

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА УРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

Фарғона Политехника Институти

**“Қурилиш механикаси ва материаллар қаршилиги”
кафедраси**

АМАЛИЙ МЕХАНИКА

(«МАТЕРИАЛЛАР ҚАРШИЛИГИ» бўлими) фанидан

МАЪРУЗАЛАР МАТНИ

Фарғона 2002 й

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА УРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

Фарғона Политехника Институти

**“Қурилиш механикаси ва материаллар қаршилиги”
кафедраси**

**В.5140900 – «Касбий педагогик тайёргарлик» (электро-
энергетика), В.520200 – «Электроэнергетика», В.5522400 –
«Кимё технологияси» ва «5541100- озиқ – овқат техналогияси»
йўналишлари учун**

МАЪРУЗАЛАР МАТНИ

**Институт услубий
кенгашида тасдиқланган
“ ____ ” _____ 2002. й**

Ушбу маъруза матнлари **В.5140900 – «Касбий педагогик тайёргарлик» (электро-энергетика), В.520200 – «Электроэнергетика», В.5522400 – «Кимё технологияси» ва «5541100- озиқ – овқат технологияси» йўналишлари** учун таолим йўналишлари бўйича ўқиётган талабалар учун мўжалланган. маъруза матнлари Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таолим вазирлиги томонидан тасдиқланган ўқув режалари асосида тайёрланган.

Маъруза матнлари “КМ ва МК” кафедраси ўқув услубий семинарида ва қурилиш факулртети услубий хайоати томонидан кўриб чиқилган ва чоп этишга тавсия этилган

Тузувчи:

т.ф.н., доцент Дўсматов А.Д.

1 - МАЪРУЗА.

К И Р И Ш

Режа:

1. Материаллар қаршилиги фани, унинг мақсади ва вазифалари.
2. Фаннинг умумтаолим, умуммуҳандислик фанлари билан боғлиқлиги.
3. Қисқача ривожланиш тарихи.
4. Деформацияланувчи қаттиқ жисм учун қабул қилинган асосий гипотезалар ва йўл кўйишлар.
5. Иншоат ва машина қисмларининг ҳисобий схемалари ва уларнинг турлари.
6. Иншоат элементлари орасидаги боғланишлар. Таянч боғланишларининг асосий турлари ва уларнинг ҳисобий схемалари.

Таянч сўз ва иборалар: Мустаҳкамлик, бикрлик, устиворлик, умумтаолим ва умуммуҳандислик фанлари, фанни ривожланиш тарихи, деформация, қолдиқ деформация, изотрол ва анизотрол материаллар, гипотезалар, кучларни мустақиллик принципи, Сен-Венан принципи.

1. Материаллар қаршилиги фани иншоатлар ва машиналар элементларида ташқи кучлар таосирдан ҳосил бўладиган ички кучларни, деформацияларни аниқлаш, кучланганлик ҳолатларини текширишни ҳамда уларни мустаҳкамлика, бикрликка ва устиворликка ҳисоблаш усулларини ўргатади.

Иншоат ва машиналарни эксплуатация даврида нормал ишлашини таоминлаш учун уларнинг конструкция элементлари зарурий мустаҳкамлик, бикрлик ва устиворлик шартларини қаноатлантириши зарур.

Мустаҳкамлик деб конструкция ва унинг элементларини бузилмасдан маолум юкларни кўтариб туриш қобилиятига айтилади. Бикрлик деганда конструкция ва унинг элементларини ташқи кучлар таосирдан деформацияланишга қаршилик кўрсатиш қобилияти тушунилади. Эксплуатация даврида конструкциялар ва уларнинг айрим элементлари ташқи кучлар таосирдан катта деформациялар ҳосил қилмаслиги керак.

Устиворлик деб конструкция ва унинг элементларининг ташқи кучлар таосирдан маолум эластик мувозанатни бошланғич формасини сақлаш қобилиятига айтилади.

Материаллар қаршилиги фанини ўқитишдан мақсад талабаларга эксплуатация даврида иншоат ва машина конструкциялари элементларида ташқи кучлар таосирида ҳосил бўладиган ички кучларни аниқлаш усулларини ўргатишдан, ҳамда уларда дастлабки муҳандислик ҳисоб-лойиха ишларини бажариш бўйича кўникмалар ҳосил қилишдир.

Материаллар қаршилиги фанининг вазифаси бино, иншоатлар ва машиналар элементларида ҳосил бўладиган кучланганлик ҳолатини ва деформацияланишни муҳандисона таҳлил қилишни, конструкция учун ҳисобий схема танлашни уларнинг кўндаланг кесимларидаги ички кучларни аниқлаш учун керакли усулларни қўллай олишни, конструкция

материалларининг физик - механик характеристикаларини аниқлаш усулларини талабаларга ургатишдан иборатдир.

2. Материаллар қаршилиги фани умумтаолим фанлари бўлган физика, олий математика, назарий механика фанларига асосланиб, ўзининг ҳисоблаш усулларини яратади.

Муҳандисларни шакллантиришда асосий ролр ўйнайдиган умуммуҳандислик фанларини ўрганишда материаллар қаршилиги фани асос бўлиб хизмат қилади.

Қурилиш механикаси, қурилиш конструкциялари, иншоотлар зилзилабардошлиги, грунтлар механикаси, асос ва пойдеворлар фанларини урганишда материаллар қаршилиги фани қонунлари, ҳисоб формулалари асосида бутун яхлит иншоотларни ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилади ва бевосита амалиёт масалаларини ечишга тадбик этилади.

3. Материаллар қаршилиги ҳақидаги дастлабки назарий ишлар ХУ11 асрда машҳур италиян олими Галилео Галилей томонидан бажарилди. Галилейнинг баози назарий фикрлари хато бўлиб чикди. Масалан, у кўндаланг кесим юзаси Тўғри туртбурчакдан иборат бруснинг эгилишига қаршилиги кесим юзасининг баландлиги квадратига пропорционал эканлигини Тўғри аниқлаган бўлса ҳам, пропорционаллик коэффицентини нотўғри ҳисоблаган.

1676 йили Р.Гук чўзилишда куч билан узайиш орасидаги пропорционал боғланишни аниқлади; Бу боғланиш Гук қонуни номи билан машҳур бўлиб, материаллар қаршилигида жуда муҳим аҳамиятга эга.

Россияда материаллар қаршилиги фанига XVIII асрдан бошлаб асос солинди, XIX асрда эса рус олимларидан Д.И.Журавский, Г.С.Головин, Ф.С.Ясинский, А.В.Гадолин ва бошқаларнинг қилган ишлари жаҳонга машҳур бўлди.

XX асрнинг бошларида И.Г.Бубнов, Б.Г.Галеркин, А.Н.Крилов, С.П.Тимошенко, П.Ф.Папкович каби олимларнинг ишлари материаллар қаршилиги фанининг ривожланишига салмоқли ҳисса қўшди.

Совет олимларидан Н.М.Беляев, М.М.Филоненко-Бородич, В.А.Гастев, А.А.Илрюшин, В.В.Соколовский, В.З.Власов ва бошқалар материаллар қаршилигининг айрим бўлимларидан мустақил фанлар яратдилар. Материаллар қаршилиги фанини ривожланишига ўзбек олимлари Х.А.Рахматуллин, М.Т.Уразбоев ва бошқалар катта ҳисса қўшдилар.

4. Ҳар бир жисмда унга қўйилган кучлар таосиридан унинг зарраларининг ўзаро жойлашуви ўзгаради, аммо унинг таркибидаги моддаларнинг умумий миқдори ўзгармаганлиги туфайли унинг массаси ўзгармайди. Бундай ҳолда жисм деформацияланиб дейилади. Масалан, брус чўзилганида унинг узунлиги, эгилишда эса шакли, кўндаланг кесими доиравий бўлган валнинг буралишида - ҳажм ўлчамлари ва шакли ўзгармаса ҳам элементар зарраларнинг ўзаро жойлашиши ўзгаради.

Деформация деганда, одатда, жисм ўлчамлари ва шаклининг ўзгаришига олиб келувчи жисм зарралари ўзаро жойлашиш ҳолатининг ўзгариши тушунилади.

Жисмларнинг куч остида деформацияланиб, куч таосири йўқотилгач, ўзининг дастлабки ҳолатига қайтиш хоссаси эластиклик дейилади. Куч олинishi билан деформацияни йўқоладиган қисми эластик деформация деб, йўқолмай қоладиган қисми эса қолдик деформация деб аталади.

Қолдик деформацияларнинг пайдо бўлиши жисмнинг пластиклиги билан боғлиқдир.

Баози материалларнинг эластик хоссалари барча йўналишларда бир хил бўлади. Бундай жисмлар изотроп жисмлар деб аталади. Эластиклик хоссалари барча йўналишларда бир хил бўлмаган материаллар анизотроп материаллар дейилади.

Материаллар қаршилиги фанини ҳисоблаш назариясини яратишда реал материалларнинг барча хоссаларини ҳисобга олиб бўлмайди, шунинг учун қатор фаразлар (гипотезалар) қабул қилинади. ҳар гал ҳисоблаш формулаларини келтириб чиқаришда қабул қилинган фаразлар тушунтирилиб, асослаб берилади. Бу фаразларни кўриб утамыз:

- материал жисм яхлит (говаксиз) деб ҳисобланади;
- жисм материали бир жинсли ва изотроп деб олинади. Материал ҳар бир нуқтада, ҳар бир йўналишда бир хил хусусиятга эга деб ҳисобланади;
- жисм юкланишидан олдин унда бошлангич зўриқиш кучлари бўлмайди деб фараз қилинади;
- кучлар таосирининг мустақиллик принциpidан фойдаланилади, бу принципнинг мохияти қуйидагича: салқилик ёки реакция кучининг бир неча куч таосирида ҳосил бўладиган киймати ҳар қайси куч таосирида ҳосил бўладиган кийматлар йигиндисига тенгдир;
- Сен-Венан принципи. Жисмга қўйилган кучнинг таосир нуқтасидан етарлича узоқда жойлашган нуқталарида ҳосил бўладиган ички кучлар характери ташқи кучнинг таосир характерига боғлиқ бўлмайди. Бу принцип асосида жисмга у қадар катта бўлмаган юзачаларда таксимланган кучлар шу кучларнинг тенг таосир этувчисини ифодаловчи битта тупланган куч билан алмаштирилиши мумкин, бунинг натижасида ҳисоблаш иши осонлашади.
- Деформация кичиклиги принципи. Бунда деформация жисмнинг ўлчамларига нисбатан жуда кичик деб фараз қилинади. Деформация натижасида куч қўйилган нуқталарнинг жисмнинг бирор нуқтасига нисбатан масофасини ўзгаришини ҳисобга олмаслик мумкин. Бу ўз навбатида материаллар қаршилиги фанида ички ва ташқи кучларни аниқлашда назарий механиканинг мувозанат тенгламаларидан фойдаланиш имкониятини беради.

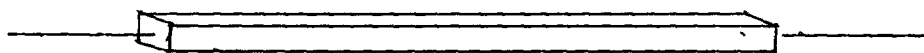
5. Иншоатларни ҳисоблаш учун аввало ҳисоб схемаси тузилади, сўнгра ҳисоблаш схемаси бўйича барча зарур ҳисоблашлар бажарилади. Ҳисоблаш схемаларида стерженлар схематик равишда идеаллаштирилган таянчлар билан бирга битта ўқ чизик кўринишида тасвирланади. Ҳисоб схемаларини тузишда конструкциянинг ҳақиқий иш шароитидан баози чёкинишларга рухсат этилади. Масалан: балка учларини маҳкамловчи шарнирларда ишқаланиш ҳисобга олинмайди, ташқи юклар эса стержен (балка) ўқиға қўйилган деб ҳисобланади.

Ҳисоблаш схемаларини тузишда назарий механиканинг баози коидаларидан фойдаланиб бўлмайди. Масалан: кучларни уларни таосир

чизиги бўйлаб бир нуктадан иккинчи нуктага кўчириб бўлмайди, кучлар системасини уларнинг тенг таосир этувчиси билан алмаштириб бўлмайди.

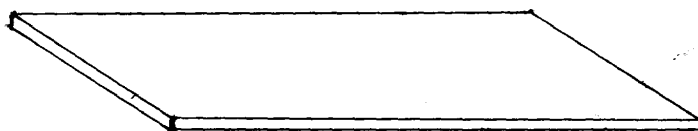
Инженерлик практикасида учрайдиган конструкция турлари хилма хил бўлиб, улар, анчагина мураккабдир. Уларнинг элементлари геометрик нуктаи назаридан қуйидаги турларга бўлинади:

а.Брус (стержен) - кўндаланг кесим ўлчамлари узунлик ўлчамига нисбатан жуда кичик бўлган элементга айтилади.



1 - расм

б.Пластика (плита) - қалинлигига нисбатан қолган икки ўлчамлари катта бўлган тёкис кесим сирт билан уралган жисмга айтилади.



2 - расм

с. Қобик - қалинлиги қолган икки ўлчамига нисбатан жуда кичик бўлган, эгри сирт билан уралган жисмга айтилади.



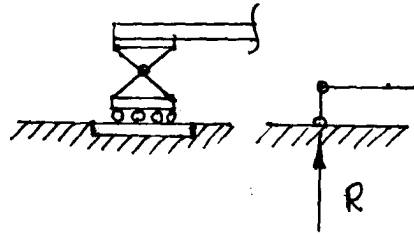
3 - расм

д. Массив - учта ўлчами бир хил тартибда бўлган жисмларга айтилади.

6. Айрим олинган элементларни бир-бири билан бириктириш натижасида иншоат конструкциялар ҳосил қилинади. Масалан: Стерженларни бир-бири билан шарнирлар ёрдамида бириктиришдан ҳосил бўлган системага ферма деб айтилади. Шарнирлар чўзилиш ва сиқилиш кучларини бир стержендан иккинчиси ўтказиб беради. Шарнирлар буралишга қаршилик кўрсатмайди. Стерженлар бир-бири билан бикр қилиб боғланиши мумкин. Бундай боғланишлар чўзилиш, сиқилиш ва буралишга қаршилик кўрсатади. Бунга мисол қилиб рамани кўрсатиш мумкин. Одатда эгилишга ишловчи стерженлар балкалар деб юритилади. Балка ташқи кучни қабоъл қилиб уни асосга ўзатиши учун асосга таянч боғланишлари билан бирлаштирилган бўлиши керак. Амалда уч хил кўринишдаги таянч боғланишларидан фойдаланилади.

Шарнирли кўзгалувчан таянч.

Ушбу таянч вертикал йўналишда балка ҳаракатини чеклайди. Балкани горизонтал ҳаракатини ва С шарнир атропоида айланишини чекламайди. Уни ҳисоблаш схемасида тасвирланиши 4-расмда кўрсатилган.

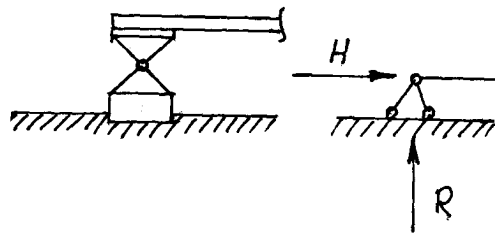


4 - расм

Бундай таянчда фақат таянч боғланиши бўйлаб йўналган реакция кучи ҳосил бўлади.

Шарнирли кўзгалмас таянч.

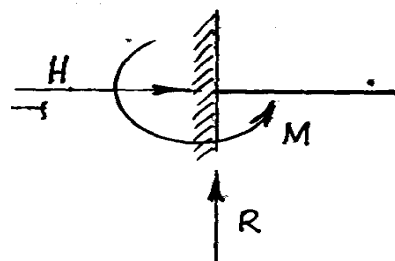
Бу таянч балкани фақат шарнир атропоида айланишига имкон беради. Горизонтал ва вертикал йўналишларда балкани ҳаракат қилишига йўл қўймайди. Ташқи кучлар таосиридан бундай таянчда таянч реакциясининг иккита ташкил этувчиси ҳосил бўлади. (5-расм)



5 - расм

3. Қистириб маҳкамланган таянч.

Бундай таянч унга туташган балка кесимининг айланишига ҳамда икки йўналишда кўчишига йўл қўймайди. Бундай таянчнинг схематик кўринишини 6-расмда кўрсатилган.



6 - расм

Қистириб маҳкамланган таянчдаги реакция кучлари вертикал R , горизонталр H кучлардан ва реактив момент M дан ташкил топади.

Ўз-ўзини текшириш саволлари:

1. Мустаҳкамликка, бикрликка ва устиворликка ҳисоблашларни бажаришдан қандай мақсад кўзда тутилади?
2. Материаллар қаршилиги фанини ривожланишига ҳисса қўшган қандай олимларни биласиз?
3. Изотроп ва анизотроп материаллар деб қандай материалларга айтилади?
4. Материаллар қаршилиги фанида қандай гипотезалар, фаразлар қабул қилинган?
5. Брус, пластинка, қобиклар ва массивлар деб қандай жисмларга айтилади.
6. Практикада қандай кўринишдаги таянч боғланишларидан фойдаланилади?
7. «Материаллар қаршилиги» фани нимани ўргатади?
8. Деформация нима?
9. «Материаллар қаршилиги» фанининг асосчилари ким?
10. Қобик деб нимага айтилади?
11. Шарнирли қўзғалувчан таянч қандай бўлади?

2-МАЪРУЗА: Чўзилиш ва сиқилиш.

Режа:

1. Чўзилишда (сиқилишда) стержен кўндаланг кесимларидаги нормал кучланишларни аниқлаш.
2. Чўзилиш ва сиқилиш деформациясида мустаҳкамлик шартлари. уч хил турдаги масалаларни ечиш.
3. Стерженнинг абсолют ва нисбий деформациялари. Гук қонуни.
4. Турли материалларнинг механик ҳарактеристикаларини аниқлаш.
5. Чўзилиш диаграммаси.
6. Сиқилиш диаграммаси.

Таянч сўз ва иборалар: Бўйлама куч, кўндаланг кесим, нормал кучланиш, Бернули гипотезаси, рухсат этилган кучланиш, абсолют ўзайиш, Гук қонуни, эластиклик модули, кўндаланг деформация, Пуассон коэффиценти, Материалларни механик ҳарактеристикалари, синаш усуллари, чўзилишга ва сиқилишга синаш, синаш машиналари, чўзилиш диаграммаси, ҳарактерли зоналар, кучланиш-деформация диаграммаси, сиқилиш диаграммаси

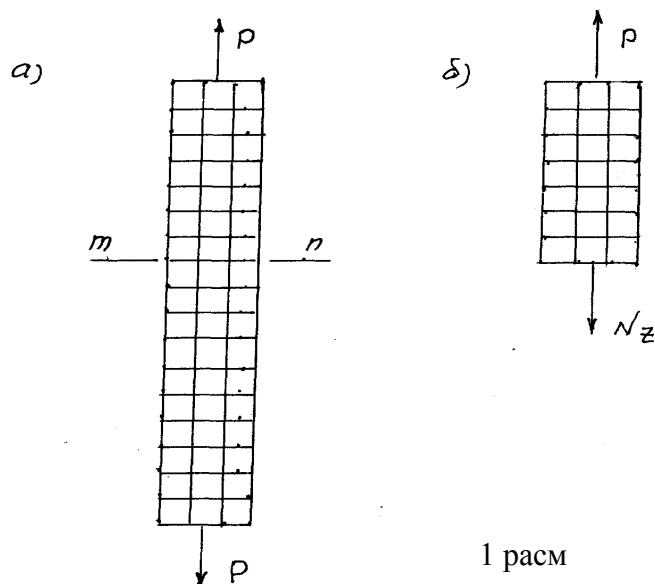
Стерженни кўндаланг деформацияси Пуассон коэффиценти. Кўчишлар.

1. Чўзилган ёки сиқилган стерженларнинг кўндаланг кесимларида бўйлама куч ҳосил бўлганлиги сабабли кесимда фақат нормал кучланишларни топиш учун уларнинг кўндаланг кесим бўйича тақсимланиш қонунини билиш лозим. Бунинг учун Я. Бернулли гипотезасидан фойдаланилади:

“Стерженни деформациясигача бўлган тёкис ва стержен ўқиға тик бўлган кесимлари деформациядан кейин ҳам тёкис ва стержен ўқиға тиклигича қолади”.

Тўғри ўқли стерженнинг сиртиға шу стержен ўқиға параллел ва перпендикуляр йўналган тўғри чизиқлар ёрдамида тўр чизиб, стерженни эркин учига статик чўзувчи куч кўямиз. Деформациядан кейин бу тўр чизиқларнинг бир - бириға тиклигича қолганлигини ва фақат улар орасидаги масофалар ўзгарганлигини кўриш мумкин. Бу эса кесимдаги нормал кучланишлар тёкис тарқалганлигини кўрсатади.

Нормал кучланишларнинг қийматларини топиш учун кесиш усулидан фойдаланамиз (1-расм).



Стерженни кесиб уни бир қисмини мувозанатини текшираимиз:

$$\sum z = 0 ; \quad N_z - P = 0 ; \quad N_x = P. \quad (1)$$

Ички куч билан кучланишлар орасидаги боғланишлардан фойдаланиб топамиз:

$$N = \int_F \sigma \cdot dF = \sigma \int_F dF = \sigma \cdot F \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{N}{F} \quad (3)$$

Агар стерженнинг ўқи бўйлаб бир неча ташқи кучлар таосир эттирилса, у ҳолда (3) ифода қуйидаги кўринишда ёзилади.

$$\sigma = \frac{N_z}{F} \quad (4)$$

Кучланишни ўлчамлари СИ системасида МПа қабул қилинади.

2. Эксплуатация даврида конструкция қисмлари мустаҳкам бўлиши учун унинг хавфли кўндаланг кесимларида ҳосил бўладиган максимал нормал кучланиш шу стержен материали учун рухсат этилган нормал кучланишдан ортиб кетмаслиги керак.

Чўзилган ёки сиқилган стерженларнинг мустаҳкамлик шарти қуйидагича ёзилади:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{F} \leq [\sigma] \quad (5)$$

Мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб уч хил кўринишдаги масалани ҳал қилиш мумкин:

А. Мустаҳкамликни текшириш; бу қуйидаги формула ёрдамида бажарилади:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma] \quad (6)$$

Бу типдаги масалани ечиш учун ташқи кучлар, стержен материали ўлчамлари ва унинг учун рухсат этилган кучланиш маолум бўлиши лозим. Кесимдаги максимал нормал кучланиш топилади ва унинг қиймати рухсат этилган

кучланиш билан солиштирилади. Улар орасидаги фарқ $\pm 5\%$ бўлиши мумкин. Агар 5% дан ортиқ бўлса стержен ортиқча кучланишга қаршилиқ кўрсатиб, хавфли ҳолатда бўлади. Агар 5% дан кам бўлса, стержен материалдан тўлиқ фойдаланмаган бўлади.

В. Кўндаланг кесим ўлчамларини танлаш.

Агар стерженга таосир этувчи кучлар ва стержен материали учун рухсат этилган кучланишлар маолум бўлса, стержен кўндаланг кесимининг хавфсиз ўлчамларини топиш мумкин.

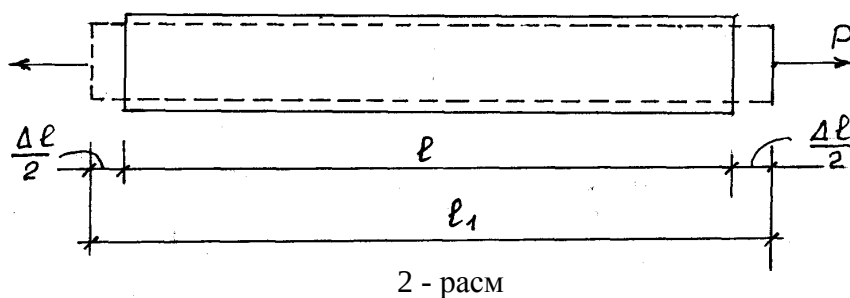
$$F \geq \frac{N_{\max}}{[\sigma]} \quad (7)$$

С. Стержен кўтара оладиган кучни топиш.

Агар стерженни кўндаланг кесим ўлчамлари ва унинг учун рухсат этилган кучланиш маолум бўлса, унинг кўтара олиши мумкин бўлган кучни топиш мумкин:

$$N_{\max} \leq [\sigma] \cdot F \quad (8)$$

3. Стерженнинг деформациягача бўлган узунлигини l билан деформациядан кейинги узунлигини эса l_1 билан белгилаймиз. Стержен узунлигининг ортиши абсолют чўзилиш деб, камайиши эса абсолют қисқариш деб аталади (2-расм).



