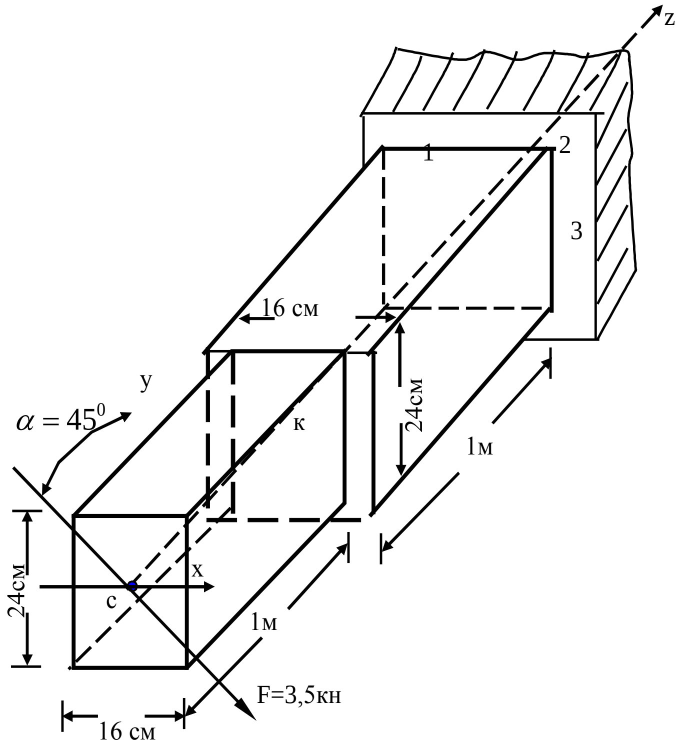
2) $\vartheta = \beta = 20^0$; $\sigma_1 = 1213 кг/см^2$; $\sigma_2 = 187 кг/см^2$; $\sigma_3 = -1213 кг/см^2$; $\sigma_4 = -187 кг/см^2$.



10.4-мисол учун

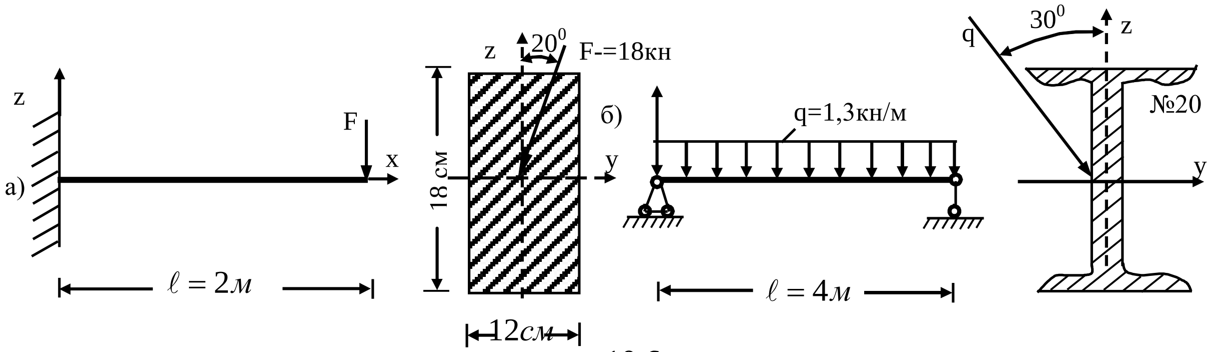
10.5-мисол. Шаклда кўрсатилган, кўндаланг кесими ўзгарувчи бўлган консолнинг С ва К кесимининг тўла салқилиги топилсин.

Жавоби : $fc = 1.55\,см$
$f\kappa = 0{,}28\,см$



10.5-мисол учун

10.6-мисол. Агар $[\sigma]=1400\,кг/см^2$ ва $[f]=\ell/400$ бўлса, шаклда кўрсатилган пўлат балканинг мустаҳкамлиги ва бикрлиги



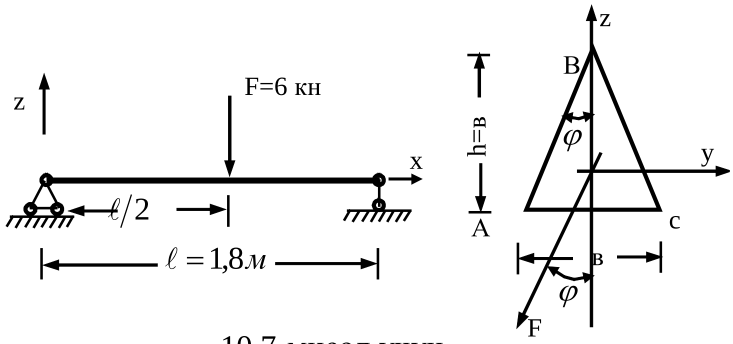
10.6-мисол учун

текширилсин.

Жавоби: а) $\delta_{\max} = 807\,кг/см^2$; $f = 0{,}5\ см$

б) $\delta_{\max} = 686\,кг/см^2$; $f = 0{,}95\,см.$

10.7-мисол. Агар шаклда кўрсатилган учбурчак кўндаланг кесимли чўян балка учун $[\sigma]ч = 400\,кг/см^2$, $[\sigma]_c = 1200\,кг/см^2$ бўлса, кўндаланг кесимнинг зарурий ўлчамлари аниқлансин.
Жавоби: h=12 см.

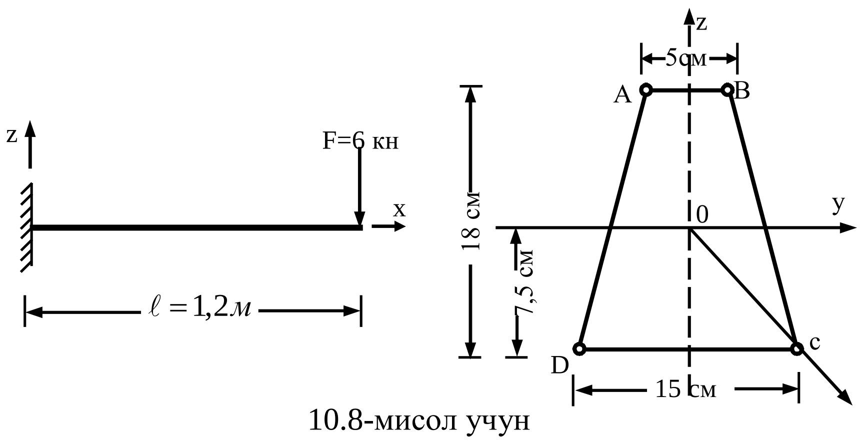


10.7-мисол учун

10.8-мисол. Кўндаланг кесими трапециясимон бўлган чўян консоль кесимининг бурчагидаги нуқталаридаги нормал кучланишлар ва энг катта салқилик аниқлансин.
Қуйидагилар берилган:

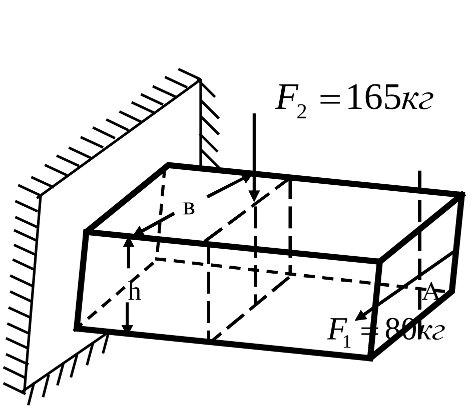
$$E = 1,2 \cdot 10^6\ кг/см^2\ ; \qquad J_y = 4455см^4; \qquad J_z = 1875см^4;$$

Жавоби: $\sigma_A = 391кг/см^2$; $\sigma_в = 109кг/см^2$; $\sigma_c = 603кг/см^2$; $\sigma_D = 246кг/см^2$; $f = 0,58см;$



10.8-мисол учун

10.9-мисол. Шаклда кўрсатилган ёгоч консоль F_1 ва F_2 кучлар таъсиридан эгилади, тўғри тўртбурчак кесимнинг баландлиги h нинг эни в га нисбатини 2 деб олиб унинг ўлчамларини танланг ва унинг A кесимидаги тўла салқилик қийматини ҳамда йўналишини аниқланг;



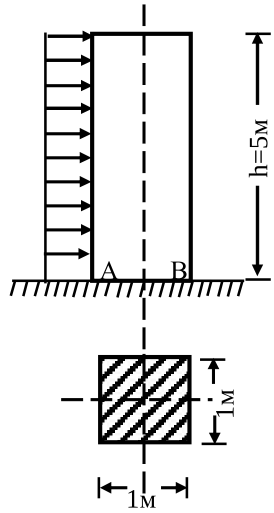
10.9-мисол учун

Жавоби: $[\sigma]=100\,кг/см^2$, $в=9см;\ h=18см;\ f_A=1{,}98см$,
(вертикалга $80^0\,52^/$ бурчак остида).

10.10-мисол. Шаклда кўрсатилган ғиштин устунга ўз хусусий оғирлиги ва кучи 80 кг/см^2 га тенг бўлган шамолнинг бир текис тақсимланган кўндаланг босими таъсир қилади.

Ғиштин устуннинг солиштирма оғирлиги 1,6 га тенг.

Устун асосидаги энг катта ва энг кичик сиқувчи кучланишлар миқдори аниқлансин.

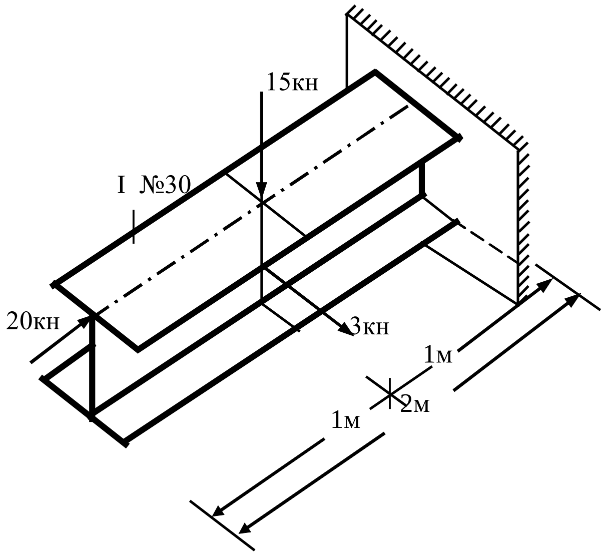


10.10-мисол учун

Жавоби: $\sigma_A=-2\,кн/м^2$,
$\sigma_B=-14\,кн/м^2$.

10.11-мисол. Шаклда кўрсатилган қўштавр кесимли консолнинг кўндаланг кесимидаги энг катта ва энг кичик кучланиш қийматлари аниқлансин:

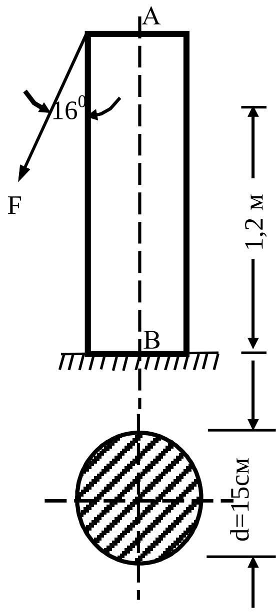
Жавоби: $\sigma_{\max}=814\,кг/см^2$;
$\sigma_{\min}=-900\,кг/см^2$.



10.11-мисол учун

10.12-мисол. Доиравий кўндаланг кесимли ёғоч АВ устунни F куч билан тортилган канат тутиб туради. Агар ёғоч учун $[\sigma]=100\,кг/см^2$ бўлса, устун В кесимда қистириб махкамланган деб ҳисоблаб, канатнинг мумкин бўлган энг катта таранглaниши аниқлансин.

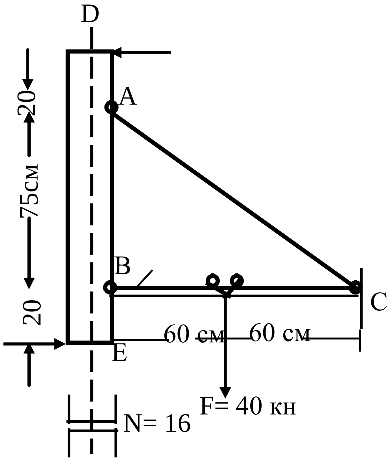
Жавоби: 787 кг.



10.12-мисол учун

10.13-мисол. Деворга маҳкамланадиган краннинг қўштаврли балкаси ВС синч ДЕ га тортқи АС га шарнир ёрдамида бириктирлган. Агар юк $F = 40 кн$ бўлса, балканинг кўндаланг кесимидаги энг катта нормал кучланиш аниқлансин.

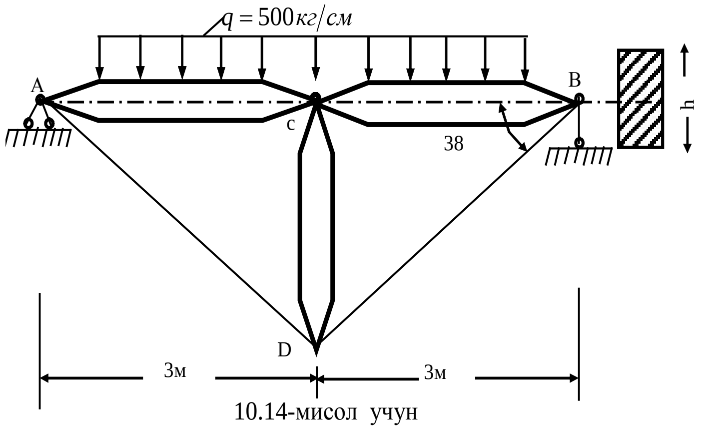
Жавоби: $\sigma_{\max} = 976\, кг/см^2$.



10.13-мисол учун

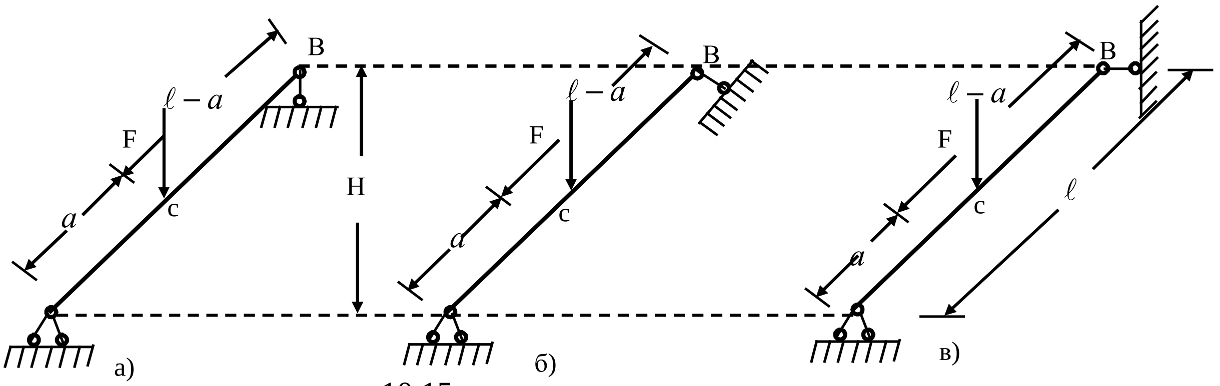
10.14-мисол. Томонларининг нисбати $h : в = 1{,}5$ бўлган тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли ёғоч шпренгел балкаси учларидан шарнирли таяниб туради, у текис ёйилган куч билан юкланган. Агар $[\sigma] = 100\, кг/см^2$ бўлса, балка кўндаланг кесими ўлчамлари ва $[\sigma] = 1200 кг/см^2$ бўлса, пўлат тортқилар ($AD\, ва\, DB$) диаметрлари аниқлансин.

Жавоби: $h = 17{,}6 см;$
$в = 11{,}7\, см;$
$d = 1{,}26 см.$

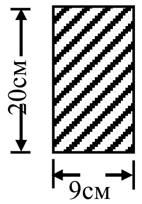
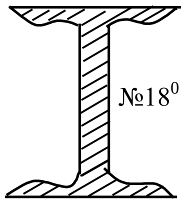


10.14-мисол учун

10.15-мисол. Шаклда кўрсатилган балкаларнинг юқори шарнирли таянчининг уч хил вариантда жойлашган ҳоллари учун энг катта чўзувчи ва сиқувчи кучланишлар қиймати топилсин. Барча ҳолларда балканинг баландлиги кучларнинг таъсир йўналишига параллель.



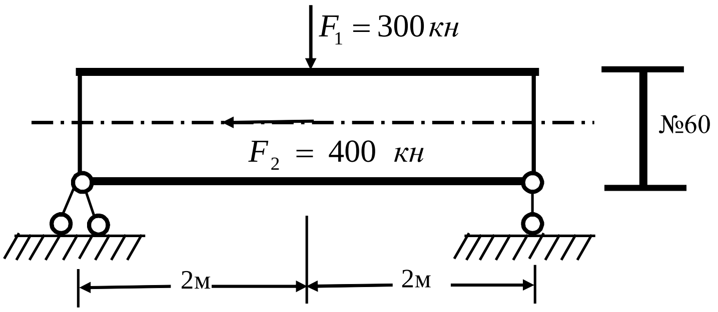
10.15-мисол учун

N/N	Кесим хиллари ва ўлчамлари	ℓ $(см)$	a $(см)$	H $(см)$	F $(кн)$	ю?ори таянч вариант	жавоблар $\sigma_{\max}(кг/см^2)$ чўзилиш	си?илиш
1		180	80	450	2	а	86,0	87,0
2						б	81,9	91,2
3						в	80,1	93,0
4		160	60	140	10	а	1271	1357
5						б	1142	1486
6						в	1102	1526

10.16-мисол. Шаклда кўрсатилган қўштавр кесимли балканинг ўз оғирлигини ҳисобга олмай унинг кўндаланг кесимдаги энг катта чўзувчи ва сиқувчи кучланишлар топилси.

Жавоби: $\sigma^{ч}_{\max} = 937\, кг/см^2$;

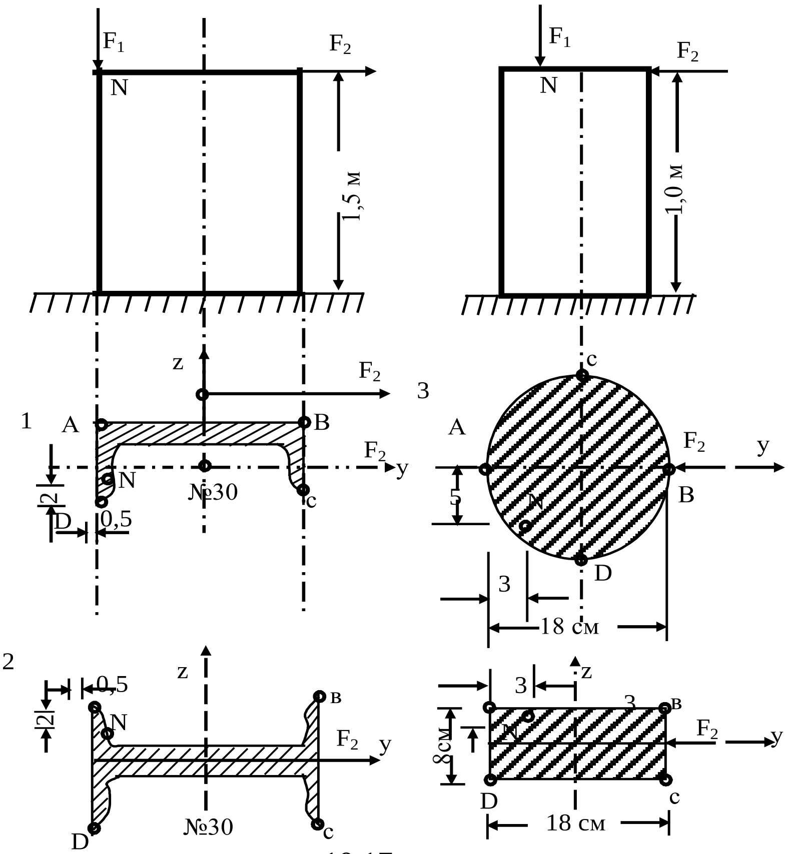
$\sigma^{c}_{\max} = -1227\, кг/см^2$;



10.16-мисол учун

10.17-мисол. Шаклда кўрсатилган устунларнинг юқори учига бўйлама сиқувчи F_1 куч N нуқтасига қўйилган ва кўндаланг F_2 куч ҳам таъсир қилади, унинг таъсир йўналиши кесимнинг эгилиш маркази орқали ўтади.

