GURLUŞYK MEHANIKASY

TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

Ç.A. Amansahatow, A.I. Aşyrow,
A.G. Garajaýew, T.S. Öremedow.

GURLUŞYK MEHANIKASY

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

Ç.A. Amansahatow, A.I. Aşyrow, A.G. Garajaýew,
T.S. Öremedow, Gurluşyk mehanikasy.

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby, Aşgabat – 2010 ý.

Okuw kitaby dürli gurluşyk konstruksiýalaryň hasaplaýyş usullaryna bagyşlanýar. Dinamiki we statiki güýçlerden konstruksiýanyň özüni alyp barşy derňelýär. Kompýuter tehnologiýasynyň ösmegi köp konstruksiýalaryň hasaplaýyş usullary ýeňleşýär. Bu kitapda hem konstruktiw bölekleriň matrisa usulyna köp üns berilýär. Matematikada matrisalaryň algoritimleri düzilenligi sebäpli seredilen meseleleriň çözüwini kompýuteriň kömegi bilen tiz işläp bolýar. Täsir çyzygynyň nazarýeti öwrenilýär onuň kömegi bilen hereket edýän güýçlerden hasaplamalar amala aşyrylýar. Konstruksiýany hasaplamagyň birnäçe usullary hödirlenýär. Okuw kitaby ýokary okuw mekdebiniň Senagat we Raýat jaý gurluşygy we Gurluşyk materiallaryny, önümlerini we konstruksiýalaryny öndürmek hünärleri üçin niýetlenendir. Talyplaryň wagtynyň çäklidigini göz öňünde tutmak bilen, kitap ýazylanda gysgaldylan görnüşde berilýär. Şol bir wagtda, ýokary kärli inžener-tehniki taýýarlygy üpjün etmek üçin Gurluşyk mehanikasy dersiniň ähli usullary gysga görnüşde görkezildi.

SÖZBAŞY

Garaşsyz, baky Bitarap Türkmenistan döwletimizde geljegimiz bolan ýaşlaryň dünýäniň iň ösen talaplaryna laýyk gelýän derejede bilim almagy üçin ähli işler edilýär.

Hormatly Prezidentimiz döwlet başyna geçen ilkinji gününden bilime, ylma giň ýol açdy, Türkmenistan ýurdumyzda milli bilim ulgamyny kämilleşdirmek boýunça düýpli özgertmeler geçirmäge girişdi.

Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň “Türkmenistanda bilim ulgamyny kämilleşdirmek hakynda” 2007-nji ýylyň 15-nji fewralyndaky Permany bilim ulgamyndaky düýpli özgertmeleriň başyny başlady.

Häzirki wagtda milli bilim ulgamyndaky döwrebap özgertmeler ýaş nesliň ýokary derejede bilim almagyna we terbiýelenmegine, giň dünýägaraýyşly, edep-terbiýeli, tämiz ahlakly, kämil hünärmenler bolup ýetişmeklerine uly ýardam edýär.

Okuw maksatnamasy Täze Galkynyş we Beýik özgertmeler zamanasynda ýokary bilimli hünärmenleri taýýarlamaklyga bildirilýän talaplary göz öňünde tutup taýýarlanyldy.

Gurluşyk mehanikasy umumy inženerçilik ylymlarynyň biri bolmak bilen dürli desgalary berklige, gatylyga we durnuklylyga hasaplamagyň umumy ýörelgelerini öwrenýär. Gurluşyk inženeri hünäri boýunça talyplara bilim bermekde gurluşyk mehanikasy esasy orun tutýar.

Şu okuw kitaby gurluşyk mehanikanyň kursunyň programmasy esasynda ýazyldy. Şol sebäpli şu gollanmadan gurluşyk hünärleri boýunça okaýan talyplar doly peýdalanyp bilerler. Ondan başga-da bu gollanmada birnäçe täze soraglara seredildi: maýyşgak esasdaky pürsler, gutarnykly bölekler ululy, süýşme teoriýanyň esasy, gurluşyk konstruksiýalaryň statistik teoriýasy we berklik teoriýasy.

Şu kitabyň esasy mazmuny gurluşyk mehanikasynyň köp ýyllaryň dowamynda TPI-da okadylyş tejribesi esasynda düzüldi.

Kitabyň hemme bölümlerinde matrisa usullarynyň ulanylyşy giňişleýin görkezilýär. Birinji bölümiň ikinji babynda şol usullaryň gurluşyk mehanikasy nukdaý nazardan esaslary görkezilýär.

Ýagny matrisa usullaryna binalary hasaplamakda matematiki modeliň esasy hökmünde seredilýär. Munuň özi talyplaryň köp hasaplaýyş işlerini elektron hasaplaýyş maşynlarda ýerine ýetirmegine ýardam eder.

Birnäçe täze baplaryň girizilmegi netijesinde gurluşyk mehanikanyň däbe öwrülen bapynyň alynmagy tebigidir.

Şeýle-de bolsa awtoryň pikri boýunça programma degişli esasy temalar saklanyldy, ýöne käbir baplarda mysallar gysgaldylyp alyndy. Kitabyň ahyrynda getirilen gurluşyk mehanikasyna degişli kitaplaryň üsti bilen käbir talyplaryň islegine görä özüni gyzyklandyrýan meseleleriň çözgüdini tapyp bilerler.

Giriş

Gurluşyk mehanikasy klassiki mehanikanyň bir bölegi bolup ol tejribe ähmiýetli ylymdyr. Klassik mehanikadan tapawutlylykda gurluşyk mehanikasy diňe gaty jisimleriň mehanikasy bilen meşgullanýar. Bina edilýän jaýlaryň özi we bölekleri gaty jisimlerden ybaratdyr. Şol sebäpli ýokarda agzalan bölekleriň berkligine, gatylygyna we durnuklylygyna baha berip biljek usullaryň hökmanydygyny häzirki zaman ylmyndan halk hojalygy talap edýär. Şonuň esasynda gurluşyk mehanikasyna aşakdaky ýaly kesgitleme bermek bolar.

Kesgitleme: Jaýlary we desgalaryň berkligi, gatylygy durnuklylygy we dinamiki güýçlere hasaplaýan ylma gurluşyk mehanikasy diýilýär.

Bir söz bilen aýdanymyzda gurluşyk mehanikasy halk hojalygynyň taraplary netijesinde ýüze çykan ylymdyr. Ýagny dürli jaýlary desgalary köprüleri minareýleri prosktirlenen we gurmak üçin haýsam bolsa bir esaslandyrlan usullar gerek bolup durýar. Gurluşyk mehanikasy özbaşdak ylym hökmünde geçen asyryň ikinji ýarymynda peýda boldy. Ýagny şol wagta çenli dowam eden berklik baradaky ylym jaýlaryň we desgalaryň iňňän köp gurulyp başlanlygy sebäpli gurluşyk mehanikasy diýlip atlandyryldy.

Berklik baradaky ylmyň düýbini tutanlaryň biri G.Gomileýdir. Ol berklik barada mesele goýan iň ilkinji alymdyr. Ýöne şeýlede bolsa onuň goýan iki daýançdaky ýönekeý kürsiň egilmesi baradaky meselesi şol döwürde özüniň çözgidini tapyp bilmedi. Ýagny ol meseläni çözmek üçin napryaženiýa bilen deformasiýaň arabaglanyşygyny bilmek hökmanydyr. Başgaça aýdanymyzda Gunuň kanuny ýetmezçilik edýärdi.

1678-nji ýylda Gukuň kanuny jar edilenden soň berkasek baradaky ylym käbir özgerişiklere peýda boldy. Şol özgerişikleriň peýda bolmagyna beýik alymlar Laglanşyň Eýleriň Koşuň ylmy işleri we açyşlary uly goltgy berdi.

Berkitmek baradaky ylmyň özgermegine we baýlaşmagyna beýik rus alymy M.Lomonosowyň agymlary uly rol oýnady. Bu alymyň energiýanyň saklanmak kanuny häzirki güne çenli uly üstünlik bilen peýdalanylyp gelinýär.

Berklik ylmynyň özgermegine rus inženerleriniň goşandy örän ulydyr. Olaryň arasynda talantly inžener Kulibiniň daýançlarynyň arasy 300m bolan arka şekilli agaç köprüsiniň proýektini mysal getirmek bolar.

Şu asyryň 20-nji ýyllarynda gurluşyk mehanikasynda uly öňe gidişlik gazanyldy. 1930-njy ýylda izof.A.A.Gwozdew garyşdyrylan usuly oýlap tapdy.

Beýik alym B.B. Wlasow gabyklaryň we ýuka diwarly konstruksiýalaryň teoriýasyny ilkinji döredenleriň biridir. Häzirki zamanda eýeli gabyklar we ýuka diwarly konstruksiýalar bütin dünýäde B.B.Wlasowyň usullary bilen hasaplanylýar. Ondan başgada alym B.B.Wlasyň döreden uly mekdebi häzirki güne çenli gurluşyk mehanikanyň görnükli alymlary hökmünde tanalýar. Olaryň arasynda professorlar H.H.Leontewyň, D.H.Sabonewyň, Robinowiç U.M. kanstruksiýalaryň kinemotiki usulyny oýlap tapdy. 1950-nji ýyldan başlap şu günlere çenli gurluşykda uly-uly öňe gidişlikler we özgerişler boldy.