Абсолют чўзилишнинг қиймати қуйидагича топилади:

$$\Delta l = l_1 - l \quad (9)$$

Стерженнинг узунлик бирлигига тўғри келган абсолют чўзилиш нисбий чўзилиш ёки бўйлама деформация дейилади:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (10)$$

Кучланишлар билан деформациялар ўртасида Гук қонуни билан юритиладиган боғланиш мавжуд. У марказий сиқилиш ёки чўзилиш учун қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (11)$$

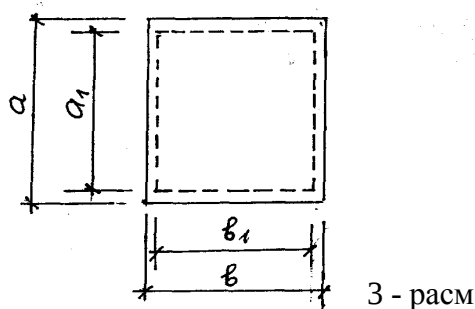
Кучланишлар билан деформациялар ўртасидаги пропорционаллик коэффиценти E чўзилишда стержен материалининг эластиклик модули дейилади. E нинг ўлчами кучланишнинг ўлчамига ўхшаш бўлади.

Юқорида чиқарилган формулалардан фойдаланиб абсолют чўзилишни (сиқилишни) аниқлаш учун қуйидаги формулани оламиз:

$$\Delta l = \frac{Nl}{EF} \quad (12)$$

EF - қиймати чўзилиш ва сиқилишда стерженнинг бикрлиги дейилади.

Стерженнинг кўндаланг ўлчамларининг абсолют чўзилиши (сиқилиши), деформациясини юқоридаги каби аниқланади. Кесим ўлчамларини мос равишда a ва b десак (3-расм):



$$\Delta a = a_1 - a ; \Delta b = b_1 - b ;$$

$$\varepsilon_a^1 = -\frac{\Delta a}{a} ; \varepsilon_b^{11} = -\frac{\Delta b}{b} \quad (13)$$

Бу ерда минус ишораси чўзилишда кўндаланг кесим ўлчамлари қисқаришини кўрсатади.

Изотроп материаллар учун кўндаланг деформациялар бир хил бўлади:

$$\varepsilon_a^1 = \varepsilon_b^1 = \varepsilon^1 \quad (14)$$

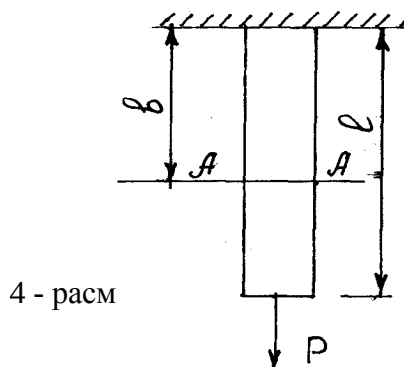
Оддий чўзилишда (сиқилиш) кўндаланг деформация абсолют қийматининг бўйлама деформация қийматига нисбати Пуассон коэффиценти деб аталади.

$$\mu = \frac{|\varepsilon^1|}{\varepsilon} \quad (15)$$

Пуассон коэффиценти ўлчамсиз катталиқ бўлиб, францўз олими номи билан юритилади. Турли материаллар учун Пуассон коэффиценти $0 \leq \mu \leq 0,5$ атрофида бўлади.

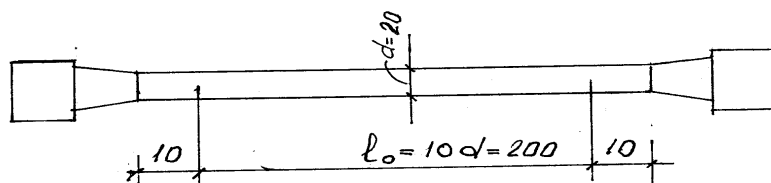
Баозан стерженнинг кўндаланг кесимининг кўчишини топиш керак бўлади. Кесимнинг кўчиши бутун стерженнинг деформациясига боғлиқ бўлмасдан, балки унинг мазкўр кесим билан маҳкамлаб кўйилган кесим орасидаги бўлагининг деформациясига боғлиқ бўлади.

Масалан: Стержен А-А кесимининг кўчиши А-А кесимдан стержен маҳкамлаб кўйилган таянчгача бўлган масофани абсолют чўзилиш (сиқилиши) йиғиндисига тенг бўлади (4-расм):



4 - расм

4. Чўзилиш ва сиқилишга доир масалаларни ечишда экспериментал йўл билан аниқланадиган материалнинг характеристикалари ҳақидаги маълумотлар керак бўлади. Бу характеристикаларга материалларни эластиклик модули E ва Пуассон коэффиценти μ киради. Амалий масалаларни ечишда булардан ташқари материалларнинг мустаҳкамлигини характерловчи микдорларнинг сонли қийматлари керак бўлади. Бу юқоридаги характеристикалар турли материаллар учун ҳар хил қийматларга эга бўлади, уларни фақат синаш натижасида аниқлаш мумкин. Шунинг учун материалларни механик ва деформацион характеристикаларни аниқлаш учун турли синаш усуллари яратилган. Булардан энг кўп тарқалгани намуналарни чўзилиш ва сиқилишга синашдир. Чўзилишга синаш учун материаллардан махсус намуналар тайёрланади. Намуналар учун характерли ҳол бу улардан синаш машиналарига ўрнатиш учун зарур бўлган участкаларни ва синаш учун ишчи қисмини мавжуд бўлишидир. Чўзилишга синаш учун тайёрланган намуна 5- расмда келтирилган.

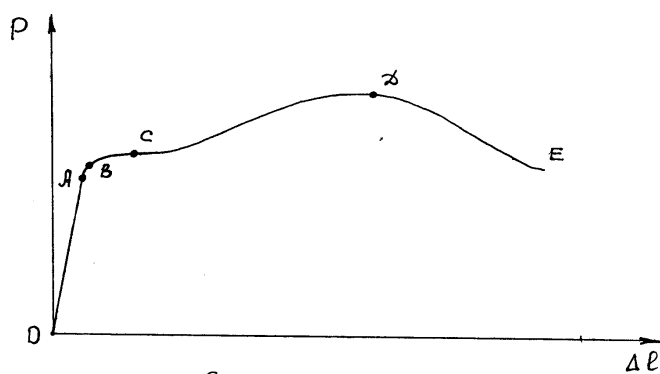


5 - расм

Намунани ишчи қисмини узунлиги унинг диаметрдан ўн баробар узун қилиб олинади. Баози ҳолларда калта намуналар ҳам қўлланилади. Уларнинг ишчи қисмини узунлиги диаметрдан беш баробар узун қилиб олинади. Материалларни сиқилишга синашда калта цилиндрлик намуналардан фойдаланилади. Ушбу намуналарнинг узунлиги диаметр икки баробаридан ошмаслиги шарт. Баози материалларни (бетон, ғишт, ёғоч ва хоказо) сиқилишга синашда призматик кубиклар тайёрланади.

Намуналарни чўзилиш ва сиқилишга синаш махсус машиналарида ўтказилади. Ҳозирги вақтда синаш машиналарининг такомиллашган турлари мавжуд бўлиб, уларнинг ўзи чўзилиш ва сиқилиш диаграммаларини чизиб беради. Чўзувчи куч P билан абсолют чўзилиш Δl орасидаги график - боғланиш чўзилиш диаграммаси дейилади.

5.Синаш натижасида олинган кам углеродли пўлат Ст3 ни чўзилиш диаграммасини таҳлил қиламиз. (6-расм) Диаграмма бешта ҳарактерли зонага бўлинади:



6 - расм

ОА пропорционаллик зонаси деб юритилади, бу зонада материал Гук қонунига бўйсунди, яони:

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF} \quad (16)$$

АВ - зона эластиклик зонаси деб юритилади, бу участкада чўзилиш диаграммаси эгри чизикдан иборат бўлади, яони материал Гук қонунига бўйсунмайди. Эластиклик чегарасида намуна юксизлантирилганда қолдиқ деформация ҳосил қилмасдан материал ўзининг бошланғич ҳолатига қайтади.

ВС - зона умумий оқувчанлик зонаси деб аталади. Бу зонада кучни ошишига нисбатан намунани абсолют чўзилиши катта қийматга ўзгаради. Оқувчанлик зонасида намунанинг ўзилиш жойи билина боради, намуна сиртида оддий кўз билан кўринадиган чизиклар ҳосил бўлади. Бу чизиклар Чернов чизиклари деб юритилади.

СД - зонасида деформацияни ошиши ташқи кучни ошиши билан содир бўлади. Пўлатнинг “Мустаҳкамланиши” рўй беради. Бу зонада намунада “ўзилиш бўйинчаси” ҳосил бўлиши тезлашади, бурчак остида йўналган тўр чизиклар кўриниши аниқлашади, бўйинча ҳосил бўлаётган участкада намунани температураси оша боради.

ДЕ - зонаси маҳаллий оқиш зонаси (ўзилиш) зонаси деб юритилади. Бу зонада бўйинчани ҳосил бўлиши тезлашади. Ташқи куч камаябошлайди абсолют чўзилиш бўйинчада тезлик билан орта боради ва намуна ўзилади.

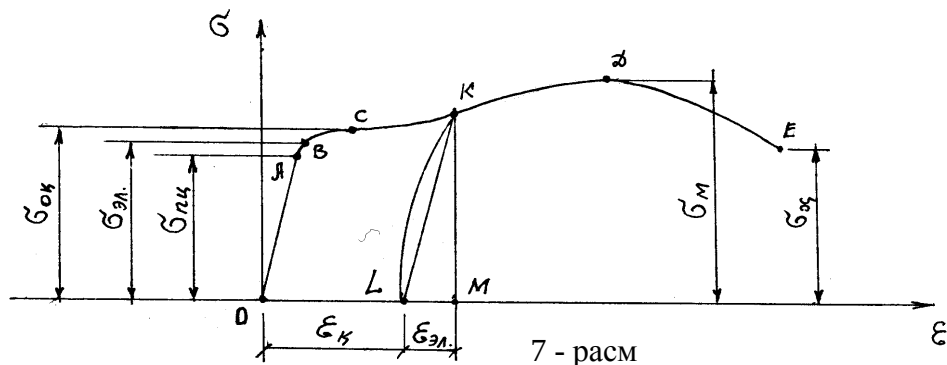
Материал хоссаларини ўрганиш учун нормал кучланиш ва бўйлама деформация Е уртасидаги боғланишни билдирувчи диаграммадан фойдаланиш қулай. Ушбу диаграммани кўриш учун шартли нормал кучланиш ва бўйлама деформация ҳисоблаб топилади. Шартли нормал кучланишни топиш учун чўзувчи кучни миқдори намунанинг бошланғич юзасига бўлинади.

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad (17)$$

Намунанинг бўйлама деформацияси эса абсолют чўзилишни дастлабки узунлиги l_0 га бўлиш орқали ҳисобланади.

$$E = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (18)$$

Кучланиш - деформация диаграммаси ташқи куч- абсолют чўзилиш диаграммасидан фақат масштаби билан фарқ қилади (7-расм).



Ташқи куч ОА - зонасида бўлган ҳолатда намунали юксизлантирилса намунали узунлиги тўлиқ бошланғич узунлигига қайтади. Агар диаграмманинг К нуқтасидан намуна юклантирлиса (7-расм) намунада ΔE_k га тенг қолдиқ деформация қолади. Агар қайтадан юк билан юклана бошласа диаграмма ЛКДЕ график бўйича ўзгаради. Намунада қайта оқиш зонаси ҳосил бўлмайди.

Кучланиш - деформация деограммасидаги зоналарга мос келувчи кучланишлар, яъни пропорционаллик чегараси $\sigma_{\text{пц}}$, эластиклик чегараси $\sigma_{\text{эл}}$, оқувчанлик $\sigma_{\text{ок}}$ ва мустаҳкамлик $\sigma_{\text{м}}$ чегаралари материалнинг мустаҳкамлик характеристикалари деб аталади.

Синодан сўнг ўзилган намунанинг нисбий қолдиқ чўзилиши қуйидаги формула бўйича топилади:

$$\delta = \frac{l_y - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l_y}{l_0} \quad (19)$$

Бўйин кўндаланг кесм юзининг нисбий қолдиқ ингичкаланиши қуйидаги формуладан топилади:

$$\Psi = \frac{F_0 - F_y}{F_0} = \frac{\Delta F_y}{F_0} \quad (20)$$

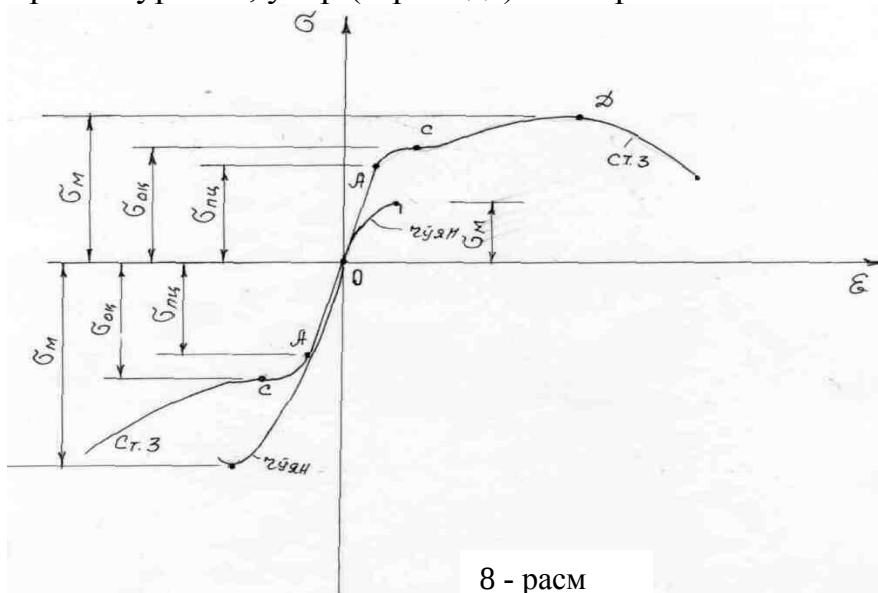
бу ерда: F_0 , l_0 - намунанинг синашгача бўлган кесим юзаси ишчи қисми
үзүнлиги.

F_v, l_v - Намунанинг ўзулгандан кейинги кесим юзаси ва узунлиги.

Тўлиқ қолдик нисбий чўзилиш δ ва намуна ўзилишида унинг кўндаланг кесим юзасининг қолдик нисбий ингичкаланиши Ψ материалнинг пластик

характеристикалари дейилади. Улар намунани ўзилгунга қадар деформацияланиш лаёқатини ҳарактерлайди.

6. Материалларни сиқилишда ҳолатини ўрганиш учун уларни сиқилиш диаграммалари қурилади. Пўлат Ст3 ва чўяннинг сиқилиш диаграммаларини кўрамиз, улар (8-расмда) келтирилган.



Юкланишнинг бошланиш даврида пўлат Ст3 нинг сиқилиш диаграммаси унинг чўзилишдаги диаграммасига ўхшаш бўлиб горизонталга қия бўлган тўғри чизикдан иборат бўлади. Сўнгра диаграмма эгриланиб, горизонталга жуда кичик бурчак остида йўналган оқувчанлик участкасига ўтади. Сиқилишда оқувчанлик чераси чўзилишдаги каби аниқ билинмайди.

Сиқилишда пропорционаллик, эластиклик ва оқувчанлик чегаралари таоминан чўзилишдагига ўхшаш бўлади. Чўзилиш ва сиқилишда тўғри участкаларнинг горизонталга чизикқа нисбатан оғиш бурчаклари бир хил бўлади, бу эса материални чўзилиш ва сиқилишда эластиклик модели бир хил бўлишини билдиради.

Сиқилганда пўлат намунани узунлиги қисқаради, кўндаланг кесим ўлчамлари айниқса ўрта қисмда катталашади, у бочкасимон кўринишга эга бўлади. Намуна яна юкланса у яссиланади, лёкин парчаланиб кетмайди. Шунинг учун уни мустаҳкамлик чегарасини сиқилишда аниқлаб бўлмайди.

Сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси шартли равишда чўзилишдаги мустаҳкамлик чегарасига тенг деб олинади.

Чўянни сиқилиш диаграммаси шакл жиҳатидан унинг чўзилиш диаграммасига ўхшаш бўлади.

Лёкин сиқилишда кучланиш диаграммасининг ординатаси чўзилишдагига нисбатан бир неча марта катта бўлади. Чўян намуна сиқилишга чўзилишга нисбатан бир мунча яхши ишлайди. Чўян намуна сиқилганда у бочкасимон кўринишини олади, юкни ошиши натижасида намуна ўқиға 45° бурчак остида йўналган дарзлар пайдо бўла бошлайди. Бу вақтда куч кескин камаяди, диаграмма ўзилади, намунанинг ён қисмлари ажралиб чиқиб, у икки конус шаклини олади.

Кўпгина мўрт материаллар (бетон, ғишт) сиқилишга худди чўян каби ишлайди. Сиқилишда бу материалларнинг ишлаши чўзилишига нисбатан катта бўлади. Масалан: бетоники таоминан 20 марта катта бўлади.

Ўз-ўзини текшириш саволлари:

1. Брусни қандай деформациясига чўзилиш деб айтилади?
2. Брусни ихтиёрий кесимидаги бўйлама куч қандай аниқланади?
3. Чўзилиш (сиқилиш) деформациясида кўндаланг кесимда нормал кучланиш қандай таркалган бўлади?
4. Абсолют ўзайиш ва нисбий деформация деб нимага айтилади?
5. Гук қонуни деб нимага айтилади?
6. Кўндаланг деформация деганда нима тушунилади?
7. Пуассон коэффиценти ва эластиклик модули деб нимага айтилади?
8. Чўзилиш диаграммаси қандай координаталар системасида кўрилади?
9. Пропорционалик, эластиклик, оқиш, мустаҳкамлик чегаралари деб нимага айтилади?
10. Қандай деформациялар эластик ва қолдиқ деформациялари деб айтилади?
11. Пўлатни сиқилиш диаграммаси, чўзилиш диаграммасидан нимаси билан фарқ қилади?
12. Чўянни чўзилиш диаграммаси, сиқилиш диаграммасидан нимаси билан фарқ қилади?

3-МАЪРУЗА: Кўндаланг кесим юзаларининг геометрик характеристикалари.

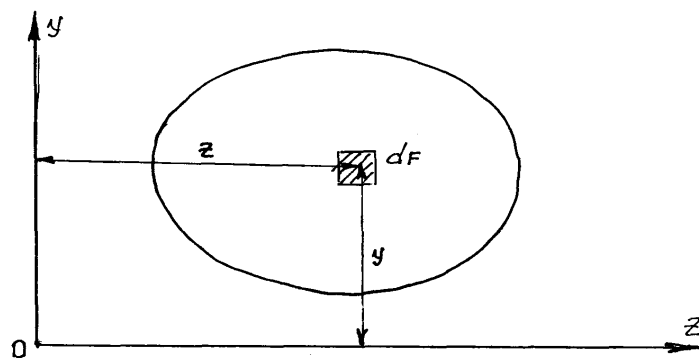
Режа:

1. Кўндаланг кесим геометрик характеристикаларини аниқлашнинг зарурияти.
2. Юзанинг ўққа нисбатан статик моментлари ва оғирлик маркази.
3. Юзанинг ўқларга нисбатан инерция моментлари. Қутб ва марказдан Қочувчи инерция моментлари.
4. Оддий кесимларнинг инерция моментлари.
5. Ўқлар параллел кучирилганда инерция моментларини ўзгариши.
6. Ўқлар бурилганда инерция моментларини ўзгариши.
7. Бош инерция ўқлари ва бош инерция моментлари.

Таянч сўз ва иборалар: Кесим юзаси, статик момент, инерция моментлари, қутб ва марказдан қочма инерция моментлари.

1. Чўзилиш ва сиқилиш деформацияларини ўрганишда стерженнинг қаршилиқ кўрсатиши кўндаланг кесим юзасига пропорционал эканлиги кўриб ўтилди. Стерженнинг кўндаланг кесим юзаси стерженнинг қаршилигини тўла ҳақартерлай олмайди. Стерженнинг эгилиши, буралиш ва бошқа деформацияланиш ҳолатларини ўрганишимизда кесим юзасининг янада мураккаброк, геометрик ҳақартеристикаларидан фойдаланилади. Бўлар тёкис кесим юзаларининг ўққа нисбатан статик моментлари, инерция моментларидир.

2. Тёкис кесим юзасининг бирор ўққа нисбатан статик моменти деб, тёкис кесим юзасидан ажратилган элементар юзачаларнинг ўқаача бўлган масофаларга кўпайтмаларининг йиғиндисига айтилади. (1-расм):



1 - расм

$$S_y = \int_F z \cdot dF \quad (1)$$

$$S_z = \int_F y \cdot dF \quad (2)$$

Бу формулалардан кўринадики статик моментлар узунлик ўлчовининг учинчи даражаси билан ўлчанади.

Агар тёкис кесим юзаси оғирлик марказининг координаталари маолум бўлса, у ҳолда бу юзанинг ўқларга нисбатан статик моментлари қуйидагича ёзилади:

$$S_y = F \cdot Z_o \quad (3)$$

$$S_z = F \cdot Y_o \quad (4)$$

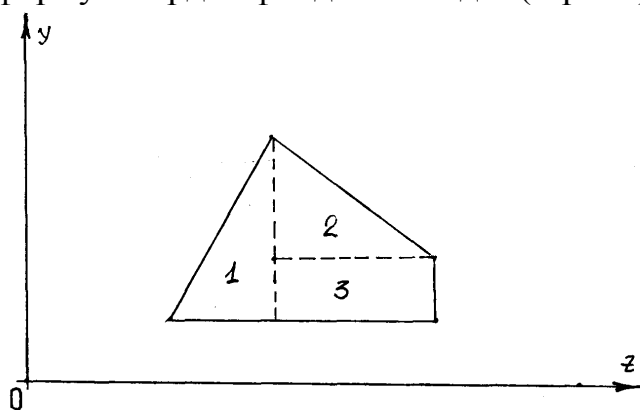
Ушбу формуладан фойдаланиб кесим юзаси оғирлик маркази координаталарини топиш мумкин:

$$Z_o = \frac{S_y}{F} \quad (5)$$

$$Y_o = \frac{S_z}{F} \quad (6)$$

Координата ўқларидан бири ёки иккаласи кесим юзасининг оғирлик марказидан ўтса, уларга нисбатан юзадан олинган статик моментлар нолга тенг бўлади. Кесим юзасининг оғирлик марказидан ўтган ўқлар марказий ўқлар дейилади.

Мураккаб тёкис кесим юзасини оғирлик маркази координаталарини топишда қуйидаги формулалардан фойдаланилади: (2-расм):



2 - расм

$$Z_o = \frac{F_1 Z_1 + F_2 Z_2 + \dots + F_n Z_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i Z_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (7)$$

$$Y_o = \frac{F_1 Y_1 + F_2 Y_2 + \dots + F_n Y_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i Y_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (8)$$

бу ерда: $F_1, F_2, \dots, F_n$ - айрим олинган шакллариинг юзалари;
 $Z_1; Z_2; Z_n; Y_1, Y_2, \dots + Y_n$ - айрим олинган шаклларнинг оғирлик маркази координаталари.

3.Тёкис кесим юзасининг бирор ўққа нисбатан инерция моменти деб, тёкис кесим юзасидан ажратилган элементар юзачаларнинг ўққача бўлган масофа квадрати кўпайтмасининг йиғиндисига айтилади.

$$J_y = \int_F Z^2 dF \quad (9)$$

$$J_z = \int_F Y^2 dF \quad (10)$$

Кесим юзасидан ажратилган элементар юзачаларнинг координталар бошигача бўлган масофалар квадратиға кўпайтмаларнинг йиғиндиси қутб (поля) инерция моменти дейилади.

$$J_p = \int_F P^2 dF \quad (11)$$

Инерция моментлари узунлиё ўлчовининг тўртинчи даражаси билан ўлчанади.

Кесим юзасининг инерция моментлари билан қутб инерция моменти орасидаги боғланишни топиш мумкин.

$$P^2 = Y^2 + Z^2 \quad (12)$$

$$I_p = \int_F (y^2 + z^2) dF = J_z + J_y \quad (13)$$

Демак, қутб инерция моменти координата ўқларига нисбатан олинган инерция моментлари алгебраик йиғиндисига тенг бўлади.

Кесим юзасидан ажратилган элементар юзаларнинг координта ўқларига бўлган масофаларға кўпайтмасининг йиғиндисига марказдан қочирма инерция моменти дейилади.

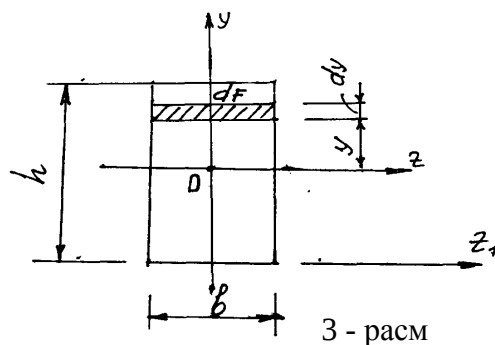
$$J_{yz} = \int_F y \cdot z \cdot dF \quad (14)$$

Марказдан қочирма инерция моментининг қиймати ўқларнинг вазиятиға қараб мусбат, манфий ва нолр бўлиши мумкин.