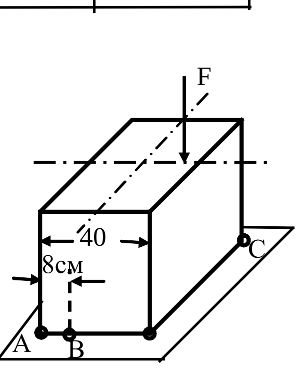
Устунлардаги энг катта нормал кучланишни, асосидаги кесимнинг нейтрал ўқининг вазиятини, A, B, C, D нуқталардаги нормал кучланишларни топинг, ҳамда исталган кўндаланг кесимнинг нейтрал ўқлар ўтадиган M нуқтанинг координаталарини кўрсатинг, юпқа деворли устунларнинг эгилиш-буралиш деформациялари ҳисобга олинмасин.



10.17-мисол учун

кесим номери	F_1 (кн)	F_2 (кн)	жавоблар								
			a_y (см)	a_z (см)	σ_A	σ_B	σ_c	σ_D	$\sigma_{\max}$	*М нукта*	*координата*
					$кг/см^2$					$У_м$	$Z_м$
1	6	1	-13,7	-1,47	268	-57	-1063	-738	1125	0	1,47
2	12	2	-14,9	-1,66	-1045	-1532	505	1051	1625	0	1,47
3	2,5	0,3	1,13	4,05	88,4	68,8	12,0	-31,7	91,4	0	1,47
4	1,8	0,16	1,81	-1,78	-102,6	-21,4	77,8	-46,4	102,6	0	1,47

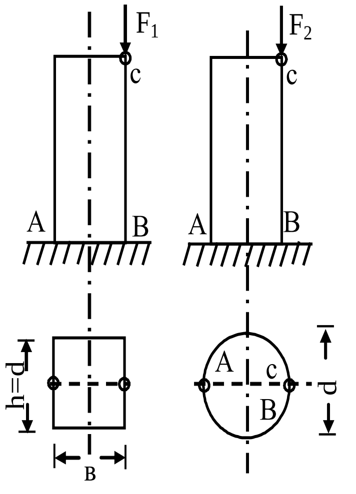
10.18-мисол. Сиқилган бруснинг А нуқтасидаги нормал кучланиш $\sigma_A = 12\,кг/см^2$ га тенг (чўзилиш), В нуқтада $\sigma_B = 0$ га тенг С нуқтада кучланиш нимага тенг?



10.18-мисол учун

Жавоби: $\sigma_c = 48\,кг/см^2$ (сиқилиш).

10.19-мисол. Шаклда кўрсатилган икки устуннинг В нуқтасидаги сиқувчи кучланишлар бир-бирига тенглиги маълум бўлди: Устунларнинг А нуқтасидаги кучланишларни таққосланг.

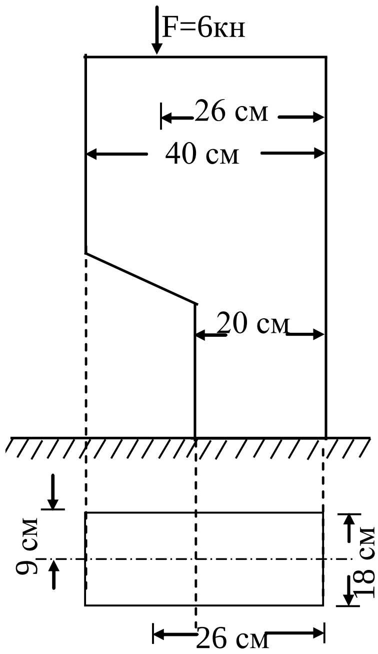


10.19-мисол учун

Жавоби: Доиравий кесимли устунда кучланиш 20% катта бўлади.

10.20-мисол. Агар $[\sigma]_ч = 7кг/см^2$ ва $[\sigma]_с = 70кг/см^2$; бўлса, шаклда кўрсатилган бетон устуннинг пастки қисми мустаҳкамлиги текширилсин.

Жавоби : $\sigma^{ч}_{\max} = 6{,}3кг/см^2 < 7кг/см^2,$
$\sigma^{с}_{\max} = 9{,}7кг/см^2 < 70кг/см^2.$

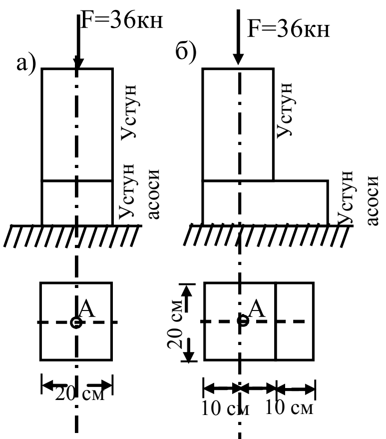


10.20-мисол учун

10.21-мисол. а) ва б) шаклда кўрсатилган устунларнинг асосидаги энг катта нормал кучланишларни топинг.

Жавоби : а) $\sigma_{\max} = 90кг/см^2$;

б) $\sigma_{\max} = 120кг/см^2$.

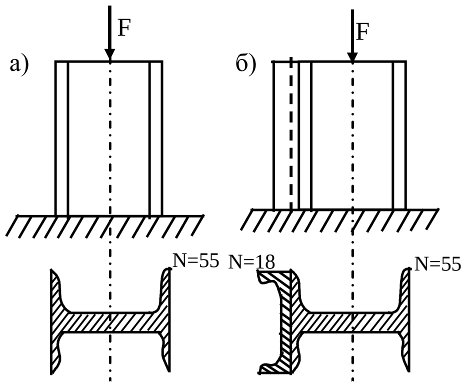


10.21-мисол учун

10.22-мисол. №55 номерли қўштавр кесимли калта устун F=180 кн куч билан марказий сиқилаяпди. Агар қўштавр бутун узунлиги бўйича № 18 номерли швеллерни пайвандлаш билан кучайтирилса, қўштаврли ва кучайтирилган устунлардаги энг катта сиқувчи кучланишларни топинг.

Жавоб :

$а) \quad \sigma_{\max} = 157{,}9кг/см^2;\ б)\ \sigma_{\max} = 170{,}7кг/см^2.$



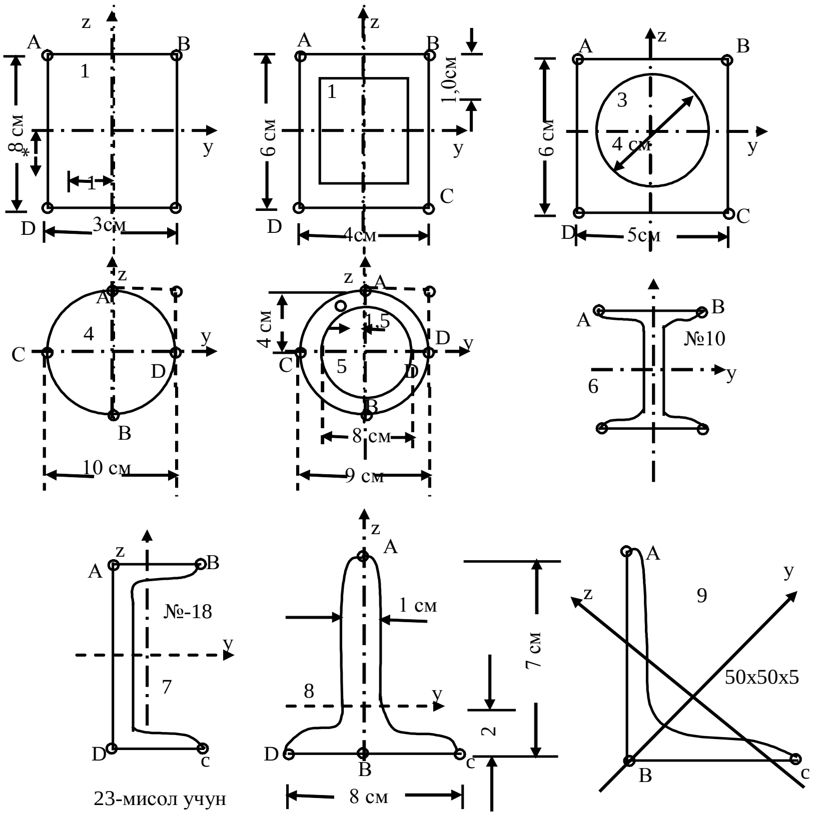
10.22-мисол учун

10.23-мисол. Шаклларда кўрсатилган кўндаланг кесимли узунликлари $\ell = 1{,}5м$ бўлган стерженлар F куч таъсиридан чўзилади. F куч қўйилган нуқта кесимларда юлдузча билан белгиланган.

Координаталар системасидан нейтрал ўқнинг кесиб ажратган кесмалари, A,B,C,D нуқталардаги нормал кучланишлар, энг катта кучланишлар ва стержень узунлигининг ўртасидаги салқиликларни аниқланг. Юпқа деворли стерженларнинг эгилиш ва буралиш деформацияси натижасида ҳосил бўладиган кучланишлар ҳисобга олинмасин.

23-мисол учун

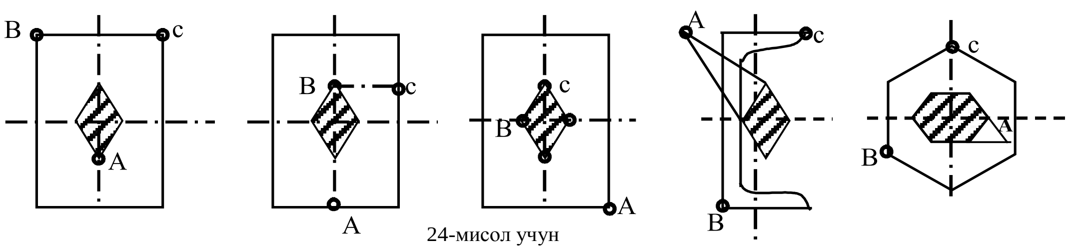
схема номери	F-куч (кн)	жавоблар							Саллилик
		Нейтрал ўқь нуқтасининг координаталари		Кесим нуқталаридаги кучланишлар $(кг/см^2)$					f (см)
		a_y (см)	a_z (см)	σ_A	σ_B	σ_C	σ_D	σ_{max}	
1	60	+0,75	+2,67	+375	-625	+125	+1125	1125	0,49
2	40	+0,96	-1,56	+1672	+281	-1005	+381	1672	0,57
3	50	-1,15	+1,48	-919	+331	+1493	+243	1493	0,45
4	200	-1,25	+1,25	+1273	-764	-764	+1273	1695	0,41
5	60	+6,04	-2,27	+1342	-443	+784	+115	1403	0,30
6	25	-0,54	-3,30	-532	+1580	+949	-1164	1580	0,55
7	15	-0,53	-2,49	+23	+1283	+747	-514	1283	0,45
8	30	-0,77	+2,17	-280	+412	-700	+1524	1524	0,41
9	10	-0,63	+1,05	+1415	+454	+10	-	1415	0,54



23-мисол учун

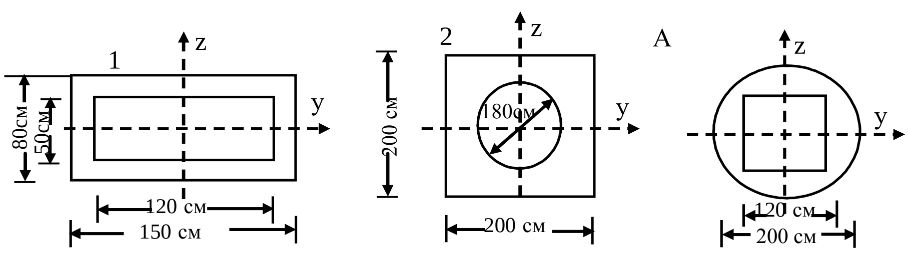
10.24-мисол. Шаклларда кўндаланг кесимлар ва уларнинг кесим ядролари кўрсатилган. Агар кесим тексилиги ва тик куч А нуқтага қўйилган бўлса, бу кесимларнинг ҳар қайсисида нейтрал ўқ қандай ўтади.

Жавоби: Барча кесимларда В ва С нуқталар орқали ўтади.



24-мисол учун

10.25-мисол. Шаклда кўрсатилган ичи бўш кўндаланг кесимлар берилган. Бу кесимларнинг а) ичи бўш ва б) ичи бўш бўлмаган ҳолларда устунлардан ҳар қайсисининг кесим ядроси ўлчамлари аниқлансин.

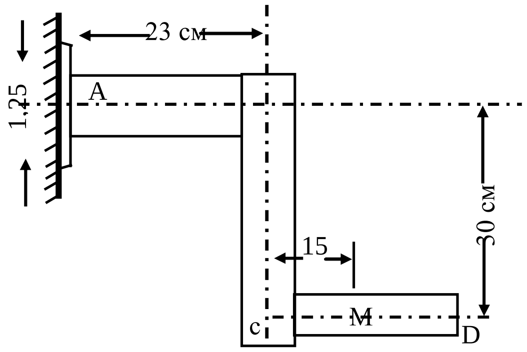


10.25-мисол учун

10.25-мисол учун

Кесим ядроси ўлчам-лари	Ж а в о б л а р					
	а) ичи бўш бўлган			б) ичи бўш бўлган		
	1	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
$h_я(см)$	42,9	112,4	72,0	26,7	66,7	50,0
$в_я(см)$	68,0	112,4	72,0	50,0	66,7	50,0

10.26-мисол. Шаклдаги ABCD пўлат тирсаклик стерженнинг AB қисмининг диаметри $d = 12{,}5 см$. M нуқтада чизма текислигига тик 2 кн куч қўйилган. Кесувчи кучларнинг уринма кучланишларини ҳисобга олмай энг хавфли нуқта M кесимдаги кучланишларни ва ҳисобий кучланишни учинчи ва тўртинчи мустаҳкамлик назариялари бўйича топинг.



10.26-мисол учун

Жавоби: $\sigma_1 = 451 кг/см^2$; $\sigma_5 = -54 кг/см^2$; $\sigma_x^{111} = 505 кг/см^2$, $\sigma_x^{IV} = 480 кг/см^2$

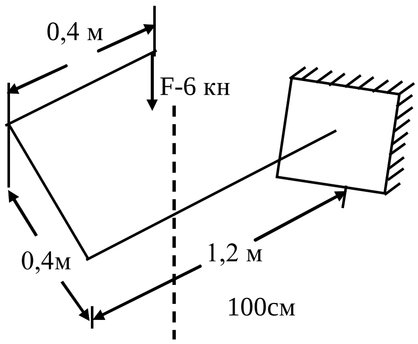
10.27-мисол. Кўндаланг кесими доира бўлган валга буровчи $М_б == 12000 кгсм$ ва эгувчи $M_э = 9000 кгсм$ моментлар таъсир қилади. Вал материали учун рухсат этилган кучланиш $[\sigma] = 1000 кг/см^2$. Шу валнинг диаметри (d), III ва IV мустаҳкамлик назариялари асосида аниқлансин.

Жавоби : $d_{III} = 5{,}35 см$; $d_{IV} = 5{,}2 см$

10.28-мисол. Валнинг хавфли кесимига буровчи $М_б = 20 кг\,см$, эгувчи $М_э = 60 кг\,см$ моментлар ва чўзувчи $N = 90 кг$ куч таъсир қилади. Валнинг диаметри Ш мустаҳкамлик назарияси асоси-да аниқлансин. Вал материали учун рухсат этилган кучланиш $[\sigma] = 600 кг/см^2$.

Жавоби: $d = 4{,}1 см$.

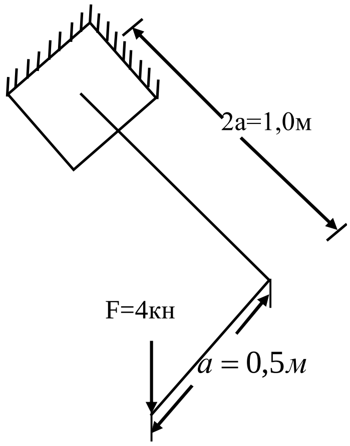
10.29-мисол. Доиравий кўндаланг кесимли пўлат валнинг хавфли кесимида $M_э = 8кн \cdot м$ ва $M_б = 6кн \cdot м$ моментлар таъсир қилади. Агар $[\sigma] = 1800 кг/см^2$ бўлса, IV мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб валнинг диаметри аниқлансин.
Жавоби: $d = 8{,}2 см.$



10.30-мисол учун

10.30-мисол. Агар $[\sigma] = 1800 кг/см^2$ бўлса, шаклда кўрсатилган синиқ стерженнинг кўндаланг кесим юзининг ўлчамлари Ш-мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб танлансин. Кўндаланг кесим икки вариантда қаралсин: доира ва квадрат.

Жавоби: $d = 6.75 см;\ a = 5{,}9 см$



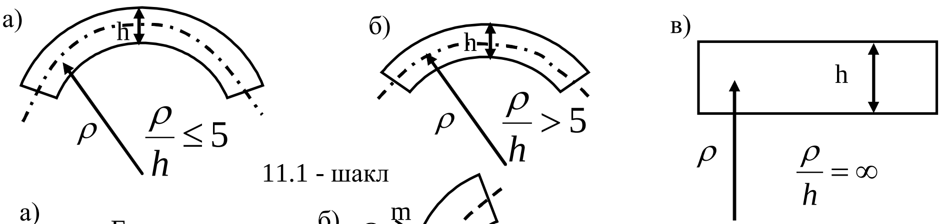
10.31-мисол учун

10.31-мисол. Шаклда кўрсатилган, диаметри $d = 7см$ бўлган стержендан ясалган кронштейннинг кўндаланг кесимидаги энг катта ҳисобот кучланиш III-мустаҳкамлик назариясидан фойдаланиб
аниқлансин.