Beýik alym W.W.Bolotin durnuklylygyň dinamiki teoriýasyny döretdi. Ondan başga-da W.W.Bolotin statistiki teoriýanyň žablaryň we uýesganyň hasaplamalarynda ulanmagy esaslandyryjylaryň biridir. Bu teoriýany W.W.Bolotin beýik alym H.C.Streleskiň berkasek baradaky teoriýasy esasynda döredi.

Häzirki wagtda gurluşyk mehanikasy dürli usullary döredip uly öňe gidişlik gazandy. Moskwa şäherindäki beýikligi 540m bolan Ostonkino teleminareti hut gurluşyk mehanikanyň metodlary bilen hasaplanyldy. Şeýle beýikligine garamazdan onuň betondan guýlan esasy bary-ýogy 4,5m çuňlukda ýeriň aşagynda oturdyldy.

Ondan başgada Moskwa şäherinde 1980-nji ýylyň olimpiýadasyna bagyşlanyp birnäçe dünýä belli ajaýyp jaýlar we desgalar bina edildi. Olaryň arasynda Mir prosiýentinde ýerleşdirilen ululygy 126x104m ýüzülýän bosseýni mysal getirmek bolar. Şu hilli desgalaryň Moskwada jemi 10 golaýy prosktirlendi we guruldy.

Häzirki zamanda gurluşyk mehanikasy gaty uly öňe gidişlik gazandy. Ýöne gynansakda şol öňe gidişlik praktikada üznelikde dowam edýär. Birnäçe ykdysady tarapdan amatly usullar özleriniň praktikada ulanylşyny tapmadylar. Munuň esasy bir sebäbi şol usullaryň çylşyrymlylygy bolsa, ikinji bir sebäbi biziň inžener praktikamyzyň ylymdan has yzy golanlygyndadyr.

Häzirki döredilen usullaryň içinde statistiki usuly geljekde giň olar diýip tama edýäris. Ýagny ýer ýüzündäki ähli zatlar biologiýadan başlap tä kosmosa çenli haýsam bolsa bir derejede tötänleýin tebigatyň kanunlaryna baglydyr. Eger şeýle bolsa bu ýagdaý biziň jaýlarymyzyň we desgalarymyzyň elementaýerine, olara täsir güýje, fiziki we geometriki ululyklara degişlidir. Şu tötänleýin üýtgemeleri hasaba alman döredilen usul, häzirki zaman proýektirlenşi talaplara laýyk gelmeýär. Bu usullar öz görnüşinden çylşyrymly bolsalarda häzirki zaman elektron hasaplaýyş maşynlaryň kömegi bilen örän oňaýly netijeler almak başardýar

1.Statiki kesgitlenýän sistemalar
1.1 Umumy düşünje

Materiallaryň garşylygy kursunda jaýlaryň we desgalaryň bölekleriniň hasaplanyş usullary bilen tanyş bolduk. Öň aýdyşymyz ýaly gurluşyk mehanikanyň kursunda şol bölekleriň birleşip emele getirýän desgalarynyň hasaplanan usullary öwrenilýär. Has takyk aýdylanda gurluşyk mehanikanyň esasy meselesi bina edilýän desgalaryň berklilik we tygşytlylyk talaplara jogap berýän usullary döretmekden ybaratdyr. Ýöne bu talaplar biri-birine gapma-garşydyrlar. Ýagny desganyň bölekleriniň berk bolmagy üçin onuň kesiginiň ölçegleriniň uly bolmagy ýeterlikdir. Emma bu hili berklik tygşytlylyk talaplaryny berjaý etmeýär, çünki kesigiň ölçegleriniň uly bolmagy, oňa harç edilýän materiýallaryň köpelmegine getirýär. Şol sebäpli gurluşyk mehanika desgalaryň esaslandyrylan usullaryny döretmekde iki sany kategoriýadan ugur alýar: täsir eýme we garşylyk. Täsir etme ähli güýçleri öz içine alýar, mysal üçin desgalaryň we enjamlaryň agramlary, ýeliň basyş güýji, ýeriň çökmegi, konstruksiýanyň eksmentlerine gyzgynlygyň täsiri we ş.m.

Garşylyk bolsa şu esli täsir edýän güýçlere desgalaryň we olaryň bölekleriniň garşy durmaga ukyplylygyny kesgitleýär. Şu sebäpli gurluşyk mehanikanyň meselesi iki bölekden ybarat bolmalydyr.

1) Täsir edýän güýçleri öwrenmek we olary kesgitlemek.
2) Desgalaryň şol güýçlere garşylyk ukybyny kesgitlemek.
3) Gurluşyk mehanikanyň meselelerini aşakdaky toparlara bölmek bolar:

a) tekizlikdäki meseleler.
b) Giňişlikdäki meseleler.

Gurluşyk mehanikada köplenç ýagdaýda ähli giňişlikdäki meseleler tekizlikdäki meselelere getirmek üsti bilen işlenilýär. Çünki tekizlikdäki meseleleriň işleniş usullary giňişlikdäki meseleleriň usullaryndan has ýönekeýdir.

Ondan başgada gurluşyk mehanikada täsir ediş güýçleriň görnüşlerine görä meseleleriň iki topary tapawutlandyrylýar.

a) Satiki meseleler.
b) Dinamiki meseleler.

Desgalara täsir edýän güýçleriň we olaryň garşylygynyň wagt ýagny bolmadyk meseleleri statistiki meselelere degişlidir. Dinamiki meselelerde kanstruksiýanyň elementleriniň inersian häsiýetleri göz öňüne tutulýar. Inersian häsiýetler wagtyň önümi görnüşinde kesgitlenilýär.

Soňky ýyllarda desgalaryň we jaýlaryň hasaplarynda statistik meselelere seredilip başlanyldy. Munuň özi desgalara täsir edýän güýçleriň köpüsiniň tötänleýin tebigatyň kanunlaryna baglylygy üçindir. Mysal üçin Aşgabatda garyň galyňlygy öňünden aýdylan bir ululyga deň bolar diýmek nädogrydyr. Şonuň ýaly hem desgalara esas bolup hyzmat edýän topraklaryň häsiýetleri hem tötänleýin üýtgeýärler. Şonuň üçinem soňky ýyllarda gurluşyk mehanikada tötänleýin proseslaryň usullary giňden ulanylýar.

Konstuksiýany hasaplamak üçin tötänleýin prosesleriň matematiki modelleri düzilýär. Ol modeller konstruksiýada geçirilýän eksperimentleriň esasynda düzülýär.

1.2 Hasap shemasy barada düşünje we olaryň toparlara bölünişi

Käbir halatlarda desgalaryň hasaplaýyş işlerinde olara ähli täsir edýän faktorlary göz öňünde tutmak mümkin bolmaýar. Şol sebäpli desgalaryň hakyky berlen shemasyndan,şeýle atlandyrylýan hasaplaýş shemasyna geçmeli bolýar. Hasaplaýyş shemalaryşol bir konstruksiýalar üçin haaplaýşyňtalaplaryna görä dürli hili bolup biler.

Hasaplaýyş shemalary birnäçe shemalara görä aşakdaky toparlara bölmek bolýar.

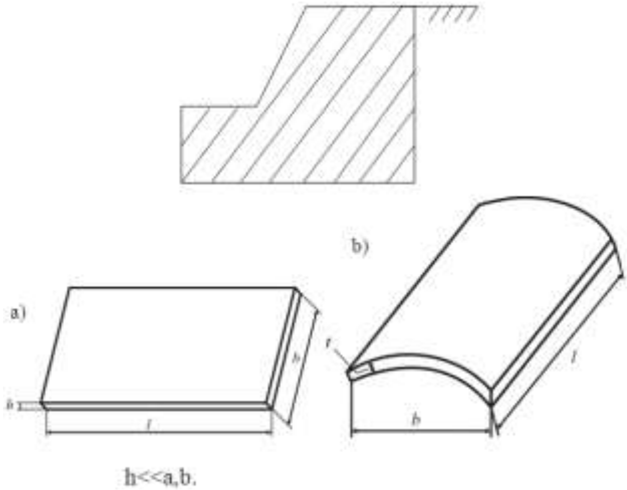
I. Geometriki aňlatmala boýunça
II. Elementler özara birikdirilişi boýunça
III. Dolnamerde ýüze çykýan gçýjiň ugurlary boýunça

1) Geometriki hasaplamalara görä şu hili desgalary tapawutlandyrylýar.

Eger desgalaryň kesikleriniň ölçegi uzynlygyndan has uly bolanda olara gabaraly ýa-da uly desgalar degişlidir.

Şeýle desgalara bentleri, uly senagat jaýlarynyň fundamentlerini, köprileriň daýançlaryny we şuňa meňzeşleri mysal getirmek bolýar. Şeýle desgalar köplenç halatda gysylma işleýärler, şonuň üçin bular betondan ýasalýar.

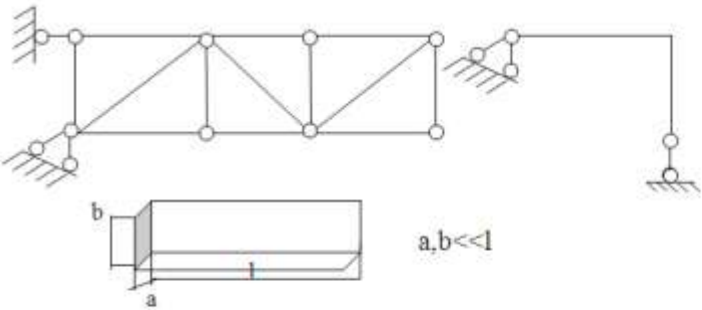
Egerde bir ölçegli beýleki iki ölçeginden has kiçi bolsa onda konrtruksiýanyň şiýle böleklerine plastinalar diýilýär. Onuň galyňlygyna baglylykda olar plitalara we plastinalara bölünýärler. Bu elementler gurluşykda örän köp ulanylýar. Eger plastinanyň orta çyzygy egri çyzyk bolsa onda oňa gabyk diýilýä



1-nji surat

2) galyňlyga berkligi ölçeglerimden has kiçi bolan desgalara gabyklar ýa-da olastinalar diýilýär.şu hili desgalara görä diwarly konstruksiýalar, uly diametrli turbalar degişlidirler. Bu hili desgalar esasanam jaýlaryň we uly ölçegli desgalaryň üstini ýapmakda giňden ulnylýar.