4. Оддий кесимларнинг инерция моментларини ҳисоблашни кўрамиз.

а) тўғри тўртбурчак шаклидаги кесим юзасининг инерция моменти.

Кесим юзасининг оғирлик марказидан ўтган ўқларга нисбатан инерция моментларини ҳисоблаймиз, (3-расм):



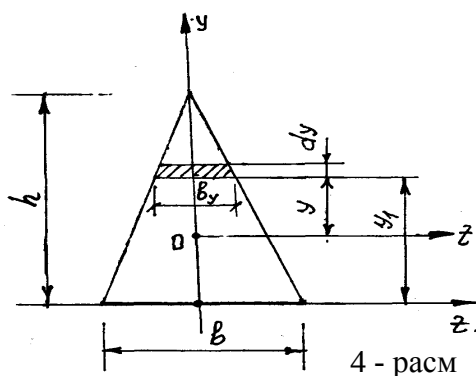
$$J_z = \int_F y^2 dF = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} y^2 b \cdot dy = \frac{y^3 \cdot b}{3} \Big|_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} = \frac{bh^3}{12}$$

$$J_y = \frac{b^3 h}{12}$$

$$J_{t_1} = \int_F y^2 dF = \int_0^h y^2 \cdot b \cdot dy = \frac{by^3}{3} \Big|_0^h = \frac{bh^3}{3}$$

2. Учбурчак шаклидаги кесимнинг инерция моменти.

Учбурчак юзасининг оғирлик марказидан ўтган ўқларга нисбатан инерция моментларини топамиз, (4-расм):



$$b_y = \frac{\left(\frac{2}{3}h - y\right)b}{h}$$

$$J_z = \int_{-\frac{h}{3}}^{\frac{2}{3}h} y^2 \cdot b_y \cdot dy = \int_{-\frac{h}{3}}^{\frac{2}{3}h} y^2 \cdot \frac{\left(\frac{2}{3}h - y\right) \cdot b}{h} dy = \frac{bh^3}{36}$$

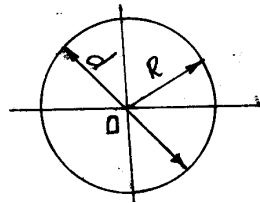
$$J_y = \frac{hb^3}{48}$$

$$J_{z_1} = \frac{bh^3}{12}$$

3. Квадрат шаклидаги кесимнинг инерция моменти.

$$J_z = \frac{a^4}{12}; \quad J_y = \frac{a^4}{12};$$

4. Доира шаклидаги кесимнинг инерция моменти, (5-расм):

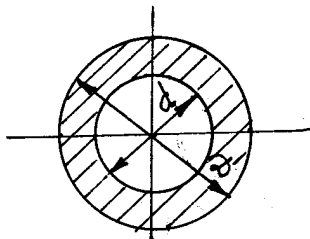


5 - расм

$$J_\rho = \int_F \rho^2 dF = \int_0^r \rho^2 \cdot 2\pi\rho \cdot d\rho = \frac{1}{2} \pi \rho^4 \Big|_0^r = \frac{1}{2} \pi r^4 = \frac{\pi d^4}{32}$$

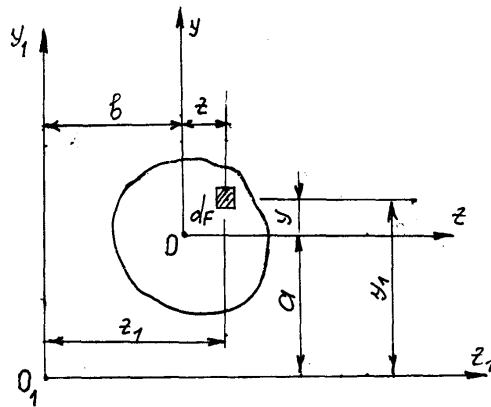
$$J_y = J_z = \frac{J_\rho}{2} = \frac{\pi d^4}{64}$$

5. Халкасимон кесимнинг инерция моменти, (6-расм)



6 - расм

$$J_y = \frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi D^4}{64} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right) = \frac{\pi D^4}{64} (1 - c^4); \quad c = \frac{d}{D}$$



7 - расм

Ôaðàç қилайеёе ёñеì ðçàñе оғирлик иàðеàçеääì ýтган ёñðæеиàòà ўқлареää иеñààòàì еиàðөеү ииáиòеàð I_z.I_y.I_{zy}, áàðеёääì. Áàðеёääì ёñðæеиàòà ўқлареää иàðеёеåе бұлääì үоие OY, ва OZ, óқеàðеää иеñààòàì еиàðөеү ииáиòеàðеиè àиёеёæеиёç

$$I_{y_1} = \int_F z_1 dF, \quad (15)$$

$$I_{z_1} = \int_F y_1^2 dF \quad (16)$$

$$z_1 = (b + z) \quad (17)$$

$$y_1 = (a + y) \quad (18)$$

$$I_{y_1} = \int_F (b + z)^2 dF = \int_F b^2 dF + 2 \int_F yz dF + \int_F z^2 dF$$

$$I_{y_1} = b^2 F + I_y \quad (19)$$

$$I_{z_1} = \int_F (a + y)^2 dF = \int_F a^2 dF + 2a \int_F y dF + \int_F y^2 dF,$$

$$I_{z_1} = I_z + a^2 F \quad (20)$$

$$I_{z_1 y_1} = abF + I_{zy} \quad (21)$$

Ääиæ ўқеàð иàðеёеåе ёó÷ääиää оиёиä еиàðөеү ииáиòеàðе хам ўзääàðæе.

Äääð еðөеёеðей ўқеàðää иеçààòàì еиàðөеү ииáиòеàðе иàөөи áýеñà, óеàðää иàðеёеåе áýеääì иàðеàçеёе ўқеàðää иеñààòàì еиàðөеү ииáиòеàðе қойеääæе òиðиòеæеàðääì òиñæеиæиèä òиñеåæе.

$$I_y = I_{y_1} - b^2 F \quad (22)$$

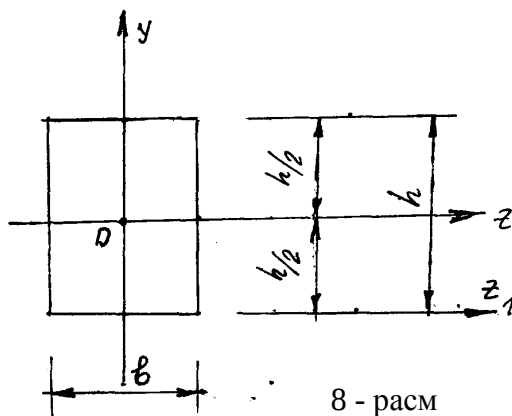
$$I_z = I_{z_1} - a^2 F \quad (23)$$

$$I_{yz} = I_{y_1 z_1} - abF \quad (24)$$

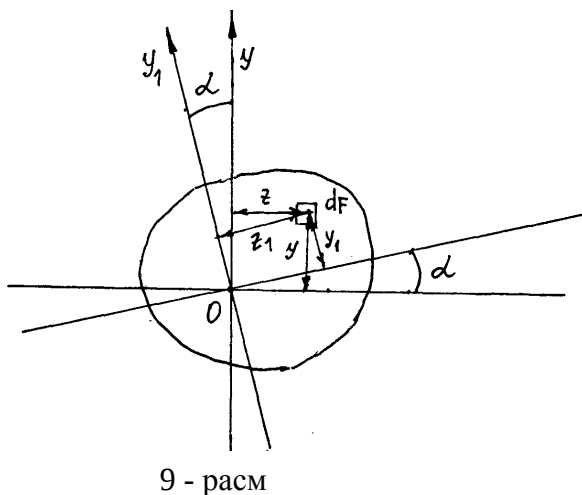
Ìññë; Àãàð тўғри тўртаóð÷àëèéíà ìàðëàçèè ўкèàà íèñààòàí èíàðòèý ìíàíòè ààðèèàí бўлñà, àññèèàí óòóâ÷è ўкқà íèñààòàí èíàðòèý ìíàíòè òñèèñèí.
À ÷ è ø: (20) - òñòèóèààí òññàèàíèà òññàèèç:

$$I_{z_1} = a^2 F + I_z = \left(\frac{h}{2}\right)^2 \cdot h \cdot b + \frac{bh^3}{12} = \frac{bh^3}{3}$$

Áó ìàðèèà àààè èíàãðàèèàø òñóèè àèèàí çàì ìèèíàí ýàè



6. Рçàñè F бўлñàí èàñèíèíà òғирлик ìàðëàçèèàí ўòàí ўкèàðàà íèñààòàí èíàðòèý ìíàíòèàðè ààðèèàí áýñèí. Èñòàèíàòàèàð ñèñòàìàñèíèíà ÍÓààÎZ ўкèàðèíèíà ñíàò ñòðàèèàñèíèíà ððèèèà òàñèàðè òññíàà èàðàà èðòèàðèè α бурчакка бураймиз ва áóð÷àëèè íóñààò ààà òññíàèàññèç (3-расм).



Òàèèñ èàñèíèíà àóðàèàí ÍÓ₁ àà ÎZ₁ ўкèàðèèà íèñààòàí èíàðòèý ìíàíòèèè òññàèèç.

$$Y_1 = Y \cos \alpha - z \sin \alpha \quad (25)$$

$$Z_1 = Y \sin \alpha + Z \cos \alpha \quad (26)$$

Áó ðáíăëàlàëăðăái ôîëăăëáîëă ðăêëñ êăñëî þçëîë ýîăë ýķëăðăă îëñăăòăî ëîăðöëý
 îîîáîòëăðîë ôîîîlèç.

$$I_{Y_1} = \int_F z_1^2 dF = \int_f (y \sin \alpha + z \cos \alpha)^2 dF = \int_F y^2 \sin^2 \alpha dF + \int_F z^2 \cos^2 \alpha dF + 2 \int_F yz \sin \alpha \cos \alpha dF,$$

$$I_{y_1} = I_y \cos^2 \alpha + I_z \sin^2 \alpha + 2I_{yz} \sin 2\alpha \quad (27)$$

$$I_{z_{11}} = \int_F y_1^2 dF = \int_F (y \cos \alpha \ z \sin)^2 dF = \int_F y^2 \cos^2 \alpha dF + \int_F Z^2 \sin^2 \alpha dF - 2 \int_F yz \sin \alpha \cos \alpha dF$$

$$I_{Z_1} = I_z \cos^2 \alpha + I_y \sin^2 \alpha - I_{yz} \sin 2\alpha \quad (28)$$

$$I_{Z_1Y_1} = \int_F y_1 z_1 dF = \int_F (y \cos \alpha - z \sin \alpha)(y \sin \alpha + z \cos \alpha) dF = \int_F y^2 \sin \alpha \cos \alpha dF - \int_F z^2 \sin \alpha \cos \alpha dF - \int_F yz \sin^2 \alpha dF + \int_F yz \cos^2 \alpha dF = I_z \frac{1}{2} \sin 2\alpha - I_{yz} \frac{1}{2} \sin 2\alpha - I_{yz} \sin^2 \alpha + I_{yz} \cos^2 \alpha$$

$$I_{z_1y_1} = \frac{1}{2}(I_z - I_y)\sin 2\alpha + I_{yz} \cos 2\alpha \quad (29)$$

$$\tilde{A}^{\alpha\beta}(27) \hat{a}^{\alpha}(28) \hat{o}^{\alpha\beta} \tilde{a}^{\alpha\beta} \hat{d}^{\alpha\beta} \kappa^{\alpha\beta}$$

$$I_{g_1} + I_{y_1} = I_z + I_Y = I_p \quad (30)$$

$$I_{y_1} - I_{y_2} = (I_z + I_t) \cos 2\alpha_0 - 2I_{zy} \sin 2\alpha_0 \quad (31)$$

(30) ôîđiôēāāāī ēŷđēīāāēēē, ŷçađī òēē ŷķēāđ áóđēēāāīāā áó ŷķēāđāā īēñāāòāī
īēēīāāī ēīāđōēŷ īīāīōēāđēīēīā ēēēāēēñē ŷzāāđīāñ īēķāīđ áŷēēā ķóóā ēīāđōēŷ
īīāīōēāđēēāā òāīā būlāāē.

7. (30) ôîðîíóèàààî éòððèèá òððèààèèè, èðòèàðèè ýккà íèñààðàî èíàððèý ììáíðèèíá қийматè íèèø áóð÷-ààè α àà áíñèèè. Оғиш áóð÷-ààèèíá øóíààè α_0 қийматèèè òíèèø ó÷óí (28) èòíààààî α áýèè÷-à áèððè÷-è хíñèèàñíèè ííèàà òàíáèèà $\alpha = \alpha_0$ ààà òííàìèç.

$$\frac{dI_{z_1}}{d\alpha} = -2I_z \cos \alpha_0 \sin \alpha_0 + 2I_y \cos \alpha_0 \sin \alpha_0 - 2I_{yz} \cos 2\alpha_0 = 0$$

$$-(I_z - I_z) \sin 2\alpha_0 - 2I_{yz} \cos 2\alpha_0 = 0 \quad (32)$$

Áó ăđăàí:

$$\operatorname{tg} 2 \alpha_0 = \frac{-2 I_{yz}}{(I_z - I_v)} \quad (33)$$

А́о $\hat{o}\hat{i}\hat{d}\hat{i}\hat{o}\hat{e}\hat{a}\hat{a}\hat{i}$ α_0 $\acute{a}\acute{e}\acute{d}-\acute{a}\acute{e}\acute{d}\acute{e}\acute{a}\acute{i}$ 90° $\grave{a}\grave{a}$ $\hat{o}\hat{a}\hat{d}\hat{q}$ $\text{кило}\hat{a}\hat{d}\hat{e}$ $\acute{e}\acute{e}\acute{e}\acute{e}$ $\text{киймат } \hat{d}\hat{e}\hat{q}\hat{a}\hat{a}\acute{e}$. А́о $\text{киймат}\hat{e}\hat{a}\hat{d}$ $\acute{e}\acute{e}\acute{e}\acute{e}$ $\acute{y}\acute{k}\acute{i}\acute{e}\acute{i}\acute{a}$ $\hat{a}\hat{a}\hat{c}\acute{e}\acute{y}\acute{o}\acute{e}\acute{i}\acute{e}$ $\hat{a}\acute{i}\acute{e}\acute{e}\acute{e}\acute{a}\acute{e}\acute{e}$. $\acute{O}\acute{e}\hat{a}\hat{d}\hat{a}\hat{i}$ $\acute{a}\acute{e}\acute{d}\acute{e}\hat{a}$ $\acute{i}\acute{e}\hat{n}\hat{a}\hat{a}\hat{o}\hat{i}$ $\acute{e}\acute{i}\hat{a}\hat{d}\hat{o}\acute{e}\acute{y}$ $\hat{i}\hat{i}\hat{a}\hat{i}\hat{o}\acute{e}$ $\hat{i}\hat{a}\hat{e}\hat{n}\hat{e}\hat{i}\hat{a}\acute{e}$ $\text{киймат}\hat{a}\hat{a}$ $\acute{y}\hat{a}\hat{a}$ $\text{бўл}\hat{n}\hat{a}$, $\acute{e}\acute{e}\acute{e}\acute{e}\hat{i}\hat{d}\hat{e}\hat{n}\hat{e}\hat{a}$ $\acute{i}\acute{e}\hat{n}\hat{a}\hat{a}\hat{o}\hat{i}$ $\acute{i}\acute{e}\hat{i}\hat{e}\hat{i}\hat{a}\acute{e}$ $\text{бўл}\hat{a}\hat{a}\acute{e}$. А́о $\acute{i}\hat{a}\hat{a}\acute{e}$ $\acute{y}\acute{k}\acute{e}\hat{a}\hat{d}$ $\text{бош марказий } \acute{y}\acute{k}$ $\hat{a}\hat{a}\hat{a}$, $\acute{a}\acute{o}$ $\acute{y}\acute{k}\acute{e}\hat{a}\hat{d}\hat{a}$ $\acute{i}\acute{e}\hat{n}\hat{a}\hat{a}\hat{o}\hat{i}$ $\text{хисоб}\hat{e}\hat{a}\hat{i}\hat{a}\hat{a}\hat{i}$ $\acute{e}\acute{i}\hat{a}\hat{d}\hat{o}\acute{e}\acute{y}$ $\hat{i}\hat{i}\hat{a}\hat{i}\hat{o}\acute{e}\hat{a}\hat{d}\acute{e}$ $\text{бош инерция моментлари } \hat{a}\hat{a}\hat{a}$ $\hat{a}\hat{o}\hat{a}\hat{e}\hat{a}\hat{a}\acute{e}$. (18) $\acute{e}\hat{o}\hat{i}\hat{a}\hat{a}$ $\hat{i}\hat{a}\hat{d}\hat{e}\hat{a}\hat{c}\hat{a}\hat{a}\hat{i}$ $\text{к}\hat{i}\hat{d}\hat{e}\hat{o}\hat{i}\hat{a}$ $\acute{e}\acute{i}\hat{a}\hat{d}\hat{o}\acute{e}\acute{y}$ $\hat{i}\hat{i}\hat{a}\hat{i}\hat{o}\acute{e}$ I_{YZ} $\hat{o}\hat{a}\hat{i}\hat{a}$ $\text{бўл}\hat{a}\hat{a}\acute{e}$. А́о $\acute{i}\hat{a}\hat{a}\hat{i}$ $\acute{y}\hat{n}\hat{a}$ $\hat{a}\hat{i}\hat{o}$ $\hat{i}\hat{a}\hat{d}\hat{e}\hat{a}\hat{c}\hat{e}\acute{e}$ $\acute{y}\acute{k}\text{лар}\hat{a}\hat{a}$ $\acute{i}\acute{e}\hat{n}\hat{a}\hat{a}\hat{o}\hat{i}$ $\hat{i}\hat{a}\hat{d}\hat{e}\hat{a}\hat{c}\hat{a}\hat{a}\hat{i}$ $\hat{e}\hat{i}\hat{d}\hat{e}\hat{r}\hat{i}\hat{a}$ $\acute{e}\acute{i}\hat{a}\hat{d}\hat{o}\acute{e}\acute{y}$ $\hat{i}\hat{i}\hat{m}\hat{a}\hat{i}\hat{o}\acute{e}$ $\hat{i}\hat{i}\hat{e}\hat{a}\hat{a}$ $\hat{o}\hat{a}\hat{i}\hat{a}$ $\text{бўл}\hat{e}\hat{o}\acute{e}$ $\acute{e}\acute{y}\hat{d}\hat{e}\hat{i}\hat{a}\hat{a}\acute{e}$.

А́о $\hat{i}\hat{a}\hat{d}\hat{e}\hat{a}\hat{c}\hat{e}\acute{e}$ $\acute{y}\acute{k}\text{лар}\hat{i}\hat{e}$ u $\hat{a}\hat{a}$ v , $\acute{a}\acute{e}\acute{e}\hat{a}\hat{i}$ $\hat{a}\acute{e}\hat{i}\hat{a}\hat{o}\hat{o}\hat{e}\hat{d}\hat{e}\hat{a}$ $\acute{o}\acute{e}\hat{a}\hat{d}$ $\acute{o}\hat{d}\hat{o}\hat{i}$ $\acute{e}\acute{i}\hat{a}\hat{d}\hat{o}\acute{e}\acute{y}$ $\hat{i}\hat{i}\hat{a}\hat{i}\hat{o}\acute{e}\hat{a}\hat{d}\hat{e}\hat{i}\hat{e}$ $\text{к}\acute{o}\acute{e}\hat{a}\hat{a}\hat{a}\hat{e}\hat{d}\hat{e}\hat{d}\hat{e}\hat{a}$ $\acute{a}\hat{c}\hat{a}\hat{i}\hat{e}\hat{c}$:

$$I_u = I_z \cos^2 \alpha_0 + I_y \sin^2 \alpha_0 - I_{yz} \sin 2\alpha_0 \quad (34)$$

$$I_v = I_z \sin^2 \alpha_0 + I_y \cos^2 \alpha_0 + I_{yz} \sin 2\alpha_0 \quad (35)$$

А́о $\acute{e}\hat{o}\hat{i}\hat{a}\hat{a}\acute{e}\hat{a}\hat{d}\hat{i}\hat{e}$ $\text{кў}\hat{o}\hat{e}\hat{a}$ $\hat{a}\hat{a}$ $\acute{a}\acute{e}\acute{d}\acute{e}\hat{a}$ $\text{куй}\hat{a}\hat{a}\hat{a}\hat{e}\hat{e}\hat{a}\hat{d}\hat{i}\hat{e}$ $\hat{i}\hat{e}\hat{a}\hat{i}\hat{e}\hat{c}$.

$$I_u + I_v = I_z + I_y = I_p \quad (36)$$

$$I_u - I_v = (I_z - I_y) \cos 2\alpha_0 - 2I_{yz} \sin 2\alpha_0 \quad (37)$$

(36) $\hat{a}\hat{a}$ (37) $\acute{e}\hat{o}\hat{i}\hat{a}\hat{a}\acute{e}\hat{a}\hat{d}\hat{a}\hat{i}$ $\hat{o}\hat{i}\hat{a}\hat{i}\hat{e}\hat{c}$.

$$I_u = \frac{1}{2} \left[(I_z + I_y) + (I_z - I_y) \frac{1}{\cos 2\alpha_0} \right] \quad (38)$$

$$I_v = \frac{1}{2} \left[(I_z + I_y) - (I_z - I_y) \frac{1}{\cos 2\alpha_0} \right] \quad (39)$$

А́о $\hat{a}\hat{d}\hat{a}\hat{a}\hat{a}\hat{e}$ $\frac{1}{\cos 2\alpha_0} = \pm \sqrt{1 + \tan^2 2\alpha_0} = \pm \sqrt{1 + \frac{4I_{yz}^2}{(I_z - I_y)^2}}$ $\acute{a}\acute{e}\acute{e}\hat{a}\hat{i}$ $\hat{a}\acute{e}\hat{i}\hat{a}\hat{o}\hat{o}\hat{e}\hat{d}\hat{e}\hat{a}$ $\hat{i}\hat{a}\hat{e}\hat{n}\hat{e}\hat{i}\hat{a}\acute{e}$ $\hat{a}\hat{a}$ $\hat{i}\acute{e}\hat{i}\hat{e}\hat{i}\hat{a}\acute{e}$ $\acute{e}\acute{i}\hat{a}\hat{d}\hat{o}\acute{e}\acute{y}$ $\hat{i}\hat{i}\hat{a}\hat{i}\hat{o}\acute{e}\hat{a}\hat{d}\hat{e}$ $\acute{o}\hat{d}\hat{o}\hat{i}$ $\text{куй}\hat{i}\hat{i}\hat{a}\hat{a}\hat{a}\hat{e}$ $\acute{e}\hat{o}\hat{i}\hat{a}\hat{a}\acute{e}\hat{a}\hat{d}\hat{i}\hat{e}$ $\hat{i}\hat{e}\hat{a}\hat{i}\hat{e}\hat{c}$.

$$I_u = \frac{1}{2} \left[(I_z + I_y) + \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4I_{yz}^2} \right] \quad (40)$$

$$I_v = \frac{1}{2} \left[(I_z + I_y) - \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4I_{yz}^2} \right] \quad (41)$$

Ўз-ўзини текшириш саволлари:

1. Кесимни ўқларга нисбатан статик моменти деб нимага айтилади?
2. Статик моментни улчов бирлиги нимада ифодаланади.
3. Кесим огирлик марказидан ўтган ўқларга нисбатан статик моментлар нимага тенг бўлади?
4. Кесимни ўқларга нисбатан инерция моментлари деб нимага айтилади?
5. Инерция моментини улчов бирлиги нимада ифодаланади?

6. Ўқларга нисбатан олинган инерция моментларининг йигиндиси нимага тенг бўлади?
7. Ўқлар параллел кўчирилганда инерция моментларини аниқлаш формулаларини чиқаринг?
8. Ўқлар бурилганда инерция моментларини аниқлаш формулаларини ёзинг?
9. Бош ўқлар деб қандай ўқларга айтилади ва бош ўқлар ҳолати қандай формула бўйича топилади?
10. Бош инерция моментларини аниқлаш формулаларини ёзинг?
11. Бош инерция моментлари йигиндиси нимага тенг бўлади?

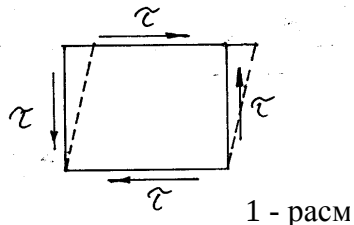
4 - МАЪРУЗА: СИЛЖИШ ВА БУРАЛИШ

Дăæà:

1. Соф силжиш ҳақида тушунча.
2. Соф силжишда Гук қонуни.
3. Чўзилиш ва силжишда эластиклик модуллари ўртасидаги боғланиш.
4. Силжишга ишлайдиган бирикмаларнинг амалий ҳисоби.
5. Тўғри ўқли стерженни буралиши.
6. Доиравий кесимли стерженнинг буралишида кучланиш ва деформация.