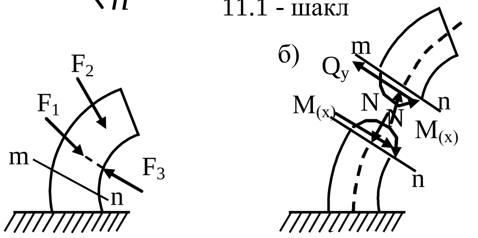
Жавоби: 1830 $кг/см^2$

Эгри стерженлар

Машинасозликда ва қурилиш амалиётида конструкция элементлари орасида тўғри элементлардан ташқари эгри ўқли стерженлар ҳам жуда кўп учрайди. Масалан, юк кўтарувчи кранларнинг илмоғи, берк халқа, гилдирак туғони, арка гумбаз ва шуларга ўхшашлар. Стерженнинг эгрилиги, эгрилик радиуси ρ нинг энг катта баландлиги hга нисбати билан ифодаланади. $\rho/h > 5$ бўлганда стержень кичик эгриликда, $\rho/h \le 5$бўлганда катта эгриликда, агар $\rho/h = \infty$ бўлса, тўғри ўқли бўлади. (11.1-шакл)



11.1 - шакл



11.2-шакл

Қуйида симметрик кўндаланг кесим юзали ҳамда уларга таъсир этадиган куч брус ўқи устида ёки кесим юзасининг симметрия ўқида ётувчи катта эгриликдаги текис эгри бруслар ҳақида тўхталамиз. Бундай эгри бруснинг исталган кесим юзасидаги барча ички кучлар учта компонентга, яъни нормал куч N га, эгувчи момент $M_{(x)}$га ва кесувчи куч $Q_{(y)}$га кетирилади.

Агар эгувчи момент стержень ўқи эгрилигини оширса мусбат, акс ҳолда манфий бўлади, агар бўйлама куч чўзилишга мос келса мусбат, акс ҳолда манфий, агар кесувчи кучнинг йўналиши бўйлама кучнинг мусбат йўналишини соат стрелкаси ҳаракати бўйича 90^0га буриш натижасида ҳосил қилинса мусбат, акс ҳолда манфий бўлади.

Эгрилик радиуси кичик бўлган текис эгри стерженлар чизиқли ва бурчакли кўчишларни умумий ҳолда, яъни M,N ва Q ларни ҳисобга олганда Мор интеграли ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$\delta_{iF} = \sum \int_s \frac{MM_i ds}{EJ} + \sum \int_s \frac{NN_i ds}{EA} + \sum \int_s \frac{\kappa Q Q_i ds}{GA}; \qquad (11.1)$$

бунда M, N ва Q - эгри бруснинг ихтиёрий кўндаланг кесимида берилган кучлар таъсирида ҳосил бўлган юқорида кўрсатилган куч факторлари;

M_i, N_i, Q_i - изланувчи кўчиш йўналишида қўйилган бирлик куч (момент) таъсирида ўша кесимда ҳосил бўлган ўхшаш куч факторлари;

K – кесим шаклига боғлик бўлган коэффициент (Масалан, тўғри тўртбурчак учун к=1,2 ва доира учун $\kappa = \frac{10}{9}$) ;

ds – ёй элементи ;

s - ёй узунлиги .

N ва Q ларнинг таъсири M нинг таъсирига нисбатан кўчишнинг микдорига жуда кам бўлгани учун, (11.1) формуланинг охирги икки хадини кўпчилик ҳолларда эътиборсиз колдириш мумкин.

Текис эгри стерженларнинг кўндаланг кесимларида нормал кучланишлар билан бирга уринма кучланишлар ҳам пайдо бўлади. Эгрилиги катта бўлган стерженлардаги нормал кучланишлар тўғри стерженни эгилишга ҳисоблаш учун чикарилган формула бўйича ҳисобланса, у йўл қўйиш мумкин бўлмаган катта хатоликни беради.

Эгувчи моментдан ҳосил бўлган нормал кучланиш қуйидаги формуладан топилади (11.3 шакл):

$$\sigma_{м} = \frac{M}{S} \cdot \frac{z}{r+z}, \tag{11.2}$$

бунда M – берилган кесимдаги эгувчи момент ;

S – нейтрал ўққа нисбатан кўндаланг кесимнинг статик моменти;

r – нейтрал катламнинг эгрилик радиуси ;

z – нейтрал ўқдан кучланиш аниқланадиган толагача бўлган масофа.

Бўйлама куч таъсиридан ҳосил бўлган нормал кучланишлар тўғри стерженнинг ўқ бўйлаб чўзилиши ва сиқилишидаги каби ҳисобланади.

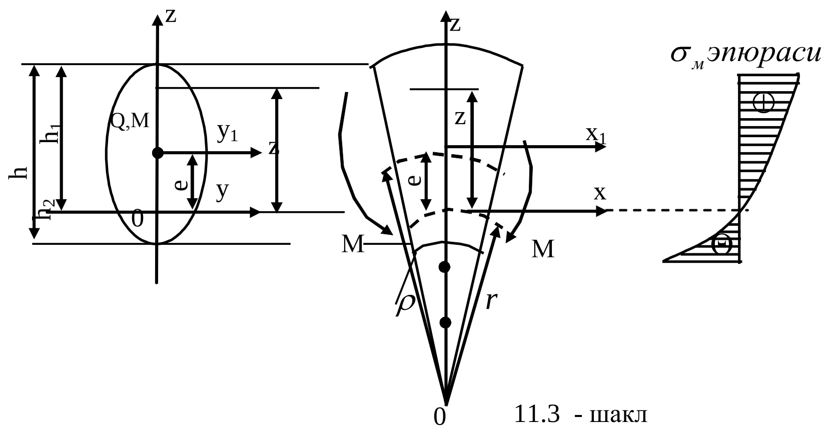
$$\sigma_{\mathrm{N}} = \frac{\mathrm{N}}{A} \tag{11.3}$$

Эгри стерженнинг эгилишда унинг кўндаланг кесимида кесувчи Q кучда ҳосил бўладиган уринма кучланиш тўғри стержендаги каби Журовский формуласидан топилади.

$$\tau = \frac{QS}{вJ} \tag{11.4}$$

N ва M нинг йўналишига ҳамда эгри стерженнинг кўндаланг кесими шакли ва материалига караб, хавфли нуқталар кўндаланг кесимнинг ички (эгрилик марказига яқинрок) нуқталари ва шунингдек, ташқи нуқталари бўлиши мумкин ва нормал кучланишни шу нуқталар учун ҳисоблаш қуйидаги формуладан аниқланади:

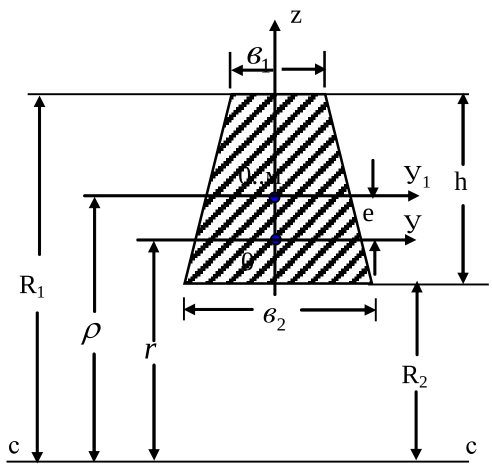
$$\sigma_{1,2}=\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}}\pm\frac{\mathrm{M}}{S}\frac{h_{1,2}}{r\pm h_{1,2}}\le[\sigma] \qquad (11.5)$$



11.3 - шакл

(11.5) формулада N нинг қийматини унинг ишорасини ҳисобга олган ҳолда, *M* ўзининг абсолют қиймати билан, стерженнинг эгилиши қаралаётган нуқтада чўзилиш ёки сиқилишни ҳосил қилишга қараб мусбат мусбат ёки манфий ишора қўйилади. Касрнинг махраждаги мусбат ёки манфий ишора қўйилади. Касрнинг махражидаги мусбат ишора ташқи толаларга, манфий ишора эса толаларга мос келади.

Эгри стерженнинг кўндаланг кесимидаги нейтрал ўқ шу кесимнинг марказий бош ўқидан эгрилик маркази томон силжиган.



11.4-шакл

Нейтрал катламнинг эгрилик радиуси *r* қуйидаги ифодадан топилади :

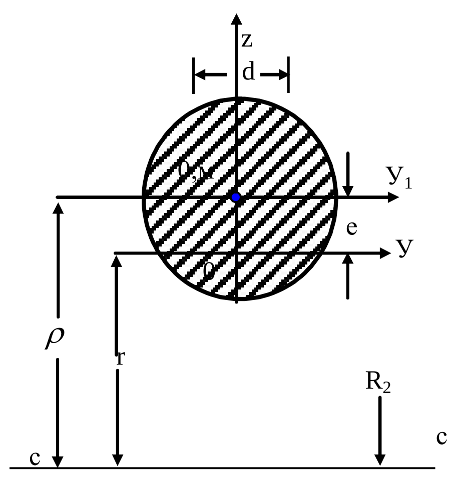
$$\int_{A}\frac{z}{r+z}dA=0. \qquad (11.6)$$

(11.6) ифодадан айрим кўндаланг кесим шакллар учун ҳосил қилинган формулаларни келтирамиз.

Трапеция учун (11.4-шакл).

$$r=\frac{h\frac{в_1+в_2}{2}}{\left(в_1+R_1\frac{в_2-в_1}{h}\right)\ell n\frac{R_1}{R_2-(в_2-в_1)}} \qquad (11.7)$$

Доира учун (11.5-шакл) :



11.5-шакл

$$r = \frac{d^2}{4\left[2\rho - \sqrt{4\rho^2 - d^2}\right]} \tag{11.8}$$

Тўғри тўртбурчак учун

$$r = \frac{h}{\ell n \frac{R_1}{R_2}} \tag{11.9}$$

Бошка шаклдаги кесимлар учун r ва $в = \rho - r$ ларнинг қийматлари справочникларда ва айрим дарсликларда келтирилган.

Такрибий формула бўйича нейтрал ўқнинг силжиш микдорини аниқлаш мумкин:

$$e \approx \frac{J_{y_1}}{A\rho}, \tag{11.10}$$

бунда $J_{y_1 -}$ кесимнинг куч текислигига тик бўлган, яъни нейтрал ўққа параллел бўлган марказий бош ўққа нисбатан инерция моменти.

Нейтрал ўқнинг силжиши доиравий ва тўғри тўрт бурчак кесим учун тахминан қуйидагича бўлади:

$$e \cong \frac{d^2}{16\rho}; \qquad e \cong \frac{\frac{вh^3}{12}}{вh\rho} = \frac{h^2}{12\rho}\ .$$

Бу тахминий формулалар эгрилиги ўртача бўлган бруслар учун, яъни $\frac{h}{\rho} < 0{,}5$ бўлган ҳол учун яхши натижалар беради.

Масалалар ечишда қуйидаги жадвалдан фойдаланамиз.

Эгри стерженларни ҳисоблашда тез-тез учраб турадиган интегралларнинг жадвали :

11.1- жадвал

Т/р	Интеграл тури	Ораликдаги қийматлар			
		$0-\alpha$	$0-\frac{\pi}{4}$	$0-\frac{\pi}{2}$	$0-\pi$
1	2	3	4	5	6
1.	$\int \sin\varphi\, d\varphi$	$1-\cos\alpha$	0.293	1	2
2.	$\int \cos\varphi\, d\varphi$	$\sin\alpha$	0,707	1	0
3.	$\int \sin^2\varphi\, d\varphi$	$-\frac{1}{4}\sin 2\alpha + \frac{\alpha}{2}$	0.143	0.785	1,571
4.	$\int \cos^2\varphi\, d\varphi$	$\frac{1}{4}\sin 2\alpha + \frac{\alpha}{2}$	0,643	0,785	1,571
5.	$\int \sin^2\varphi \cos\varphi\, d\varphi$	$\sin^3 \alpha/3$	0,118	0,333	0
6.	$\int \cos^2\varphi \sin\varphi\, d\varphi$	$(1-\cos^3\alpha)\cdot 3$	0,216	0,333	0,667

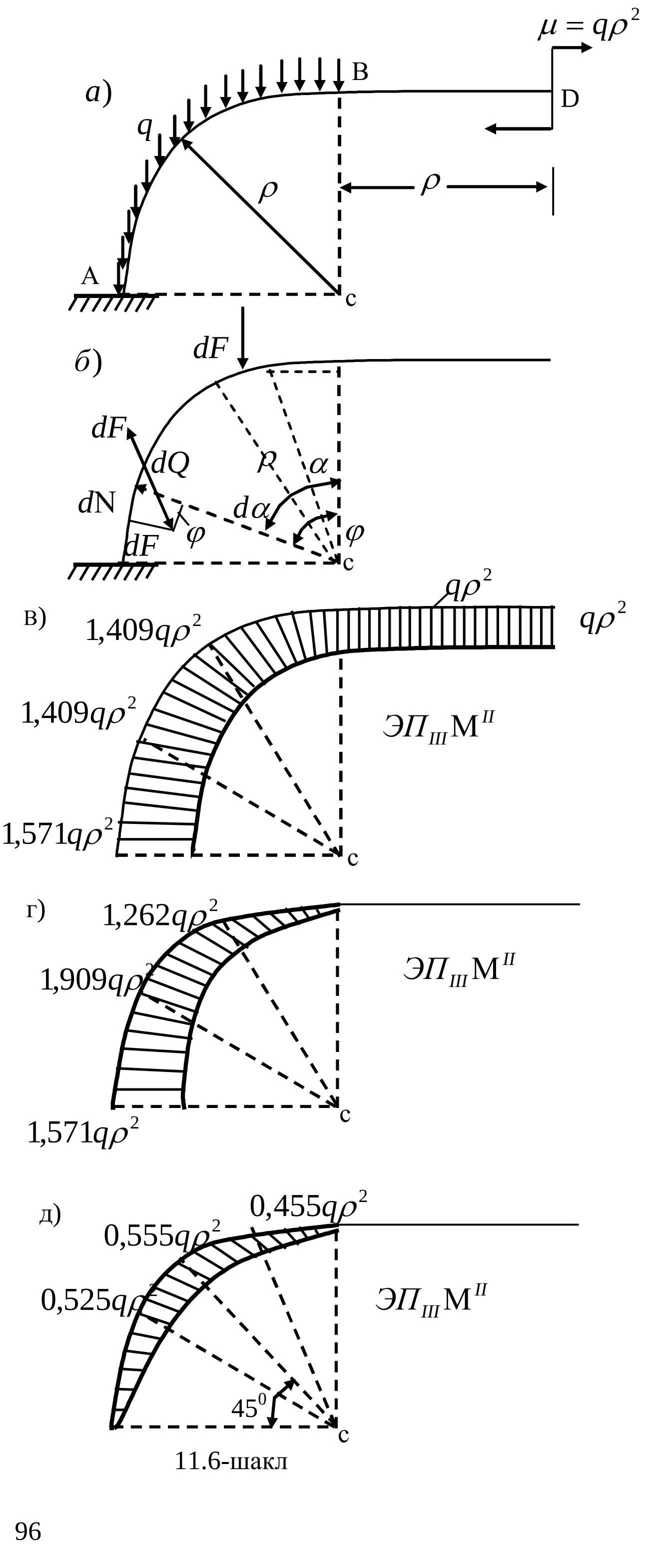
7.	$\int \sin 2\varphi \; d\varphi$	$\frac{1}{2}-\frac{\cos 2\alpha}{2}$	0,5	1	0
8.	$\int \cos 2\varphi d\varphi$	$\frac{1}{2}\sin 2\alpha$	0,5	0	0
9.	$\int \sin\varphi \cos\varphi \; d\varphi$	$\sin^2 \alpha/2$	0,25	0,5	0
10.	$\int \varphi \sin\varphi d\varphi$	$\sin\alpha - \alpha\cos\alpha$	0,152	1	3,141
11.	$\int \varphi \cos\varphi d\varphi$	$\cos\alpha + \alpha\cos\alpha - 1$	0,262	0,571	-2
12.	$\int \varphi \sin^2 \varphi \; d\varphi$	$-\frac{1}{4}\left(\alpha^2 - \alpha\sin 2\alpha\right) -$ $-\frac{1}{8}\left(\cos 2\alpha - 1\right)$	0,933	0,868	2,47
13.	$\int \varphi \cos^2 \varphi d\varphi$	$\frac{1}{4}\left(\alpha^2 + \alpha\sin 2\alpha\right)$ $+\frac{1}{8}\left(\cos 2\alpha - 1\right)$	0,226	0,368	2,47
14.	$\int \varphi \sin 2\varphi \; d\varphi$	$\left(\sin 2\alpha/4\right) -$ $-(\alpha\cos 2\alpha/2)$	0,25	0,785	-1,571
15.	$\int \varphi \cos 2\varphi d\varphi$	$\frac{1}{4}\cos 2\alpha - 1) +$ $+ (\alpha \sin 2 \sin 2\alpha/2$	0,143	-0,5	0

- Жадвал $Е \cdot Н$.Тихомировнинг “Курс сопротивления материалов”, ОНТИ 1934 дарслигидан олинган.

11.1-мисол.

11.6-шакл, а) да кўрсатилган стержень учун M, N ва Q эпюралар қурилсин.

Ечиш: Шаклдан кўринадики M момент таъсиридан N ва Q лар ҳосил бўлмайди, у фақат M эпюрасигагина таъсир кўрсатади. Шу сабабли q куч таъсирида стерженнинг АВ участкасининг кўндаланг кесимида қандай куч факторлари ҳосил бўлишини қараймиз. Ҳолати вертикалдан бошлаб φ бурчак билан ҳисобланадиган ихтиёрий кўндаланг кесимда элементар тўпланган куч $dF = qds = q\rho d\alpha$ таъсиридан ҳосил бўладиган куч факторлари қуйидагича топилади.



11.6-шакл

$$d\mathrm{M}(q) = dF\rho(\sin\varphi - \sin\alpha) =$$
$$q\rho^2(\sin\varphi - \sin\alpha)d\alpha;$$

$$d\mathrm{N} = -dF\sin\varphi = -q\rho\sin\varphi d\alpha;$$
$$dQ = dF\cos\varphi = q\rho\cos\varphi d\alpha.$$

булардан

$$\mathrm{M}_{(q)} = q\rho^2\int_0^{\varphi}(\sin\varphi - \sin\alpha)d\alpha = q\rho^2$$
$$(\varphi\sin\varphi + \cos\varphi - 1);$$
$$\mathrm{N} = -q\rho\sin\int_0^{\varphi} d\alpha = -q\rho\varphi\sin\varphi;$$
$$Q = q\rho\cos\varphi\int_0^{\varphi} d\alpha - = q\rho\varphi\cos\varphi;$$

BD учаскада эгувчи момент ўзгармас бўлади :

AB участкада эгувчи момент учун ифодани куч таъсирини қўшиш принципига мувофиқ топамиз:

$$\mathrm{M} = \mu + \mathrm{M}(q) = q\rho^2(\varphi\sin\varphi + \cos\varphi)$$

$\varphi=0,\ \ \varphi=\dfrac{\pi}{6},\ \ \varphi=\dfrac{\pi}{3}\ ,\ \dfrac{\pi}{2}$ қийматларда $\mathrm{M},\ N, Q$ ларни ҳисоблаймиз.

$$\mathrm{M}_{\varphi=0}=\mu=q\rho^2;$$

$$\mathrm{M}_{\varphi=\frac{\pi}{6}}=q\rho^2\left(\frac{\pi}{6}\sin\frac{\pi}{6}+\cos\frac{\pi}{6}\right)=1{,}128q\rho^2;$$

$$\mathrm{M}_{\varphi=\frac{\pi}{3}}=q\rho^2\left(\frac{\pi}{3}\sin\frac{\pi}{3}+\cos\frac{\pi}{3}\right)=1{,}409Hq\rho^2;$$

$$\mathrm{M}_{\varphi=\frac{\pi}{3}}=q\rho^2\left(\frac{\pi}{2}\sin\frac{\pi}{2}+\cos\frac{\pi}{2}\right)=1{,}511q\rho^2;$$

$$\mathrm{N}_{\varphi=0}=0;$$

$$\mathrm{N}_{\varphi=\frac{\pi}{6}}=-q\rho^2\sin\frac{\pi}{6}+\cos\frac{\pi}{6}=-0{,}262\,q\rho^2;$$

$$\mathrm{N}_{\varphi=\frac{\pi}{6}}=-q\rho^2\,\frac{\pi}{3}\sin\frac{\pi}{3}=-0{,}909\,q\rho^2;$$

$$\mathrm{N}_{\varphi=\frac{\pi}{6}}=-q\rho^2\,\frac{\pi}{2}\sin\frac{\pi}{2}=-1{,}571q\rho^2;$$

$$Q_{\varphi=0}=0;$$

$$Q_{\varphi=\frac{\pi}{6}}=-q\rho\frac{\pi}{6}cos\frac{\pi}{6}=0{,}455\ q\rho^2;$$

$$Q_{\varphi=\frac{\pi}{4}}=-q\rho\frac{\pi}{4}cos\frac{\pi}{4}=0{,}555\ q\rho;$$

$$Q_{\varphi=\frac{\pi}{4}}=q\rho\frac{\pi}{2}cos\frac{\pi}{2}=0.$$

Топилган қийматлардан фойдаланиб $\mathrm{M}, \mathrm{N}, Q$ эпюраларини қурамиз (11.6-шакл, в, г, д.).