3) kesikleriniň ölçegleri uzynlygyndan has kiçi bolan desgalar sterženli sistemalara degişlidirler

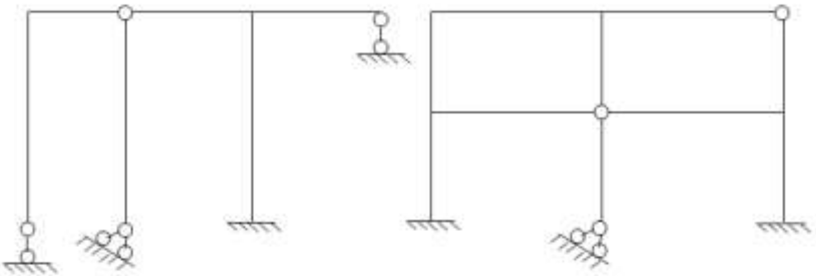


2-nji surat

Elementleriň özara birikdirilişi boýunça aşakdaky desgalar RAT

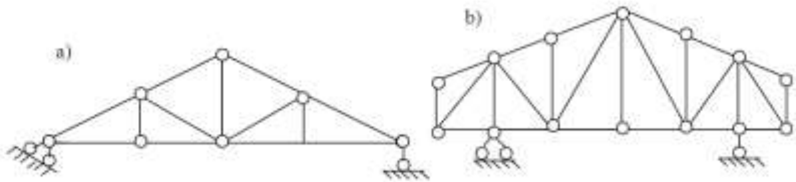
Elementleriň özara birikdirilişi boýunça aşakdaky desgalar tapawutlandyrylýar

1) Egerde hemme düwün ýa-da käbir düwünleri gaty birikdirilen sistemanyň hemme düwinlerini şarnir bilen çalyrylamda geometriki üýtgeýän sistema öwrülýän desgalara ramalar diýilýär.



3-nji surat

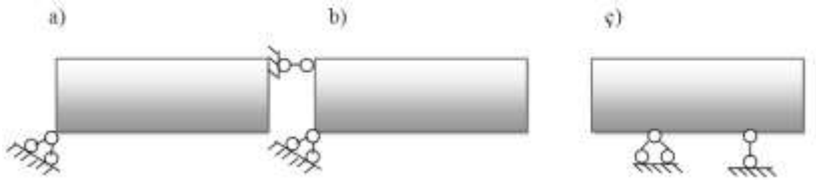
2) Eger hemme düwinleri şarnirlerbilen çalşyrylanda geometriki üýtgemeýän sistema bolup galýan desgalara fermalar diýilýär.



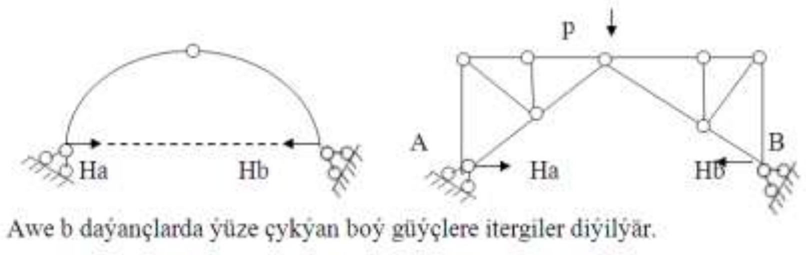
4-nji surat

Daýançlarda ýüze çykýan güýçleriň ugurlary boýumça aşakdaky desgalary tapawutlandyrmak bolar itergili desegalar, itergisiz desgalar. Eger haýsam bolsa bir sistemada dikligine täsir edýän güýçlerden, daýançlarda keseligine ugrukdyrylýan içki güýçler ýüze çykýan bolsa şolara itergiler diýilýär. Itregisiz desgalary 3 topara bölmek bolýar.

a) Pürs görnüşli b) Ganat görnüşli ç) Pürs – ganat görnüşli Itergili sistemalar 3 şarnirli ramalar we arkalar degişlidir.



5-nji surat



6-njy surat

1.3 Statiki sistemalar

Gurluşyk mehanikasy statiki sistemalryň iki görnüşine seredýär.

1) Statiki kesgitlenýän sistemalar
2) Statiki kesgitlenmeýän sistemalar

Kesgitleme 1 : Ähili reaksiýalary we içki güýçleri statikanyň deňlemeleriniň üsti bilen kesgitlenýän sistemalara statiki kesgitlenýän sistemalar diýilýär.
Nazary mehamika dersinden belli boluşy ýaly tekizlikdäki meseleler üçin statikanyň üç sany deňlemesi bar olary aşakdaky görnüşde ulanmak bolýar.

$$\begin{cases}\sum M_1=0\\ \sum y=0\\ \sum M_3=0\end{cases}\quad \begin{cases}\sum M_1=0\\ \sum X=0\\ \sum X=0\end{cases}\quad \begin{cases}\sum M_1=0\\ \sum M_2=0\\ \sum M_2=0\end{cases}\quad \begin{cases}\sum M_1=0\\ \sum M_2=0\\ \sum y=0\end{cases}\qquad (1)$$

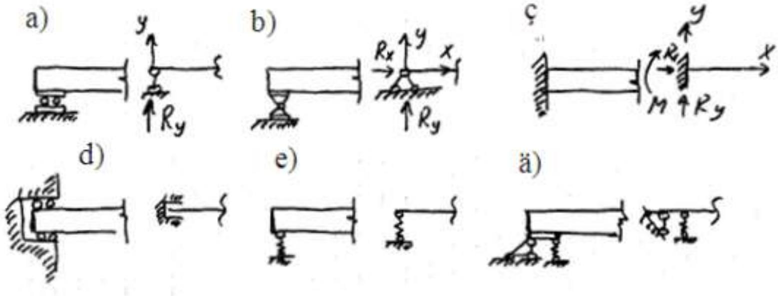
Egerde mesele giňişlikde çözülýän bolsa onda ol hili meseleler üçin statikanyň alty deňlemesi ulanylýar. Statiki kesgitlenýän sistemalar özüniň gurluşy boýunça ýönekeý bolsalarda, olar gurluşyk praktikasynda örän seýrek duş gelýärler. Munuň sebäbi bu hili sistemalarda hiç- hili artykmaç elementleriň ýoklugy bilen düşindirip bolar, şol ebäpli bu sistemalara berkligi we houpsyzlygy çäklidir.
Şol sebäpli real ko0nstruksiýalarda artykmaç elementleri bolan sistemalar ulanylýar.
Kesgitleme 2 : Ähli reaksiýalary we içki güýçleri statikanyň deňlemeleriniň üsti bilen kesgitläp bolmaýan sistemalara statiki kesgitlenmeýän sistemalar diýilýär.
Gurluşyk mrhanikanyň kursynda şu sistemalaryň hemmesinde üç sany içki güýçler kesgitlenýär.

a) Kese güýçler
b) Boý güýçler
c) Egilme momentler

Bu içki güýçler materiallaryň garşylygy dersiniň usullary bilen hasaplap bolýar.

1.4 Tekiz sistemalaryň daýançlarynyň görnüşleri

Kesgitleme: Jaýlaryň we desgalaryň konstruksiýalaryny olaryň esasy bilen birleşdiriji daýançlar degişli. Materiýallaryň garşylygy kursundan belli bolşy ýaly daýançlary aşakdaky toparlara bölmek bolar.



7-nji surat

a) şarnirli hereket edýän daýanç hereket bu hili daýançda ýeke-täk reaksiýa bu ýüze çykýar.

b) şarnirli hereket etmeýän daýanç, bu daýançda iki reaksiýa ýagny x hem-de y oklaryň ugry boýunça ýüze çykýarlar.

w) gaty daýanjy, gaty daýançlarynda üç reaksiýa ýagny R_x, R_y, we masştab M ýüze çykýarlar.

g) hereket edýän goşmaça daýanjy bu hili daýanja iki reaksiýa ýagny M we R_y ýüze çykýarlar. Bulardan başgada ýumşak hem-de maýyşgak-ýumşak daýançlar tapawutlandyrylýar. Bu hili daýançlardaky reaksiýalaryň ululygy olaryň gatylygynyň üsti bilen kesgitlenilýär. Bu daýançlar esasanam iki birikdirilýän elementleriň özara aýlanmagy gerek bolan ýagdaýynda ulanylýar.

1.5 Güýçleriň görnüşleri

Islendik jaýylaryň ýa-da desganyň hasaplanyş işi öňi bilen oňa täsir edýän güýçleri kesgitlemekden başlanýar. Jaýlara täsir edýän güýçleri aşakdaky toparlara bölmek bolar.

1) Peýdaly güýçler.

Bu güýçlere esasy hem enjamlaryň agramlary, senagat jaýlaryndaky kranlaryň agramlary, transport serişdeleriniň agramlary, plotina täsir edýän gidrostatik basyşlar we ş.m.