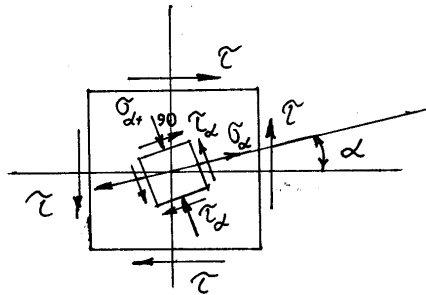
Таянч сўз ва иборалар: уринма кучланишлар, қия кесимдан кучланишлар, силжиш бурчаги, силжишдаги эластиклик модули, парчин мих, қирқиладиган кесимлар, эзиладиган кесимлар, пайванд чоклар, буровчи момент, бурилиш бурчаги, силжиш бурчаги, силжишда Гук қонуни, уринма кучланиш.

1. Нуқтанинг деформацияланган ҳолатини текширганда параллелопипеднинг шундай ҳолати мавжудлигини яони унинг юзаларига фақат уринма кучланишлар таосир қилишини кўрган эдик, (1-расм).



1 - расм

Соф силжиш деганда маолум йўналишларда олинган ўзаро перпендикуляр иккита юзачага фақат уринма кучланишларгина таосир этадиган тёкис кучланиш ва деформацияланиш ҳолати тушунилади. Бу юзачалар соф силжиш юзачалари дейилади, (2-расм):



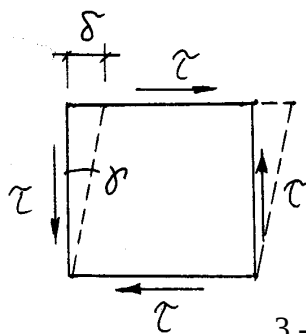
2 - расм

$$\sigma_{\alpha} = \tau \sin 2\alpha \quad (1) \quad \tau_{\alpha} = \tau \cos 2\alpha \quad (2)$$

(1) формуладан кўринадики $\alpha=0$ бўлганда $\sigma_{\alpha}=0$ бўлиб қолган ҳолатда маолум бурчакка бурилганда $\sigma_{\alpha}=0$ бўлади.

Соф силжишда $\alpha=45^0$ ва $\alpha=135^0$ бўлганда максимал нормал кучланиш $\sigma_\alpha = \tau$; $\sigma_{\alpha+90} = -\tau$ бўлади.

Соф силжишда сиқувчи ва чўзувчи бош кучланишлар ўзаро ва миқдор жиҳатдан экстремал уринма кучланишларга тенг бўлади. Бош кучланишлар соф силжиш юзасига нисбатан 45^0 бурчак остида жойлашган бўлади.



3 - расм

2. Соф силжиш ҳолатида бўлган элементни кўрамыз.

$$\delta = \gamma \cdot a \Rightarrow \gamma = \frac{\delta}{a} \quad (3)$$

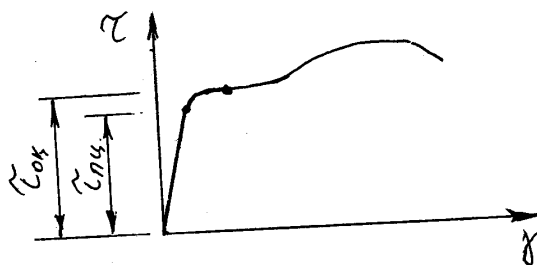
γ - силжиш бурчаги дейилади.

Маолум чегараларда силжиш деформацияси эластик бўлиши ва у уринма кучланишга пропорционал бўлиши тажриба йўли билан аниқланган.

$$\gamma = \frac{\tau}{G}; \Rightarrow \tau = G\gamma \quad (4)$$

Ушбу ифода силжишдаги Гук қонуни дейилади. Уринма кучланиш билан силжиш бурчаги орасидаги пропорционаллик коэффициентини G силжишдаги эластиклик модули деб юритилади.

Пўлат учун силжиш деформациясининг τ - γ типик диаграммаси чўзилишдаги σ - ϵ диаграммасига ўхшаш бўлади, (4-расм)



4 - расм

Кўпгина материаллар учун

$$\tau_{\sigma\kappa_1} = \frac{\sigma_{\sigma\kappa}}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

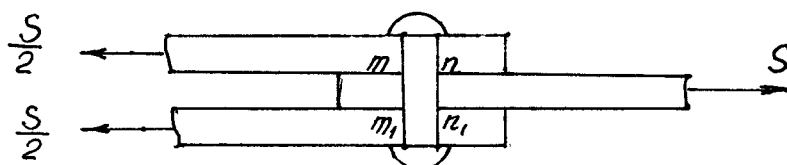
3. Эластик материаллар учун силжишдаги эластиклик модули билан чўзилишдаги эластиклик модули орасида боғланиш мавжуд. Бу боғланиш кўйидагича езилади:

$$G = \frac{1}{2(1+\mu)} E \quad (6)$$

μ - Пуассон коэффиценти.

Юкоридаги формуладан кўринадики E ва μ маолум бўлса G ни топиш мумкин бўлади, бу қиймат тажриба йўли билан топилган қийматга мос тушади.

4. Бир - бири билан парчин мих ёрдамида ёки пайванд чок ёрдамида бириктирилган, элементлар силжиш деформациясига учрайди, (5-расм).



5 - расм

Учта листни бириктирувчи якка парчин михни ишини кўриб чиқамиз.

Парчин мих $m-n$ ва m_1-n_1 кесимлари бўйлаб қирқилади. У икки жойидан қирқиладиган парчин мих дейилади. Парчин михни қирқилиш шартига чидаш берадиган чегаравий куч S_K ни топамиз. Бунда листлар сезиларли даражада силжиб, парчин мих қирқиладиган кесимларда оқувчанлик пайдо бўладиган ҳолатни оламиз.

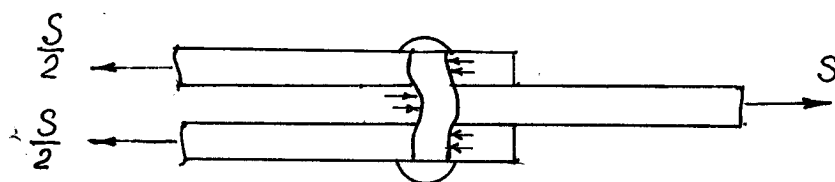
Оқувчанлик пайтида қирқиладиган кесимнинг ҳар бир нуқтасидаги кучланиш ҳисобий оқувчанлик чегарасига етади деб ҳисобланади, бу кучланишни $R_{\hat{u}}$ деб белгилаймиз.

$$S_K = F_{\hat{u}} \cdot R_{\hat{u}} \quad (7)$$

$$F_{\hat{u}} = 2 \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

$$S_{\hat{u}} = \frac{\pi d^2}{4} R_K \quad (8)$$

Нисбатан юпка листлар ўзаро бириктирилганда қирқилишдан ташқари листлар ёки парчин михларнинг контактда бўлган жойлари эзилиши туфайли бирикма бўзилиши мумкин, (6-расм):



6 - расм

$$F_{\text{г}}^{\min} = d \sum \delta \quad (9)$$

$$S_{\text{г}} = F_{\text{г}}^{\min} \cdot R_{\text{г}} \quad (10)$$

$R_{\text{г}}$ - эзувчи шартли кучланишнинг ҳисобий киймати.

Парчин мих учун қирқилиш ва эзилиш бўйича топилган иккита кучдан кичиги ҳисобий бўлади.

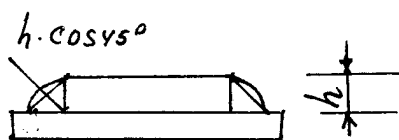
Агар бирикмага N кучи таосир қилса зарур парчин михлар сонини топиш мумкин. Бу куч парчин михлар орасида тەкис тақсимланган деб қаралади.

$$n = \frac{N}{S_{\min}} \quad (11)$$

$S_{\min}$ - битта парчин мих чидаш берадиган чегаравий ҳисобий куч.

Агар элементлар пайвандлаш орқали бириктирилган бўлса, унда қирқиладиган юза

$$F_{\kappa} = 2lh \cos 45^{\circ} \approx 1.4lh$$



7 - расм

Мустаҳкамлик шартини тўзишда чокнинг қирқилиш юзаси бўйлаб уринма кучланишлар тەкис тақсимланган деб таомин қилинади.

$$\frac{N}{F_{\kappa}} = \frac{N}{1.4lh} \leq R_{\delta}^n \quad (12)$$

R_δ^n - бурчак пайванд чок материалининг қирқилишига кўрсатадиган ҳисобий қаршилиги.

Ўз-ўзини текшириш саволлари:

1. Соф силжиш деб нимага айтилади?
2. Соф силжишда қия кесимларда қандай кучланишлар ҳосил бўлади?
3. Соф силжишда Гук қонунини ёзинг?
4. Соф силжишда эластик модуллари уртасида қандай боғланиш мавжуд?
5. 3 та листни бирикишидан ҳосил бўлган элементларда қирқувчи куч миқдори қандай формула бўйича топилади?
6. Листларни эзилишидан ҳосил бўлувчи эзувчи куч миқдори қандай топилади?
7. E ва Q орасида қандай боғланиш бор?
8. Пуассон коэффиценти нима?
9. Парчин миҳ ҳисоби қандай бажарилади?
10. Силжишдаги мустаҳкамлик шартининг формуласи.
11. Қандай материалларда силжиш кам миқдорда бўлади?

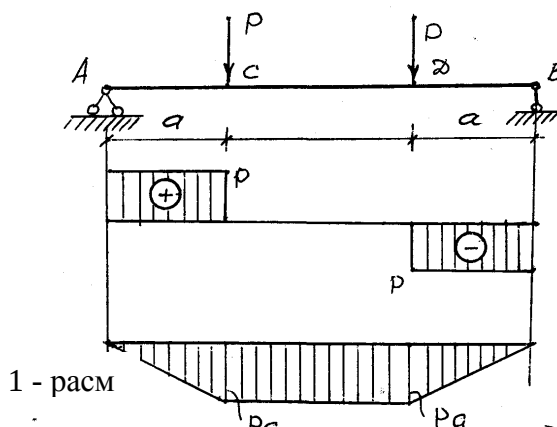
5 – МАЪРУЗА: Тўғри ўқли бруснинг эгилиши.

Режа:

1. Соф эгилиш. Асосий гипотезалар ва чекланишлар.
2. Нормал кучланишларни аниқлаш.
3. Тёкис шаклларнинг қаршилиқ моментлари.
4. Балкаларни нормал кучланиш бўйича мустаҳкамликка текшириш.
5. Кўчишлар. Мор интеграл
6. Верешагин усули

Таянч сўз ва иборалар: Соф эгилиш, кўндаланг эгилиш, нормал кучланишлар, Бернулли гипотезаси, нейтрал ўқ, бўйлама деформация, кесим қаршилиқ моменти, эгилишда мустаҳкамлик шарти, кесим танлаш, кўчишлар, кўчишларни ҳисоблашни Мор усули, Верешагин усули.

1. Эгилишда бруснинг кўндаланг кесим юзасида эгувчи момент ва кўндаланг куч пайдо бўлади. Фараз қилайлик балка берилган. Унинг кўндаланг кесимларида эгувчи момент ва кесувчи куч ҳосил бўлади. Балканинг СД участкасида эгувчи момент ўзгармас миқдорга эга бўлади, бу участкадаги эгилиш соф эгилиш дейилади. Балканинг АС ва ДВ участкаларида эгувчи моментлар ўзгарувчи момент бўлиб, кесувчи куч нолга тенг эмас. Бу участкалардаги эгилиш кўндаланг эгилиш деб юритилади (1-расм).



Балкага таосир этувчи кучлар балканинг бош тەкисликларидан бирида ётгани учун унинг ҳамма участкаларида Тўғри эгилиш содир бўлади.

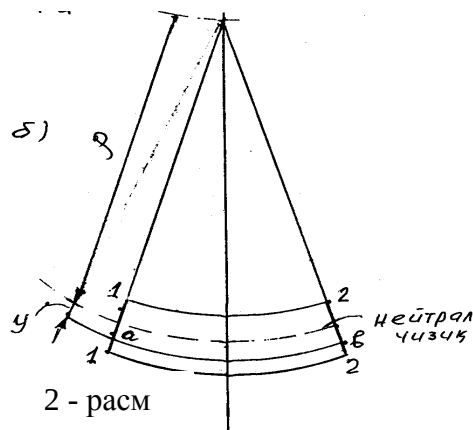
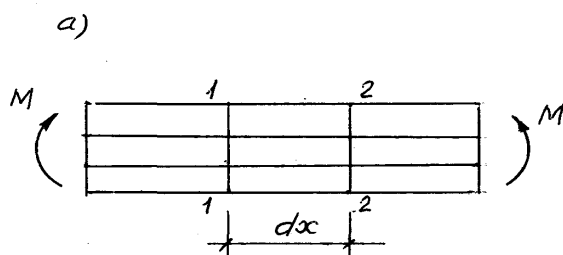
Балканинг кўндаланг кесимларидаги кучланишларини тақсимланиши қонуни статика тенгламаларининг ўзи билан топиб бўлмайди. Шунинг учун бу масалани ечишда қуйидаги гипотеза ва чекланишлар қабул қилинади.

а) Балкага чизилган кўндаланг Тўғри чизиқлар деформациядан кейин ҳам Тўғрилигича қолади. Бу ҳол балкалар учун Бернулли гипотезасини қўллаш мумкин эканлигини кўрсатади.

Бернулли гипотезаси: Балканинг деформациягача тەкис бўлган кўндаланг кесим юзаси деформациядан кейин ҳам тەкислигича қолади.

б) Алохида олинган толалар бир-бирига босим кўрсатмайди.

2. Соф эгилишда бруснинг кўндаланг кесим юзасида кучланишларни тақсимланиш қонунини урганамиз. Масалани ечиш учун статика шартларига деформация шартларини ҳам қўшиш лозим.



2 - расм

Балкани деформациялангандан кейинги ҳолатини текшириб қуйидаги ҳолларни кўрамыз

а) балкага чизилган 1-1 , 2-2 чизиклар деформациядан кейин ҳам Тўғрилигича қолади. Бу Бернулли гипотезасини қўллаш мумкинлигини кўрсатади.

б) балканинг ковариат томонидаги толаси чўзилиб ботик томонидаги толаси сиқилади. Улар орасида шундай тола бўладики у чўзилмайди ҳам сиқилмайди. Ушбу тола ётган қават нейтрал қават деб, бу қават тەкислиги билан балка кўндаланг кесим ўқи кесишишидан ҳосил бўлган чизик нейтрал ўқ деб юритилади.

ав толани деформациясини текширамыз.

$$\Delta dz = (p + y)d\varphi - pd\varphi = yd\varphi \quad (1)$$

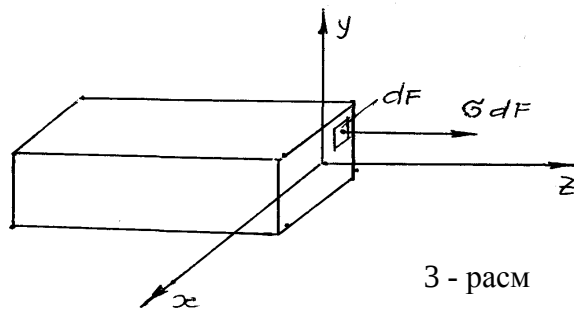
Нисбий чўзилишни топамиз.

$$E = \frac{\Delta dz}{dz} = \frac{yd\varphi}{dz} = y \frac{d\varphi}{dz} = y \frac{1}{p} \quad (2)$$

Толалар бир-бирига босим кўрсатмайди деб олинган гипотезага асосланиб гўқ қонунидан фойдаланиш мумкин.

$$\sigma = \varepsilon E = \frac{Y}{p} \quad (3)$$

Нейтрал чизик ҳолатини аниқлаймиз. Бунинг учун элементар юзачадаги кучларнинг мувозанатини текширамыз, (3-расм):



$$\sum Z = 0 ; \quad \mu = \int_f \sigma_z dF = 0 \quad (4)$$

ёки $\int_F \frac{EY}{\rho} dF = \frac{E}{\rho} \int_F Y dF = 0$ бу ифодадан $\int_F Y dF = 0$ бўлади.

Интеграл остидаги ифода кесим юзасидан ОХ ўқиға нисбатан олинган статик моментни ифодалайди.

Демак соф эгилишда нейтрал ўқ кесим огирлик марказидан утади.

$$\sum M_x = 0; \quad M_x = \int_F \delta dF y = 0 \quad (5)$$

$$M_x = \int_F \frac{E}{\rho} y^2 dF = \frac{E}{\rho} \int_F y^2 dF = \frac{EI_x}{\rho} \quad (6)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_x}{EI_x}$$

Бу ифодани (3) ифодага кўямиз.

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} \cdot y \quad (7) \text{ бу формула ёрдамида кўндаланг кесимнинг исталган}$$

нуқтасидаги кучланишни топиш мумкин.

$$\sum M_z = 0 ; \quad M_z = \int_F X(\delta dF) = 0 ;$$

$$\int_F x \frac{E}{\rho} y dF = \frac{E}{\rho} \int_F xy dF \quad (8)$$

Демак ОХ ва ОУ ўқлар марказий бош ўқлар ҳисобланади.

Ўтказилган текширишлар соф эгилишда нормал кучланишни аниқлаш учун олинган формуладан кўндаланг эгилишда нормал кучланишларни аниқлашда ҳам фойдаланиш мумкинлигини кўрсатади.

Кўндаланг эгилишда кесимда кесувчи кучни ҳосил бўлиши кесим юзасини эгри юзага айлантиради, аммо бу эгриланиш икки қўшни кесимлар орасидаги элемент толаларининг бўйлама деформациялари ҳарактерини ўзгартирмайди. Бу ҳол Бернулли гипотезасига Тўғри келмаса ҳам, бироқ кесувчи кучнинг нормал кучланишига таосири жуда кам эканлигини аниқ ҳисоблар тасдиқлайди. Эгувчи момент ўзгарувчан бўлганлиги учун Нормал кучланишни аниқлаш формуласи қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\sigma_t = \frac{M_x}{I_x} \cdot y \quad (9)$$

Ушбу формуладан кўринадики энг катта чўзувчи ва сикўвчи кучланишлар нейтрал ўқдан энг ўзоқ масофадаги нуқталарда ҳосил бўлади.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{I_x} \cdot y_{\max} \quad (10)$$

Бу ифодани қуйидаги кўринишда ёзамиз.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} \quad (11) \quad W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} \quad (12)$$

W_x - кесим қаршилик моменти деб юритилади.

2. Турли шаклдаги кўндаланг кесим юзаларининг балкани нейтрал ўқига нисбатан қаршилик моментларини топамиз.

а) Тўғри туртбурчак. $W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} = \frac{bh}{12 \cdot h/2} = \frac{bh^2}{6} ; \quad W_y = \frac{b^2h}{6}$

б) Квадрат $W_x = W_y = \frac{a^3}{6} \quad a=b=h$

в) доира $W_x = W_y = \frac{\pi d^3}{32} \quad W_\rho = \frac{\pi d^3}{16}$

г) халка $W_x = W_y = \frac{\pi D^3}{32} (1 - C^4) ; \quad C = \frac{d}{D}$

Пулатдан ясалган прокат буюмлар учун қаршилик моментларининг кийматлари ГОСТ жадвалларида берилган.

4. Эгилишда балка етарли мустаҳкамликка эга бўлиши учун максимал нормал кучланишлар балка материали учун рухсат этилган кучланишдан ортиб кетмаслиги шарт.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma] \quad (13)$$

$M_{\max}$ - балкани хавфли кесимидаги эгувчи момент.

$[\sigma]$ - балка материали учун рухсат этилган кучланиш.

Агар балка материали чўзилиш ва сиқилиш учун ҳар хил қаршилик кўрсатадиган бўлса, яъни мурт материалдан ясалган бўлса ва кесим шакли нейтрал ўққа нисбатан носимметрик бўлса мустаҳкамлик шартини зоналар учун алоҳида тўзилади.

$$(\sigma_{\max})_r = \frac{M_{\max}}{W_1} \leq [\sigma_4] \quad (14)$$

$$(\sigma_{\max})_c = \frac{M_{\max}}{W_2} \leq [\sigma_c] \quad (15)$$

бу ерда ; σ_4 -чўзилишдаги рухсат этилган кучланиш.

σ_c -сиқилишдаги рухсат этилган кучланиш.

$$W_1 = \frac{I_x}{h_1} ; \quad W_2 = \frac{I_x}{h_2}$$

Балкани мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб уч хил кўринишдаги масалани ечиш мумкин.

а) Агар балкага кўйилган кучлар ва балканинг ўлчамлари маолум бўлса, хавфли кесимдаги кучланиш топилиб рухсати этилгани билан солиштириб мустаҳкамлик текширилади.

$$\sigma_{\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma] \quad (16)$$

б) Агар балка материали ва унинг ўлчамлари маолум бўлса балка кўтара оладиган кучни топиш мумкин бўлади.

$$M_{\max} = [\sigma] \cdot W_x \quad (17)$$

г) Агар балка материали ва унга кўйилган кучлар маолум бўлса балка мустаҳкамлигини таоминловчи геометрик ўлчамлар топилади.

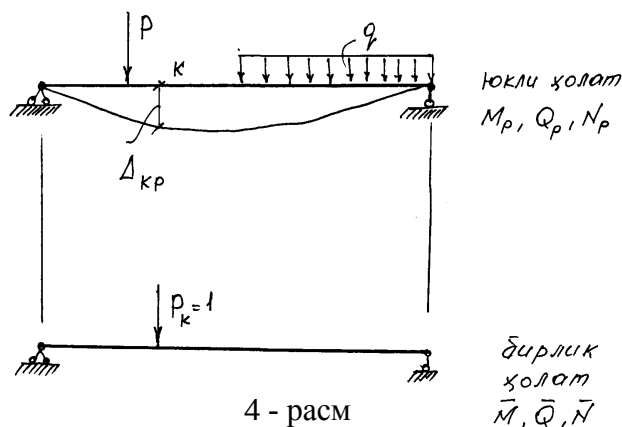
$$W_x \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} \quad (18)$$

Деформацияланувчи ихтиёрий кучлар билан юкланган системани кўчишини топиш учун чиқарилган универсал метод билан танишамиз. Бу метод машхур немис олими Мор томонидан яратилган.

Балкани кўйилган кучлар билан юкланган ҳолатини юкли ҳолат дейилади ва унда ҳосил бўлувчи ички кучларни мос равишда M_p, N_p ва Q билан p белгилаймиз.

Балкадаги кўчиш топиладиган кесимга кўйилган бирлик куч (бирлик момент) ҳолатини бирлик ҳолат дейилади ва унда ички кучларни мос равишда M_k, N_k, Q_k белгилаймиз. Бирлик ҳолатдаги кучни юкли ҳолатидаги кўчишларда бажариладиган ишни ёзамиз.

$$A_{kp} = P_k \Delta_{kp} = \Delta_{kp}$$



Бажарилган иш Акрни ички кучлар орқали ифодалаб кўчишни аниқлаш учун куйидаги формулани оламиз.

$$\Delta_{kp} = \int_0^{\lambda} \frac{M_k M_p}{EI_x} dz + \int_0^{\lambda} \frac{N_k N_p}{EF} dz + \mu \int_0^{\lambda} \frac{Q_k Q_p}{GF} dz \quad (19)$$

Бу формула универсал формула бўлиб у ёрдамида барча системалардаги кўчишларни топиш мумкин, у Мор интегралли ҳам деб юритилади. Баози ҳолларда Мор формуласини соддалаштирилган ҳолдаги кўринишида қўлланилади. Балка ва рамаларда кўчишларни аниқлашда, Мор формуласи куйидаги кўринишда қўлланилади:

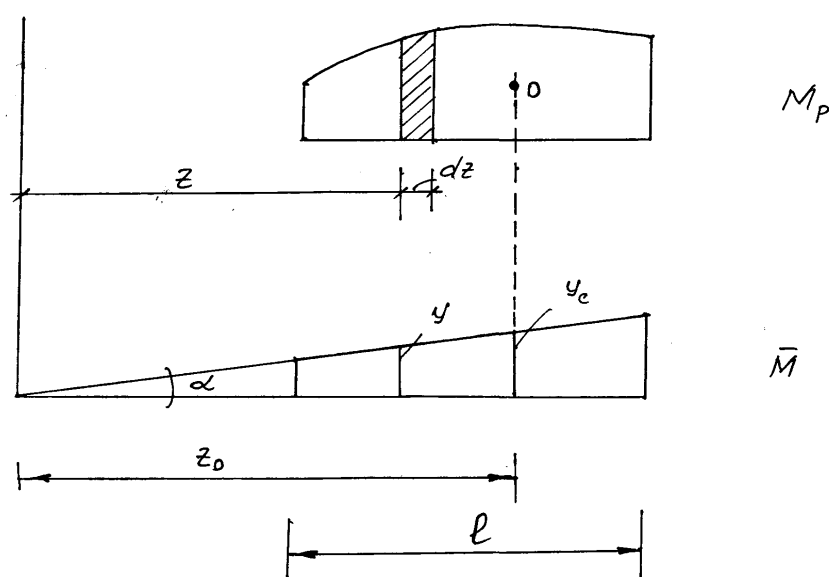
$$\Delta_{kp} = \int_0^{\lambda} \frac{M_k M_p}{EI_x} dz \quad (20)$$

Фермаларда кўчишларни аниқлашда Мор формуласи куйидаги кўринишда қўлланилади:

$$\Delta_{kp} = \int_0^{\lambda} \frac{N_k N_p}{EF} dz = \sum \frac{N_k N_p}{EF} \cdot \lambda \quad (21)$$

Мор формуласига кирган интеграл $\int_0^{\lambda} M_k M_p dz$ Мор интегралли деб юритилади.