11.2-мисол.

$F = 150\,кн$ кўтарувчи илмокнинг хавфли кўндаланг кесимдаги энг катта чўзувчи ва сикувчи кучланишлар топилсин (11.7-шакл,а).

Ечиш: Эгувчи момент $\mathrm{M} = F \cdot \rho$ ва бўйлама куч $\mathrm{N} = F$ энг катта қийматга эга бўлгани учун $A - A$ кесим хавфли бўлади. Кесимнинг хавфли нуқталаридаги кучланишларни қуйидаги формуладан аниқлаймиз.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}} \pm \frac{\mathrm{M}}{S}\frac{h_{1,2}}{r \pm h_{1,2}} \quad \text{ёки}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}} \pm \frac{\mathrm{M}}{S}\frac{h_{1,2}}{R_{1,2}} \quad .$$

Кўндаланг кесимни иккита учбурчакка ажратиб, унинг оғирлик маракзи ҳолатини аниқлаймиз.

$$z_c = \frac{S_{y_0}}{\mathrm{A}} = \frac{\frac{hв_2}{2}\cdot\frac{h}{3} + \frac{hв_1}{2}\frac{2h}{3}}{\frac{hв_2}{2} + \frac{hв_1}{2} = \frac{h(2в_1 + в_2)}{3(в_1 + в_2)}} =$$

$$= \frac{h(2в_1 + в_2)}{3(в_1 + в_2)} = \frac{16(2\cdot 6 + 12)}{3(6 + 12))} = 7{,}11\,см$$

(11.7) формуладан фойдаланиб, нейтрал қатламнинг эгрилик радиусини топамиз.

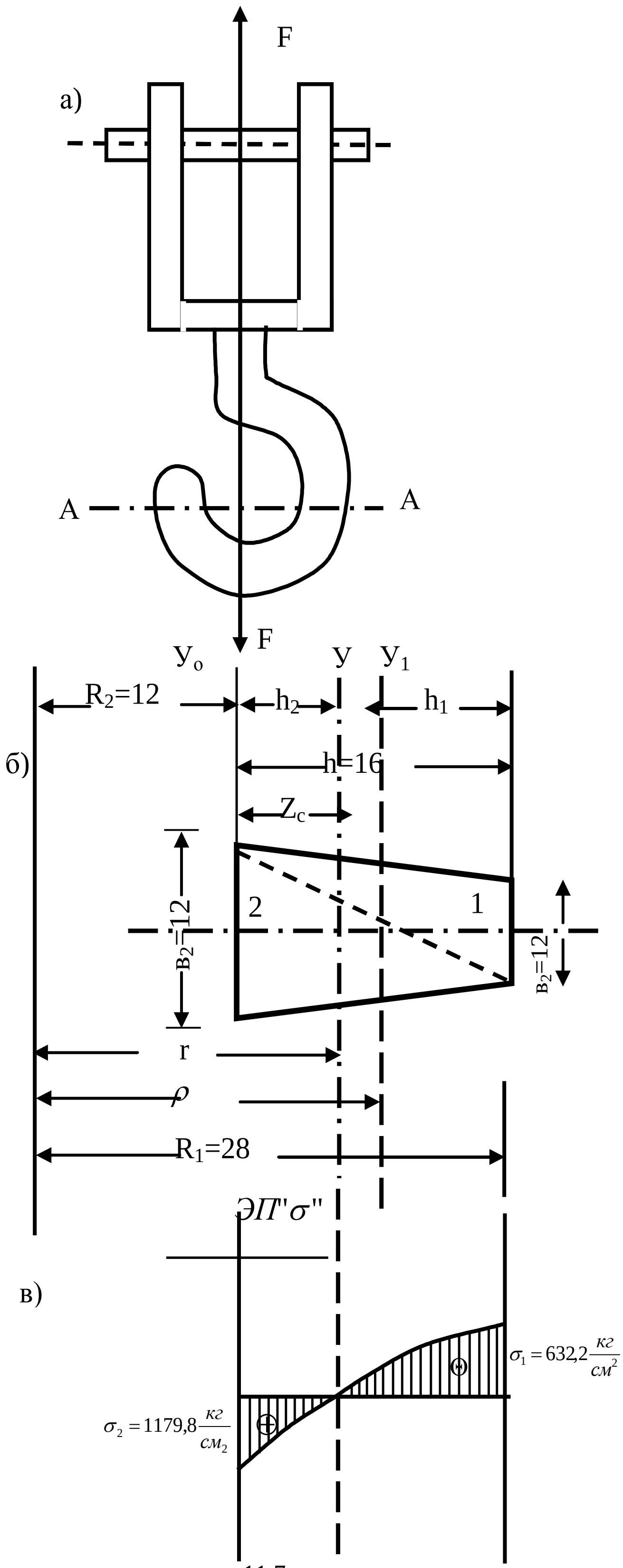
$$r = \frac{16\,\frac{6+12}{2}}{\left(6 + 28\frac{12-6}{16}\right)\ell n\frac{28}{12} - (12-6)} = 18.1\,см$$

σ_1 ва σ_2 кучланишларни топишда керак бўладиган қийматларни топамиз:

$$\rho = R_2 + \mathrm{Z}_c = 12 + 7{,}11 = 19{,}11\,см$$

$$e = \rho - r = 19{,}11 - 18{,}1 = 1{,}01\,см$$

$$\mathrm{A} = \frac{в_1 + в_2}{2}h = \frac{6+12}{2}\cdot 16 = 144\,см$$



11.7-шакл

$$S = \mathrm{A} \cdot e = 144 \cdot 1{,}01 = 145{,}44\,см^3$$
$$h_1 = h - (z_c - e) = 16 - (7{,}11 - 1{,}01) = 9{,}9\,см$$
$$h_2 = Z_c - e = 7{,}11 - 1{,}01 = 6{,}1\,см\,.$$

Кучланишларни аниқлаймиз

$$\sigma_2 = \frac{16000}{144} + \frac{16000 \cdot 19{,}11 \cdot 6{,}1}{145{,}44 \cdot 12} = 1179{,}8\, {}^{кг}\!/_{см^2}\,;$$

$$\sigma_1 = \frac{16000}{144} - \frac{16000 \cdot 19{,}11 \cdot 9{,}9}{145{,}44 \cdot 28} = 632{,}2\, {}^{кг}\!/_{см^2}$$

Топилган қийматлардан фойдаланиб, қурилган кучланиш эпюраси 11.7-шакл, в) да кўрсатилган.

Мустакил ечиш учун мисоллар

11.1. Пўлатдан ясалган стерженнинг В кесимининг вертикал, горизонтал ва тўла кўчишлари аниклансин.

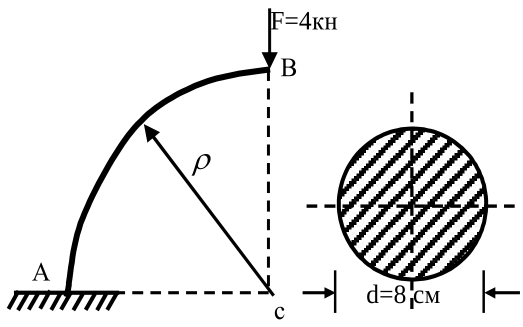
Жавоби : $\delta_B^{верт} = \dfrac{\pi}{4}\dfrac{F\rho^3}{EJ} \approx 0{,}4см$

$\delta_B^{гор} = \dfrac{F\rho^3}{2EJ} = 0{,}25см. \qquad \delta_B^{тўла} = 0{,}472см.$

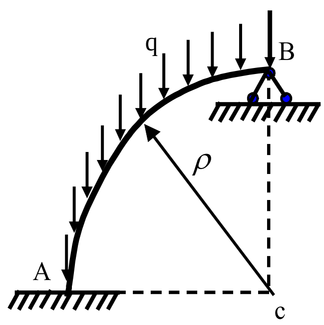
11.2. Шаклда кўрсатилган эгри стержень учун эгувчи момент, бўйлама ва кесувчи кучлар эпюралари қурилсин.

Жавоби: $\left|M_{\max}\right| = 0{,}125q\rho^2$;

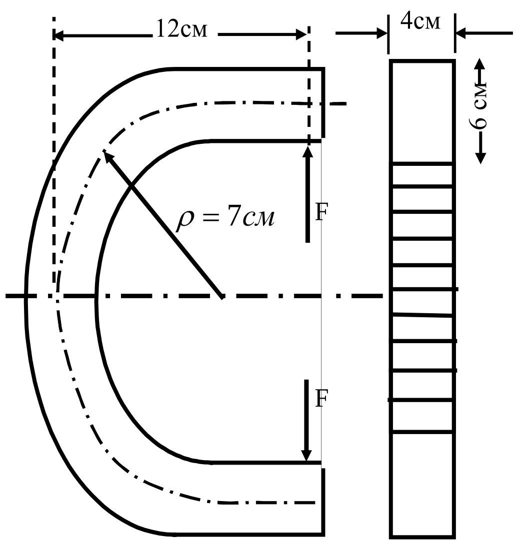
$$\left|N_{\max}\right| = \left|N_A\right| = 0{,}5q\rho;$$
$$\left|Q_{\max}\right| = \left|Q_B\right| = 0{,}5q\rho.$$



11.1-мисол учун



11.2-мисол учун



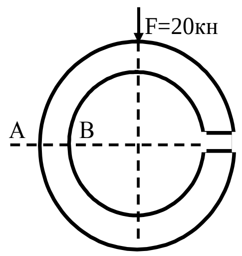
11.3-мисол учун

11.3. Эни 6 см, қалинлиги 4 см бўлган тўғри тўртбурчак кесимли стеженни эгиб, у ўртача радиуси 7 см ли тақасимон шаклга келтирилган. Стерженнинг ўртасидаги кесимнинг марказидан 12 см масофага бир-бирига қарама-қарши йўналган 10 кн га тенг иккита куч қўйилган ; бу кучлар қайрилган стерженни тўгрилашга интиладилар. Ўртадаги кесимнинг энг катта чўзувчи ва сиқувчи кучланишларни топиб, шу кесим учун нормал кучланишнинг эпюраси қурилсин.

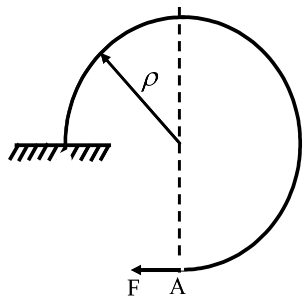
Жавоби: $750\dfrac{кг}{см^2}; -340\dfrac{кг}{см^2}\ (r = 6{,}55\ см).$

11.4. Тўгри тўртбурчак кесимли илмоқ кўтара оладиган юк миқдори топилсин. Илмоқнинг қалинлиги 7,5 см, ичкари томондаги толалар радиуси 15 см, ташқари толалар радиуси 25 см. Ичкаридаги толалар қаватидан 7,5 см узоқликда кучнинг таъсир чизиғи ўтади. Рухсат этилган кучланиш $700\,{}^{кг}\!/_{см}$ га тенг.

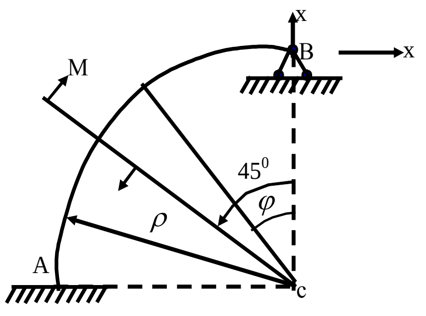
Жавоби: $52\,кн\,(r = 19{,}577\,см).$



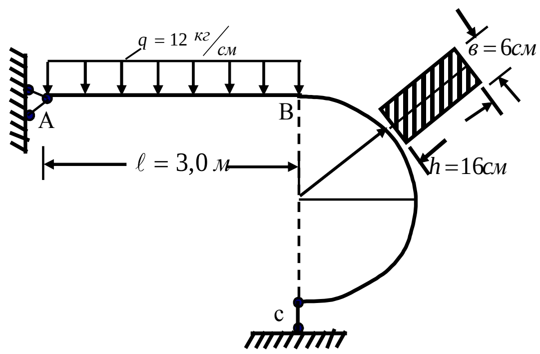
11.5-мисол учун



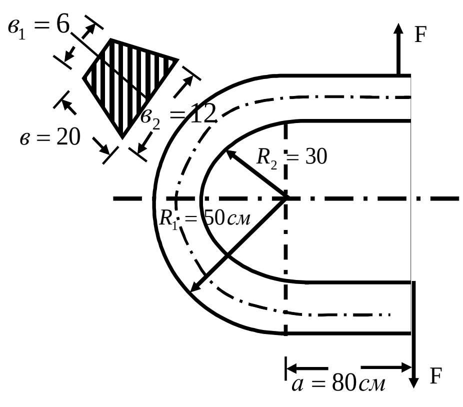
11.6-мисол учун



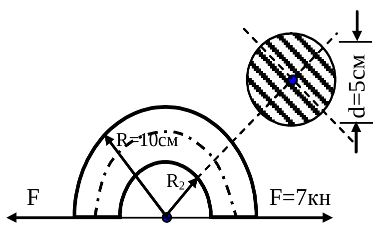
11.7-мисол учун



11.8-мисол учун



11.9-мисол учун



11.10-мисол учун

11.5.Диаметри 8 см бўлган доиравий кесимли стержендан ясалган халқанинг ички диаметри 12 см. Халқа $F = 20кн$ куч билан сиқилади, А ва В нуқталардаги кучланишлар топилсин.

Жавоби: : $260\frac{кг}{см^2}$; $-607\frac{кг}{см}(r = 9.81см)$

11.6. Шаклда кўрсатилган эгри стерженнинг А нуқтаси F куч таъсиридан горизонтал йўналишда кўчадими, агар кўчса канчага кўчади?

Жавоби : $\Delta_{гар} = \frac{F\rho^3}{2EJ} - \frac{F\rho}{2EA}$ чапга караб кўчади.

11.7. Шаклда кўрсатилган эгри стерженнинг В таянч реакцияси аниқлансин. В нуқтанинг горизонтал кўчиши топилсин (бўйлама куч таъсири ҳисобга олинмасин).

Жавоби : $\chi_B = 0{,}9\frac{M}{\rho}$; $\Delta_{гар} = 0{,}042\frac{M\cdot\rho^2}{EJ}$.

11.8. Шаклда кўрсатилган АВС стерженнинг хавфли кўндаланг кесимидаги энг катта ва энг кичик нормал кучланишларнинг қиймати аниқлансин.

Жавоби: $\sigma_{\max} = 1246\frac{кг}{см^2}$; $\sigma_{\min} = -1284\frac{кг}{см^2}$.

11.9. Рухсат этилган кучланиш $[\sigma] = 12\,кг/см^2$ бўлганда, шаклда кўрсатилган зирак шаклидаги деталь учун F кучнинг рухсат этилган қиймати топилсин.

Жавоби: $[F] = 82\,кн$

11.10. Рухсат этилган кучланишлар $[\sigma_ч] = 600\,кг/см^2$, $[\sigma_с] = 1800\,кг/см^2$ бўлганда, ярим халка шаклига эга бўлган чўяндан ясалган стерженнинг мустахкамлиги текширилсин.

Жавоби: $\sigma_{\max} = 564\frac{кг}{см^2}$; $\sigma_{\min} = -285\,кг/см^2$

Бўйлама ва бўйлама – кўндаланг эгилиш.

Стерженнинг тўғри чизиқли мувозанат ҳолатидаги устиворлигини йўқотиши туфайли эгилишига бўйлама эгилиш дейилади. Эластиклик чегарасида ўқ бўйлаб сиқилган стерженларда ҳосил бўладиган критик куч қиймати Эйлер формуласидан фойдаланиб топилади :

$$F_{kp} = \frac{\pi^2 E J_{\min}}{\ell_{kel}^2}, \qquad (12.1)$$

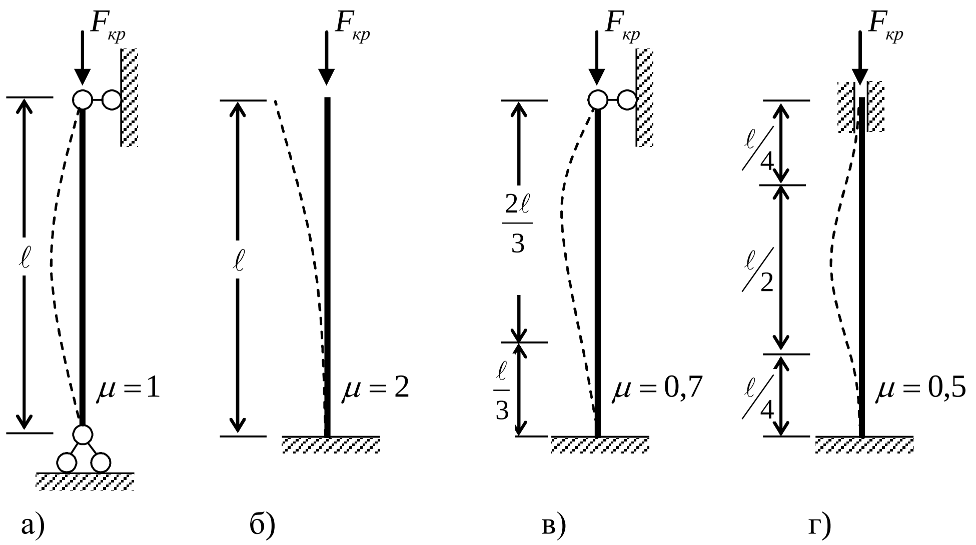
бунда E – стержень материалининг эластиклик модули;

$J_{\min}$ - стержень кўндаланг кесим юзининг минимал инерция моменти;

$\ell_{kel} = \mu\,\ell$ – келтирилган ёки эркин узунлик, бу узунликка синусоиданинг битта ярим тўлқини жойлашади;

μ - стержень учларининг маҳкамланиш усулини ҳисобга олувчи узунликни келтириш коэффициенти;

ℓ - стерженнинг ҳақиқий узунлиги.



12.1-шакл

12.1. а, б, в, г - шаклларда стержень учларининг маҳкамланишининг энг оддий усуллари ва уларга мос келувчи узунликнинг келтириш коэффициентининг қийматлари кўрсатилган.