2) Konstruksiýanyň agramy,

Bu güýçlere basyrma gatlarynyň we olaryň üstindäki plitalaryň agramy jaýlaryň daş we iç ýüzindäki suwaglaryň we örtgüleriň agramlary, jhasaolanýan konsruksiýanyň öz agramy we başgalar degişlidir.

3) Atmasfera güýçleri.

Bu güýçlere ýeliň we garyň täsir ediji güýçler degişlidir. Güýçleriň täsiriniň dowam edişi boýunça iki topara bölünýär.

1. Müdimilik täsir edýän güýçler
2. Wagtlaýyn täsir edýän güýçler

Müdiilik täsir edýän güýçlere konstruksiýalaryň agramy we peýdaly güýçleriň köp toparlary degişlidirler.

Wagtlaýyn täsir edýän güýçler iki topara bölünýär.

a. Uzak wagt täsir edýän güýçler, olara stasionar enjamlaryň agramy, ammar jaýlaryndan sowadyjylar, kitaphanaň kitaplary , arhiwdäki dkumentler mysal bolup biler.

b. Gysga wagtlaýyn täsir ediji güýçler bu güçlere adamlaryň agramy, öý goşlaryň agramy mysal getirmek bolar.

Täsir edişi häsiýeti boýunça statiki hem dinamiki güýçler tapawutlandyrylýar.

Kesgitleme 1 : Eger haýsam bolsa bir güýjiň wagt geçmegi bilen ululygy we ugry üýtgemeýän bolsa onda oňa sttiki täsir edýän güýç diýilýär.

Kesgitleme 2 : Eger haýsam bolsa bir güjiň ugry wadtyň geçmegi bilen üýtgemeýän bolsa onda oňa dinamiki täsir edýän güýç diýilýär.

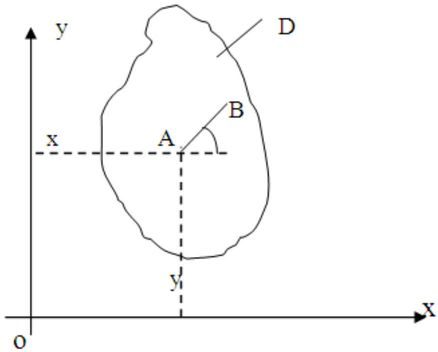
Dinamiki güýçler täsir edende Dalamberiň prinsipiniň esasynda inersiýa güýçleri hasaba hökman bolup durýar.

1.6 Desgalaryň kinematiki derňewleri

Gurluşyk mehanikasynda islendik jaýyň ýa-da desganyň hasaplaýyş ini öňi bilen olaryň erkinlik derejesini kesgitlemekden başlanylýar.

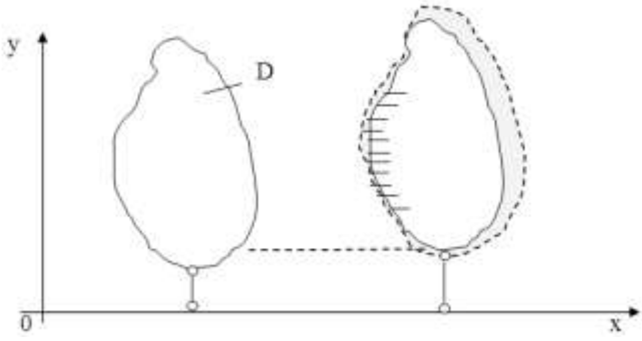
Kesgitleme: Haýsam bolsa bir jisimiň tekizlikdäki ornuny kesgitleýän geometrik parametrleriň sanyna onuň erkinlik derejesi diýilýär.

Kinematik analiziň düýp manysyny kesgitlemek üçin tekizlikde hiç hili birikdirilmedik jisimiň (diskiň) ýagdaýyna seredeliň



8 -nji surat

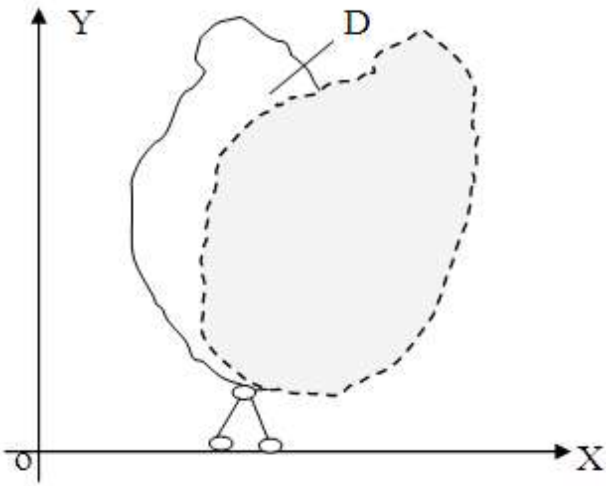
Şu tekiz figuranyň tekizlikdäki ornuny biri-birine bagly bolmadyk üç sany geometrik parametr kesgitleýär, ýagny koordinatlar x, y we diskiň aýlanmasy φ başgaça aýdylanda şu seredilýän hiç zat bilen berkidilmedik diskiň erkinlik derejesi üçe deň. Erkinlik derejäni W belläp ýokarda seredilse disk üçin W=3. indi şol diskiň ikinji ýagdaýyna seredeliň bu ýagdaýda disk ýere şarnirli hereket edýän daýanjyň kömegi bilen berkidilen. 12-nji suratdan görnüşi ýaly diskiň tekizlikdäki ýagdaýyny iki sany geometrik parametriň ýagny x okunyň ugry boýunça süýşmegi we diskiň aýlanmagy arkaly kesgitlenilýär.



9-njy surat

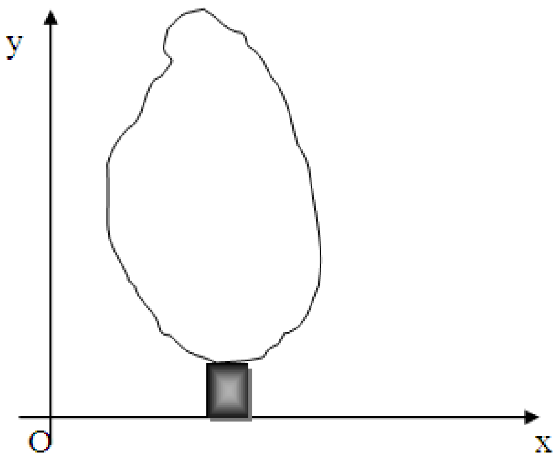
Şonuň üçin eger disk ýere ýeke şarnirli hereket edýän daýanç bilen birikdirilen bolsa onuň erkinlik derejesi W=2 deň bolar. Netijede şarnirli hereket edýän daýanç diskiň erkinlik derejesini bir san azalýar.

Indi şol diskiň üçünji ýagdaýyna seredeliň goý disk ýere şernirli hereket etmeýän daýanç bilen berkidilen diýeliň. Onda bu doskaň tekizlikdäki ýagdaýyny diňe şu diskiň oýlanmasy bilen kesgitläp bolar.



10-njy surat

Diýmek bu ýagdaýda diskiň erkinlik derejesi edýän bire deň bolýar. Şeýlelikde şarnirli hereket etmeýän daýanç erkinlik derejäň sanyny iki san azaldýar. Şeýlelikde diskiň erkinlik derejesi W=1 deň bolýar. Indi bolsa diskiň üçünji ýagdaýyna seredeliň. Bu ýagdaýda disk ýere gapjama daýanjy bilen berkidilen.



11-nji surat

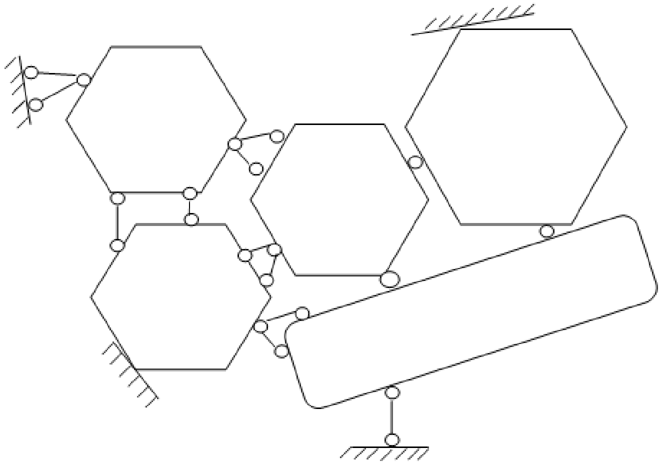
14-nji suratdan görşümiz ýaly bu disk tekizlikde öz ýagdaýyny üýtgetmän saklap bilýär. Şonuň üçin bu diskiň erkinlik derejesi W=0. başgaça aýdylanda ganjama daýanjy erkinlik derejäň sanyny üç san azaldýar. Şeýlelikde ýokarda seredilen ýagdaýlaryň netijesinde:

1) şarnirli hereket edýän daýanç C_o erkinlik derejäni bir san kemýär, ýagny 1- C_o.

2) Şarnirli hereket etmeýän daýanç ш erkinlik derejäni iki san kemýär. Ýagny 2- Ш.

3) gaty daýanjy bolsa Г erkinlik derejäni üç san kemýär ýagny 3 Г.

Eger biz tekizlikde birnäçe hiç hili berkidilmedik disklere seretsek (15-nji surat) we her bir şol hili diskiň erkinlik derejesiniň üçe deňligini nazara alyp ýokardaky alnan netijeleriň esasynda, islendik sistemanyň erkinlik derejesini kesgitleýän algebraik formulany almak bolýar. Munuň üçin 15-nji suratdaky mysala seredeliň.