Мор интеграллини бевосита ҳисоблаш ёки жадваллардан топиш урнига, унинг графоаналитик усулда ҳисоблаш мумкин. Бу усул биринчи марта А.Н.Верещагин томонидан 1924 йилда тавсия этилган (5-расм).



5 - расм

$$\int_0^{\lambda} \frac{M_k M_p}{EI_x} dz = \frac{1}{EI_x} \int_0^{\lambda} M_k M_p \cdot dz \quad (22)$$

$$\int_0^{\lambda} M_k M_p \cdot dz = \int_0^{\lambda} M_k dw = tg \alpha \cdot dw = tg \alpha \cdot S_y = tg \alpha \cdot Z_0 \cdot w = w_p \cdot y_c$$

$$\int_0^{\lambda} \frac{M_k M_p}{EI_x} dz = \frac{w_p y_c}{EI_x}$$

$$\Delta_{kp} = \sum \frac{w_p y_c}{EI_x} \quad (23)$$

w_p - ҳар бир участкага Тўғри келган ташқи кучдан ҳосил бўлган эгувчи момент эпюрасининг юзаси;

y_c - шу участкадаги бирлик кучдан кўрилган эгувчи моментнинг ташқи куч эпюрасининг огирлик марказига Тўғри келган ординатаси.

Ўз-ўзини текшириш саволлари:

1. Соф эгилиш ва кўндаланг эгилиш деб нимага айтилади?
2. Нейтралг ўқ деб нимага айтилади ва у қандай жойлашган бўлади?
3. Соф эгилишда нормал кучланишни аниқлаш формуласини ёзинг, кесим баландлиги бўйича нормал кучланиш қандай ўзгаради?
4. Эгилишда қаршилиқ моменти деб нимага айтилади ва уни улчов бирлиги нимада ифодаланади?
5. Эгилишда мустаҳкамлик шартидан фойдаланиб қандай масалаларни ечиш мумкин?
6. Эгилгандаги бруснинг чўзилувчи зонаси нима?
7. Эгилган тўсиннинг толалари зичланади?
8. Брус соф эгилганда буровчи момент ҳам содир бўладими?
9. Эгилиш бикрлигини кўрсатувчи формулани ёзинг.
10. Кўндаланг эгилишдаги нормал кучланиш қандай ифодаланади?
11. Темир-бетон тўсиннинг арматураси қандай жойлаштирилади?
12. Мор формуласи ёрдамида кўчишлар қандай аниқланади?
13. Верешагин усулида эпюралар бир-бири билан қандай кўпайтирилади?
14. Верешагин усули билан Мор формуласи орасидаги фарқ нима?
15. Верешагин ким бўлган ва кўчишларни ҳисоблаш формуласини қачон яратган?
16. Верешагингача кўчишларни ҳисоблаш формуласи бўлганми?
17. Бирлик кўчишлар нима?

6 - МАЪРУЗА: Оддий статик ноаниқ системалар ҳисоби.

Режа:

1. Эгилишга ишлайдиган оддий статик ноаниқ системалар. Куч усули
2. Статик ноаниқлик даражаси
3. Асосий система танлаш.
4. Куч усулининг каноник тенгламалари.

Таянч сўз ва иборалар: Ортикча боғланишлар, статик ноаниқлик даражаси, берилган ва асосий система, куч усули, Каноник тенгламалар.

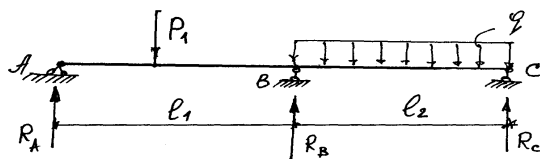
1. Агар балкага таосир этувчи кучлар битта тёкисликда ётса, балкани маҳкамлаш учун зарур бўлган минимал боғланишлар сони учтага тенг бўлади. Бу учта боғланиш абсолют зарур ҳисобланади. Боғланишлардан бирортасининг олиб ташлаши натижасида балка геометрик ўзгарадиган

системага (механизмга) айланади, яъни системанинг стерженлари деформацияланмаса ҳам унинг нуқталари кўчиши мумкин бўлади.

Тёкис кучлар системаси учун учта мувозанат тенгламаси тузиш мумкин бўлганлигидан, абсалют зарур боғланишларнинг реакциялари фақат статика мувозанат тенгламалари ёрдамида топилиши мумкин. Бундай боғланишлар билан маҳкамланган балка статик аниқ балка дейилади.

Практикада геометрик ўзгармаслиги учун зарур бўлгандан кўпроқ боғланишлар билан маҳкамланган балкалар учрайди. Бунда унинг баъзи боғланишлари ортиқча бўлади. Ортиқча боғланишлари бўлган балкаларда барча реакцияларни фақат мувозанат тенгламалари ёрдамида топиб бўлмайди. Бундай балкалар статик ноаниқ балкалар дейилади.

Ортиқча боғланишга эга бўлган статик ноаниқ балкаларни ҳисоблашда куч усулини қўллаш мумкин.



1 - расм

2. Ортиқча номаолумлар сони системанинг статик ноаниқлик даражасини билдиради. Масалан, шаклда кўрсатилган балканинг таянч реакциялари сони 4 та статиканинг тەкисликдаги мувозанат тенгламалари сони учта бўлганлигидан балканинг статик ноаниқлик даражаси бирга тенг. Балкани статик ноаниқлик даражасини аниқлашда қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

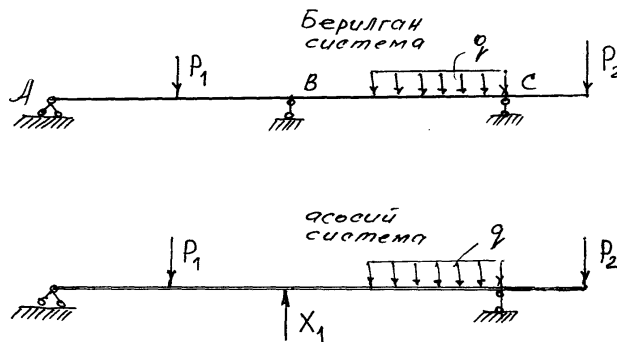
$$n = C_T - 3 \quad (1)$$

Бу ерда: C_T – балка таянч стерженларининг сони.

3. Берилган системадаги ортиқча боғланишларни ташлаб юбориб уларнинг таосирини номаолум кучлар $X_1, X_2, \dots, X_n$ лар билан алмаштириб янги система ҳосил қиламиз. Бу система статик аниқ геометрик ўзгармас бўлиши шарт.

Масалан: балка битта ортиқча боғланишга эга, «В» таянч боғланишини ташлаб юбориб уни таосирини номаолум куч X_1 билан алмаштирамиз. Берилган балка учун бу асосий система бўлади. Асосий системани ҳар хил вариантларда танлаш мумкин. Уларнинг ичидан энг оптимал вариант олинади, бу вариант бошқаларга нисбатан ҳисоблаш ишларини осонлаштириши лозим.

4. Ортиқча номаолум $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ларни топиш учун системанинг деформацияланиш шартидан фойдаланилади. Бунинг маноси қуйидагича:

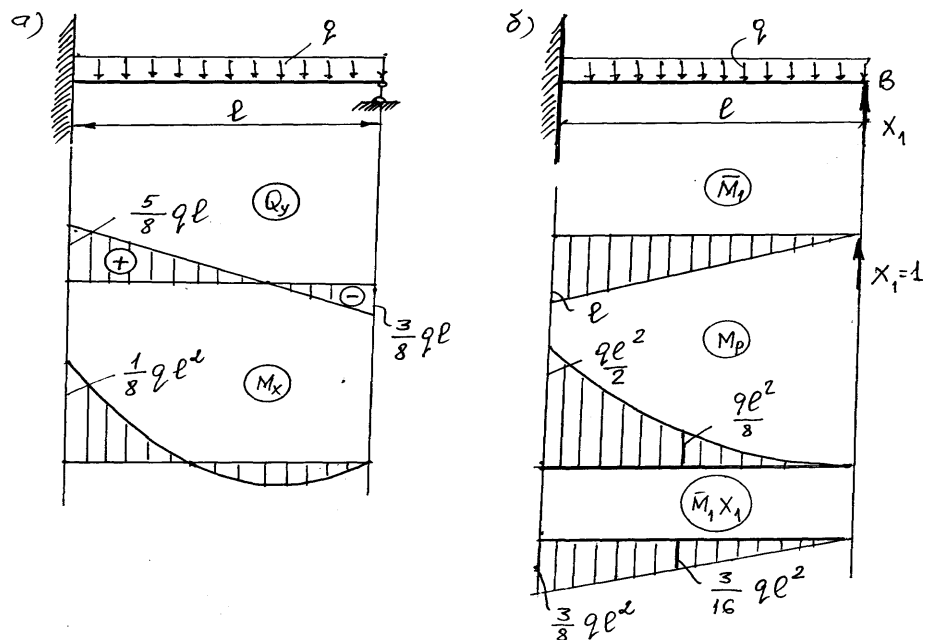


2 - расм

Асосий система берилган юк, ортиқча номаолумлар таосиридан худди берилган статик ноаниқ балкага ўхшаш деформацияланади, яъни тузилган тенгламалар асосий системанинг кўчишлари боғланишлари ташлаб юборилган системага қўйилган чекланишларга мос келиш шартини ифодалайди. Бу тенгламаларни деформация тенгламалари деб атаймиз.

Ортиқча номаолумлар топилгач, мувозанат тенгламалари ёрдамида қолган номаолум реакциялар топилади ва сўнггра ички кучлар аниқланади.

Қуйидаги оддий мисолда статик ноаниқ системани ҳисоблашни кўрамиз. Балкани статик ноаниқлик даражасини топамиз $n = C_T - 3 = 4 - 3 = 1$. Балка битта ортиқча боғланишга эга. Унинг В таянч боғланишини ташлаб юбориб, унинг таосирини X_1 кучи билан алмаштириб асосий система танлаймиз. (3-расм)



3 - расм

Куч усулини каноник тенгламаси асосий системада X_1 кучи йўналишида ҳосил бўладиган кўчишларни нолга тенг бўлиш шартидан фойдаланиб тузилади.

$$\Delta_{1(X_1, P)} = \Delta_{1, X_1} + \Delta_{1P} = \delta_{11} X_1 + \Delta_{1P} = 0 \quad (2)$$

бу ерда: $\Delta_{1,x}$ - В нуктанинг X_1 куч йўналишида номаолум куч X_1 таосиридан кўчиши;

- В нуктанинг Номаолум X_1 куч йўналишида P куч таосиридан кўчиши, ушбу ҳолда P индекс остида q нагрўзка тушинилади.
- Каноник тенглама коэффицентларини топишда Мор формуласидан кенг фойдаланилади.

$$\delta_{11} = \int \frac{\overline{M_1^2}}{EI_x} dz ; \quad \Delta_{1P} = \int \frac{\overline{M_1 M_P}}{EI_x} dz \quad (3)$$

Кўчишларни ҳисоблашда Верешчагин усулидан фойдаланиш ҳисоблашни осонлаштиради.

$$\delta_{11} = \left(\overline{M_1} \right) \left(\overline{M_1} \right) - \frac{l^3}{3EI} ; \quad \Delta_{1P} = - \frac{qe^4}{8EI} \quad (4)$$

Топилган кўчишларни кийматлари Каноник тенгламага кўйилиб номаолум X_1 кучни киймати топилади.

$$\frac{l^3}{3EI} X - \frac{ql^4}{8EI} = 0 \Rightarrow X_1 = \frac{3}{8} ql \quad (5)$$

Ички кучларни аниқлашда X_1 кучи ташқи кучлар билан биргаликда ҳисобга олиниб M ва Q лар аниқланади ва уларни эпюралари кўрилади.

Эгувчи моментни эпюрасини кўришда қуйидаги формуладан фойдаланиш ҳам мумкин.

$$M_x = \overline{M_1} X_1 + M_P$$

$\overline{M_1} X_1$ - ифода тузатилган эпюра деб юритилади. У $\overline{M_1}$ эпюрасининг барча ординаталарини X_1 нинг топилган кийматига кўпайтириб кўрилади. Кўриниб турибдики M_x эпюраси $\overline{M_1} X_1$ ва M_P ординаталарини ҳарактерли кесимлар бўйича алгеброик йигиндиси сифатида топилади.

Ўз-ўзини текшириш саволлари:

1. Қандай системаларга статик ноаниқ системалар деб айтилади?
2. Статик ноаниқлик даражаси деб нимага айтилади?
3. Асосий система деб қандай системага айтилади?
4. Куч усулини каноник тенгламаси қандай тузилади ва унинг физик маъноси нимани билдиради?
5. Каноник тенглама коэффицентлари қандай аниқланади?
6. Ортиқча боғланишлар топилгандан сўнг ички кучлар қандай аниқланади?
7. Бирлик кўчишлар қандай топилади?
8. Ташқий кучдан кўчиш қандай ҳисобга олинади?
9. Бирлик эпюра нима?
10. Ташқи кучдан эпюра қандай қурилади?

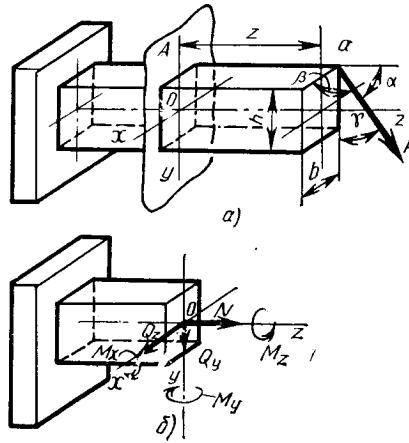
7- Маъруза: МУРАККАБ ҚАРШИЛИК

Режа:

1. Умумий ҳолда юкланган стержендаги ички кучларни аниқлаш.
2. Мураккаб қаршиликда кучланишлар ва мураккаб деформациянинг кўринишлари.
3. Синиқ ўқли стерженларда ички кучларни аниқлаш.
4. Ички кучлар ва кучланишларни аниқлаш.
5. Қийшиқ эгилишда брус кўндаланг кесимидаги нолр чизикнинг ҳолатини аниқлаш.
6. Қийшиқ эгилишдаги кўчишлар.

Таянч сўз ва иборалар: ички кучлар, мураккаб қаршилик, кучланишлар, қийшиқ эгилиш, номарказий сиқилиш, буралиш билан эгилишнинг биргаликдаги таосири, синиқ ўқли стержен, хавфли кесим. қийшиқ эгилиш, эгувчи моментлар, кучланиш, кучланиш эпюраси, нейтрал чизик ҳолати, эгилиш текислиги, куч таосир текислиги, умумий кўчиш.

1. Ташқи кучлар таосиридан бруснинг кўндаланг кесимларида ички кучларнинг бир неча компонентлари ҳосил бўлиши мумкин. Бундай ҳолда, брус мураккаб қаршилик шароитида ишляпти дейилади. Бир учи қистириб маҳкамланган брусни эркин учига P кучи қўйилган бўлсин (1-расм).



1- расм.

Брусни кўндаланг кесимларидаги ички кучларни топамиз:

$$\begin{aligned}\sum Z &= 0; & N &= P \cdot \cos \alpha; \\ \sum X &= 0; & Q_x &= P \cdot \cos \beta; \\ \sum Y &= 0; & Q_y &= P \cdot \cos \gamma;\end{aligned}$$

$$\sum M_z = 0; \quad M_z = -(P \cos \gamma) \frac{b}{2} + (P \cos \beta) \frac{h}{2};$$

$$\sum M_x = 0; \quad M_x = -(P \cos \alpha) \frac{h}{2} - (P \cos \gamma) \cdot Z;$$

$$\sum M_y = 0 \quad M_y = -(P \cos \beta) \cdot Z - (P \cos \alpha) \cdot \frac{b}{2};$$

2. Кўриниб турибдики ташқи куч таосиридан брус кўндаланг кесимида ички кучларнинг барча копонентлари ҳосил бўлаяпти. Кесимдаги бўйлама куч ва эгувчи моментлар таосиридан кўндаланг кесим юзасининг нуқталарида нормал кучланишлар ҳосил бўлади. Кўндаланг кучлар ва буровчи момент таосирида эса уринма кучланишлар пайдо бўлади. Умумий кучланишни топиш учун кучлар таосирининг мустақиллик принциpidан фойдаланилади. Бу принципга кўра ҳар бир ички куч компоненти таосиридан кучланишлар алоҳида топилиб, кейин улар қўшилади. Кўрилатган кесимда чўзувчи кучланишни ҳосил қилувчи бўйлама куч мусбат ишорали қилиб олинади. Эгувчи момент бош ўқларга мос келувчи координата ўқларининг мусбат чорагида ётувчи нуқталарда чўзувчи кучланиш юзага келтирса мусбат ишорали олинади. Кесимнинг мусбат чорагидаги нормал кучланиш қуйидаги формуладан фойдаланиб топилади:

$$\sigma = \frac{N}{P} + \frac{M_x}{J_x} y + \frac{M_y}{J_y} \cdot x \quad (1)$$

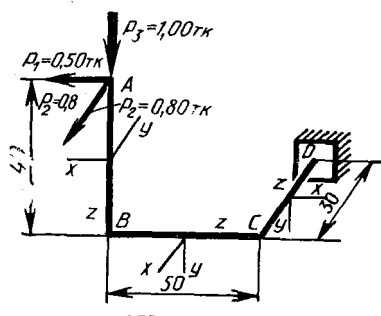
Кесимда ҳосил бўлаётган уринма кучланишлар бир-бири билан геометрик қўшилиб топилади. Масалан: иккита текислик бўйича эгилишда исталган нуқтада пайдо, бўладиган тўла уринма кучланишни топиш учун ҳар бир текисликдаги аниқланиб, сўнггра улар геометрик қўшилади:

$$\tau_y = \frac{Q_y \cdot S_x^k}{e_y \cdot J_x}; \quad \tau_x = \frac{Q_x \cdot S_y^k}{e_x \cdot J_y}; \quad (2)$$

$$\tau = \sqrt{\tau_y^2 + \tau_x^2}. \quad (3)$$

Стержен мураккаб қаршиликка учраган ҳолда оддий деформациянинг қуйидаги бирикмалари кўп учрайди, яъни: қийшиқ эгилиш, марказий бўлмаган сиқилиш ҳамда буралиш билан эгилишнинг биргаликдаги таосири.

3. Машина ва механизмларни лойиҳалашда синик ўқли фазовий стерженлар кўп учрайди.



2- расм

Фараз қилайлик синик ўқли фазовий брус берилган деб (2-расм), унинг ВС ва СД элементлари бир текисликда ётади. АВ элементи ушбу текисликка перпендикуляр бўлган текисликда ётади. Бундай стерженларни ҳисоблаш уларнинг кесимларида пайдо бўладиган ички зўриқиш кучларини топишдан бошланади. Хавфли кесимни топиш учун ички кучларни эпюраларини қуриш талаб қилинади.

Дастлаб ҳар бир стержен учун координата ўқларини белгилаш зарур. Одатда Оз ўқи сифатида бруснинг бўйлама ўқи, қолган иккита ўқлар сифатида кўндаланг кесим юзасининг бош инерция ўқлари қабул қилинади.

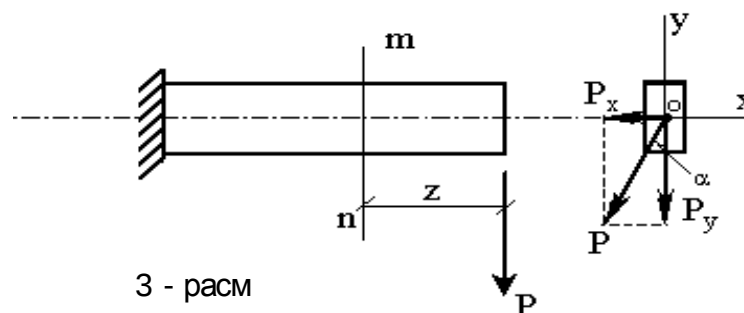
Ҳар бир стержен учун эғучи момент ва кесувчи кучлар аввал қабул қилинган ишора қоидаларидан фойдаланиб, текис стержендаги каби топилади. Бўйлама кучни топиш учун стержен нормал текислик билан қирқилади ва унинг бир қисмига қўйилган кучлар оз ўқиға проекцияланиб натижа нолга тенгланади. Ушбу тенгламадан бўйлама куч топилади. Буровчи моментни топиш учун кесиш усулидан фойдаланиб кесимнинг бир томонида ётган кучлардан стержен ўқи бўйлаб йўналган ўққа нисбатан момент олинади. Кесувчи кучларни топиш учун участкалар бўйича кесиш усулидан фойдаланиб қаралаётган томондаги кучлардан мос равишда х ва у ўқларига проекциялар олинади ва уларни қийматлари топилади. Кесувчи кучларни ишораси аввал қабул қилинган ишора қоидаларидан фойдаланиб топилади.

Эғувчи моментларни аниқлашда қаралаётган томондаги кучлардан х ва у ўқларига нисбатан моментлар олинади. Эғувчи моментлар ишораси аввал қабул қилинган ишоралар қоидаи бўйича олинади. Ташқи кучлардан

координата ўқларига нисбатан момент олишда қуйидаги қоидага амал қилиш лозим:

- агар ташқи кучни таосир чизиғи момент олинаётган ўқни кесиб ўтса, кучдан олинган момент нолга тенг бўлади;
- агар ташқи кучни йўналиши момент олинаётган ўққа параллел йўналган бўлса, куч ушбу ўққа нисбатан момент ҳосил қилмайди.
- юқоридаги ҳоллардан ташқари барча ҳолатда кучлардан ўқларга нисбатан момент ҳосил бўлади.

4. Қийшиқ эгилиш деб кесимдаги натижавий эгувчи момент таосир этадиган текислик брус кесим юзасининг бирорта бош инерция ўқлари орқали ўтмайдиган эгилишга айтилади. Бундай эгилишда кўндаланг кесимда натижавий эгувчи моментнинг иккита ташкил этувчилари M_x ва M_y моментлар ҳосил бўлади. Масалан: бино томидаги тахталар остига



қоқиладиган тахта қийшиқ эгилишга ишлайди. Яна бир мисол бир учи қистириб маҳкамланган бурчакликни озод учига вертикал ёки горизонтал куч қўйилганда у қийшиқ эгилишга ишлайди. Чунки бурчаклик кесими бош инерция ўқлари вертикал ва горизонтал ўқларга нисбатан маолум бурчак остида йўналган бўлади. Қийшиқ эгилишда брус кўндаланг кесимларида эгувчи моментлар M_x, M_y ва кесувчи кучлар Q_y, Q_x лар ҳосил бўлади. Уларни топиш учун кесиш усулидан фойдаланилади. Қийшиқ эгилишда кучланишларни топишни кўрамиз. Фараз қилайлик тўғри тўртбурчакли балкани бир учи қистирилган деб, уни иккинчи учига эса O_y ўқига нисбатан α бурчак остида йўналган P кучи қўйилган бўлсин (3-расм).

$$M_x = -P_y \cdot z = -Pz \cos \alpha$$

P кучини координата ўқлари бўйича иккита ташкил этувчига ажратамиз.

$$P_y = P \cos \alpha; \quad P_x = P \sin \alpha \quad (4)$$

Балкани $m-n$ кесимидаги эгувчи моментларни топамиз:

$$M_y = -P_x \cdot z = -P \cdot z \sin \alpha \quad (5)$$

Кўриниб турибдики, бруснинг ҳар бир кесимида бир йўла иккита эгувчи момент пайдо бўлади, улар брусни иккита бош текисликларда эгади.

Ҳар бир моментдан пайдо бўладиган кучланишни алоҳида топиш учун текис эгилиш учун чиқарилган формуладан фойдаланиш мумкин.