Сиқилган стерженлар хавф-хатарсиз ишлаши учун рухсат этилган куч критик кучдан кичик бўлиши шарт :

$$[F] = \frac{F_{kp}}{n_y}, \qquad (12.2)$$

бунда n_y - устиворликнинг талаб этилган эҳтиёт коэффициенти.

Стерженни сиқувчи куч критик қийматга етганда стержень кўндаланг кесимида ҳосил бўладиган кучланишга критик кучланиш дейилади ва қуйидаги формуладан топилади :

$$\sigma_{kp} = \frac{F_{kp}}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}\ , \tag{12.3}$$

Бунда: $\lambda = \frac{\ell_{ke\ell}}{r_{\min}} = \frac{\mu\ \ell}{r_{\min}}$ - стерженнинг эгилувчанлиги;

$r_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}$ - стержень кўндаланг кесимининг минимал инерция радиуси.

Критик кучланиш стержень материалининг пропорционаллик чегарасидан ортиб кетмаган ҳолда Эйлер формуласидан фойдаланиш мумкин:

$$\sigma_{kp} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \le \sigma_n . \tag{12.4}$$

Одатда Эйлер формуласидан фойдаланиш учун $\lambda \ge \lambda_{чек}$ ёки

$$\lambda_{чек} \ge \pi\sqrt{\frac{E}{\sigma_n}} \tag{12.5}$$

шарт бажарилиши керак.

Критик кучланиш пропорционаллик чегарасидан ортиб кетиб, Гук қонуни ўз кучини йўқотса, Эйлер формуласидан фойдаланиб бўлмайди. Бундай ҳолларда Ясинскийнинг эмпирик формуласидан фойдаланиб ҳисобланади :

$$\sigma_{kp} = a - b\lambda + c\lambda^2\ , \tag{12.6}$$

бунда a, b, c – материалларнинг хоссасига боғлиқ коэффициентлар, тажриба йўли билан топилади ва кучланиш ўлчамида ўлчанади.

Айрим материаллар учун бу коэффициентларнинг ва эгилувчанлик λ нинг қийматлари 12.1-жадвалда келтирилган.

12.1-жадвал

Стержень материали	Эгилувчанлик $\lambda_{чек}$	Коэффициентлар $(кг/см^2)$		
		a	b	c
Пўлат : Ст.3 маркали	100	3100	11,4	0
Ст. 5 маркали	90	4640	36,17	0

Қарағай ва арча	75	293	1,94	0
Чўян	80	7760		0,53

Сиқилишга ишловчи стерженларни амалда устиворликка ҳисоблаш қуйидаги формула ёрдамида бажарилади :

$$\sigma = \frac{F}{A} \le \varphi\ [\sigma], \qquad (12.7)$$

бунда φ - мустаҳкамлик учун берилган асосий рухсат этилган кучланишни камайтириш коэффициенти.

Бу коэффициент фақат стерженнинг материалига ва унинг эгилувчанлиги λ га боғлиқдир. φ - коэффициентнинг қийматлари (12.2) - жадвалдан олинади.

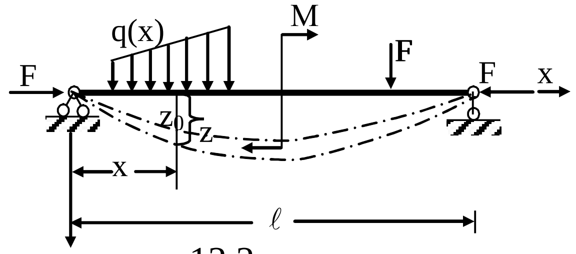
Бўйлама эгилишда φ - коэффициентининг қийматлари.

12.2 – жадвал

Эгилувчанлик $\lambda = \frac{\mu\ \ell}{r_{\min}}$	Пўлатлар с.2,ст.3,ст.4	Пўлат Ст.5	Махсус пўлат	Чўян	Ёғоч
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,97	0,97	0,99
20	0,96	0,95	0,95	0,91	0,97
30	0,94	0,92	0,91	0,81	0,93
40	0,92	0,89	0,87	0,69	0,87
50	0,89	0,86	0,83	0,57	0,80
60	0,86	0,82	0,79	0,44	0,71
70	0,81	0,76	0,72	0,34	0,60
80	0,75	0,70	0,65	0,26	0,48
90	0,69	0,62	0,55	0,20	0,38
100	0,60	0,51	0,43	0,16	0,31
110	0,52	0,43	0,35	-	0,25
120	0,45	0,36	0,30	-	0,22
130	0,40	0,33	0,26	-	0,18
140	0,36	0,29	0,23	-	0,16
150	0,32	0,26	0,21	-	0,14
160	0,29	0,24	0,19	-	0,12
170	0,26	0,21	0,17	-	0,11
180	0,23	0,19	0,15	-	0,10
190	0,21	0,17	0,14	-	0,09
200	0,19	0,16	0,13	-	0,08

Балка бўйлама – кўндаланг эгилишга қаршилик кўрсатаётганда унинг салқилиги қуйидаги тақрибий формула билан аниқланади (12.2 – шакл).

$$z = \frac{z_0}{1 - \frac{F}{F_э}} , \qquad (12.8)$$



12.2 – шакл

бунда z_0 - кўндаланг куч таъсиридан ҳосил бўлган салқилик,

z - F ва кўндаланг куч таъсиридан ҳосил бўлган тўла салқилик;

$F_э = \frac{\pi^2 EJ}{\ell_{kel}}$ - Эйлер кучи,

бунда I - кўндаланг куч таъсир текислигига перпендикуляр бўлган бош ўққа нисбатан ҳисобланади.

(12.8) формула натижалари кўндаланг куч таъсирига мос бўлган эластик чизиқнинг эгрилиги бир ишорали ва $\mu = 1$ бўлган ҳол учун аниқроқдир.

Балка кўндаланг кесимидаги энг катта нормал кучланишлар

$$\sigma_{э.к.} = \frac{N_{(x)}}{A} + \frac{M}{W} = \frac{F}{A} + \frac{M_0}{W} + \frac{F\,z}{W} , \qquad (12.9)$$

бунда $M = M_0 + F\,z$ - балканинг ихтиёрий кўндаланг кесимидаги умумий эгувчи момент;

M_0 - ихтиёрий кесимдаги кўндаланг куч таъсиридан ҳосил бўладиган эгувчи момент.

Балканинг бўйлама-кўндаланг эгилишида нормал кучланиш билан куч орасида чизиқли боғланиш бўлмаганлиги учун кучлар таъсирининг бир-бирига халал бермаслик принципидан фойдаланиб бўлмайди, чунки кучланиш кучга қараганда тезроқ ўсади.

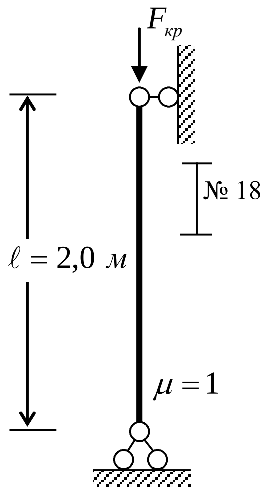
Бўйлама-кўндаланг эгилишда ҳисоблаш чекли куч бўйича бажарилади.

Материали пластик бўлган балка учун чекли куч бўйича ҳисоблаш формуласи қуйидагича бўлади :

$$\sigma_{\max} = \frac{F[n]}{A} + \frac{M_0[n]}{W} + \frac{F[n]\; z_0[n]}{W(1 - \frac{F[n]}{F_э})} \le \sigma_{ok} , \qquad (12.10)$$

бунда σ_{ok} - оқувчанлик чегараси; $[n]$ - мустаҳкамлик учун эҳтиёт коэффициенти.

12.1-мисол



12.3 - шакл

Кўндаланг кесими 18-номерли қўштаврдан иборат бўлган ст.3 маркали пўлат стерженга таъсир этувчи рухсат этилган куч аниқлансин (12.3-шакл). Эҳтиёт коэффициенти $\lfloor n_y \rfloor = 3$.

Ечиш : Стерженнинг эгилувчанлигини топамиз :

Сортамент жадвалидан $r_{\min} = 1{,}99 см$, $I_{\min} = 94{,}6\ см^4$ ларни оламиз.

$$\lambda = \frac{\mu \ell}{r_{\min}} = \frac{1 \cdot 200}{1{,}99} = 100{,}5 .$$

Эгилувчанлик $\lambda > \lambda_{чек} = 100$ бўлгани учун критик кучни Эйлер формуласидан фойдаланиб ҳисоблаймиз:

$$F_{kp} = \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{(\mu \ell)^2} = \frac{(3{,}14)^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 94{,}6}{(1 \cdot 200)^2} = 46635 кг = 466{,}35\ кН.$$

Рухсат этилган кучни (11.2) формуладан аниқлаймиз:

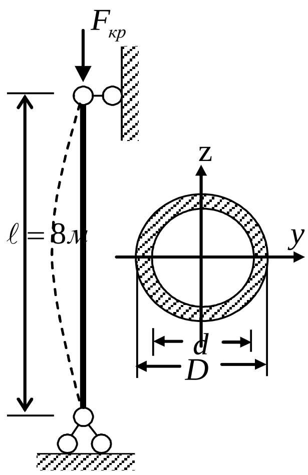
$$[F] = \frac{F_{kp}}{[n_y]} = \frac{46635}{3} = 15545{,}3\ кг = 155{,}45\ кН .$$

12.2-мисол

Кўндаланг кесими халқасимон бўлган чўян устуннинг узунлиги $\ell = 8 м$, ташқи диаметри D=20 см, ички диаметри d=18см бўлиб, юқори учи шарнир воситасида маҳкамланган устун учун F_{kp} ва σ_{kp} лар топилсин (12.4-шакл).

Ечиш: Устун кўндаланг кесим юзини ҳисоблаймиз:

$$\text{A} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{3{,}14}{4}(20^2 - 18^2) = 59{,}66 см^2 .$$



12.4-шакл

Кўндаланг кесимнинг инерция моменти:

$$J_{\min} = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) = \frac{3{,}14}{64}(20^4 - 18^4) = 2699{,}6 см^4 .$$

Кесмнинг инерция радиуси:

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{2699{,}6}{59{,}66}} = 6{,}727\ см .$$

Устуннинг эгилувчанлиги

$$\lambda = \frac{\ell_{kel}}{r_{\min}} = \frac{\mu \ell}{r_{\min}} = \frac{0{,}7 \cdot 800}{6{,}727} = 83{,}25 .$$

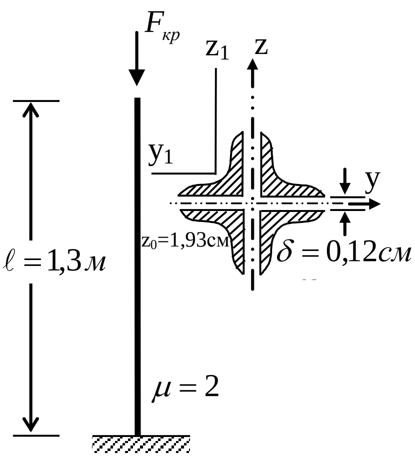
(12.1)-жадвалдан $\lambda_{чек} = 80$ ни олиб, бу билан таққослаб кўрамиз, $\lambda = 83{,}25 > \lambda_{чек} = 80$ бўлганлиги сабабли F_{kp} кучни Эйлер формуласидан фойдаланиб аниқлаймиз :

$$F_{kp} = \frac{\pi^2 E J_{\min}}{(\mu \ell)^2} = \frac{(3{,}14)^2 \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 2699{,}6}{(0{,}7 \cdot 800)^2} = 27030{,}4кг = 270{,}3кН .$$

Критик кучланиш

$$\sigma_{kp} = \frac{F_{kp}}{A} = \frac{27030{,}4}{59{,}66} = 453{,}07кг/см^2$$

бўлади.



12.5-шакл

12.3-мисол

12.5-шаклда кўрсатилгандек кўндаланг кесимли ст.3 маркали пўлат устун учун рухсат этилган сиқувчи кучнинг қиймати аниқлансин.

Бурчакликлар номери 70х70х7 , $\lfloor n_y \rfloor = 2$.

Ечиш: Кўндаланг кесимнинг инерция моментини ҳисоблаймиз (12.5.б-шакл). Сортамент жадвалидан: $J_{y_1} = 42{,}98см^4$, $A_1 = 9{,}42см^2$, $z_0 = 1{,}99см$ оламиз.

$$J_y = J_z = 4(J_{y_1} + a^2 A_1) = 4[42{,}98 + (0{,}6 + 1{,}99)^2 9{,}42] = 424{,}68см^4,$$

бунда $a = z_0 + 5\delta = 1{,}99 + 5 \cdot 0{,}12 = 2{,}59см.$

Кесимнинг инерция радиусини ҳисоблаймиз :

$$r_{\min} = r_{\max} = \sqrt{\frac{J_y}{A}} = \sqrt{\frac{424{,}68}{4 \cdot 9{,}42}} = 3{,}357см .$$

Устуннинг эгилувчанлиги

$$\lambda = \frac{\mu \ell}{r_{\min}} = \frac{2 \cdot 1{,}3}{3{,}357} = 77{,}45$$

12.1-жадвалдан ст.3 маркали пўлат учун $\lambda_{чек} = 100$ ни олиб $\lambda = 77{,}45$ билан таққослаб, $\lambda = 77{,}45 < \lambda_{чек} = 100$ бўлганлиги Эйлер формуласидан фойдаланиб бўлмайди. Шунинг учун критик кучни Ясинский формуласидан фойдаланиб топамиз :

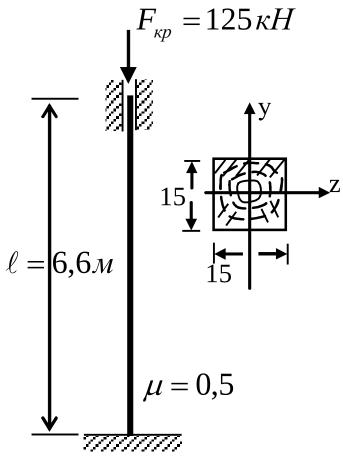
$$F_{kp} = \sigma_{kp} \cdot A = (a - b\lambda) \cdot A = (3100 - 11{,}4 \cdot 77{,}45)\, 4 \cdot 9{,}42 = 83539{,}2кг = 835{,}4кН.$$

Текширилаётган устунга таъсир этувчи рухсат этилган куч

$$[F] = \frac{F_{kp}}{[n_y]} = \frac{835{,}4}{2} = 417{,}7кН$$ бўлади.

12.4-мисол

Кўндаланг кесими 15х15 см^2 бўлган қарағай устуннинг устиворлиги текширилсин (12.6-шакл). Асосий рухсат этилган кучланиш $[\sigma\ ] = 100кг/см^2$.



12.6-шакл

Ечиш: Агар асосий рухсат этилган кучланиш берилган бўлса, устиворликка бўйлама эгилиш φ коэффициентидан фойдаланиб ҳисобланади.

Кесимнинг юзаси ва инерция моментини ҳисоблаймиз:

$$A = a^2 = 15^2 = 225см^2\ ;\ J_y = \frac{a^4}{12} = \frac{15^4}{12} = 4218,75см^4 .$$

Кўндаланг кесимнинг инерция радиуси

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{J_y}{A}} = \sqrt{\frac{4218,75}{225}} = 4,3см .$$

Устуннинг эгилувчанлигини ҳисоблаймиз:

$$\lambda = \frac{\mu\ell}{r_{\min}} = \frac{0,5 \cdot 660}{4,3} = 74,4 .$$

Сиқувчи куч таъсиридан устун кўндаланг кесимида ҳосил бўладиган кучланиш

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{125 \cdot 10^2}{225} = 55,55кг/см^2 .$$

12.2-жадвалдан интерполяциялаб $\varphi = 0,548$ ни топиб, камай–тирилган рухсат этилган кучланишни топамиз:

$$\varphi[\sigma] = 0,548 \cdot 100 = 54,8кг/см^2 .$$

Булар орасидаги фарқни топамиз :

$$\frac{\sigma - \varphi[\sigma]}{\sigma} \cdot 100 = \frac{55,55 - 54,8}{55,55} \cdot 100 = 1,35\% .$$

Демак, устуннинг устиворлиги таъминланар экан, фақат устун 1,35 % га кам юкланган.

12.5-мисол.

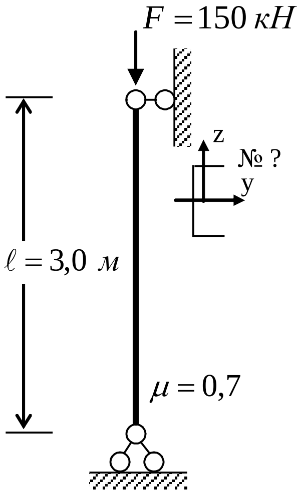
12.7 –шаклда кўрсатилган пўлат устун учун швеллер номери танлансин.

Ечиш: Бу масалани кетма-кет яқинлаштириш усули билан ечамиз. Устун кўндаланг кесимининг зарурий юзасини қуйидаги формуладан аниқлаймиз :

$$A_{зар.} \geq \frac{F}{\varphi\ [\sigma]}.$$

Бунда иккита номаълум бўлиб (A ва φ), улардан бирига, масалан φ га қиймат бериб $A_{зар.}$ ни топамиз. Биринчи ҳолда $\varphi_1 = 0{,}60$ га тенг деб оламиз:

$$A_{зар.} \geq \frac{150 \cdot 10^2}{0{,}60 \cdot 1600} = 15{,}625\ см^2.$$



11.7-шакл

Сортамент (Гост 8239-56) жадвалидан энг яқин 14-номерли швеллерни танлаб оламиз ва унинг учун $A = 15{,}6 см^2$, $r_{\min} = 1{,}7 см$ қийматларни олиб устуннинг устиворлигини (12.7) формуладан фойдаланиб текширамиз. Аввало устуннинг эгилувчанлигини аниқлаймиз.

$$\lambda = \frac{\mu \ell}{r_{\min}} = \frac{0{,}7 \cdot 300}{1{,}7} = 123{,}5.$$

Эгилувчанликнинг бу қийматига тегишли φ нинг қийматини 12.2-жадвалдан оламиз. $\varphi = 0{,}43$ ни қабул қилиб камайтирилган рухсат этилган кучланишни топамиз :

$$\varphi\ [\sigma] = 0{,}43 \cdot 1600 = 688\, кг/см^2.$$

Сиқувчи кучдан устун кўндаланг кесимида ҳосил бўладиган кучланиш

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{150 \cdot 10^2}{15{,}6} = 961{,}5 кг/см^2,$$

демак, устун ҳали устивор эмас экан.

16-номерли швеллерни қабул қиламиз : $A = 18{,}1 см^2$, $r_{\min} = 1{,}87 см$.

Устуннинг эгилувчанлиги

$$\lambda = \frac{0{,}7 \cdot 300}{1{,}87} 112{,}23.$$

12.2-жадвалдан $\varphi = 0{,}503$ ни топамиз:

$$\varphi\ [\sigma] = 0{,}503 \cdot 1600 = 804{,}8 кг/см^2.$$

Сиқувчи кучланиш

$$\sigma = \frac{150 \cdot 10^2}{20{,}7} = 828{,}7\ кг/см^2.$$

Улар орасидаги фарқи $\dfrac{828{,}7-804{,}8}{828{,}7}100=2{,}88\ \%$.