12-nji surat

Goý bu berlen shemada hiç-hili daýanç ýok diýeliň, onda bu shemanyň erkinlik netijesiniň umumy sany W=3xD deň bolar. Egerde biziň shemamyzda birnäçe ýönekeý şertiň bar bolsa, onda olar erkinlik derejäni 2ш-esse azalýar. Eger, şonuň hem örän daýanç oky bolsa olar 1xC_0.

$$W = 3D - 2ш - C_0 - 3\,Г$$

Bu ýerde D-diskleriň sany.

Ш – ýönekeý şarnirleriň sany.

C_0 – şarnirli hereket daýançlaryň sany.

Г – gapjama daýançlaryň sany.

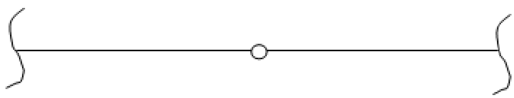
Ýokarky alnan (1) formuladan görnüşi ýaly erkinlik dereje kesgitlenende üç hili ýagdaý ýüze çykmagy mümkin.

1. W > 0 – eger erkinlik derejäniň sany noldan uly bolan ýagdaýda oňa geometrik üýtgeýän sistemalar diýilýär we ol hili sistemalar gurluşyk mehanikanyň kursundan seredilmeýär we öwrenilmeýär. Bu hili sistemalara köplenç halatda mehanizmler diýilýär.

2. W = 0 – eger erkinlik derejäniň sany nola deň bolanda oňa statiki kesgitlenýän we geometrik üýtgemeýän sistema diýilýär. Ýöne bu hili sistemalaryň geometrik üýtgemesizligi üçin bu şert diňe hökmany bolup durýar, ýöne ýeterlik däldir.

3. W < 0 – eger erkinlik derejäniň sany noldan kiçi bolsa onda oňa statiki kesgitlenmeýän we geometrik üýtgemeýän sistema diýilýär. Bu hili sistemalara gurluşyk mehanikanyň üýtgemeýän sistemalar bölünende giňişleýin seredilýär. Desgalaryň kinematik analizi kesgitlenende iki sany görnüş tapawutlandyrýarlar.

a) ýönekeý şernir. Egerde şirnir diňe sany sterini ýa-da diski birikdirýän bolsa onda oňa ýönekeý şarnir diýilýär.

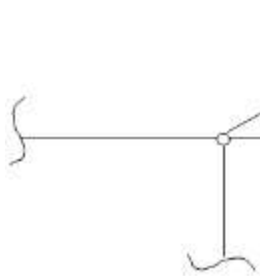


13-nji surat

Biziň ýokarda alan (1. 6. 1.) formulamyzda ýönekeý şarnirleriň sany görkezilen.

b)çylşyrymly şarnir. Eger-de şarnir iki-den köp sterini ýa-da diski birikdirýän bolsa onda oňa çylşyrymly şarnir diýilýär.

(16*-njy surat). Ýokarda alnan formulany ulanmak üçin çylşyrymly şarnirden ýönekeý şarnire geçilme hökmündedir.



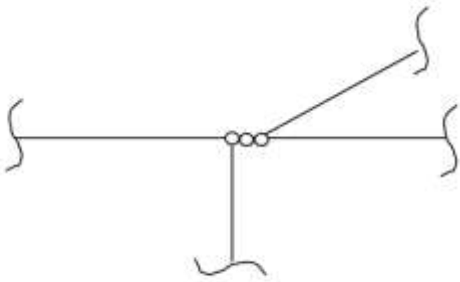
14-nji surat

Islendik çylşyrymly şarnirde (n -1) ýönekeý şarnir bar. Şol sebäpli

Ş = n – 1 (1.6.2) Ş – ýönekeý şarnirleriň sany

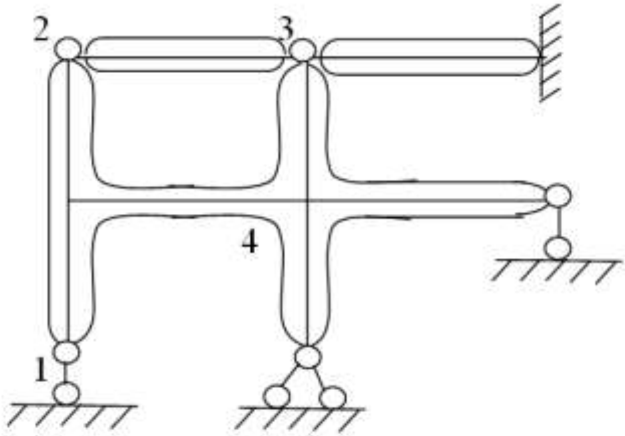
N – çylşyrymly şarniriň birikdirýän cterženleriň (diskleriň) sany.

16 – njy (b) suratda seredilen mysalda sterženiň sany n=4 şonuň üçin ýönekeý şarnerleriň sany Ş = 4-1=3 deň bolýar. Munuň beýledigini her bir ýönekeý şertleriň diňe iki sany steržini ýa-da diski birikdirýänliginden ugur alyp 17-nji suratda görkezilişi ýaly düşünmek bolar.



15-nji surat

Ýokardaky alnan formulalaryň suratda görkezilen mysalyň işlenilişinde ulanylyşyny görkezeliň.



16-njy surat

Diskleriň sany hasaplaryň we şarnerleriň arasynda ýerleşýänliginden ugur almaly. Şol sebäpli bu mysalda umumy diskleriň sany üçe deň. Şarnirleriň sanyny kesgitlemek üçin öňi bilen ýönekeý we çylşyrymly şarnirleri kesgitlemeli. Görşümiz ýaly ilkinji döwürdäki şarner ýönekeý şarner. Üçünji döwürdäki çylşyrymly şarner. Bu çylşyrymly şarnirde iki sany ýönekeý şarner barlygyny (2) formulanyň üsti bilen ýagny Ш = 3-1=2 kesgitleýäris. 18-nji suratdan görnüşi ýaly üýtgeýän daýançlaryň sany 2, goşmaça daýançlaryň sany bolsa 1-e deň. Eger berlen sistemada şarneriň üýtgemeýän daýanç bar bolsa ony bir ýönekeý şarner hasaplap bolar. Şeýlelikde ýönekeý şarnerleriň umumy sany 4-e deň şu kesgitlenen sanlary (1) formula goýup alarys:

$$W = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 2 - 3 \times 1 = 9 - 8 - 2 - 3 = -4$$

Şeýlelik W<0, seredilen sistema statiki kesgitlenmeýän we geometrik üýtgemeýän sistemalara degişlidir.

1.7 Üýtgeýän , üýtgemeýän we çalt üýtgeýän sistemalar. Üýtgeýän sistemalary düzmegiň usullary

Steženli sistemalaryň özleriniň geometriki gurluşy boýunça aşakdaky görnüşlere bölünýär.

1. üýtgeýän sistemalar.
2. üýtgemeýän sistemalar.
3. galyň üýtgeýän sistemalar.

Kesgitleme1. Hiç bir hili güýç täsir etmezden, elementleriň formasy üýtgemezden öz durnuklylygyny saklap bilmeýän sistemalara üýtgeýän sistemalar diýilýär.

19-njy surat

Bu hili sistemalar üçin ýokarda aýdylyp erkinlik derejesi mydama W > 0,

ýagny

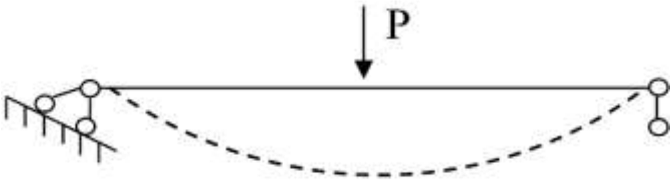
$$W = 3 \times 1 - 2 \times 1 - 1 \times 0 - 3 - 0 = 1$$

Bu hili sistemalar gurluşyk mehanikanyň kursunda seredilmeýär we öwrenilmeýär.

Kesgitleme 2. **Daşky güýçler täsirinden elementleriň formasy üýtgän ýagdaýda öz durnuk**lylygyny saklap bilýän sistemalara üýtgemeýän sistemalar diýilýär.

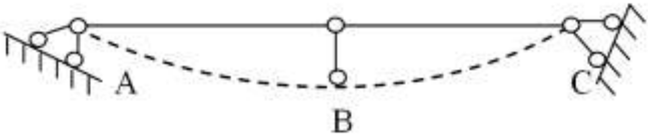
Ýokarda bellenilişi ýaly üýtgemeýän sistemalar üçin erkinlik derejäniň W≤0 hökmanydyr.

$$W = 3 \times 1 – 2 \times 1 – 1 \times 1 – 3 \times 0 = 0$$



17 -nji surat

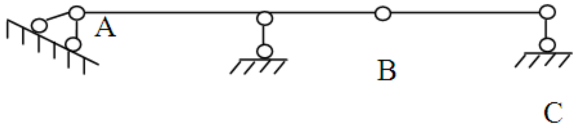
Kesgitleme 3: Eger sistemanyň elementlerinde daşky güýçler täsir etmezden iňňän kiçi üýtgemeler ýüze çykýan bolsa ol hili sistemalara golaý ütgeýän sistemalar diýilýär.