Кучларнинг таосирининг мустақиллик принциpidан фойдаланиб, координата ўқларининг мусбат чорагида ётувчи ихтиёрий нуқтадаги кучланиш учун умумий формулани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\sigma = \frac{M_x}{J_x} y + \frac{M_y}{J_y} x \quad (6)$$

Кўндаланг кесимнинг ихтиёрий нуктасидаги кучланишни (6) формуладан фойдаланиб топиш мумкин. Бунинг учун формулага исталган нукта координатасини ишорасини ҳисобга олиб қўйилади ва ҳисоблаш ишлари бажарилади. Брусни қирраларидаги кучланишларни топишда қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

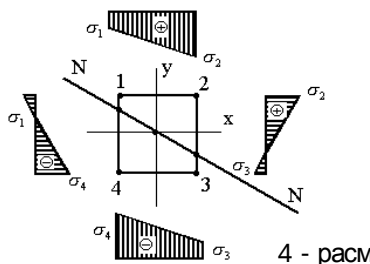
$$\sigma = \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y} \quad (7)$$

бу ерда: W_x ва W_y - кесимнинг x ва y ўқларига нисбатан қаршилик моментлари

Кесимнинг 1, 2, 3, 4 нукталари учун кучланишларни топамиз:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{P_y z}{W_x} - \frac{P_z \cdot z}{W_y} & \sigma_2 &= \frac{P_y z}{W_x} + \frac{P_z z}{W_y} \\ \sigma_3 &= -\frac{P_y z}{W_x} + \frac{P_z z}{W_y} & \sigma_4 &= -\frac{P_y z}{W_x} - \frac{P_z z}{W_y} \end{aligned} \quad (8)$$

Энг катта чўзувчи кучланиш 2 нуктада, энг катта сиқувчи кучланиш эса 4 нуктада ҳосил бўлади.



4 - расм

Тўрта нуктадаги тегишли кучланишни ҳисоблаб, унинг эпюрасини қуриш мумкин (4-расм). Кесим томонларига қурилган эпюралардаги нол нукталарни проекциялаб, нейтралр ёки нолр чизик $N-N$ ни ўтказиш мумкин. Бу чизик устида ётган барча нукталардаги кучланишлар нолга тенг бўлади. Кучланишларни аниқлашни (7) формуласидан фақат кесим қирраларида ётган нукталардаги кучланишларни топишда фойдаланиш мумкин. Кесимнинг қирраларида ёлмаган нукталардаги кучланишни топишда (7) формуладан фойдаланиб бўлмайди.

5. Қийшиқ эгилишда брус кўндаланг кесимидаги нолр чизикнинг ҳолатини формуладан фойдаланиб топишни кўрамиз. Нолр чизик устида ётган нукталарнинг координаталарини x_N ва y_N билан белгилаб ва (6) формуладан фойдаланиб топамиз:

$$\sigma = \left(\frac{M_x}{J_x} y_N + \frac{M_y}{J_y} x_N \right) = 0$$

бу ердан:

$$-\frac{y_N}{x_N} = \frac{J_x}{J_y} \cdot \frac{M_y}{M_x} \quad (9)$$

Нолр чизикнинг ОХ координата ўқиға нисбатан оғиш бурчагини φ орқали белгиласак, y_N ва x_N ларнинг турли ишорали эканлигини ҳисобға олиб қуйидагиларни ёзамиз:

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{y_N}{x_N}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{J_x}{J_y} \cdot \frac{M_y}{M_x} \quad (10)$$

(10) формуладан топилган бурчак φ ни қиймати манфий ишорали бўлса, нолр чизик координата ўқларини мусбат чорағи орқали ўтказилади.

Юқорида қўрилган консол қўринишидаги бруснинг эгилишини кўрамиз. Бунинг учун (10) формуладаги моментларни қийматларини қўямиз

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{J_x}{J_y} \operatorname{tg} \alpha \quad (11)$$

(11) формуладан қўриниб турибдики, нолр чизик куч чизигиға перпендикуляр бўлмайди. Бу чизиклар орасидаги бурчаклар иккита бош инерция моментлари орасидаги фарқ қанча катта бўлса, шунча катта бўлади. Инерция моментлари иккала ўқларға нисбатан бир бириға тенг бўладиган кесимларда (доиравий, квадрат) нолр чизиклар билан куч чизиги 90° бурчак остида кесишади, қийшиқ эгилиш содир бўлмайди. яони эгилиш текислиғи кучни таосир қилиш текислиғиға перпендикуляр бўлади.

Қийшиқ эгилишда кесимда ҳосил бўладиган энг катта кучланишни топишни кўрамиз. Оддий кесимларда ушбу нуқтани топиш қийинчилик туғдирмайди. Бунинг учун нол чизикдан энг узокда ётган нуқта топилади ва ундаги кучланиш аниқланади. Агар кесим мураккаб бўлса, унда кесим дастлаб маолум масшабда қурилади ва нолр чизик ўтказилади. Сўнгра нолр чизикдан энг узок нуқта ўлчаш орқали топилади ва ундаги кучланиш аниқланади.

6. Юқоридаги қўрилган бир учи қистириб маҳкамланган брусни кўрамиз. Брусни y ва x ўқлари йўналишидаги қўчишларини v_x ва v_y ларни топамиз:

$$V_x = \frac{P_x \lambda^3}{3EJ_y}; \quad V_y = \frac{P_y \lambda^3}{3EJ_x} \quad (12)$$

Брусни умумий қўчиши ўқлар бўйича топилган қўчишларнинг геометрик йиғиндиси сифатида топилади:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (13)$$

Умумий қўчишнинг йўналишини топамиз. Бунинг учун бу қўчишнинг вертикал ўқ билан ҳосил қилган бурчагини тангенсини топамиз:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{V_x}{V_y} = \frac{P_x J_x}{P_y J_y} = \frac{J_x}{J_y} \cdot \frac{P \sin \alpha}{P \cos \alpha} = \frac{J_x}{J_y} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (14)$$

Ушбу формула олдин олинган (11) формулага ўхшаш. Бундан $\beta = \varphi$ деган хулоса чиқади. Демак умумий қўчиш йўналиши нолр чизикқа доимо перпендикуляр бўлади. Бундан умумий қўчиш йўналиши таосир қилувчи

куч йўналишига мос келмайди деган хулоса чиқариш мумкин. Шунинг учун ҳам бундай эгилиш қийшиқ эгилиш дейилади.

Ўз-ўзини текшириш учун саволлар:

1. Мураккаб қаршилиқ деб нимага айтилади?
2. Бруснинг кўндаланг кесимларида ҳосил бўладиган ички кучлар қандай топилади.
3. Кучланишларни аниқлашда кучлар таҳсирининг мустақиллик принциpidан фойдаланиб бўладими?
4. Чўзилиш ва эгилишга ишлаётган бруснинг кўндаланг кесим нуқталаридаги нормал кучланишлар қандай формула ёрдамида аниқланади?
5. Икки текислик бўйича эгилишга ишлаётган кесим нуқталаридаги уринма кучланиш қандай топилади?
6. Мураккаб қаршилиқни қандай турдаги кўринишлари мавжуд?
7. Синиқ ўқли стерженларда ички кучлар қандай аниқланади?
8. Қандай эгилишга қийшиқ эгилиш дейилади?
9. Кўндаланг кесими доиравий бўлган балка қийшиқ эгилишга учрайдими?
10. Қийшиқ эгилишда кесим юзаси нуқталаридаги кучланишлар қандай формула ёрдамида аниқланади?
11. Нейтрал чизик ҳолатини қандай аниқлаш мумкин, уни формуласини ёзинг.
12. Қийшиқ эгилишда балка нуқталарини кўчиши қандай аниқланади?

8 - Маъруза: СИҚИЛГАН СТЕРЖЕНЛАРНИ УСТИВОРЛИГИ

Режа:

1. Мувозанатнинг устивор ва ноустивор шакллари тўғрисида тушунча. Устиворлик йўқолишини оқибатлари
2. Критик кучларни топишнинг Эйлер усули.
3. Стержен таянч шартларининг критик куч қийматига таосири. Эйлер формуласидан фойдаланиш чегаралари.
4. Критик кучни аниқлашни Ясинский формаласи.
5. Марказий сиқилган стерженларни устиворликка ҳисоблаш.
6. Стержен кўндаланг кесимларини танлаш.

Таянч сўз ва иборалар: устивор ва ноустивор ҳолат, бўйлама эгилиш, критик куч, критик ҳолат, Эйлер формуласи, стержен таянч шартлари.

1. Кўпгина инженерлик иншоотларининг лойиҳалаш ҳолларида уларнинг эксплуатация даврида тўлиқ хавфсиз ишлашини таоминлаш учун фақат биргина мустахкамликка ҳисоблашнинг ўзи етарли бўлмайди. Кучланиш материалнинг рухсат этилган кучланишидан катта эмаслиги иншоатнинг хавфсиз ҳолатдалиги ҳақида ҳукм чиқариш учун етарли эмаслиги ҳаётий тажрибалар орқали аниқланган. Мустахкамлик проблемаси билан бир қаторда иншоат ёки унинг элементи устиворлиги деб аталадиган проблема ҳам мавжуд.

Инженерлик иншоотларида ҳисоблашда ҳисобга олинadиган ташқи юклардан ташқари жисмни ҳисобланган мувозанат ҳолатидан четга чиқаришга интилувчи кичик таосирлар ҳам бўлади. Агар кичик таосирлар системани ҳисобланган ҳолатидан кичик миқдорга оғдирса, системанинг бу ҳолати устувор бўлади. Аксинча, кичкина таосирдан система ҳисобланган ҳолатидан катта миқдорга оғса, унинг бу ҳолати ноустувор бўлади.

Мисол тариқасида шарнинг турли ҳолатларини кўрамиз. Ботиқ сирт устида ётган шарни ҳолатини текширамиз (1-расм).

1- расм

Шарни исталган кичик миқдорга оғдирилганда ва таосир олинганда шар ўзининг дастлабки ҳолатига қайтишга интилади, демак, шарни ҳолати устувор бўлади. Қабарик сирт устида турган шарни (2-расм) кичик миқдорга оғдирилганда ва таосир олинганда шар ўзининг дастлабки ҳолатига қайтмасдан думалаб кетади, демак, шарни бу ҳолати ноустивор бўлади.

Текис сирт устида турган шарни (3-расм) ўз мувозанат ҳолатидан кичик миқдорга оғдирилганда ва таосир олинганда шар ўзининг дастлабки ҳолатига қайтмайди ва ҳаракатини давом эттирмайди, демак, шарни бу ҳолати фарқсиз мувозанат ҳолати деб юритилади.

Деформацияланувчи қаттиқ жисмларни мувозанат формасини устиворлигини текширамиз. Агар ташқи кучнинг миқдори $P < P_{кр}$ бўлса стержен кичик миқдорга оғдирилганда ва унинг таосири олинганда у ўзини дастлабки мувозанат формасига қайтиб келишга интилади (4-расм), демак

стерженни мувозанат формаси устивор бўлади. Агар $P > P_{кр}$ бўлса таосир олинганда, стерженни деформацияланиши давом этади ва янги мувозанат формасига ўтади (5-расм). Стерженни бу деформацияланиш мувозанат формаси ноустивор бўлади. Агар $P = P_{кр}$ бўлса таосир олинганда стержен дастлабки мувозанат формасига қайтамайди ва деформацияланиши давом этмайди. Стерженни бу деформацияланган мувозанат формаси фарқсиз мувозанат формаси деб юритилади.

Устиворликка нотўғри ҳисоблаш натижасида конструкцияларнинг бузилиб кетиши кўп содир бўлган.

Масалан: 1907 йилда АҚШда Шимолий Лаврентия дарёсига қурилган бош пролётни 549 метр бўлган консол системали катта кўприк ағдарилиб тушган ва кўприкда ишлаётган ишчи ходимлардан 74 киши ҳалок бўлган. 9- минг тоннали металл конструкция бутунлай ишдан чиққан. Кўприкни бузилишига асосий сабаб сиқилган йиғма стерженларнинг устиворликка нотўғри ҳисобланганлиги бўлган. Яна бир мисол, 1891 йил май ойида Швейцариянинг Менхенштейн қишлоғидаги кўприк устидан поезд ўтаётганда ағдарилиб тушиб 12 та вагон дарёга кулаб тушган ва кўпгина одамларни ҳалок бўлишига олиб келган. Кўприкни бузилишига сабаб сиқилишга ишлаётган тирговичлардан бирини устиворлигини йўқотиши бўлган.

Шундай қилиб бўйлама эгилиш хавфли бўлиб, унга йўл қўйиб бўлмайди. Сиқилган стерженларнинг кўндаланг кесим юзалари мустаҳкамлик шартидан эмас, балки сиқувчи кучланишнинг критик кучланишдан кичик бўлиш шартидан топилиши кабул қилинган.

2. Эластик системаларнинг устивор мувозанатини текшириш учун бир неча усуллар мавжуд. Бу усулларнинг асослари ва улардан фойдаланиш йуллари махсус курсларда урганилади. Материаллар қаршилигида қуриладиган устиворлик масалаларини ечишда Эйлер усулидан кенг фойдаланилади. Эйлер формуласини келтириб чиқариш учун кўндаланг кесим юзаси узгармас, марказий сиқилган ҳамда тугри чизикли мувозанат ҳолатидан бир оз оғган учлари шарнирли маҳкамланган стерженни қуриб чиқамиз (7-расм). Стерженни исталган кесимидаги эгувчи момент $M = Pv$ га тенг бўлади. Стержен эгилган укининг дифференциал тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\frac{d^2 v}{dz^2} = -\frac{M}{EJ} = -\frac{Pv}{EJ}, \text{ ёки } \frac{d^2 v}{dz^2} + k^2 v = 0 \quad (1)$$

$$\text{бу ерда: } K^2 = \frac{P}{EJ} \quad (2)$$

(1) дифференциал тенгламанинг интегралли қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$v = A \cos kz + B \sin kz \quad (3)$$

Интеграл доимийлари А ва В нинг қийматларини чегаравий шартлардан фойдаланиб топамиз:

Биринчи чегаравий шарт: $Z=0$ бўлганда $v=0$, бундан $A=0$ стержен эгилган ўқининг тенгламаси қуйидаги кўринишни олади.

$$v = B \sin kz \quad (4)$$

Иккинчи чегаравий шарт; $z = \lambda$ бўлганда $v=0$, бундан

$$B = \sin k\lambda = 0 \quad (5)$$

(5) шарт икки ҳолда бажарилади: 1). $B=0$ 2). $\sin k\lambda = 0$

Биринчи ҳол бизни қизиқтирмайди, чунки $B=0$ бўлганда барча нуқталардаги ечим нолга тенг бўлиб, стержен тўғрилигича қолади. Иккинчи ҳол $\sin k\lambda = 0$ дан $K\lambda = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots, n\pi$ эканлиги келиб чиқади K нинг қийматларини ҳисобга олиб қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{\lambda^2}; \quad \frac{(2\pi)^2 EJ}{\lambda^2}, \dots, \frac{(n\pi)^2 EJ}{\lambda^2}$$

Шуни қайд қилиш керакки эгилишнинг биринчи шаклига мос келувчи мувозанат устивор, қолган барча кўринишлари эса ноустивор бўлади. Шунинг учун инженерлик ҳисобларида энг кичик критик куч амалий аҳамиятга эга бўлади.

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{\lambda^2} \quad (6)$$

Бу формулани 1744 йилда биринчи марта Леонард Эйлер олганлигидан уни Эйлер формуласи, бу формула ёрдамида топилган кучни Эйлер кучи дейилади.

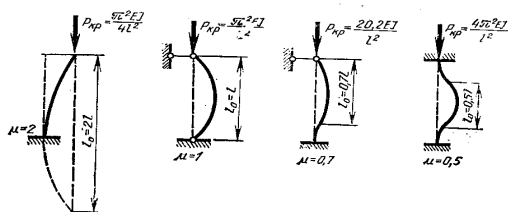
Эйлер формуласидан кўриниб турибдики, критик куч қиймати стержен бикрлигига тўғри пропорционал, стержен узунлиги квадратига тесқари пропорционалдир.

Эластиклик чегарасида ишлайдиган стержен учун критик куч стерженни геометрик ўлчамлари ва материалнинг эластик модулига боғлиқ бўлиб, стержен тайёрланган материалнинг мустахкамлик характеристикаларига мутлақо боғлиқ эмас. Геометрик ўлчамлари бир хил, лекин турли пўлатлардан тайёрланган ва эластиклик чегарасида ишалайдиган иккита стержен бир хил критик кучда устиворлигини йўқотади. Чунки Ст. 3 ва юқори сортли пўлатлар учун эластиклик модули деярли бир хил бўлганлигидан улар учун критик кучлар ҳам бир-бирига тенг бўлади. Шундай қилиб, сиқилишга ва чўзилишга ишлайдиган стерженлар орасида кескин фарқ борлиги аниқланади. Чегаравий чўзувчи куч бевосита материалнинг мустахкамлик характеристикаларига боғлиқ бўлаганидан турли сорт пўлатлар учун турлича бўлади. Лекин эластиклик чегарасидаги сиқилишда бутунлай бошқа ҳолни кўрамиз. Чегаравий чўзувчи куч стерженни узунлигига боғлиқ эмас, лекин чегаравий сиқувчи куч қиймати стержен ортиши билан кескин камаяди.

Сиқилган стерженларда бўйлама эгилиш шунинг учун ҳам хавфлики, у тусатдан содир бўлади, шунинг учун сиқилган элементларнинг ўлчамлари нотўғри белгиланган конструкцияларда унинг олдини олиш қийин. Чўзилган стерженларда хавфли ҳолат белгилари емирилишдан анча олдин

пайдо бўлади, сиқилган стерженларда устиворлик йўқолишининг сезиларли белгиларини одатда аниқлаб бўлмайди.

3. Стержен учларини турли хил маҳкамланиши критик куч миқдорига таъсир қилади. Турли хил боғланган сиқилган стерженларда критик кучларни топиш учун уларнинг ҳар бирини, учларини шарнирли маҳкамланган, стержен учун қилгандек, алоҳида ечиш лозим.



8-расм.

Ечим шуни кўрсатадики, 8-расмда кўрсатилган барча ҳоллар учун критик кучни қуйидаги умумлаштирилган формула бўйича топса бўлади.

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2} \quad (7)$$

Бу ерда: μ - келтирилган узунлик коэффициенти;

$\mu l = \lambda_0$ - қиймат эса келтирилган узунлик деб аталади. Келтирилган узунлик λ_0 деганда, берилган стерженга қўйилган критик куч каби куч қўйилган, учлари шарнирли маҳкамланган шу стерженнинг шартли узунлигини тушуниш мумкин.

4. Критик кучни аниқлашда Эйлер формуласидан фойдаланиш тўғрисида узоқ вақт яҳни 70 йил баҳс давом этди. Баҳснинг бош сабабларидан бири Эйлер формуласи тажриба йўли билан баҳзи ҳолларда тасдиқланмади. Сабаби Эйлер формуласи стержен эластик деформациялар чегарасида, яҳни Гук қонуни кучга эга бўлган чегарада келтириб чиқарилган эди. Шунинг учун ҳам ундан критик кучланиш пропорционаллик чегарасидан катта бўлган ҳолларда фойдаланиб бўлмайди. Эйлер формуласидан фойдаланиш мумкин бўлган чегарани белгилаш учун қуйидагини топамиз:

$$\sigma_{кр} = \frac{P_{кр}}{F} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2 \cdot F} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{\mu l}{i}\right)^2} \quad (8)$$

бу ерда: $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$ - инерция радиуси.

$\frac{\mu l}{i}$ ни λ орқали белгилаймиз. λ қиймат стерженнинг эгиловчанлиги деб аталади.

Шундай қилиб,

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (9)$$

Бу кучланишни пропорционаллик чегарасига тенглаб, эгилувчанликнинг чегаравий қийматини топамиз:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{нц}}} \quad (10)$$

Агар $\lambda > \lambda_0$ бўлса, Эйлер формуласидан фойдаланиш мумкин. Агар $\lambda < \lambda_0$ бўлса, Эйлер формуласидан фойдаланиб бўлмайди.

Масалан: пўлат С_{Т3} учун $\sigma_{нц} = 2000$ кг/см², $E = 2,1 \cdot 10^6$ кг/см², $\pi^2 \approx 10$ деб қабул қилиб, қуйидагини оламиз:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{10 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{2000}} = 100$$

Худди шунингдек пўлат С_{Т5} учун, $\lambda_0 = 90$ тенг бўлади.

5. Стержен эластик деформациялар чегарасидан ташқарида ишлаганида критик кучланишни келтириб чиқариш мураккаблашади. Шунинг учун экспериментал текширишлар ўтказилган. Тажриба натижалари асосида Ф.С.Ясинский критик кучланишни топиш учун эмпирик формула таклиф этди:

$$\sigma_{кр} = a - b\lambda \quad (11)$$

бу ерда: а ва в- стержен материалига боғлиқ бўлган ўзгармас миқдорлар.

Масалан: Пўлат С_{Т3}. учун $a = 3100$ МПа; $b = 11,4$ МПа

$$\sigma_{кр} = 3100 - 11,4\lambda \quad (12)$$

Ёғоч учун

$$\sigma_{кр} = 293 - 1,94\lambda \quad (13)$$

Пўлат С_{Т3}. учун критик кучланишнинг эгилувчанликка боғлиқлигини кўрсатувчи тўла график 1-расмда тасвирланган. Эйлер гиперболаси (9) формула асосида қурилган, у $\lambda < \lambda_0$ бўлганда пунктир чизик билан кўрсатилган, бу участкада критик кучланишни топиш учун Эйлер формуласидан фойдаланиб бўлмайди.

Эгилувчанлик О дан 40-50 гача бўлганида стержен шу даражада қисқа бўладики, мустахкамлиги йўқолиши билан у емирилади, шунинг учун критик кучланишни оқувчанлик (ёки мустахкамлик) чегарасига тенг қилиб олиш мумкин.

Эгилувчанлик $50 \leq \lambda \leq \lambda_0$ чегарасида бўлганида стержен эластик-пластик областда деформацияланиб, устиворлигини йўқотади, шунинг учун бу чегарада график Ясинский тўғри чизиғи билан тасвирланган. Эйлер ва Ясинский формулаларидан фойдаланиш сиқилган стерженлар устиворлигига

доир масалани курилиш практикасида учрайдиган барча эгилувчанлик чегарасида ечиш имконини беради.

Ушбу расмда тажриба йўли билан олинган, критик кучланишлар қийматини кўрсатувчи нуқталар ҳам туширилган. Турли мамлакатларда ўтказилган кўпгина экспериментал тадқиқотлар, тажриба натижалари критик кучланишлар графигига тўла мос келишини кўрсатади.

6. Марказий сиқилган стерженларнинг ўлчамларини аниқлашда биринчи навбатда улар эксплуатация жараёнида сиқувчи куч таосиридан устиворлигини йўқотмаслигига эҳтибор бериш керак. Шунинг учун сиқилган стержендаги кучланиш критик миқдордан кичик бўлиши керак:

$$\sigma = \frac{N}{F} < \frac{P_{кр}}{F} = \sigma_{кр} \quad (14)$$

бу ерда: N-стержен ҳисобланадиган куч;

P_{кр}-критик куч;

F-кесим юзаси.

Текширишлар шуни кўрсатадики, стерженнинг маҳаллий кучсизлантирилган жойлари, масалан, парчин мих учун тешиклар, турли ўйиқлар критик куч қийматига кўп ҳам таосир этмайди. Шунинг учун критик кучланишни топишда кесим юзасининг тўла қисми олинади.

Сиқилган стержен ишончли ишлаши учун устиворлик учун зарур эҳтиёт чораси кўрилади.

$$\sigma_y = \frac{N}{F} \leq \frac{\sigma_{кр}}{n_y} \quad (15)$$

бу ерда: n_y- устиворликнинг эҳтиёт коэффиценти. Пўлатлар учун эҳтиётлик коэффиценти 1,8-3,0 оралиғида олинади.

Устиворликка ҳисоблашдаги рухсат этилган кучланиш билан сиқилишда мустаҳкамликка ҳисоблаш учун рухсат этилган кучланиш орасида боғланиш мавжуд. Уларнинг нисбатини ёзамиз:

$$\frac{\sigma_y}{[\sigma]_c} = \frac{\sigma_k}{n_y} \cdot \frac{n_0}{\sigma_0} \quad (16)$$

(16) формула ўнг томонидаги қуйидагича белгилаймиз.

$$\varphi = \frac{\sigma_k}{\sigma_0} \cdot \frac{n_0}{n_y} \quad (17)$$

бу ерда: φ- устиворликка ҳисоблашда асосий рухсат этилган кучланишни камайтириш коэффиценти деб юритилади. Баҳзи норматив ҳужжатларда φ бўйлама эгилиш коэффиценти деб ҳам аталади.

(9) ифодани оламиз:

$$\sigma_y = \varphi [\sigma]_c \quad (18)$$

Сиқилган стерженлар учун устиворлик шартини ёзамиз:

$$\sigma_{хис} \leq \varphi[\sigma]_c$$

$$\sigma_{хис} = \frac{N}{\varphi F} \leq [\sigma]_c \quad (19)$$

Бўйлама эгилиш коэффиценти φ ни турли материаллар учун қийматлари махсус жадвалларда берилади.