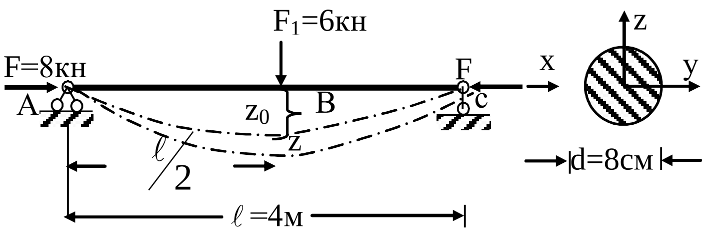
Демак, устуннинг кўндаланг кесимини 16-номерли швеллер деб қабул қилсак, унинг устиворлиги таъминланар экан, атиги 2,88 % кўпроқ юкланар экан.

12.6-мисол.

Кўндаланг кесими доиравий бўлган ст.3 маркали пўлат балка учун мустаҳкамликнинг амалдаги эҳтиёт коэффициенти аниқлансин (12.8 –шакл).

Ечиш : Балка хавфли кўндаланг кесимидаги энг катта сиқувчи кучланишни топамиз:

$$\sigma_{э.к.}=\frac{F}{A}+\frac{M_0}{W}+\frac{F\,z_0}{W(1-\dfrac{F}{F_э})}.$$



12.8-шакл

Кўндаланг кесим юзи $A=\dfrac{\pi d^2}{4}=\dfrac{3{,}14\cdot 8^2}{4}=50{,}24\,см^2$.

Инерция моменти $J_y=J_z=\dfrac{\pi d^4}{64}=\dfrac{3{,}14\cdot 8^4}{64}=200{,}96\,см^4$.

Қаршилик моменти $W_y=W_z=\dfrac{\pi d^3}{32}=\dfrac{3{,}14\cdot 8^3}{32}=50{,}24\,см^3$.

Балкага таъср этаётган кўндаланг куч F_1 дан ҳосил бўладиган максимал салқилик ва Эйлер кучини аниқлаймиз :

$$z_0=\frac{F_1\ell^3}{48EJ_y}=\frac{600\cdot(400)^3}{48\cdot 2\cdot 10^6\cdot 200{,}96}=1{,}99\,см.$$

$$F_э=\frac{\pi^2 EJ_{\min}}{(\mu\ell)^2}=\frac{3{,}14^2\cdot 2\cdot 10^6\cdot 200{,}96}{1\cdot 400^2}=24767\,кг.$$

Кўндаланг F_1 куч таъсиридан ҳосил бўладиган эгувчи момент

$$M_0=\frac{F_1\ell}{4}=\frac{600\cdot 400}{4}=60000\,кг\cdot см.$$

Ўқ бўйлаб йўналган кучнинг Эйлер кучига нисбати

$$\frac{F}{F_э} = \frac{800}{24767} = 0,032 .$$

Юқоридаги топилган қийматларни энг катта кучланишни топиш формуласига қўйиб қуйидагини ҳосил қиламиз :

$$\sigma_{э.к.} = \frac{800}{50,24} + \frac{60000}{50,24(1-0,032)} = 1242,73\ кг/см^2 .$$

Кучланиш билан ташқи куч орасидаги муносабат чизиқли бўлганда мустаҳкамликнинг эҳтиёт коэффициенти

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{о.к}}{\sigma_{э.к}} = \frac{2400}{1242,73} = 1,93 .$$

Мустақил ечиш учун мисоллар.

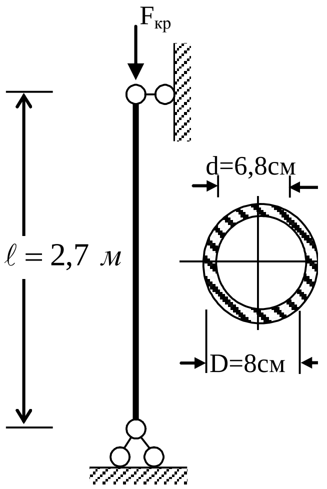
1-мисол. Лигерланган пўлатдан ясалган доиравий кўндаланг кесим учун критик кучнинг қиймати аниқлансин.

$\sigma_n = 5700\, кг/см^2; E = 2{,}2\cdot 10^6\, кг/см^2$; $n_y = 3{,}2$ деб олинсин.

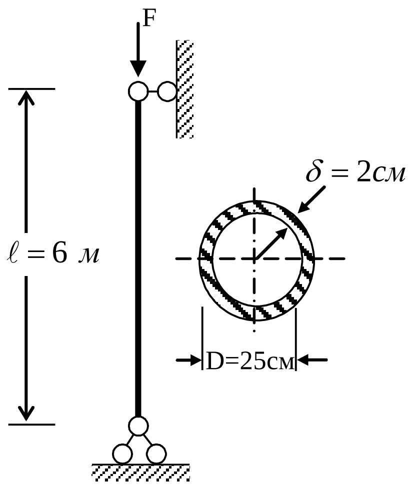
Жавоби : $F_{kp} = 28600\, кг = 286\, кН$.

2-мисол. Сиқилиш учун асосий рухсат этилган кучланиши $[\sigma]=1000\, кг/см^2$ бўлса, шаклда кўрсатилган чўян устун учун рухсат этилган куч қиймати аниқлансин.

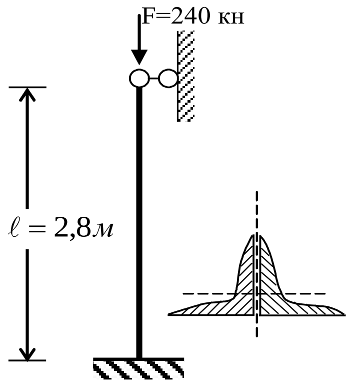
Жавоби : $44800\, кг = 448 кН$.



1-мисол учун



2-мисол учун



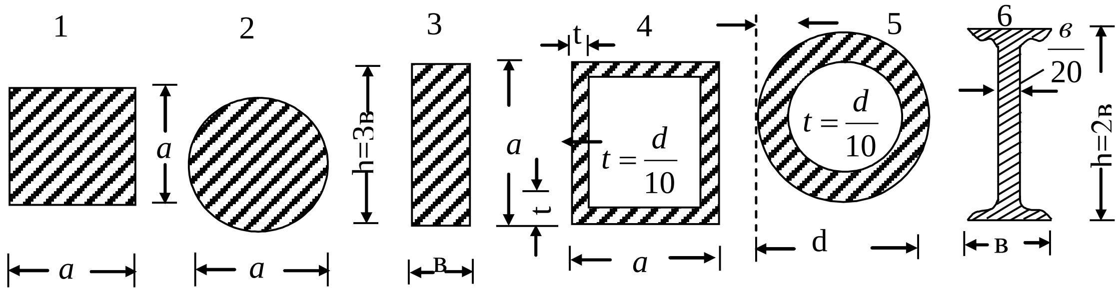
3-мисол учун

3-мисол. Сиқилиш учун асосий рухсат этилган кучланиш $[\sigma]=1600\, кг/см^2$ бўлса, шаклда кўрсатилган ст.3 маркали пўлатдан ясалган устун учун тенг ёнли бурчакликлар профилининг керакли ўлчамлари аниқлансин.

Жавоби : 70 х 70 х 8 бурчакликлар.

4-мисол. Шаклда кўрсатилган кўндаланг кесимларнинг юзаси тенг бўлган ва бир хил шароитда ишлайдиган устунларнинг критик кучлари қийматлари нисбатини Эйлер формуласидан фойдаланиб топинг.

Жавоби : $F_{k_1} : F_{k_2} : F_{k_3} : F_{k_4} : F_{k_5} : F_{k_6} = 1{,}0 : 0{,}955 : 0{,}333 : 4{,}56 : 4{,}35 : 2{,}38.$



4-мисол учун

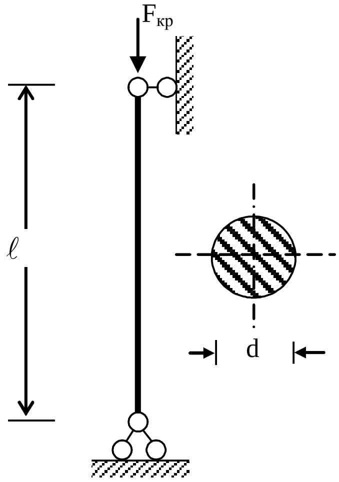
5-мисол. Шаклда кўрсатилган стерженни сиқувчи F_{kp} куч қиймати қандай ўзгаради; агар: а) диаметрини икки марта оширсак,

б) кўндаланг кесим юзини икки марта оширсак.

Стержень $\sigma_{kp} < \sigma_{n}$ да устиворлигини йўқотади.

Жавоби : Ортади :

а) 16 марта; б) 4 марта.



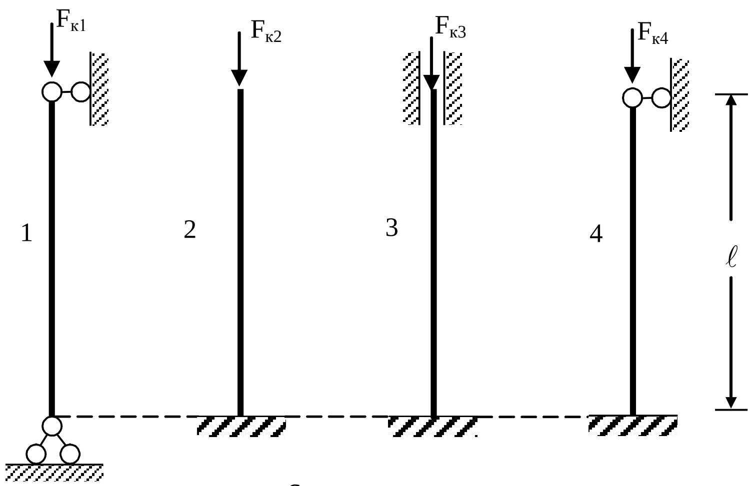
5-мисол учун

6-мисол. Материаллари ва диаметрлари бир хил бўлган доиравий кўндаланг кесимли стерженлар учун сиқувчи F_{kp} кучнинг қийматларини таққосланг.

Стерженнинг устиворлиги $\lambda > \lambda_{чек}$ да йўқолади.

Жавоби \:

$$F_{k_2} = \frac{1}{4} F_{k_1}; \quad F_{k_3} = 4F_{k_1}; \quad F_{k_4} = 2{,}04F_{k_1}.$$

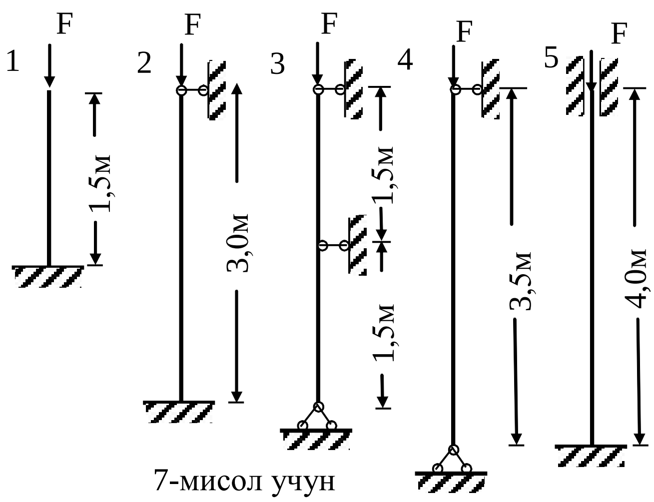


6-мисол учун

7-мисол. Кўндаланг кесими юзи ва материали бир хил бўлган, шаклда кўрсатилган бешта устунларнинг қайси бири энг кўп устивор ва энг кам устивор.

Жавоби: 3 - энг кўп устивор;

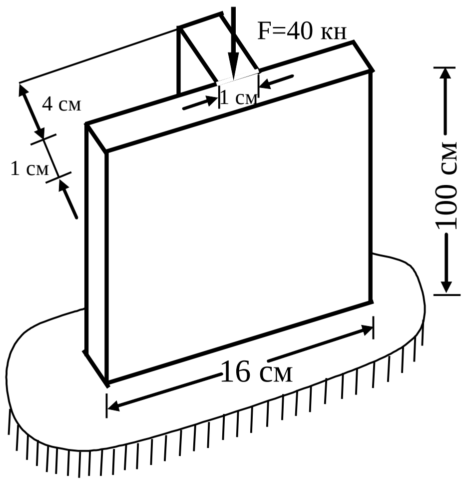
4 - энг кам устивор.



7-мисол учун

8-мисол. Агар пропорцио–наллик чегараси $\sigma_n = 2000 кг/см^2$ бўлса, кўндаланг кесим юзи тавр шаклида бўлган марказий сиқилувчи пўлат устун учун устиворлик запас коэффициенти аниқлансин.

Жавоби : $n_y = 3{,}28$.



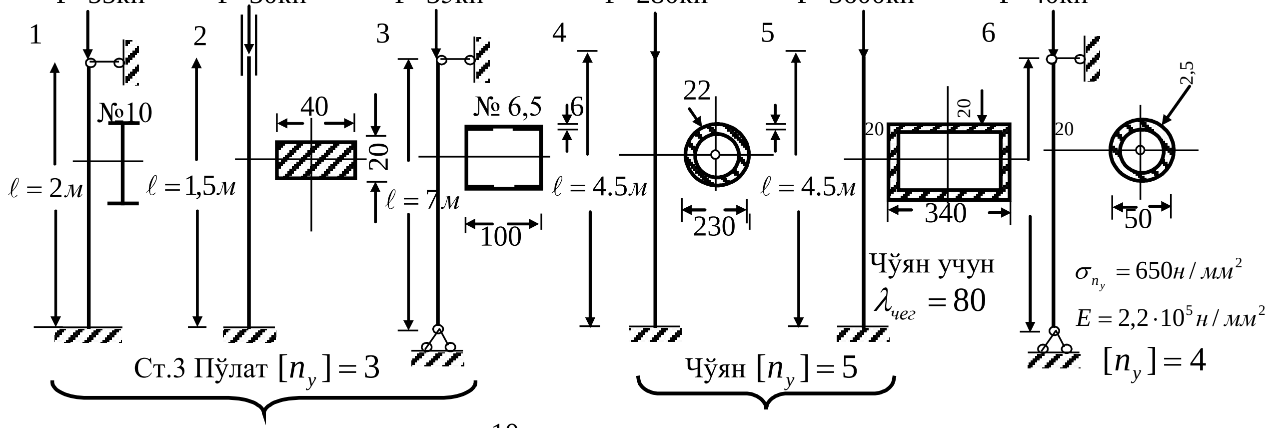
8-мисол учун

9-мисол. Агар кўндаланг кесими d диаметрли доирани тенг юзали: а) квад–рат, б) халқа ($\alpha = \frac{d}{D} = 0{,}8$). в) тўғри тўрт–бурчак (b x 2b) билан алмаштирсак, сиқувчи F_{kp} кучнинг қиймати қандай ўзгаради.

Жавоби : Ортади : а) 4,9 марта, б) 4,55 марта, в) 1,9 марта.

10-мисол. Шаклда кўрсатилган устунларни устиворликка текширинг.

Жавоби: 1) $n_y = 3{,}28$, 2) $n_y = 3{,}12$, 3) $n_y = 3{,}3$, 4) $n_y = 5{,}06$, 5) $n_y = 5{,}03$, 6) $n_y = 4$.



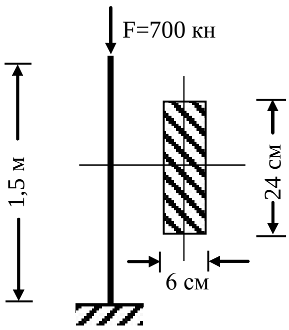
10- мисол учун

11-мисол. Шаклда кўрсатилган ст.5 маркали пўлатдан ясалган устуннинг устиворлигини, бўйлама эгилишдаги φ нингқиймати берилган 12.2-жадвалдан фойдаланиб текширинг.

Ҳисобий кучланиш $3800 кг/см^2$.

Жавоби: $3690 < 3800 кг/см^2$

устун етарлича запас устиворликка эга.



11- мисол учун

12-мисол. Ст.3 маркали пўлатдан ясалган, баландлиги h =2,5м бўлган, пастки қисми қистириб маҳкамланган ва юқори қисми эркин бўлган, устун учун қўштаврли кўндаланг кесимнинг номери 12.2-жадвалдан фойдаланиб аниқлансин. Ҳисобий юк 250 кН, ҳисобий кучланиш 2000 кг/см^2.

Жавоби : Қўштавр номери 30^а.

13-мисол. Икки учи билан шарнирлар ёрдамида маҳкамланган, (8 x 12 см) тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли ёғоч учун F=30 кН куч билан сиқилади. Устиворликнинг запас коэффициентини икки ҳол учун топинг : 1) $\ell = 2\,м$; 2) $\ell = 1\,м$. $\sigma_n = 2000\,кг/см^2$ деб олинсин.

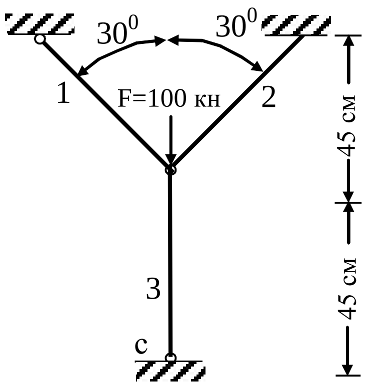
Жавоби : 1) $n_y = 4$; 2) $n_y = 6{,}7$

14-мисол. Устиворлик шартидан φ коэффициентнинг 12.2-жадвалдаги қийматларидан фойдаланиб, (14-мисол учун) жадвалида келтирилган сиқилувчи устунларнинг кўндаланг кесимларининг ўлчамлари аниқлансин. Устунларнинг материали: 1) ёғоч, асосий рухсат этилган кучланиш $[\sigma] = 100\,кг/см^2$; 2) чўян, $[\sigma] = 1200\,кг/см^2$; 3) ст.3 $[\sigma] = 1600\,кг/см^2$; 4) ст.5 $[\sigma] = 1800\,кг/см^2$.

Устун учларининг маҳкамланиш усуллари: а) икки учи ҳам шарнирли маҳкамланган; б) бир учи шарнирли маҳкамланган, иккинчи учи қистириб маҳкамланган; в) икки учи ҳам қистириб маҳкамланган; г) бир учи қистириб маҳкамланган иккинчи учи эркин.

15-мисол. Берилган стерженли система–нинг ВС устунини устиворликка текширинг. Стерженлар кўндаланг кесими доиравий бўлиб $d_1 = d_2 = 2см$; $d_3 = 2{,}8см$. Материали Ст.3 маркали пўлат. $[n_y] = 2{,}5$ деб олинсин.

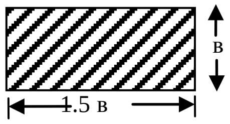
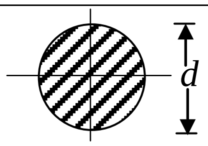
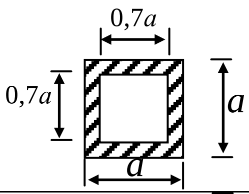
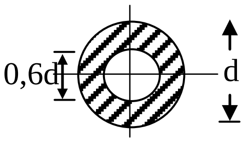
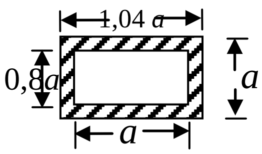
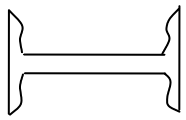
Кўрсатма: Масаланинг статик аниқмаслик даражасини аниқлашда уни осонлаштириш учун $A_1 = A_2 = 0{,}5A_3$ деб олинсин.