18-nji surat

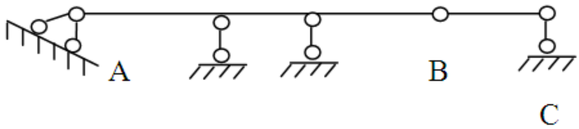
suratdaky sistema çalt üýtgeýän sistemalar toparyna degişlidir ýagny β nokat daşky güýç täsir etmezden dik çyzyk boýunça iňňän kiçi üýtgemä sezewar bolýar. Şol sebäpli bu hili sistemalary konstruksiýa hököminde ulanyp bolmaýar. Bu hili sistemalarda köplenç halatda erkinlik derejesi nola deň bolýar. Emma munuň özi geometrik üýtgemeýän sistemalary düzmek üçin ýeterlik däl.

a)



$$W = 2 \times 3 - 2 \times 2 - 2 = 0$$

b)

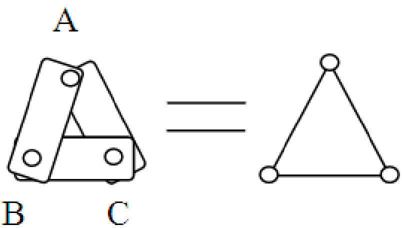


$$W = 2 \times 3 - 2 \times 2 - 2 = 0$$

19-njy surat

Çünki 22-nji suratdan görnüşi ýaly iki sistemada-da erkinlik dereje nola deň, emma ikinji sistemada geometrik üýtgeýän sistemalar degişli. Şonuň üçin desgalaryň kinomatik analizi geçirilende diňe erkinlik derejäni kesgitlemek bilen çäklenmek ýeterlik däl. Ol sebäpli üýtgemeýän sistemalary düzligiň esasy düzgünlerini bilmek hökmanydyr.

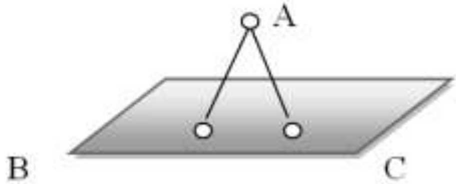
1. Iki sany umumy A şarnir bilen birikdirilen disklere, B. hem C şarnirleriň kömegi bilen üçünji disk birikdirilýär



20-nji surat

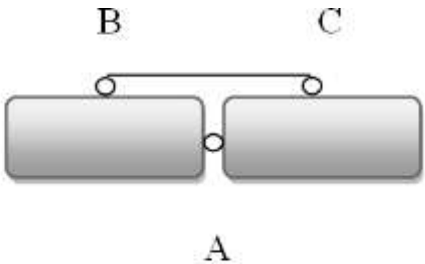
Şu klip birikdirilende BC çyzyk A nokadyň üstünden geçmeli däldir.

2. Geometrik üýtgemeýän BC diske iki sany sterşniň kömegi bilen A düwün (şarner) birikdirilýär. Şu hilli birikdirmäni şarnirli üýtgemeýän daýanç hökmünde göz öňüne getirmek bolar..



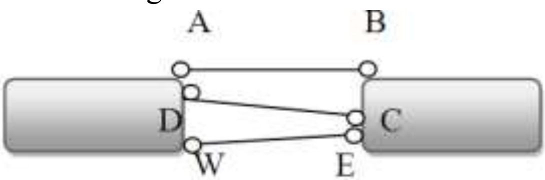
21-nji surat

3. Iki sany diski A şarniriň we BC stermniň kömegi bilen birikdirmek bolar, ýöne BC stermniň A okatdan geçmezlik şerti bilen.



22-nji surat

4. Iki diski bir nokatda kesişmeýän üç sany AB, BC we ED sterženleriň kömegi bilen birikdirmek bolar.



23-njy surat

Ýokarda seredilen mysalda (21-nji surat)hemme talaplar berjaý edilen, ýagny AB disk BC disk bilen B şarniriň hem-de C daýançdaky steržniň kömegi bilen birikdirilen. Emma ikinji mysalda (22-nji surat) AB disk BC disk bilen ýeke-täk B şarnir arkaly birikdirilen, şol sebäpli ol ütgeýän sistema öwrülýär.

2. Gurluşyk mehanikanyň meselelerinde matrisa teoriýasynyň ulanylyşy

2.1 Matrisa algebrasyndan esasy maglumatlar

Gurluşyk mehanikasynyň meselelerinde matrissa teoriýasynyň ulanylşy:

Matrisa algebrasyndan esasy maglumatlar

Gurluşyky mehanikasynyň umumy kursy desgalaryň hasabynda matrisa usullary ulnmagy öz içine alýar. Şol algebrasyndan esasy malumatlar bilen tanyş bolalyň.

Kesgitleme: m setirden we n sütünden ybarat bolan a_{ik} (i=1,2,3...m; r=1,2,3..n) sanlaryň gönüburçly tablisasyna A matrisa seredilýär

$$A=\begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} \dots a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \dots a_{2n} \\ \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} \dots a_{mn} \end{Vmatrix} \qquad (1)$$

M we n ululyklar matrisanyň tertibini görkezýär. Eger m=n bolsa, onda matrisa kwadraty diýilýär we n onuň tertibini görkezýär

Egerde m=1 n≠1 onda matrisa A matrisa setire öwrülýär;

Eger n=1, m≠1 onda matrisa A matrisa sütüne öwrülýär.

Matrisany emele getirýän a_{ik} sanlara onuň elementleri diýilýär.

Egerde kwadrat matrisa diogonal elementlerden galany nola deň bolsa, onda oňa diogonal matrisa diýilýär.

Egerde diogonal matrisaň hemme elementleri 1 deň bolsa onda oňa birlik matrisa diýilýär we E bellenilýär

$$E=\left\|\begin{matrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{matrix}\right\| \qquad (2)$$

Belli boluşy ýaly matrisa algebrasy esasanam çyzykly deňlemeler sistemasyny çözmekde giňden ulanylýar. Materiallary giňişleýin ulanmak üçin olaryň goşulyşyny, köpeldilişini we başga birnäçe operasiýalary bilmek hökmandyr. Şol hili aňlatmalaryň käbirine aşakda seredip geçeliň.

Diňe tertipleri meňzeş bolan iki A we B matrisany goýmak we aýyrmak bolýar.

$$A+B=\left\|\begin{matrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{matrix}\right\| + \left\|\begin{matrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{matrix}\right\| = \left\|\begin{matrix} (a_{11}+b_{11}) & (a_{12}+b_{12}) \\ (a_{21}+b_{21}) & (a_{22}+b_{22}) \end{matrix}\right\| \qquad (3)$$

Şeýlelikde m x n tertipli matrisalaryň jemi. Edil şol hılı tertipli $(a_{ik}+b_{ik})$ elementli matrisany berýär.

Eger A matrisany haýsan bolsa bir hemişelik β sana köpeltmek üçin şol matrisaň ähli elementlerini şol sana köpeltmek ýeterlikdir

$$\beta\cdot A=\beta\left\|\begin{matrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{matrix}\right\| = \left\|\begin{matrix} \beta a_{11} & \beta a_{12} \\ \beta a_{21} & \beta a_{22} \end{matrix}\right\| \qquad (4)$$

Iki A we B matrisany diňe kşpeldilýän A matrisanyň setirleriniň sanyna deň bolan ýagdaýynda köpeltmek bolýar.

$$A\cdot B = \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} (a_{11} b_{11} + a_{12} b_{21} + a_{13} b_{31}) & (a_{11} b_{12} + a_{12} b_{22} + a_{13} b_{32}) & (a_{11} b_{13} + a_{12} b_{23} + a_{13} b_{33}) \\ (a_{21} b_{11} + a_{22} b_{21} + a_{23} b_{31}) & (a_{21} b_{12} + a_{22} b_{22} + a_{23} b_{32}) & (a_{21} b_{13} + a_{22} b_{23} + a_{23} b_{33}) \end{Vmatrix} \quad (5)$$

Eger matrisa A matrisa sütine köpeldilse onda matrısa sutin alynar.

$$AB \neq BA;$$

Eger matrisa - setir matrisa – sütine köpeldilse onda san alynýar.

Matrisalaryň kömegi bilen islendik deňlemeler sistemasyny çözmek bolýar. Goý aşakdaky ýaly sistema berlen bolsun

$$\begin{cases} a11\ x1 + a12\ x2 + a13\ x3 = H1 \\ a21\ x1 + a22\ x2 + a23\ x3 = H2 \\ a31\ x1 + a32\ x2 + a33\ x3 = H3 \end{cases} \quad (6)$$

Şu sistemany matrisa görnüşde aşakdaky ýaly ýazyp bolar.

$$A\cdot\vec{X} = \vec{H}; \quad \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{Vmatrix} \times \begin{Vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{Vmatrix}$$

Şu ýerde DetA ≠0- matrisanyň determinanty

Şu deňlemeler sistemasynyň çözgüdi aşakdaky görnüşde alynýar.

$$X_1=\frac{\begin{Vmatrix} H_1 & a_{12} & a_{13} \\ H_2 & a_{22} & a_{32} \\ H_3 & a_{23} & a_{33} \end{Vmatrix}}{\text{Det A}};\quad X_2=\frac{\begin{Vmatrix} a_{11} & H_1 & a_{13} \\ a_{21} & H_2 & a_{23} \\ a_{31} & H_3 & a_{33} \end{Vmatrix}}{\text{Det A}};\quad X_3=\frac{\begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & H_1 \\ a_{21} & a_{22} & H_2 \\ a_{31} & a_{32} & H_3 \end{Vmatrix}}{\text{Det A}};$$