Сиқилган стерженларнинг кўндаланг кесимларини танлаш чўзилган стерженларникига қараганда анча мураккаб масаладир. Бунинг сабаби ҳисоблаш формуласига кирадиган бўйлама эгилиш коэффиценти φ нинг қиймати кўндаланг кесим юзасининг шакли ва ўлчамларига боғлиқ бўлганлигидан олдиндан берилган бўлиши мумкин эмас. Шунинг учун стерженнинг кўндаланг юзасини танлаш яқинлашган усулдан фойдаланиб бажарилади. Биринчи яқинлашувда $\varphi_1 = 0,5 \div 0,6$ оралиғида олинади ва кўндаланг кесим юзасининг талаб қилинадиган қиймати аниқланади, сўнгра танланган кесим юзасининг инерция моменти инерция радиуси ва эгилувчанлиги λ ҳисобланади. Олинган эгилувчанлик асосида махсус жадвалдан φ_1 коэффицентнинг қиймати аниқланади, сўнгра (19) формула ёрдамида кучланиш топилади. Биринчи яқинлашувда олинган кучланиш қиймати рухсат этилган кучланиш қийматидан фарқ қилади. Агар у рухсат этилган кучланишдан кичик бўлса, кесимнинг ўлчамларини кичрайтириш, аксинча, рухсат этилган кучланишдан катта бўлса, кесим ўлчамларини ошириш зарур.

Аста-секин яқинлашиш усулини ҳисобий кучланиш билан рухсат этилган кучланиш орасидаги фарқ СНи II томонидан белгиланган миқдордан кичик бўлгунга қадар давом эттириш лозим. Одатда, кўрсатилган кучланишлар орасидаги фарқ 3-5% дан ошиб кетмаслиги талаб этилади. Шунинг учун кесим танлашда икки-уч яқинлашувдан сўнг талаб қилинадиган аниқликка эришиш мумкин.

Ўз-ўзини текшириш саволлари:

1. Эгилувчанлик деб нимага айтилади? Уни аниқлаш формуласини ёзинг?
2. Критик кучланишни аниқлаш учун Ясинский формуласини ёзинг.
3. Ясинский формуласидаги коэффицентларни пўлат С_{т3} учун қийматларини ёзинг.
4. Пўлат С_{т3} учун критик кучланишнинг эгилувчанликка боғлиқлигини кўрсатувчи графикни чизинг.
5. Бўйлама эгилиш коэффиценти деб нимага айтилади? Унинг қиймти қандай аниқланади?
6. Устиворликка ҳисоблашда сиқилган стержен кесим юзаси қандай танланади?
7. Системани устивор, ноустивор ва фарқсиз ҳолатлари деб нимага айтилади?
8. Критик куч деб нимага айтилади?
9. Эйлер формуласини чиқариш учун балка эгилган ўқининг қандай дифференциал тенгламасидан фойдаланилади?
10. Критик кучни аниқлаш учун Эйлер формуласини ёзинг?

11. Критик кучларнинг миқдорлари стержен материалларининг қандай характеристикаларига боғлиқ бўлади?
12. Критик куч миқдорига кесимининг бикрлик ва стержен узунлиги қандай таосир кўрсатади?

Стерженни келтирилган узунлиги деб нимага айтилади ва у турли хил чегара боғланишларига эга бўлган стерженлар учун қандай қийматларга тенг бўлади?

9 - Маъруза: Иршоатлар динамикаси. Циклик ўзгарувчан кучланишлар таосиридаги бруснинг мустаҳкамлигини текшириш.

Режа.

1. Вақт бўйича циклик ўзгарувчан кучланишлар таосирида материалларнинг мустаҳкамлиги ҳақидаги ҳозирги замон тушунчалари. Толиқиш, емирилиш механизми.
2. Симметрик ва асимметрик цикл билан ўзгарувчан кучланишлар. Чегаравий кучланишларнинг диаграммалари.
3. Чидамлилик чегарасига таосир этувчи омиллар. Мустаҳкамликнинг эҳтиётлик коэффиценти.
4. Зарб юкларга ҳисоблаш

***Таянч сўз ва иборалар:** ўзгарувчан кучланишлар, ўзгарувчан юклар, толиқиш, чидамлилик, кучланиш цикли, симметрик ва асимметрик цикл коэффиценти, чидамлилик чегараси, чегаравий амплитудалар, эҳтиётлик коэффиценти, динамик коэффицент, эркин тушиш тезланиши, масса.*

1. Материалларни вақт бўйича ўзгарувчан юклар таосирига қаршилиқ кўрсатиши, статик юклар таосирига қаршилиқлар кўрсатишидан катта фарқ қилади. Ўзгарувчан юклар таосирида бўлган конструкция элементлари статик куч таосиридан ҳосил бўладиган кучланишлардан кичик кучланишларда синиб кетади. Техника таракқиёти, тез юрар машина ва механизмлар яратилиши билан вагон ҳамда локомативларнинг ўқлари, бандажлар, ғилдираклар, релслар, рессорлар, турли валлар, шатунлар, кривошиплар, пуржиналар, трубина куракчалари каби деталларнинг синиши кузатила бошлади. Машина деталлари бирдан синмасдан, баозан машина ва механизмлар узоқ муддат ишлагандан кейин синиши ҳам юз берди. Ушбу ҳоллар ўзгарувчан юк таосирида бўлган материаллар вақт ўтиши билан "толиқади", пластик материал мўрт бўлиб қолади деган тахминни пайдо қилди.

Материалларнинг "толиқиши" кўпдан бери тадқиқотчиларнинг эотиборини жалб қилиб келади. Лекин ҳалигача бу емирилишнинг моҳияти аниқланмаган. Қуйидаги тушинтириш энг қоникарли ҳисобланади. Металлар поликристалл жисм бўлганлигидан ўзаро қатламчалар, нометалл қўшимчалар билан ажратилган кристаллардан ташкил топган. Кристаллар бир жинсли бўлмасдан, уларнинг тузилиши кристалланиш, прокатланиш шароитига боғлиқ. Кристаллит қисмларини ("дон"ларини) у ёки бу даражада бир жинсли деб қараш мумкин. Кристаллит зарраларда микдори ва йўналиши турлича бўлган кучланиш пайдо бўлади. Уларнинг рентгенографик ва металлографик тадқиқотидан ўзгарувчан юкда ҳам, ўзгармас юкда ҳам пластик деформация механизми моҳияти бир хил бўлишини кўрсатади. Биринчи ҳолда ҳам иккинчи ҳолда ҳам кристалл панжараларнинг силжиши ва бузилиши кузатилади. Лекин улар бир-биридан сифат жиҳатдан кескин фарқ қилади. Статик юкланишда ҳосил бўладиган пластик деформация билан намунанинг

бутун ҳажми қамраб олинади ва намуна битта йўналишда деформацияланади. Ўзгарувчан юклар таосирида ҳосил бўладиган пластик деформация эса бир неча зарралардан ташкил топган кичик ҳажмда содир бўлади.

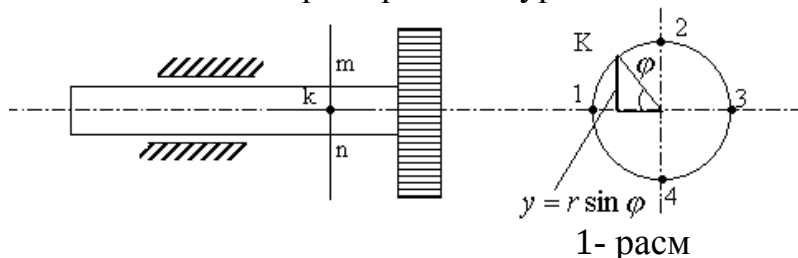
Зарраларнинг бундай ўта юкланишида барвақт микродарзлар пайдо бўлиши мумкин. Ўзгарувчан кучланишларнинг маолум қийматида зарралардаги микродарз ўса боради, бошқа микродарзлар билан қўшилади ва бутун кристаллитни кесиб ўтиб, ниҳоят деталр кўндаланг кесимининг маолум соҳасига тарқалади. Ўзгарувчан юклардан пайдо бўладиган дарзлар гоҳ кенгайиб, гоҳ тораяди. натижада йирик зарралар майдалашади.

Шу сабабли, толиқиб емирилган жойда силлиқ (майда заррали) зона ҳосил бўлади. Дарзнинг тубида кесикнинг ўткир учида кучланишнинг концентрацияланиши катта бўлади. Бу дарзнинг янада ўсишига олиб келади, бу ўсиш деталр кесимини кучсизлантиради ва уни бирдан мўрт бўлиб емирилишига олиб келади.

Шундай қилиб, ҳозирги вақтда толиқиш деганда дарз пайдо бўлиши ва емирилишига олиб келадиган ўзгарувчан кучланишлар таосиридан материал шикастланишининг аста-секин тўпланиш процесси тушунилади.

Материалнинг "толиқиш"га қарши тура олиш хоссасига чидамлилиқ дейилади.

2. Даврий ўзгарувчан юк таосирида бўлган жисмнинг кўндаланг кесим юзасида ҳосил бўладиган кучланишларни топишни кўрамиз. Айланувчан ва унинг ҳисоблаш схемалари 1-расмда кўрсатилган.



m-n кесимдаги эгувчи моментдан к нуктада нормал кучланиш ҳосил бўлади.

$$\sigma = \frac{M}{I} y; \quad y = r \sin \varphi; \quad \varphi = \omega t \quad (1)$$

бу ерда φ -буралиш бурчаги

ω - айланиш бурчагини тезлиги

r - вал радиуси

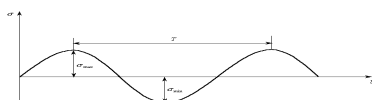
К нуктадаги энг катта чўзувчи кучланиш бу нукта 2 нукта билан устма-уст тушганда пайдо бўлади.(1- расм, в) Энг катта сиқувчи кучланиш К нукта 4 ҳолатда бўлганда пайдо бўлади. К нукта нейтрал ўқ устида ётганда (1 ва 3 нукталар) ундаги кучланиш нолга тенг бўлади. ($\sigma = 0$) К нуктадаги

кучланишни $\sigma = \sigma_{\max} \sin \omega;$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{I} r \quad (2)$$

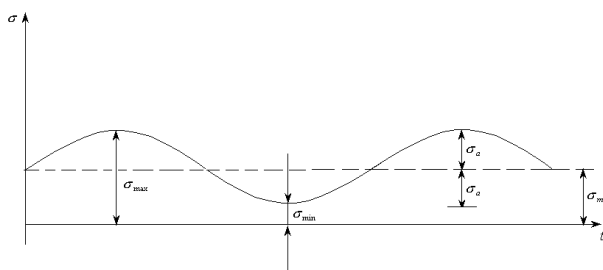
тенглама асосида қурилган графиги 2- расмда кўрсатилган. Кўриниб турибдики, кучланиш вақт ўтиши билан даврий ўзгаради; маолум вақт T (давр) ўтиши билан кучланиш бир хил қийматга эришади, кучланишнинг давр бошидаги ва охиридаги қийматлари бир хил бўлади.

Бир давр ичида кучланишнинг ўзгаришига кучланиш цикли дейилади. Кучланиш цикллари симметрик ва асимметрик цикллар кўринишида бўлади. Симметрик циклда (2-расм) кучланишнинг максимал ва минимал қийматлари миқдор жиҳатдан тенг, ишоралари эса қарама-қарши бўлади.



2- расм

Агар айланувчи валга қўшимча равишда ўзгармас бўйлама чўзувчи куч қўйилса симметрик кучланиш цикли ўзгаради ва у асимметрик циклга айланади (3-расм).



3- расм

Асимметрик циклда кучланишнинг максимал қиймати $\sigma_{\max}$, унинг минимал қиймати $\sigma_{\min}$ га тенг бўлмайди. Агар кучланишнинг максимал ва минимал қийматлари турли ишорали бўлса, бу циклни ўзгарувчан ишорали цикл дейилади. Агар максимал ва минимал кучланишларнинг қийматлари бир хил ишорали бўлса уни ўзгармас ишорали цикл дейилади. Агар $\sigma_{\max}$ ёки $\sigma_{\min}$ нолга тенг бўлса, нолдан бошланадиган цикл деб аталади. 3-расмга мувофиқ қуйидаги боғланишларни ёзиш мумкин.

$$\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a; \quad \sigma_m = (\sigma_{\min} + \sigma_{\max}) \frac{1}{2} \quad (3)$$

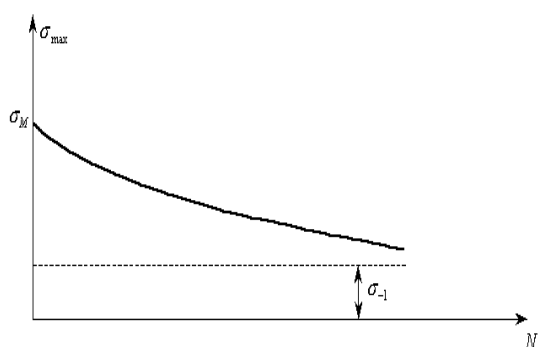
$$\sigma_{\min} = \sigma_m - \sigma_a; \quad \sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \frac{1}{2} \quad (4)$$

Бу ерда, σ_m циклнинг ўртача ўзгармас кучланиши; σ_a циклнинг амплитудаси, яъни ўзгарувчан циклнинг энг катта кучланиш қиймати. Циклнинг асимметрия коэффиценти қуйидаги нисбатга тенг бўлади.

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (5)$$

Агар циклниң асимметрия коэффициентлари бир хил бўлса, улар ўхшаш цикллار дейилади. Шунини унутмаслик керакки, миқдори ўзгарувчан ҳар қандай кучланиш "толиқиш" емирилишига олиб келади. Деталнинг бирор нуқтасидаги ўзгарувчан кучланиш қиймати чидамлилигик (толиқиш) чегараси деб аталадиган критик қийматдан ошиб кетганда емирилиш содир бўлади.

Чидамлилиқ чегараси деб, цикллари сони чекланмаган ҳолда кўп бўлганида деталнинг толиқиши емирилишига сабаб бўлмайдиган цикл максимал кучланишининг энг катта қиймати $\sigma_{\max}$ га айтилади. Материалларнинг чидамлилиқ чегараси намуналарни синаш йўли билан аниқланади. Машина айлантирадиган намунанинг ҳар бир толаси γ ҳар 180° га айлантирилганда гоҳ чўзилади, гоҳ сиқилади. Намунага циклниң турли кучланиш қийматлари $\sigma_{\max}$ ни бериб, намуна емирилишига олиб борадиган цикл сони аниқланади. Тажириба натижалари асосида чидамлилиқ эгри чизиғи $\sigma_{\max}=f(N)$ кўрилади (4-расм), бу ерда $\sigma_{\max}$ - циклниң максимал кучланиши, N -намуна емириладиган цикллари сони. Бу расмдан кўриниб турибдики, $\sigma_{\max}=f(N)$ эгри чизик асимптотик равишда тўғри чизикқа яқинлашади. Бундай синовда эгри чизик горизонтал асимптотасининг ординатаси чидамлилиқ чегараси σ_{-1} га тенг бўлади.



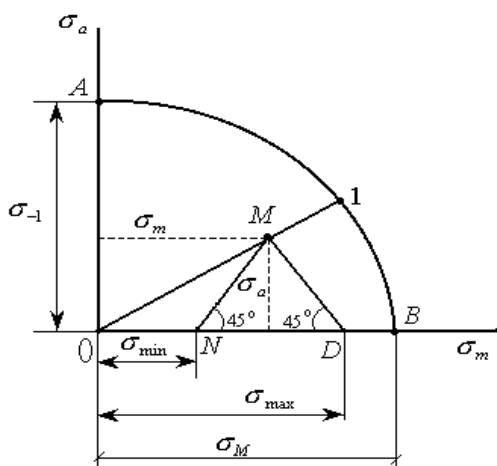
4- расм

Тажирибалар шунини кўрсатадики агар намуна 10^7 марта айлантирилгандан сўнг емирилмаса, ундан кўп айлантиришларда ҳам емирилмайди. Шунинг учун қора металллардан ясалган намуналар синовини 10^7 марта айланишдан сўнг, рангли металллар 10^8 марта айланишдан сўнг тўхтатилади. Рангли металллар учун қурилган чидамлилиқ эгри чизиклари асимптотага эга бўлмайди, айланишлари сони ортиши билан эгри чизик нолгача тушади. Булар учун чидамлилиқ чегараси сифатида намуна камида 10^8 циклга чидаш берган энг катта кучланиш қабул қилинади ва уни чекланган чидамлилиқ чегараси дейилади. Юқорида қайд қилинган цикллари сони тўғрисида тасаввур қилиш учун шунини айтиб ўтаемизки, темир йўл вагони ўқи Москвадан Владивостокгача боргунча $3 \cdot 10^6$ циклини ўтайди.

Чегаравий кучланишлари диаграммаларининг қуришни кўриб чиқамиз. Асимметрик циклда чидамлилиқ чегараси симметрик циклдагига қараганда анча катта бўлиши тажириба йўли билан аниқланган.

Чидамлилик чегарасини асиметрия коэффициентига боғлиқлигини график тарзда тасвирлашда хар бир R учун ўзини чидамлилик чегарасини топиш керак. Буни бажариш қийин, чунки симметрик циклдан оддий чўзилишгача бўлган диапазонда жуда кўп турли туман цикллар содир бўлади. Намуналар сони кўп ва уларни узоқ муддат синаш кераклигидан хар бир цикл учун чидамлилик чегараси σ_R ни тажриба йўли билан аниқлаб бўлмайди. Юқоридаги сабаблар туфайли 3-4 та R қиймати учун ўтказилган тажриба натижаларига қараб чегаравий цикллар диаграммаси курилади.

Чегаравий цикл деб, максимал кучланиши чидамлилик чегарасига тенг бўлган циклга яони $\sigma_{\max} = \sigma_R$ бўлган циклга айтилади. Чегаравий цикллар диаграммасини куришда ордината ўқи бўйича σ_a нинг амплитуда қиймати, абцисса ўқи бўйлаб чегаравий циклнинг ўртача кучланиши σ_m қўйилади. Чегаравий циклни белгиловчи хар бир кучланиш σ_a ва σ_m диаграммада маолум бир нуқта билан белгиланади. Тажриба шуни кўрсатадики, бу нуқталар умумий ҳолда АВ эгри чизикда ётади, эгри чизик ордината ўқида симметрик циклдаги чидамлилик чегараси σ_{-1} га тенг, абцисса ўқида мустаҳкамлик чегарасига тенг кесмани кесиб ўтади (5-расм).



5- расм

Чегаравий цикллар диаграммаси ўртача кучланишлар қийматлари билан циклнинг чегаравий амплитуда қиймати орасидаги боғланишни характерлайди. Бу диаграмма ичида ётувчи исталган M нуқта σ_a ва σ_m қийматлар билан белгиланадиган циклга мос келади. Ушбу циклнинг $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ ларни топиш учун M нуқтадан абцисса ўқи билан 45° бурчак ҳосил қилувчи кесма MN ва MD ўтказилади. Унда 5-расм асосида қуйдагини ёзиш мумкин.

$$NE = ED = EM = \sigma_a$$

$$\sigma_{\max} = OD = OE + ED = \sigma_m + \sigma_a$$

$$\sigma_{\min} = ON = OE - EN = \sigma_m - \sigma_a$$

Асимметрия коэффициентлари бир хил бўлган цикллар (ўхшаш цикллар) 01 тўғри чизиқда ётувчи нуқталар билан характерланади. Бу чизиқнинг абцисса ўқида оғиш бучаги қуйдаги формула бўйича топилади.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} \quad (6)$$

Нуқта 1 барча ўхшаш цикллар ичида чегаравий циклга мос келади. Диаграмма ёрдамида исталган цикл учун чегаравий кучланишни топиш мумкин. Масалан: нолр дан бошланадиган цикл учун $\sigma_R = \sigma_0$, бу циклда (6-расм):

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{\max}}{2}$$

Бунинг учун координаталар бошидан $\alpha_1 = 45^\circ (\operatorname{tg} 45^\circ = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = 1)$ бучак остида

эгри чизиқ билан 2 нуқтада кесишадиган чизиқ ўтказилади (5 расм). Бу нуқтанинг ординатаси Н2 чегаравий амплитудавий кучланишни, абцисса К2 мазкур циклни чегаравий ўрта кучланишини билдиради. Циклнинг чегаравий максимал кучланиши 2 нуқта координаталарининг йиғиндисига тенг бўлади:

$$\sigma_{\max} = \sigma_a + \sigma_m = \sigma_0$$

3. Чидамлилиқ чегарасига кўпгина омиллар таосир этади. Толиқиш мустаҳкамлигига баҳо беришда ҳисобга олинадиган энг муҳим омиллар устида тўхталиб ўтамиз.

Кучланишлар концентрацияси: Толиқиш дарзлари одатда, кучланишлар концентрацияси пайдо бўладиган жойда содир бўлади. Кучланишлар концентрацияланиши даражаси концентрация коэффициентлари билан баҳоланади. Назарий α_σ ва эффектив K_σ концентрация коэффициентлари бўлади.

Материалнинг реал хоссаларини ҳисобга олувчи эффектив концентрация коэффициенти K_σ назарий коэффициент α_σ дан кичик бўлади. Циклик нагрузкаларда материалнинг реал хоссалари ҳисобига кучланиш концентрацияланиши самарасини камайиши сезгирлик коэффициенти q билан баҳоланади. Бу коэффициент қуйидагига тенг бўлади.

$$q = \frac{K_\sigma - 1}{\alpha_\sigma - 1} \quad (7)$$

Пўлатнинг механик хоссалари қанча юқори бўлса, сезгирлик коэффициенти шунча катта бўлади. Юқори мустаҳкамликка эга бўлган пўлатлар учун $q \cong 1$. Бу назарий ва эффектив концентрация коэффициентлари ўртасида фарқ йўқлигини билдиради. Бундай ҳолда детал мустаҳкамлиги α_σ қийматига пропорционал равишда камаяди. Углеродли пўлатлар учун $q=0.6-0.8$ га, чўян учун $q=0$ га тенг.

Детал сиртининг сифати: Деталнинг сирти қанча дағал ишланган бўлса, чидамлилиқ чегараси шунча паст бўлади, мустаҳкамлик чегараси юқори бўлган материаллар учун бу пасайиш анча сезиларли бўлади. Детал сиртига дағал ишлов берилганда кучланишлар концентрацияланадиган қўшимча

жойлар пайдо бўлади яони микродарзлар пайдо бўлиш учун шароит юзага келади. Шунинг учун ҳам машина ва механизмларнинг маосулятли деталлари кўпинча, жилоланади.

Агар деталнинг сиртига махсус ишлов берилса, унинг толиқиш мустаҳкамлиги ортади. Сирт га ишлов беришнинг цементлаш, юқори частотали токлар билан тоблаш, катта босим остида роликлар билан жўвалаш каби бир неча хил усуллари мавжуд.

Деталнинг абсолют ўлчамлари. Тажрибалар намуналарнинг ўлчамлари чидамлилиқ чегарасига таосир қилишини кўрсатади. Ўлчамлар ортиши билан чидамлилиқ чегараси камаяди. Масалан, вагон ўқларини тайёрлашга ишлатиладиган пўлатдан ясалган $d=7.5$ мм диаметри намунанинг чидамлилиқ чегараси 2300 кг/см^2 га тенг. Ҳақиқатда вагон ўқининг диаметри $D=170$ мм бўлиб чидамлилиқ чегараси 1200 кг/см^2 , бу лаборатория натижаларидан икки мата кичикдир. Хозиргача бу фактларни тўла тушунтириб бериш қийин.

Ташқи муҳит: Толиқиш мустаҳкамлиги детал турган муҳитга ҳам боғлиқ бўлади. Коррозияловчи муҳит (сув, шўр сув, кислоталар, буғлар) толиқиш мустаҳкамлигини кескин камайтиради. Сиртларни химоя қопламлари билан қоплаш (буяш, металлалаш, азотлаш, цементлаш, руҳ билан қоплаш) муҳитнинг коррозиялаш таосирини камайтиради. Юқори температуралар толиқиш мустаҳкамлигини камайтирса, паст температуралар эса бир оз оширади. Лекин шуни эсдан чиқармаслик керакки, паст температурада металлнинг зарбий муртлиги кескин пасайиб кетади.