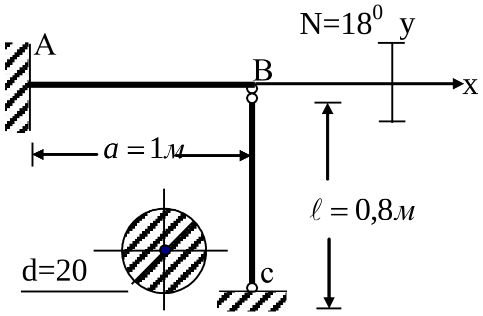
15- мисол учун

Жавоби: $n_y = 2{,}74$

14-мисол учун.

Т/р	Схеманинг кўндаланг кесими	Мате-риали	Маҳкамлан. усули	Устун узунлиги (м)	Сиқувчи куч (кН)	Жавоби: Кесим улами (см)
1		Ёғоч	а	3	90	12,0
			б	4	120	12,5
			в	4	150	11,8
			г	1,6	60	11,2
2		Ёғоч	а	3,6	140	18,6
			б	5	250	21,9
			в	5	400	24,3
			г	2	180	20,9
3		Чўян	а	5,2	1200	22,5
			б	4,8	800	16,6
			в	4,5	900	15,0
			г	2,8	1100	22,9
4		Чўян	а	4,8	850	21,8
			б	3,8	600	15,1
			в	4,2	700	14,3
			г	3,2	900	25,7
5		Ст.5 пўлат	а	3,2	380	10,0
			б	3,6	700	12,0
			в	8,0	800	13,9
			г	2,4	1000	15,8
6		Ст.3 пўлат	а	3,6	280	27[a]
			б	4,5	650	40
			в	5,0	1200	50
			г	2,2	250	30[a]

16-мисол. Агар устун ВС нинг материали ст.3 маркали пўлатдан ва $\lfloor n_y \rfloor = 3$ бўлса,устиворлик шартидан устуннинг температурасининг рухсат этилган оширилиши $[\Delta t]$ ни аниқланг.



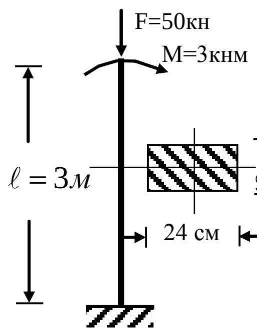
16-мисол учун

Агар балкани абсалют қаттиқ деб олсак, ечиш натижаси неча марта ўзгаради.

Жавоби : 104^0 ; $\left[\Delta t^0\right]$ - 10,1 марта камаяди.

17-мисол. Шаклда кўрсатилган ёғоч устуннинг кўндаланг кесимидаги энг катта нормал кучланиш аниқлансин.

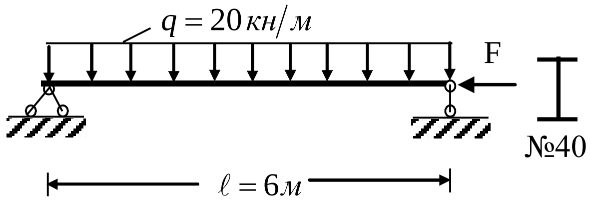
Жавоби : $48\,кг/см^2$



17-мисол учун

18-мисол. Шаклда кўрсатилган балкага таъсир этаётган F кучнинг қиймати нормал кучланиш $1600\,кг/см^2$ дан ошмаслик шартидан аниқлансин.

Жавоби : F = 436 кН.

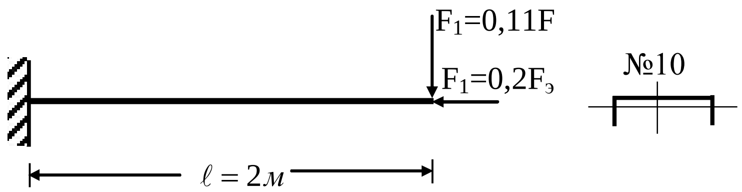


18-мисол учун

19-мисол. Шаклда кўрсатилган пўлат консолнинг кўндаланг кесимидаги энг катта салқилик аниқлансин.

$F = 0{,}2\,F_э$.

Жавоби : $\sigma_{\max} = 1400\,кг/см^2$; $f_{\max} = 1{,}6\,см$.



19-мисол учун

Динамик ва зарб кучлари таъсири.

Амалда конструкция қисмлари, кўпинча, динамик, яъни инерция, зарб ва даврий ўзгарувчан кучлар таъсирида бўлади. Масалан, юк кўтарувчи машиналарнинг осилган юк ўзгармас тезлик билан кўтарилаётган бўлса, юк унга статик, агар юк маълум тезланиш билан кўтарилса, динамик таъсир қилади ва жисм заррачаларида тезланиш ҳосил қилади.

Текис айланма ҳаракатда бўлган ғилдирак тўғинларида марказдан қочирма куч ҳосил бўлади ва бу кучга инерция кучи дейилади.

Динамик кучлар таъсиридан конструкция қисмларида бир-биридан катта фарқ қилувчи динамик кучланиш ва деформация ҳосил бўлади.

Тезлиги бир онда нолга тенг бўлувчи ва жуда ҳам қисқа муддат ичида кучга зарб кучи дейилади.

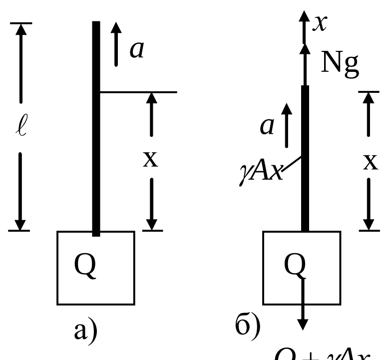
Бир жисмнинг иккинчи жисмга урилишидан зарб ҳосил бўлади ва унинг тезлик миқдори тез вақтда нолга тенглашади. Зарб вақтида жисмда ҳосил бўладиган кучланиш ва деформация энг катта қийматга эришади.

Системанинг берилган кучларни ҳамда юк ва троснинг текис тезланувчан ҳаракат билан кўтарилишида пайдо бўладиган инерция кучини ҳисобга олганда троснинг кўндаланг кесимидаги динамик бўйлама куч, кучланиш ва кўчишлар қуйидагича аниқланади (13.1-шакл) :

$$N_\partial = k_\partial N_{cm}, \qquad (13.1)$$

$$\sigma_\partial = k_\partial \sigma_{cm}, \qquad (13.2)$$

$$\delta_\partial = k_\partial \delta_{cm}. \qquad (13.3)$$



13.1-шакл $F_u = \dfrac{Q+\gamma A x}{g} a$

буларда $k_\partial = 1 + a/g$ (13.4) -динамик коэффициент,

$g = 9{,}81 м/см^2$ - оғирлик кучининг тезланиши, .

$a -$ ўзгармас тезланиш,

N_{cm}, σ_{cm}, δ_{cm} $-$статик кучдан ҳосил бўлган бўлама куч, кучланиш ва кўчишлар.

Троснинг мустаҳкамлик шарти қуйидаги формуладан ҳисобланади :

$$\sigma_{\partial}^{\max}=\frac{N_{\partial}^{\max}}{A}=k_{\partial}\,\frac{Q+\gamma\,A\ell}{A}\leq[\sigma] \qquad (13.5)$$

Трос кўндаланг кесимининг зарурий юзи қуйидагича бўлади :

$$A\geq\frac{Q}{\frac{[\sigma]}{k_{\partial}}-\gamma\,\ell}. \qquad (13.6)$$

Зарб кучи таъсиридан ҳосил бўлган $N_{\partial}\,,\sigma_{\partial}\,,\delta_{\partial}$ лар (13.1) , (13.2) ва (13.3) формулалар бўйича ҳисобланади, динамик коэффициент эса конструкциянинг массаси ҳисобга олинмаганда қуйидаги формуладан аниқланади :

$$k_{\partial}=1+\sqrt{1+\frac{2h}{\delta_{cm}}}\ , \qquad (13.7)$$

бунда $h-$ зарб берувчи кучнинг тушиш баландлиги, куч зарбсиз бир онда қўйилганда яъни $h=0$ бўлса $k_{\partial}=2$ бўлади.

Зарбланувчи эластик системанинг массаси ҳисобга олинса, (13.7) ни қуйидаги кўринишда ёзамиз :

$$k_{\partial}=1+\sqrt{1+\frac{2h}{\delta_{cm}\,(1+\beta\,\frac{F}{Q})}}\ , \qquad (13.8)$$

бунда $h-$ тушаётган кучнинг тушиш баланлиги ;

Q – тушаётган кучнинг оғирлиги ;

F - зарбланувчи эластик системанинг оғирлиги ;

$\delta_{cm}-$ тушаётган куч статик қўйилганда зарб нуқтасининг кўчиши ;

$\beta-$ зарб берувчи система массасини зарб нуқтасига келтириш коэффициенти ($\beta<1$), ва қуйидагича аниқланади

$$\beta=\frac{\int_{\ell}(\delta_{cm}(x))^{2}\,d\,F}{\delta_{cm}^{2}\cdot F}\ , \qquad (13.9)$$

бунда $\delta_{cm}(x)-Q$ нинг оғирлигига тенг ва зарб нуқтасига қўйилган кучнинг статик таъсиридан ҳосил бўлган кўчиш.

Агар $\frac{h}{\delta_{cm}}$ нисбат жуда катта, тахминан $\frac{h}{\delta_{cm}}>100$ бўлса, (13.7) ва (13.8) ларни қуйидаси кўринишда ёзамиз :

$$k_\partial = \sqrt{\frac{2h}{\delta_{cm}}} \qquad (13.7') \qquad\qquad k_\partial = \sqrt{\frac{2h}{\delta_{cm}(1+\beta\frac{F}{Q})}} \qquad (13.8')$$

Эркинлик даражаси битта система хусусий (эркин) тебранишининг доиравий частотаси қуйидагича бўлади :

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\delta_{cm}}} = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{c}{J_m}} \qquad (13.10)$$

бунда δ_{cm} – тебранма ҳаракат қилувчи жисм оғирлигига тенг бўлган ва статик равишда қўйилган куч таъсиридан ҳосил бўлувчи тебраниш йўналишидаги кўчиш ;

с – эластик системанинг бикрлик коэффисиенти бўлиб, бир бирликка тенг бўлган кўчишни ҳосил қилувчи кучга тенг ;

m – тебранувчи кучнинг массаси ;

J_m – диск массасининг инерция моменти.

Эркин тебранишнинг даври T_0 қуйидаги формуладан топилади :

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{\delta_{cm}}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{c}} \quad , \qquad (13.11)$$

Вақт бўйича гармоник қонун билан ўзгарувчи уйғатувчи куч

$$F = F_0 \sin\omega t \ , \qquad (13.12)$$

бунда F_0 – ўйғатувчи кучнинг максимал (амплитуда) қиймати ;

ω – унинг ўзгаришининг доиравий частотаси.

F – куч таъсирида мажбурий тебраниш оладиган эркинлик даражаси бир бўлган система учун тебраниш амплитудаси қуйидаги формуладан топилади :

$$z_{мажб.} = \frac{\delta_{cm}}{\sqrt{(1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2})^2 + \frac{4n^2\omega^2}{\omega_0^2}}} \qquad (13.13)$$

бунда $\delta_{cm} = F_0\,\delta_{11}$ – m массанинг F_0 куч унга статик қўйилганда олиши мумкин бўлган кўчиши.

Тебранишдаги динамик коэффициент қуйидагича топилади :

$$k_\partial = \frac{1}{\sqrt{\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \frac{4\pi^2\omega^2}{\omega_0^2}}} \quad , \qquad (13.14)$$

бунда n – сўниш коэффициенти.

Агар қаршилик кучи тебраниш ҳаракат тезлигига пропорционал бўлганда, $n = \frac{\alpha}{2m}$, бўлади, α – қаршилик кучи билан тезлик орасидаги пропорционаллик коэффициенти.

Агар сўниш бўлмаса (13.14) ни қуйидагича ёзамиз :

$$k_\partial = \frac{1}{\left|1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right|} \tag{13.15}$$

Демак, динамик кучланишни топиш учун, аввал F_0 куч таъсиридан ҳосил бўлган статик кучланишни аниқлаб, динамик коэффициентга кўпайтириш керак экан.

$$\sigma_\partial = k_\partial \, \sigma_{ст}$$

<u>1 –мисол.</u>

$Q = 30\,кН$ юкни $\ell = 8\,м$ баландликка ўзгармас $a = 6\,м/сек^2$ тезланиш билан кўтараётган пўлат троснинг кўндаланг кесим юзи аниқлансин (13.1-шакл).

Трос материалининг хусусий оғирлиги $\gamma = 0{,}0072\;кг/см^3$ ва рухсат этилган кучланиш $[\sigma] = 1800\;кг/см^2$.

Ечиш : Мустаҳкамлик шарти (13.5) формуладан фойдаланиб троснинг кўндаланг кесимини топамиз :

$$\sigma_\partial^{\max} = \frac{Q + \gamma A \ell}{A} k_\partial \le [\sigma] \quad ; \quad \sigma_\partial^{\max} = \frac{(Q + \gamma A \ell)(1 + \frac{a}{g})}{A} \le [\sigma] \quad ;$$

бунда $$A \ge \frac{Q}{\frac{[\sigma]}{1 + \frac{a}{g}} - \gamma \ell} = \frac{3000}{\frac{1800}{1 + \frac{6}{9{,}81}} - 0{,}0072 \cdot 800} = 2{,}7\,см^2$$

2 – мисол.

$n = 250\,айл/мин$ бурчак тезлик билан кичик қадамли винтсимон цилиндрик пружина вертикал текисликда қўзғалмас шарнир атрофида айланади. Q юк қўйилган ҳолатда $\ell = 27\,см$, ўрамнинг радиуси $R = 3\,см$, сим кесимининг радиуси $r = 0{,}3\,см$, ўрамлар сони $n_1 = 9$, $G = 8\cdot 10^5\,кг/см^2$,$Q = 2{,}5\,кг$, бўлганда пружина сими кесимидаги $\tau_\partial^{\max}$ ва юкнинг энг катта кўчиши (λ_∂) топилсин (13.2-шакл).

Ечиш : Q юкнинг энг пастки вазиятда бўлган ҳолатига пружинани чўзувчи динамик кучнинг энг катта қиймати тўғри келади ва қуйидагича аниқланади :

$$F_\partial = k_\partial\, Q$$

Шунинг учун $k_\partial = 1 + \dfrac{a}{g} = 1 + \dfrac{\omega^2}{g}(\ell + \lambda_\partial)$ бўлади.

бу ерда $\omega = \dfrac{\pi n}{30} = \dfrac{3{,}14\cdot 250}{30} = 26{,}17\ рад/сек$ -

- пружинанинг бурчак тезлиги,

$$\lambda_\partial = \frac{4F_\partial R^3 n_1}{G r^4} = \frac{4F_\partial 3^3\cdot 9}{8\cdot 10^5 (0{,}3)^4} = 0{,}15 F_\partial\ \ см$$

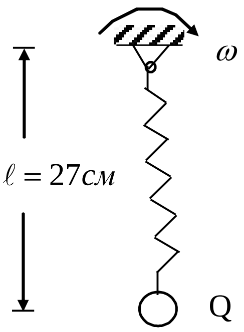
Шундай қилиб, .

$$F_\partial = Q\left[1 + \frac{\omega^2}{g}(\ell + \lambda_\partial)\right] = 2{,}5\left[1 + \frac{(26{,}17)^2}{9{,}81}(27 + 0{,}15F_\partial)\right] =$$

$$= 2{,}5\left[1 + 0{,}7(2{,}7 + 0{,}15F_\partial)\right] = 7{,}225 + 0{,}2625F_\partial\ ,$$

бундан

$$F_\partial = \frac{7{,}225}{1 - 0{,}2625} = 9{,}8\ \ кг$$



13.2-шакл

Пружина симининг кўндаланг кесимида ҳосил бўладиган энг катта динамик уринма кучланишни (6.14) формуладан аниқлаймиз.

$$\tau_\partial^{\max} = k\frac{2F_\partial R}{\pi r^3} = k\frac{8F_\partial D}{\pi d^3} = 1{,}14\frac{8\cdot 9{,}8\cdot 6}{3{,}14(0{,}6)^3}693{,}8\,кг/см^2$$

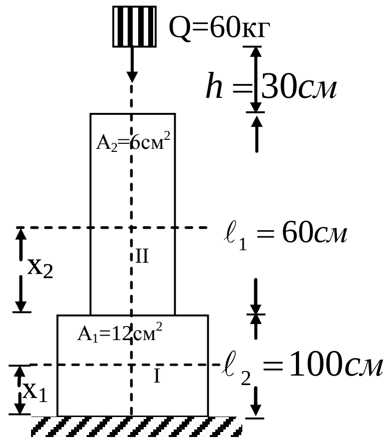
бу ерда $k = 1{,}14$ ни 6.3 – жадвалдан олдик.

Пружинанинг узайиши ёки Q юкнинг максимал кўчиши :

$$\lambda_\partial = \frac{8F_\partial D^3 n_1}{G d^4} = \frac{4\cdot 9{,}8\cdot 3^3\cdot 9}{8\cdot 10^5\cdot 0{,}3^4}1{,}47\ см$$

3 – мисол.

13.3 –шаклда кўрсатилган пўлат стерженга юқоридан Q юк тушади ва унинг устиворлиги таъминланган деб ҳисоблаб кўндаланг кесимида ҳосил бўладиган максимал сиқувчи кучланиш аниқлансин. Стерженнинг ўз оғирлиги ҳисобга олинмасин.



13.3-шакл

Ечиш: Энг катта сиқувчи статик кучланиш стерженнинг устки қисмида ҳосил бўлади :

$$\sigma_{ст}=\frac{Q}{A_2}=\frac{60}{6}=10кг/см^2.$$

Q юкни статик қўйишда стерженнинг қисқариши зарб жойида статик кўчишга тенг бўлади :

$$\delta_{ст}=\sum\Delta\ell_{ст}=\frac{Q\ell_1}{EA_1}+\frac{Q\ell_2}{EA_2}=\frac{60\cdot60}{2\cdot10^6\cdot12}+\frac{60\cdot100}{2\cdot10^6\cdot6}=0{,}00065\,см$$

$\frac{h}{\delta_{ст}}=\frac{30}{0{,}00065}=46153{,}8$ бўлади, бу нисбат қиймати катта бўлганлиги сабабли динамик коэффициентни тақрибий формуладан топамиз.

$$k_д=\sqrt{\frac{2h}{\delta_{ст}}}=\sqrt{\frac{2\cdot30}{0{,}00065}}=303{,}8$$

Динамик кучланишни ҳисоблаймиз :

$$\sigma_д=k_д\,\sigma_{ст}=303{,}8\cdot10=3038\,кг/см^2.$$

4 –мисол.

Юқоридаги, яъни 13.3-шаклда кўрилган стерженнинг массасини ҳисобга олган ҳолда, динамик кучланишни ҳисоблаймиз. .

Ечиш : Стерженнинг I , II участкасидаги ихтиёрий кесимининг статик кўчишини ҳисоблаймиз :

$$\delta^1_{x,ст}=\frac{Qx_1}{EA_1};\quad(0\le x_1\le\ell_1)\quad;\quad\delta_{x,ст}\,\frac{Q\ell_1}{EA_1}+\frac{Qx_2}{EA_2}\;;\;(0\le x_2\le\ell_2).$$

Стержень II участкасининг статик кўчиши юқоридаги мисолда ҳисобланган эди. Стержень I участкасининг чексиз кичик элементининг оғирлиги $dF_1 = xA_1\,dx_1$ ва II участка учун $dF_2 = xA_2\,dx_2$.