Mysal: Goý aşakdaky ýaly deňlemeler sistemasy berlen bolsun

$$\begin{cases} X_1+X_2=3 \\ 4X_1+X_2=5X_3=-9 \\ X_1+2X_2+4X_3=17 \end{cases}$$

$$\text{Det A}\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 4 & 1 & -5 \\ 1 & 2 & 4 \end{vmatrix}=4-5+10-16=-7$$

$$X_1=\frac{\begin{vmatrix} 3 & 1 & 0 \\ -9 & 1 & -5 \\ 17 & 2 & 4 \end{vmatrix}}{-7}=\frac{12-85+30+36}{-7}=\frac{-85+78}{-7}=1;$$

$$X_2=\frac{\begin{vmatrix} 1 & 3 & 0 \\ 4 & -9 & -5 \\ 1 & 17 & 4 \end{vmatrix}}{-7}=\frac{-36-15+85-48}{-7}=\frac{85-99}{-7}=2;$$

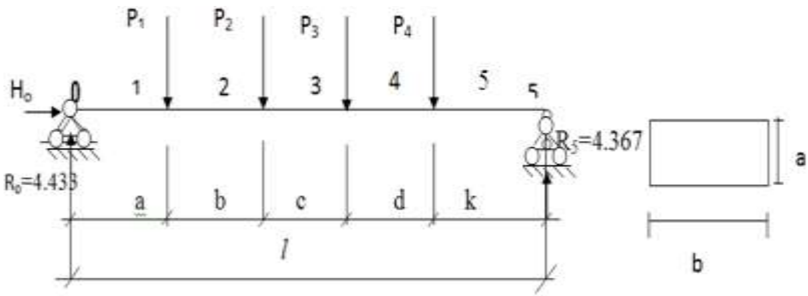
$$X_3=\frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 4 & 1 & -9 \\ 1 & 2 & 17 \end{vmatrix}}{-7}=\frac{17+24-9-3+18-68}{-7}=\frac{59-80}{-7}=3;$$

2.2 Matrisa usuly bilen pürsiñ hasaplanylşy.

1.Materiallaryñ garşylygy dersiniñ usullaryny peỳdalanyp egiji momendiñ epỳuryny gurmaly.
2.Matrissa usulyny peỳdalanyp egiji momendiniñ epỳuruny gurmaly.
3.Ỳalñyşlyklary prosent hasabynda görkezmeli.
4.*Max*- bahasyny tapmaly.
5.Berklik kanunyndan peỳdalanyp kese –kesegiñ meỳdany kesgitlemeli
6.Kese- kesigi göniburçlyk görnüşinde görkezip onyñ

($\frac{b}{a}$ = 1,2) geometriki ölçeglerini

kesgitlemeli.
7.Materialy polat -3 [б] = 3800 $\frac{kg}{sm^2}$



Berlişi: a=2m   d=1,9m P_2=2,4t P_4=2,6t

b=2,2m k=2,5m P_3=1,8t
c=1,8m P_1=2t   l=10c4

Pürsiñ daỳanç güỳçlerini tapmaly.

$$\Sigma M_5=0 \quad -P_4 \bullet k - P_3 \bullet (d+k) - P_2(c+d+k) - P_1 \bullet (b+cd+k) + R_0 \bullet l = 0$$

$$R_0 = \frac{P_4 \bullet k + P_3(d+k) + P_2(c+d+k) + P_1(b+c+d+k)}{l} =$$

$$= \frac{2{,}6 \bullet 2{,}5 + 1{,}8(1{,}9+2{,}5) + 2{,}4(1{,}8+1{,}9+2{,}5) + 2(2{,}2+1{,}8+1{,}9+2{,}5)}{10.4}$$

$$= \frac{6{,}5+1{,}8 \bullet 4{,}4+2{,}4 \bullet 6{,}2+2 \bullet 8{,}4}{10.4} = \frac{6{,}5+7{,}92+14{,}88+16{,}8}{10.4} = \frac{46{,}1}{10.4} = 4{,}433$$

$$R_{0=4{,}433}$$

$\underline{\Sigma\ M_0=0}$

$$P_1 \bullet a + P_2(a+b) + P_3(a+b+c) + P_4(a+b+c+d) - R_5 - l = 0$$

$$R_5 = \frac{2 \bullet 2+2{,}4(2+2{,}2)+1{,}8(2+2{,}2+1{,}8)+2{,}6(2+2{,}2+1{,}8+1{,}9)}{10.4} =$$

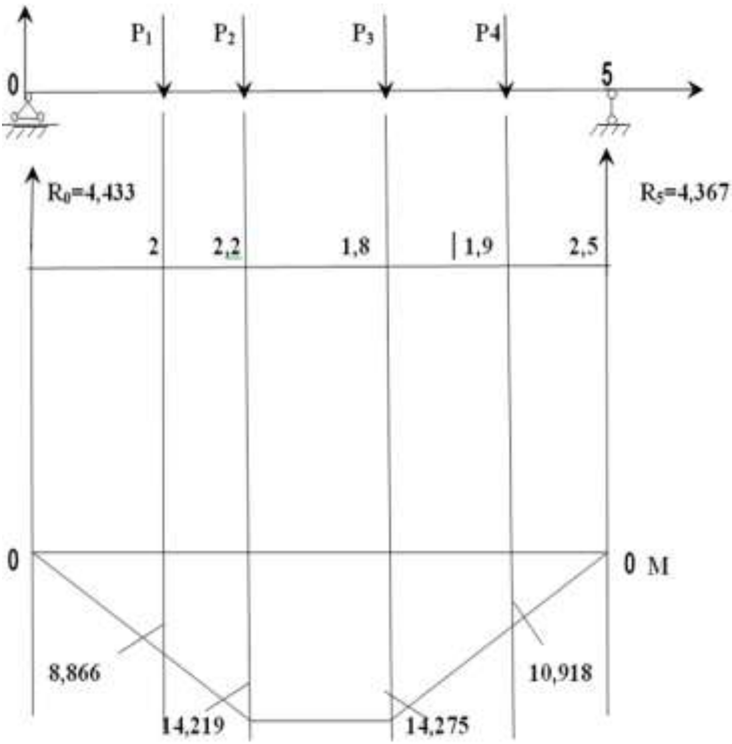
$$= \frac{4+10{,}08+10{,}8+20{,}54}{10.4} = \frac{4{,}542}{10.4} = 4.367 \qquad R_5\text{-}4{,}367$$

$$\Sigma y=0 \quad R_0 - P_1 - P_2 - P_3 - P_4 + R_5 = 0$$

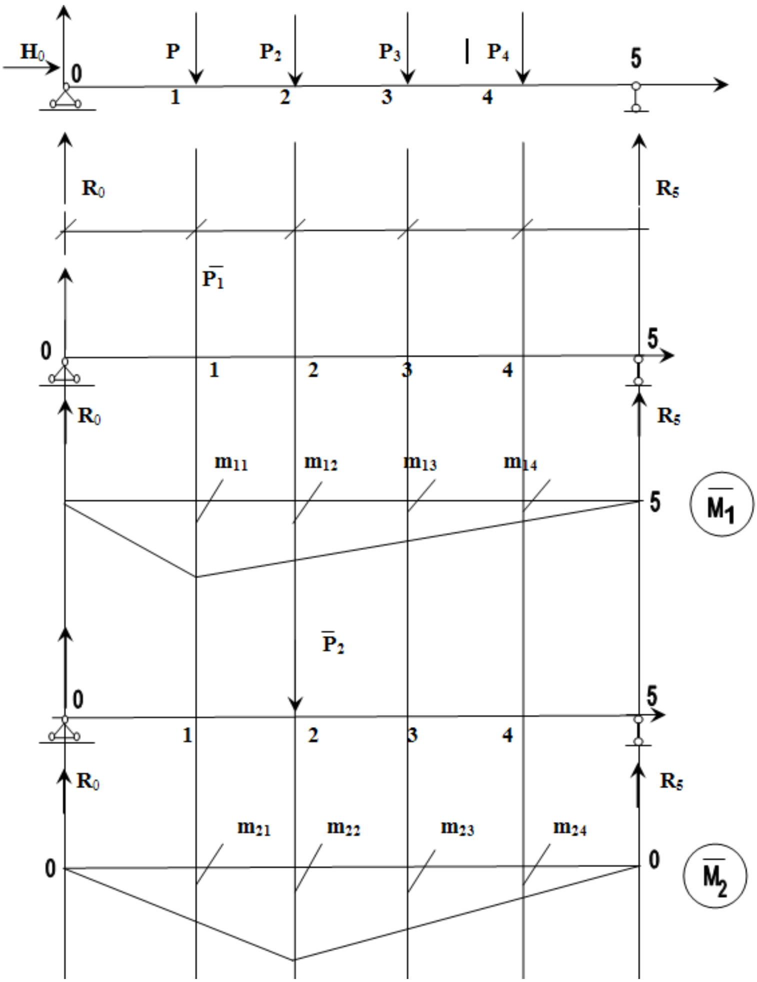
$$4{,}433-2-2{,}4-1{,}8-2{,}6+4{,}367=8{,}8-8{,}8=0$$

Hasaplanan daýanç güýçleri deňagramlyk deňlemelsiniň kömegi bilen dogry tapylandygyny barlamaly.