Ўзгарувчан кучланишларда мустаҳкамликни ҳисоблашда ҳақиқий эҳтиёт коэффиценти n ни нормалар билан белгиланадиган рухсат этилган эҳтиёт коэффиценти $[n]$ билан таққослаб, деталнинг мустаҳкамлигига баҳо бериш қабул қилинган. Мустаҳкамлик шarti қуйидагича ёзилади:

$$n \geq [n]. \quad (8)$$

Эҳтиёт коэффицентлари n ни чегаравий амплитудаларнинг диаграммалари ёрдамида тақрибан топиш мумкин. Силлиқ намуна учун эҳтиёт коэффиценти қуйидаги формула ёрдамида топилади:

$$n_R = \frac{\sigma_{-1} - \sigma_{-1}}{\psi \sigma_m + \sigma_a}, \quad \psi = \frac{\sigma_{-1} - 0,5\sigma_0}{0,5\sigma_0}. \quad (9)$$

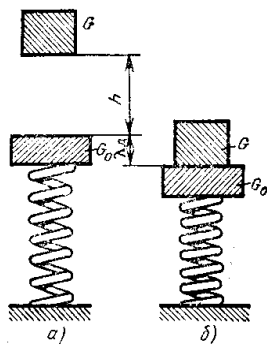
Кучланишлар концентрацияланишининг эффе́ктив коэффиценти K_σ , сезгирлик коэффиценти β , масштаб коэффиценти ϵ_σ ҳисобга олганда эҳтиёт коэффиценти қуйидаги формула бўйича топилади:

$$n_R = \frac{\sigma_{-1}}{\psi \sigma_m + \frac{K_\sigma}{\beta \cdot \epsilon_\sigma} \cdot \sigma_a} \quad (10)$$

Оқувчанлик чегарасига нисбатан эҳтиёт коэффиценти $n_{ок}$ орқали белгиланади ва қуйидаги формула бўйича топилади:

$$n_{OK} = \frac{\sigma_{OK}}{\sigma_{max}} \quad (11)$$

3. Зарб деганда, ҳаракатланаётган жисмларнинг жуда қисқа вақт ичида тезликларини кескин ўзгариши билан боғлиқ бўлган тўқнашуви тушунилади. Зарб вақт секундининг мингдан, хатто миллиондан бир улуши билан ўлчанади, зарб кучи эса жуда катта қийматга эришади. Масалан, темирчининг болғасини темир бўлагига таосири, қозикларни қоқишда тушаётган юкнинг таосири ва ҳакозалар бунга мисол бўлади. Оғирлиги G бўлган юқоридан тушаётган жисм оғирлиги ҳисобга олинмайдиган эластик пуржинага маҳкамланган оғирлиги G_0 бўлган бошқа жисмларга уриладиган ҳолини кўриб ўтамыз (6-расм,а)

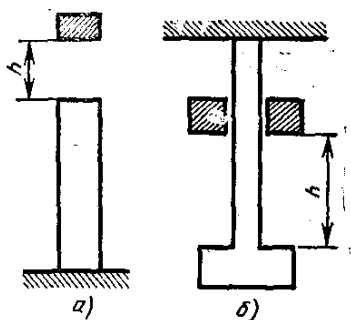


6- расм

Пружинанинг бикрлигини C орқали белгилаймиз. Агар G кучи системасига статик равишда қўйилса $f_{ст}$ кўчиш қуйидаги тенгликдан топилади.

$$f_{ст} = \frac{G}{C} \quad (12)$$

Зарб натижасида олинган бошланғич тезлик туфайли пружина $f_{дин}$ қийматига сиқилади (7-расм).



7-расм

Сиқилиш қийматини динамик куч P_g орқали аниқлаш мумкин.

$$f_{дин} = \frac{P_g}{C} \quad (13)$$

Юкнинг зарбидан олдинги тушиш тезлиги тушиш баландлигига боғлиқ

$$V^2 = 2gh \quad (14)$$

Иккала жисм бир бирига теккач тезликлари бир хил бўлиб v_1 га тенг бўлади. Шундай қилиб иккала жисм битта бўлиб бирлашади ва биргаликда пастга ҳаракатланиб, пружинани сиқади.

Ҳаракат микдорининг ўзгариши ҳақидаги теоремага асосан қуйидаги тенгликни ёзамиз.

$$\frac{G}{g}V = \left(\frac{G}{g} + \frac{G_0}{g}\right)V_1$$

ёки

$$V_1 = \frac{G}{(G + G_0)}V \quad (15)$$

Кинетик энергиянинг ўзгариши ҳақидаги теоремадан фойдаланамиз. Бу теоремага мувофиқ моддий системанинг қандайдир вақт оралиғида кинетик энергиясининг ортирмиси системага қўйилган кучларнинг унга мос келувчи йўлда бажарган ишларининг йиғиндисига тенг.

$$T_2 - T_1 = A \quad (16)$$

Бу ерда: T_2 - пружина энг кўп сиқилган пайтдаги кинетик энергия, бу пайтда тезлик нолга тенг бўлади, $T_2=0$;

T_1 - зарбадан кейинги бошланғич пайтдаги кинетик энергия

$$T_1 = \frac{G + G_0}{2g} V_1^2 = \frac{G^2}{2g(G + G_0)} V^2 \quad (17)$$

A - иккала ҳаракатлантирувчи жисмга f_g йўлда қўйилган барча кучларнинг бажарган иши. Иккала жисмнинг оғирлик кучи f_g йўлда $(G+G_0) f_g$ иш бажаради. Жисмларга пружина томондан ўзгарувчан куч таъсир қилади, бу кучнинг бажарадиган иши манфий бўлади, чунки у ҳаракатга нисбатан тескари томонга йўналган.

Бажарилган ишни топамиз:

$$A = (G + G_0) f_g - (G_0 f_g + \frac{P_g f_g}{2}) = G f_g - \frac{C f_g^2}{2} \quad (18)$$

Топилган қийматларни (11) ифодага қўйиб, қуйидаги тенгламани оламиз

$$f_g^2 - 2 f_{cm} f_g - 2h \frac{f_{cm}}{1 + \frac{G_0}{G}} = 0 \quad (19)$$

Бу тенгламани ечиб f_g ни топамиз:

$$f_g = \mu f_{cm} \quad (20)$$

бу ерда

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{f_{cm}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{G_0}{G}}} \quad (21)$$

Агар $G_0 = 0$ бўлса, яъни оғирлиги ҳисобга олинмайдиган пружинага G оғирлигидаги жисм урилганда динамик коэффициент тенг бўлади:

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{f_{cm}}} \quad (22)$$

Хусусий оғирлиги ҳисобга олинмайдиган стерженга юқоридан тушаётган юк учун динамик коэффициентни топишда (22) формуладан фойдаланиш мумкин.

Бунинг учун f қийматини $\Delta\lambda$ га алмаштириш керак

$$\begin{aligned} \Delta\lambda g &= \mu \Delta\lambda_{cm} \\ \mu &= 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta\lambda_{cm}}} \end{aligned} \quad (23)$$

Сиқувчи кучни, шунингдек унга мос келувчи кучланишни динамик коэффициент ёрдамида топиш мумкин.

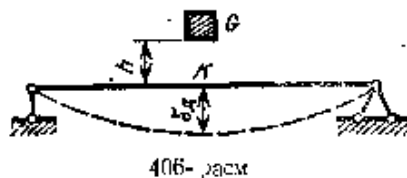
$$P_g = \mu G \quad ; \quad \sigma_g = \mu \sigma_{cm} \quad (24)$$

Статик чўзилиш $\Delta\lambda_{cm}$ қанча катта бўлса, динамик коэффициент шунча кичик бўлади. Шундай қилиб, стерженнинг бирлиги қанча катта бўлса, зарб кучининг қиймати ҳам шунча катта бўлади.

$\Delta\lambda_{cm}$ статик чўзилишнинг ошириб, зарб кучини камайтириш мумкин. Стерженни узунлиги қанча катта, бикрлиги эса кичик бўлса динамик коэффициент, демак динамик куч ва кучланиш шунча кичик бўлади. Шунинг учун ҳам оғир баржаларни шатакка олишда баржа билан шатакка олувчи катерни туташтирувчи канат узун олинади. Турли сабаблар туфайли бўладиган тасодифий зарб натижасида қисқа канатлар динамик юкка бардош бера олмай узилиб кетади.

Агар бўйлама зарбда стерженга қўшимча пружина қўйилса $\Delta\lambda_{cm}$ қиймати анча ортади демак, динамик коэффициент қиймати камаяди. Машина билан фундамент орасига резина қистирмалар қўйилса ҳам зарб таосири камаяди.

Балкага тушаётган юкдан динамик коэффициентни аниқлаш учун (17) формуладан фойдаланиш мумкин. Бунинг учун f_{ct} қийматини баканинг статик кўчиши билан алмаштириш зарур. Юк уриладиган нуқтадаги статик кўчишни σ_{cm} орқали бегилаймиз (8-расм), унда:



8-расм

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{cm}}} \quad (25)$$

Исталган қесимдаги динамик кўчиш δ_o , динамик кучланиш ёки бошқа исталган фактор S_o динамик коэффициент орқали топилади.

$$\delta_o = \mu\delta_{cm} ; \sigma_o = \mu\sigma_{cm} ; S_o = \mu S_{cm} \quad (21)$$

1. Техникада конструкция қисмларининг тебранма ҳаракатини ўрганиш муҳим аҳамиятга эга. Машинанинг ишлаш жараёнида унинг ўз деталларида тебранма ҳаракат ҳосил бўлиш билан бирга, унга ёпишган қисмларда, хатто кўшни конструкцияларда ҳам тебранма ҳаракат ҳосил бўлади. Бу тебранма ҳаракат баҳзи ноқулай ҳолларда (резонанс ходисаси) конструкциянинг емирилишигача олиб боради. Тебранма ҳаракат текшириляётган системанинг эркинлик даражаси сони билан аниқланади. Системанинг ҳаракат даврида исталган вақтда унинг ҳолатини аниқловчи бир-бирига боғлиқ бўлмаган геометрик параметрлар сони системанинг эркинлик даражаси сони деб

аталади. Эластик система чексиз кўп эркинлик даражасига эга бўлади. Бирок эластик система массив юкларни боғловчи жисмлардан иборат бўлса, у ҳолда эластик системанинг ўз массаси ҳисобга олинмайди. Бу ҳолларда эластик системанинг эркинлик даражаси ундаги ҳар бир юкнинг ҳолатини аниқловчи бир-бирига боғлиқ бўлмаган геометрик параметрлар сонига тенг бўлади.

Масалан, 1-расмда эркинлик даражаси бирга тенг бўлган система кўрсатилан, чунки бунда юкнинг исталган t вақтдаги ҳолатини битта параметр $y(t)$ билан аниқланади, бу параметр вертикал кўчишидан иборатдир. 2-расмда кўрсатилган системанинг эркинлик даражаси сони 2 га тенг бўлади, чунки бу система ҳаркатланганда ундаги юкларнинг ҳолати бир-бирига боғлиқ бўлмаган $y_1(t)$, $y_2(t)$ параметрлар билан аниқланади. Юқорида кўрилган мисолларда балканинг хусусий массаларини эҳтиборга олинмади.

2. Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системани хусусий тебранма ҳаракатини кўрамиз. Балкани чап таянчидан а масофага йиғиқ масса қўйилган бўлсин. (3-расм). Балкани массаси берилган масса m га қараганда анча кичик деб қараб уни ҳисобга олмаймиз. Агар масса m ни мувозанат ҳолатидан четга чиқариб, қўйиб юборилса, балка масса билан биргаликда тебрана бошлайди. Бундай тебранма ҳаракатлар хусусий ёки эркин тебранма ҳаракат деб аталади. Қаршилиқ кучи туфайли тебранма ҳаракат аста-секин сўнади ва маолум вақт ўтгач, дастлабки ҳолатига қайтади. Тебранма ҳаракатни акс эттирувчи дифференциал тенглама тузиш учун массанинг ихтиёрий t вақтдаги ҳаракатини текширамиз. Массани дастлабки ҳолатидан оғишини " y " билан белгилаймиз. Массага тезланиш билан масса кўпайтмасига тенг, тезланишга нисбатан тескари томонга йўналган инерция кучи таосир қилади. Тезланиш ўтилган йўлнинг вақт олинган иккинчи даражали ҳосиласига тенг бўлганлигидан инерция кучи

$$J = -m \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (22)$$

га тенг бўлади. Бу кучдан ҳосил бўладган кўчишни қуйидагича топиш мумкин:

$$y = \delta_{11} J \quad (23)$$

бу ерда: δ_{11} - масса маҳкамланган нуқтага қўйилган бирлик кучдан ҳосил бўладиган кўчиш. (23) тенгламага J нинг қийматини қўйиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$y = -\delta_{11} m \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (24)$$

ундан

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y = 0 \quad (25)$$

бу ерда:

$$\omega^2 = \frac{1}{\delta_{11} m} \quad (26)$$

Олинган, тенглама (25) бир эркинлик даражасига эга бўлган системани эркин ҳаракати дифференциал тенгламаси деб юритилади. Дифференциал тенгламани (25) ечимини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$y = A \cos \omega \cdot t + B \sin \omega \cdot t \quad (27)$$

бу ерда: А ва В интеграл доимийлари.

Тенглама ечими (27) ни бошқача кўринишда ёзиш мумкин. Бунинг учун қуйидаги

$$A = C \sin \varphi \quad B = C \cos \varphi$$

белгилашлар киритамиз. Бунда кўчиш учун қуйидаги тенгламани оламиз:

$$y = C \sin (\omega \cdot t + \varphi) \quad (28)$$

Ҳаракатланаётган массанинг тезлиги

$$V = \frac{dy}{dt} = C \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad (29)$$

га тенг бўлади.

(28) ва (29) тенгламалардан С ва φ ўзгармас сонлар бошланғич шартлардан

топилади. Айтайлик $t=0$ бўлганда $y=y_0$; $\frac{dy}{dt} = V_0$

бўлсин унда (28) ва (29) тенгламалардан топамиз:

$$y_0 = C \cdot \sin \varphi; \quad V_0 = C \cdot \omega \cos \varphi$$

$$C = \sqrt{y_0^2 + \left(\frac{V_0}{\omega}\right)^2}; \quad \varphi = \arctg \omega \frac{y_0}{V_0}.$$

Масса ҳаракатини графигини курамиз, у 4-расмда кўрсатилган. Графикдан кўришиб турибдики энг катта оғиш $\sin(\omega \cdot t + \varphi)$ бирга тенг бўлганда содир бўлади, унинг қиймати эса С га тенг бўлади. С-тебраниш амплитудаси деб аталади. Хар бир тўла тебраниш циклига кетган вақт Т тебраниш даври деб юритилади.

$$T = \frac{2\pi}{\omega}; \quad \omega T = 2\pi.$$

Эркинлик даражаси бирга тенг бўлган система эркин тебранишларининг даврий частотаси ω қуйидаги формуладан топилади.

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{m\delta_{11}}} \quad (30)$$

Бу олинган формулалардан кўришиб турибдики, балканинг бикрлиги ортиши билан тебранишлар частотаси ортади. Тебранишлар частотаси ω масса m га тескари пропорционал. Агар балкага бир неча, масалан, n та масса бириктирилган бўлса, системанинг эркинлик даражаси n га тенг бўлади. Бунда система n та эркин тебраниш частоталарига эга бўлади.

Юқоридаги ечим тақрибий ҳисобланади, чунки унда қаршилик кучи, масалан, хавонинг қаршилиги, шарнирлардаги ишқаланиш кучлари, ички қаршилик кучлари ҳисобга олинмади.

Балкаларда кузатилган тебраниш тезлигида хавонинг қаршилиқ кучи кичик бўлади, шунинг учун уни инобатга олмаси ҳам бўлади. Таянч шарнирларини конструкциясини яхшилаш ёки уларни мойлаш ҳисобига шарнирлардаги ишқаланиш кучларини йўқотиш ёки минимумга тушириш мумкин.

Ички ноэластик қаршилиқ кучлари асосий ҳисобланади. У балка материали ва бошқа омилларга боғлиқ бўлганлигидан уларни йўқотиб бўлмайди.

Тебранишнинг сўнишини ҳисобга олувчи кенг тарқалган гипотезалардан бири Фойгт таклиф қилган гипотезадир. Бу гипотезага кўра ички қаршилиқ кучи

$$P = -k \frac{dy}{dt}$$

га тенг қилиб олинади.

Бу ерда: k - куч билан тезлик ўртасидаги пропорционаллик коэффиценти.

Қаршилиқ кучи масса қўйилган нуқтага қўйилган деб олинади. Уни ҳисобга олганда системани эркин тебраниш ҳаракат дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\beta \frac{dy}{dt} + \omega^2 y = 0 \quad (31)$$

бунда

$$\beta = \frac{k}{2m}; \quad \omega^2 = \frac{1}{m\delta_{11}}.$$

Олинган (31) тенгламани интеграл қуйидагича ёзилади.

$$y = C\lambda^{-\beta t} \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi) \quad (32)$$

бунда

$$\omega_1 = \sqrt{\omega^2 - \beta^2} \quad (33)$$

Қаршилиқ кучини ҳисобга олганда кўчиш графигини кураимиз, у 5-расмда кўрсатилган. Кўриниб турибдики қаршилиқ кучини ҳисобга олганда тебранишлар сўна боради. Сўниш тезлигига баҳо бериш учун массанинг иккита оғишлари нисбатини топамиз:

$$\frac{y_n}{y_{n+1}} = \frac{\lambda^{-\beta t}}{\lambda^{-\beta(t+T)}} = \lambda^{\beta T} \quad (34)$$

$$\text{ундан} \quad \beta T = \lambda n \frac{y_n}{y_{n+1}} = \delta \quad (35)$$

Бу қиймат тебранишлар сўнишининг логарифмик декременти деб аталади ва у эркин тебранишлар сўнишининг тезлигини билдиради.

3. Агар системага вақт бўйича, қандайдир қонун бўйича ўзгарувчи $P(t)$ куч таосир қилса, бу куч таосирдан балканинг тебранишига мажбурий тебраниш

дейилади. Қаршилиқ кучини ҳисобга олмаганда системани ҳаракат дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y = \frac{1}{m} P(t) \quad (36)$$

Бу тенгламани интегралли икки қисмдан иборат бўлади, яъни бир жинсли тенгламанинг умумий ечими ва тенгламанинг ўнг томониға боғлиқ бўлган хусусий ечимдан ташкил топади.

Ташқи куч Θ частота билан гармоник қонун бўйича ўзгарадиган вибрацион юкдан иборат бўлган хусусий ҳолни кўриб чиқамиз:

$$P(t) = P \cdot \sin \Theta t \quad (37)$$

(16) ифодани ҳисобга олиб (15) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y = \frac{P}{m} \cdot \sin \Theta t \quad (38)$$

Бир жисмли тенгламанинг интегралли бизга маълум. Хусусий интегрални қуйидаги кўринишда қидирамиз:

$$y_1 = A_1 \sin \Theta t$$

Бу ифодани (38) тенгламага қуйиб топамиз.

$$A_1 = \frac{P}{m(\omega^2 - \Theta^2)} = \frac{P}{m\omega^2(1 - \frac{\Theta^2}{\omega^2})}$$

Агар

$$\omega^2 = \frac{1}{m\delta_{11}}$$

Эканлигини ҳисобга олсак қуйидагини оламиз:

$$A_1 = \frac{P \cdot \delta_{11}}{\Theta^2 \left(1 - \frac{\Theta^2}{\omega^2}\right)} \quad (39)$$

Шундай қилиб (36) тенгламани ечими қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$y = C \sin(\omega t + \varphi) + \frac{y_{CT}}{1 - \frac{\Theta^2}{\omega^2}} \sin \Theta t \quad (40)$$

Бу ифоданинг биринчи қўшилувчиси хусусий тебранишларни, иккинчиси эса мажбурий тебранишларни билдиради. C ва φ ларнинг қийматлари бошланғич шартлардан топилади.

Реал балкаларда хусусий тебранишлар тез сўнади ва балка мажбурий тебраниш частотаси Θ билан тебрана бошлайди.

Агар $\sin \Theta = 1$ деб қабул қилсак, стерженнинг дастлабки ҳолатидан максимум оғиш қийматини (яъни мажбурий тебранишлар амплитудасини) топиш мумкин:

$$Y_{\max} = \frac{Y_{cm}}{1 - \frac{\Theta^2}{\omega^2}} = \mu \cdot Y_{cm} \quad (41)$$

Бу ерда: μ - динамик коэффицент, унинг қиймати қуйидаги формула ёрдамида топилади:

$$\mu = \frac{1}{1 - \frac{\Theta^2}{\omega^2}} \quad (42)$$

Мажбурий тебранишлар частотаси Θ хусусий тебранишлар частотаси ω га яқинлашганда динамик коэффицент чексиз ортиб боради. Агар $\Theta = \omega$ бўлса $\mu \rightarrow \infty$ бўлади. Бундай ходисага резонанс дейилади. Агар қаршилиқ кучини инобатга олсак ҳаракат дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\beta \frac{dy}{dt} + \omega^2 y = \frac{P}{m} \sin \Theta \quad (43)$$

Бу ҳолда ҳам тенгламани ечими икки қисмдан иборат бўлади. Системани хусусий тебраниши тезда сўнади ва система мажбурий тебрана бошлайди, унинг тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$y = B \sin(\Theta t + \varphi_1) \quad (44)$$

бу ерда B ва φ_1 мажбурий тебранишлар амплитудаси ва фазаси.

Натижавий ечим қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$y = \frac{y_{cm}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\Theta^2}{\omega^2}\right)^2 + \frac{\gamma^2}{n^2}}} \cdot \sin(\Theta t + \varphi_1) = \mu y_{cm} \cdot \sin(\Theta t + \varphi_1)$$

Бу ерда динамик коэффицент қуйидаги ифода бўйича топилади:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\Theta^2}{\omega^2}\right)^2 + \frac{\gamma^2}{n^2}}} \quad (45)$$

Динамик коэффицент ифодасини тахлили шуни кўрсатадики реал балкаларда резонанс пайтида динамик коэффицент чексиз бўлмаса ҳам ҳар

ҳолда жуда катта қийматга эришади. Резонанс иншоатлар учун ўта хавфли бўлганлигидан унга йўл қўйиб бўлмайди.

Ўз - ўзини текшириш саволлари:

1. Толиқиш ҳодисаси қандай тушунтирилади?
2. Кучланиш цикли деб нимага айтилади?
3. Ўртача максимал ва минимал кучланишлар деб нималарга айтилади?
4. Кучланиш амплитудаси деб нимага айтилади?
5. Цикл коэффиценти деб нимага айтилади?
6. Симметрик ва асимметрик циклларнинг фарқи нимада?
7. Қандай циклларга ўхшаш цикллар дейилади?
8. Толиқиш чегараси нима?
9. Толиқиш мустаҳкамлигига таосир кўрсатувчи факторларни айтинг.
10. Чидамлилик эҳтиёт коэффиценти нима?
11. Зарб кучига қандай ҳисобланади?

Адабиётлар

Асосий адабиётлар

1. Урозбоев “Материаллар қаршилиги курси”, Тошкент: “Ўқитувчи”, 1979, 510 б.
2. А.Ф.Смирнов таҳрири остида “Материаллар қаршилиги”, Тошкент: “Ўқитувчи”, 1988, 464 б.
3. В.М.Феодосев “Сопротивление материалов”, М.1979.
4. Н.М.Беляев ва бошқалар “Материаллар қаршилигидан масалалар тўплами” Тошкент, “Ўзбекистон”, 1993 й.
5. И.С.Терегулов “Сопротивление материалов и основк теории упругости, пластичности”. М.Вқш. шк. 1984.
6. Сборник задач по сопротивлению материалов, под редакцией В.К.Качурина, М., “Наука”, 1972, 432 стр.
7. К.М.Мансуров “Материаллар қаршилиги”, Тошкент “Ўқитувчи”, 1983, 504 б.

Кўшимча адабиётлар

1. А.В.Дарков, Г.С.Шпиро “Сопротивлене материалов”. М. 1989.
2. О.И.Теребушко “Основк теории упругости и пластичности”.
3. В.А.Киселов “Плоская задача теории упругости”. М., 1979.
4. В.Г.Рекач “Рўководство к решению задач прикладной теории упругости”. М., 1984.
5. Материаллар қаршилиги фанидан хисоб-график ишларини бажариш учун услубий кўрсатмалар.
I қисм. Тўзувчилар: З.А.Мамажонов, К.А.Амонов. ФарПИ, 1998, 130 б.
7. Материаллар қаршилиги фанидан хисоб-график ишларини бажариш учун услубий кўрсатмалар. 2қисм. Тўзувчилар: З.А.Мамажонов, Ш.Т.Абдурахмонов. ФарПИ, 1998, 35 б.
8. Материаллар қаршилиги фанидан хисоб-график ишларига вариантлар.
Тўзувчилар: К.А.Амонов, Ш.Т.Абдурахмонов, И.Х.Хамзаев, ФарПИ 1996, 96 б.
9. Материаллар қаршилиги кўрсидан лаборатория ишларини бажаришга доир услубий кўрсатмалар. Тўзувчилар: К.А.Амонов, И.Х.Хамзаев, Ш.Т.Абдурахмлнлв. ФарПИ, 1997. 71 б.
10. Материаллар қаршилиги фанидан лаборатория ишлари бўйича хисобот тайёрлаш учун услубий кўрсатмалар. Тўзувчилар: Ш.Т.Абдурахмонов, З.А.Мамажонов. ФарПИ, 1999, 58 б.
11. А.Д. Дўсматов. «Амалий механика» фанидан (Материаллар қашилиги бўлими учун) Маҳруза матнлари ФарПИ 2000 йил.
12. З.А. Мамажонов. «Материаллар қашилиги» фанидан Маҳруза матнлари ФарПИ 2001 йил.