Буларни (13.9) формулага қўйиб ва $A_1 = 2A_2$; $\ell_1 = 0{,}6\ell_2$ ларни ҳисобга олиб β нинг қийматини топамиз :

$$\beta = \frac{\int_0^{\ell_1} (\delta_{x,cm})^2 dF}{\delta_{cm}^2 F} = \frac{\int_0^{\ell_1} (\frac{Qx_1}{EA_1})^2 \gamma A_1 dx_1 + \int_0^{\ell_2} (\frac{Q\ell_1}{EA_1} + \frac{Qx_2}{EA_2})^2 \gamma A_2 dx_2}{\left[\frac{Q}{E}(\frac{\ell_1}{A_1} + \frac{\ell_2}{A_2})\right]^2 \gamma (A_1\ell_1 + A_2\ell_2)} =$$

$$= \frac{\frac{Q^2\ell_1^3}{3(EA_1)^2}\gamma A_1 + \frac{Q^2\ell_1^2}{(EA_1)^2}\gamma A_2\ell_2 + \frac{Q^2\ell_1\ell_2^2}{E^2A_1A_2}\gamma A_2 + \frac{Q^2\ell_2^3}{3(EA_2)^2}\gamma A_2}{\left[\frac{Q}{E}(\frac{\ell_1}{A_1} + \frac{\ell_2}{A_2})\right]^2 \gamma (A_1\ell_1 + A_2\ell_2)} =$$

$$= \frac{\frac{(0{,}6)^2}{6} + \frac{(0{,}6)^2}{4} + \frac{0{,}6}{3} + \frac{1}{3}}{(\frac{0{,}6}{2} + 1)^2 (1{,}2 + 1)} = 0{,}183$$

Стерженнинг оғирлигини ҳисоблаймиз :

$$F = \gamma (A_1\ell_1 + A_2\ell_2) = 0{,}00785(12 \cdot 60 + 6 \cdot 100) = 10{,}36\,кг$$

Стерженнинг ўз оғирлигини ҳисобга олиб (13.8^1) формуладан динамик коэффициентини ҳисоблаймиз :

$$k_\partial = \sqrt{\frac{2h}{\delta_{cm}(1 + \beta\frac{F}{Q})}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30}{0{,}00065(1 + 0{,}183\frac{10{,}36}{60})}} = 299{,}25$$

Динамик кучланишни ҳисоблаймиз :

$$\sigma_\partial = k_\partial\,\sigma_{cm} = 299{,}25 \cdot 10 = 2992{,}5\ кг/см^2$$

Демак, конструкция массасининг динамик кучланиш ва динамик коэффициентларнинг қийматига таъсири жуда кам бўлар экан.

5 – мисол.

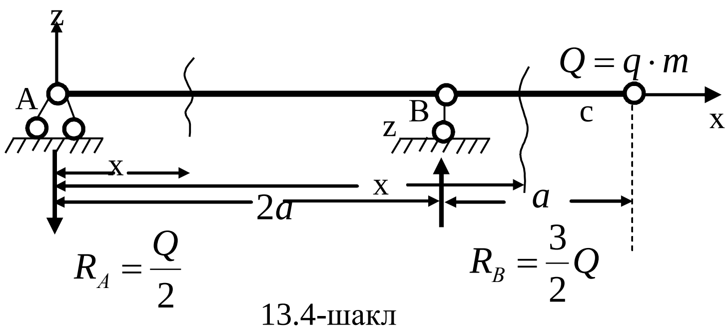
13.4 –шаклда кўрсатилган балканинг эркин учига m массали юк қўйилган бўлиб, балканинг ўз массаси ҳисобга олинмасдан унинг хусусий тебраниш частотаси аниқлансин.

Ечиш : Балка таяч реакцияларини аниқлаб АВ участка учун эластик чизиқ тенгламаларини универсал формуладан фойдаланиб тузамиз :

$f_0 = 0$ бўлади.

$$z_1(x) = \theta_0 \cdot x + \frac{1}{EJ}\left[-R_A \frac{x^3}{6}\right] = \theta_0 \cdot x - \frac{Q x^3}{12EJ} \ .$$

Координата боши жойлашган кесимнинг бошланғич айланиш бурчаги θ_0 B таянчда салқилик нолга тенглик шартидан топилади.



13.4-шакл

$$z_1(2a) = \theta_0 \cdot 2a - \frac{Q(2a)^3}{12EJ} = 0 \ ; \ \text{бундан} \qquad \theta_0 = \frac{Q a^2}{3EJ} \ .$$

Буларни $z_1(x)$ тенгламасига қўйиб, AB участка учун эластик чизиқ тенгламаси қуйидагича бўлади :

$$z_1(x) = \frac{Q a^2}{3EJ} x - \frac{Q}{12EJ} x^3$$

Балканинг BC участкаси учун

$$z_2(x) = \theta_0 \cdot x - \frac{Q x^3}{12EJ} + \frac{3Q}{2}\frac{(x-2a)^3}{6EJ} = \frac{Q}{EJ}\left[\frac{a^2}{3}x - \frac{x^3}{12} + \frac{3}{2}\frac{(x-2a)^3}{6}\right]$$

$x = 3a$ ни қўйиб C кесимнинг салқилигини топамиз :

$$z_c(3a) = \frac{Q}{EJ}\left[\frac{a^2}{3}\cdot 3a - \frac{(3a)^3}{12} + \frac{a^3}{4}\right] = -\frac{Q a^3}{EJ}$$

Хусусий тебраниш частотасини (13.10) формуладан фойдаланиб аниқлаш учун олдин

$$\delta_{cm}(3a) = \frac{Q a^3}{EJ} = \frac{g m a^3}{EJ} \qquad \text{ни топамиз.}$$

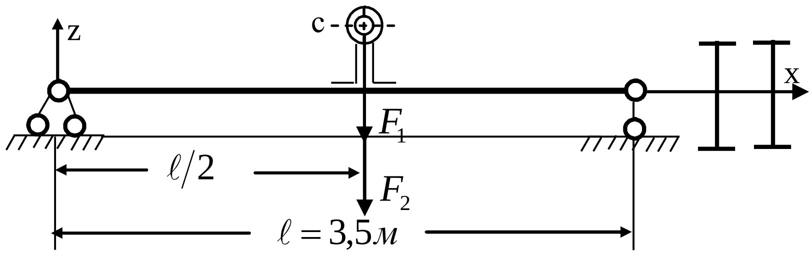
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\delta_{cm}}} = \sqrt{\frac{g}{g\,\frac{m a^3}{EJ}}} = \sqrt{\frac{EJ}{m a^3}}$$

Мустақил ечиш учун мисоллар.

1-мисол. Узунлиги 60 м, материалининг солиштирма оғирлиги $\gamma = 7\,г/см^3$, рухсат этилган кучланиши $[\sigma] = 600\,кг/см^2$ бўлган арқон 50 кН юкни дастлаб 3 секундда 9 м баландликка кўтаради Арқоннинг диаметри, унинг ўз оғирлигини ҳиобга олган ва олмаган ҳолларда аниқлансин.

Жавоби : 3,74 см ; 3,58 см .

2–мисол. Номери $22^а$ бўлган иккита қўштавр балкага ўрнатилган лебетка ёрдамида F_1 = 45 кН юк ўзгармас тезланиш билан кўтарилади.



2-мисол учун

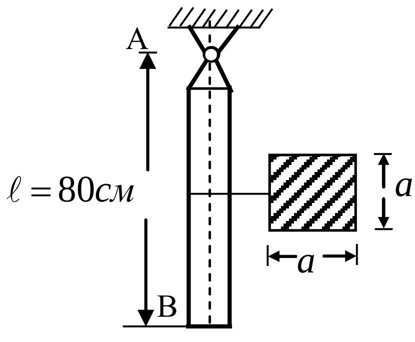
Дастлабки 3 секундда юк 12 м баландликка кўтарилади. $[\sigma] = 1600\,кг/см^2$ бўлганда балканинг мустаҳкамлиги, лебетканинг оғирлиги F_2 =7кН ни ҳисобга олган ҳолда текширилсин.

Жавоби : $\sigma_д^{\max} = 1100\,кг/см^2$

3- мисол. Кўндаланг кесим юзаси 5 $см^2$, узунлиги 90 м, материалининг ҳажмий оғирлиги 7,2 $г/см^3$ бўлган пўлат арқон ёрдамида текис тезланиш билан 30 кН юк кўтарилади. Биринчи 2 секунтда юк 4 м баландликка кўтарилади. Арқондаги энг катта нормал кучланишни унинг ўз оғирлигини ҳисобга олган ва олмаган ҳолларда аниқлансин.

Жавоби : 800 $кг/см^2$; 722 $кг/см^2$

4–мисол. Материалининг солиштирма оғирлиги 7,5 $г/см^3$, Е $=2.10^6$ $кг/см^2$ ва тугиннинг ўртача радиуси r = 1,5 м , бўлган маховик минутига 100 марта айланади. Шу маховикнинг кучланиши билан радиусининг деформацияси аниқлансин.



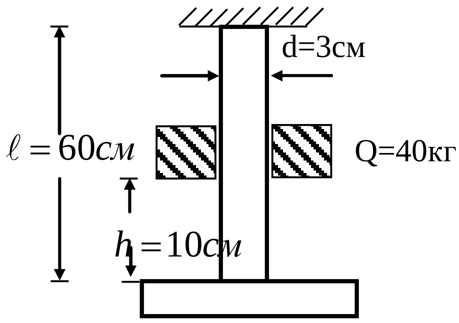
5-мисол учун

Жавоби : $\sigma_{\partial} = 1980 кг/см^2$; $\Delta r = 0,142 см$

5 –мисол. Шаклда кўрсатилган пўлат стежень шакл текислигига тик А ўқ атрофида текис айланади. Ундаги нормал кучланиш σ_n га етганда ω бурчак тезлик аниқлансин. Кучланишнинг бу қийматида стерженнинг абсалют чўзилиши аниқлансин.
$\gamma = 7,85 г/см^3; E = 2 \cdot 10^6\ кг/см^2$.

Жавоби : $\omega = 281 рад/сек$; $\Delta \ell = 0,053\ см$.

6–мисол. Шаклда кўрсатилган пўлат стержень кўндаланг кесимида Q юкнинг таъсиридан, Q юк тўсатдан таъсир қилганда ва у h баландликдан дискага тушганда ҳосил бўладиган бўйлама чўзувчи зарбдан ҳосил бўладиган кучланишлар, стерженнинг массаси ҳисобга олинмаган ҳолда топилсин.

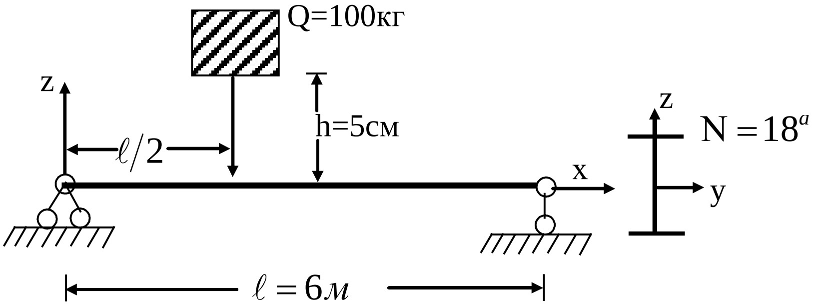


6-мисол учун

Жавоби :
$\sigma_{ст} = 5,65 кг/см^2$; $\sigma_{\partial} = 11,3 кг/см^2$; $\sigma'_{\partial} = 1944 кг/см^2$.

7 – мисол. Шаклда кўрсатилган балканинг хавфли кўндаланг кесимидаги энг катта нормал кучланиш ва салқилик балка массасини ҳисобга олмасдан ва ҳисобга олиб ҳисоблансин.

Жавоби : $\sigma_{\partial} = 350 кг/см^2$; $\delta_{\partial} = f_{\partial} = 0,58 см.$
$\sigma_{\partial} = 304 кг/см^2$; $\delta_{\partial} = f_{\partial} = 0,506 см.$



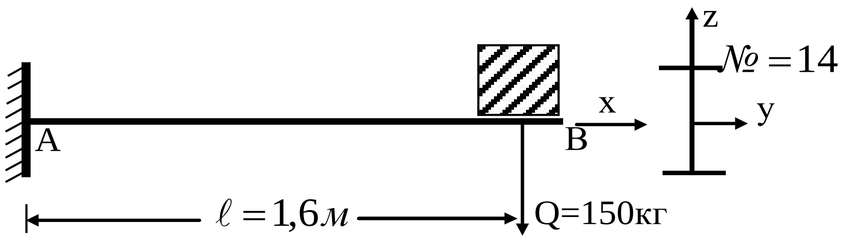
7-мисол учун

8 – мисол. Ст.3 маркали пўлатдан ясалган, кўндаланг кесим юзи 1 х 1 см ва узунлиги 1 м бўлган стерженнинг кесимидаги чўзувчи

зарбдан ҳосил бўладиган кучланиш $\sigma_n = 2000 кг/см^2$ га етиши учун $F = 100 кг$ юк қанча баландликдан тушиши керак ?

Жавоби : $h = 0{,}9 см$.

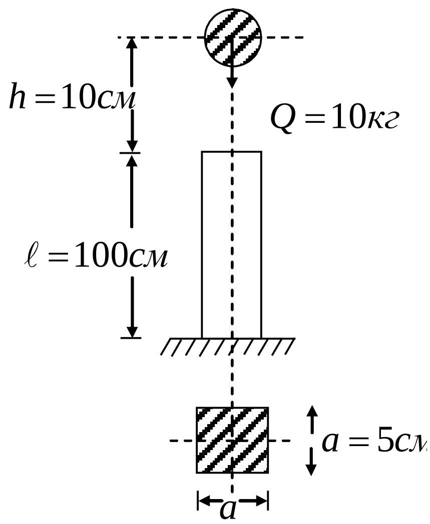
9–мисол. Шаклда кўрсатилган консолнинг эркин учига бошланғич тезлиги нолга тенг Q юк тўсатдан қўйилган. Балка эркин учининг салқилиги ва қистириб маҳкамланган кесимининг энг катта нормал кучланиши ҳисоблансин.



9-мисол учун

Жавоби: $f_b = 0{,}358$ $см$; $\sigma_a = 587$ $кг/см^2$.

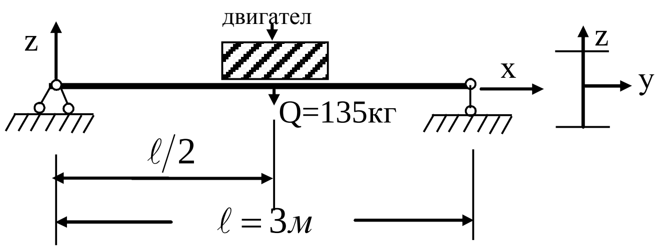
10 – мисол. Шаклда кўрсатилган пўлат стерженга h баландликдан Q юк тушади. Стержендаги энг катта сиқувчи кучланиш аниқлансин ва бу кучланиш $\sigma_n = 2000 кг/см^2$ дан ошмаслиги учун Q юк қандай баландликдан тушиши керак. Масала стерженнинг оғирлиги ҳисобга олинмасдан ечилсин.



10-мисол учун

Жавоби : $\sigma_д = 400 кг/см^2$; $h_1 = 250$ $см$

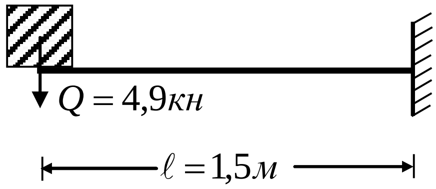
11 – мисол. Шаклда кўрсатилган балканинг ўртасига минутига 1200 марта айланувчи двигатель ўрнатилган. Агар балканинг эркин мажбурий тебраниш такрорлиги 20 % ортиқ бўлса, унинг учун қўштавр кесим номери топилсин.



11-мисол учун

Жавоби : қўштавр № 16.

12–мисол. Шаклда кўрсатилган консолнинг бикрлиги $E \cdot J = 22 \cdot 10^8\ кг/см^2$ бўлса, унинг ўз тебраниш такрорлиги топилсин.



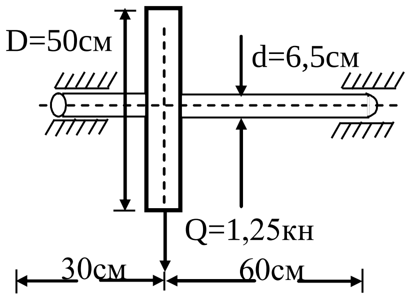
12-мисол учун

Жавоби : $\omega = 62{,}5\ \ 1/сек$.

13–мисол. Пружинага бир-бирига тенг иккита юк илмоқ ёрдамида осилган ва бу юкларнинг биргаликдаги таъсирида пружина 25 мм га чўзилади. Агар юклардан бири тўсатдан олиб ташланса, қолган юкнинг бўйлама тебраниш даври, энг катта тезлиги ва тебраниши топилсин.

Жавоби : 0,224 сек ; 35 см/сек; 981 см / сек^2 .

14–мисол. Шаклда кўрсатилган валнинг хусусий кўндаланг ва айланган тебранишларининг частотаси топилсин.



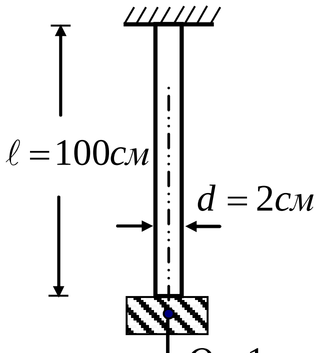
14-мисол учун

Жавоби :

$\omega_{0,кунд} = 125\ \ 1/сек$; $\omega_{0,айл} = 200\ \ 1/сек.$.

15-мисол. Шаклда кўрсатилган пўлат стерженнинг ўз оғирлигини ҳисобга олмасдан, унинг тебраниш такрорлиги ва даври аниқлансин.

Жавоби : 785 1/сек ; 0,008 сек



15-мисол учун

Фойдаланган адабиётлар

1. М.Т.Ўразбоев “Материаллар қаршилиги асосий курси” Т. ”Ўқитувчи”, 1973 й.

2. А.Ф.Смирнов “Материаллар қаршилиги”. Т. ”Ўқитувчи”, 1988 й.

3. К.М.Мансуров “Материаллар қаршилиги”. Т. ”Ўқитувчи”, 1969, 1983 й.

4. В.К.Качурин таҳрири остида “Материаллар қаршилигидан мисол ва масалалар” тўплами. Т. ”Ўзбекистон”, 1993 й.

5. Н.М.Беляев ва бошкалар “Материаллар қаршилиги” фанидан масалалар тўплами. Т. ”Ўзбекистон” 1993 й.

6. Б.А.Обидовский, С.Е.Ханин “Материаллар қаршилиги мисол ва масалалар”да. Т. “Ўқитувчи” 1983 й.

Мундарижа

бет

Ўқув нашри

Меликулов Нормат Меликулович

Материаллар қаршилигидан амалий машғулотлар учун қўлланма

(машқлар ва масалалар тўплами)

(2-қисм)

Компьютерда саҳифаловчи Н Н Азизова
Корректор Э.М.Маматов

Чоп этишга рухсат берилди 30 08.2007 йил. Адади 50 нусха. Нашр босма табоғи 8,5 б.т. Варақ шакли А.5. Буюртма №

Самарқанд давлат архитектура-қурилиш институти
Самарқанд шаҳри Лолазор кўчаси, 70