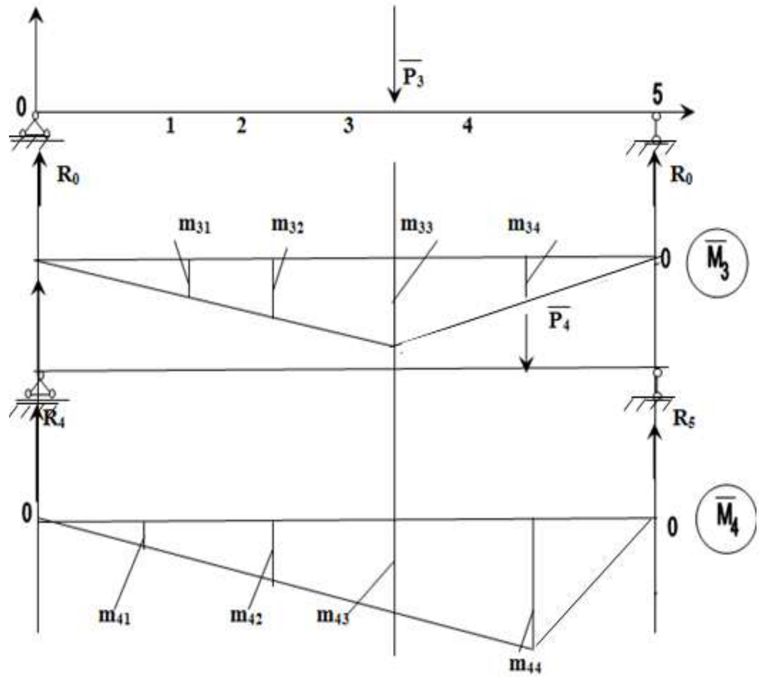
$$\begin{cases} \sum X=0 \\ \sum y=0 \\ \sum M=0 \end{cases}$$



2)Matrisa usuly bilen işlemek üçin egiji momentiñ täsir matrisasyny düzmeli— L_M Onuñ üçin nokatlaryñ her birine birlik güỳç goỳup onuñ epỳuryny gurmaly.



H0
0
P
P2
P3
P4
5
1
2
3
4
R0
R5
P1
0
5
1
2
3
4
R0
R5
m11
m12
m13
m14
5
M1
P2
0
5
1
2
3
4
R0
R5
m21
m22
m23
m24
0
0
M2



Egiji momendiň täsir matrisasyny düzmeli.

$$L_M = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{vmatrix} \qquad (10)$$

Sütin görnüşli daşky güýjiň matrisasyny düzmeli.

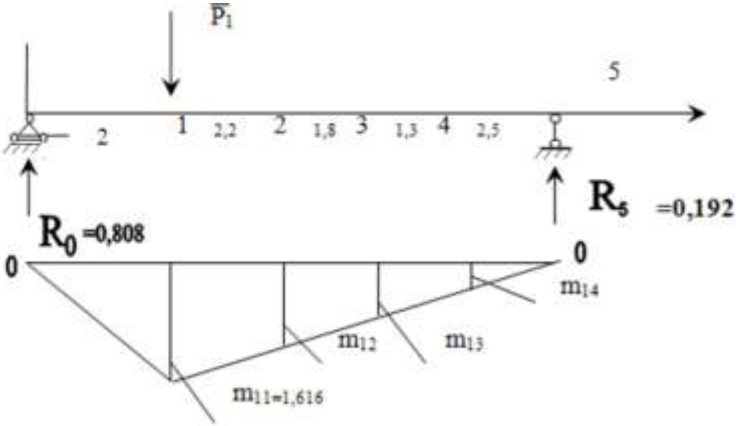
$$P= \begin{vmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{vmatrix} \qquad (11)$$

Egiji momendi matrisa maxsimal üçin matrisa gurmaly.

Edriji momentiň täsir matrisasynyň koeffisentlerini tapmaly.

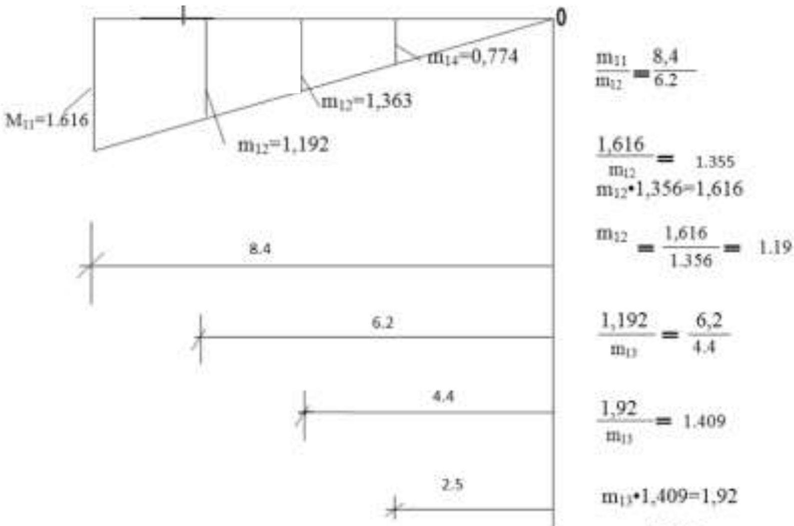
$$M=L_M \cdot P \qquad (12)$$

L_M- täsir matrisasy
P- goýulan güýçleriň matrisasy



Daỳanç güỳçleri tapmaly birlik güỳçden.

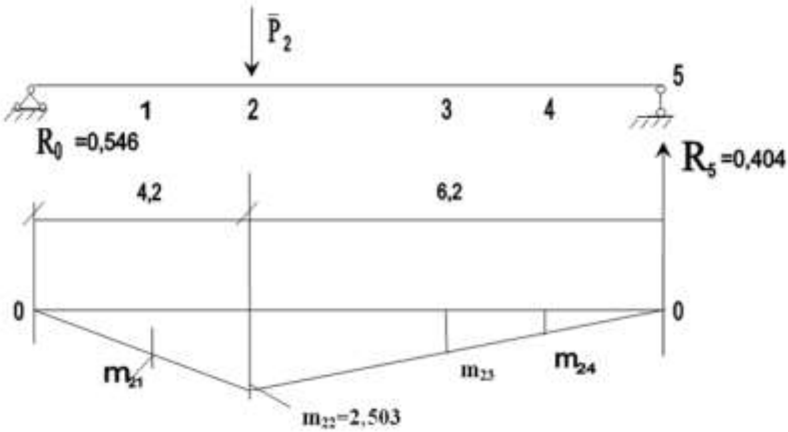
Σ $M_{5=0}$ R_0•10,4– $\overline{P_1}$•8,4=0 $\qquad$ R_o=$\frac{8,4}{10,4} = 0,808$



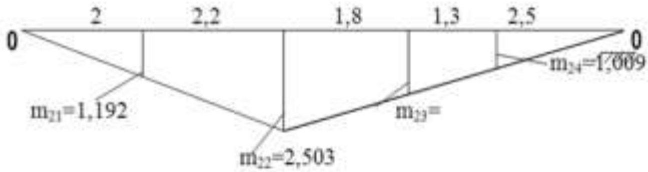
$$\frac{1,363}{m_{14}} = \frac{4,4}{2,5}; \quad \frac{1,363}{m_{14}} = 1,76$$

$1{,}3636 = m_{14} \cdot 1{,}76 \quad m_{14} = \frac{1{,}363}{1{,}76} = 0{,}774$

m_{11}=1,616 m_{13}=1,363
m_{12}=1,192 m_{14}=0,774



$R_0 \cdot 10{,}4 - P_2 \cdot 6{,}2 = 0 \quad R_0 = \frac{6{,}2}{10{,}4} = 0{,}596$



$$\frac{2{,}503}{m_{21}} = \frac{4.2}{2}; \qquad \frac{3503}{m_{21}} \quad 31 \qquad 2.503 = 2.1 \cdot m_{21}$$

$$m_{21} = \frac{3503}{21} = 1{,}152$$

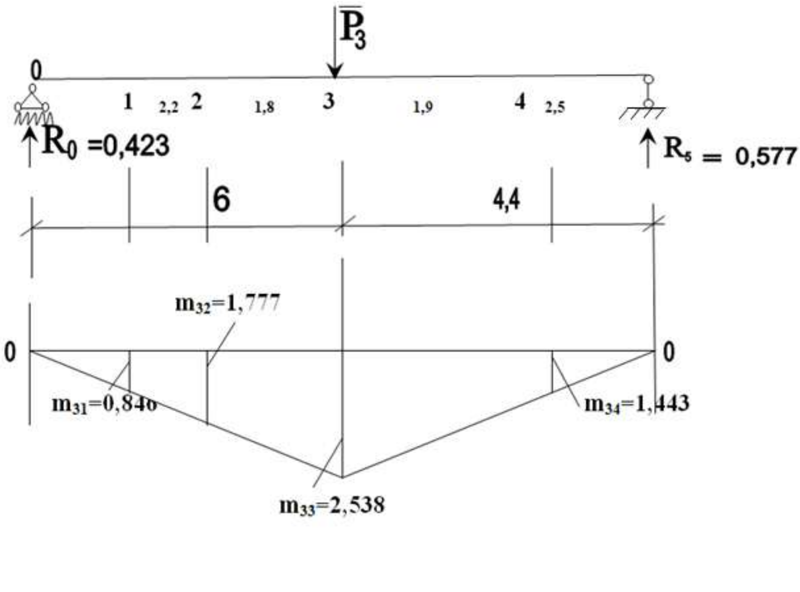
$$\frac{2{,}503}{m_{23}} = \frac{6.2}{4{,}4}; \qquad \frac{2{,}503}{m_{23}} = 1{,}409 \qquad 3503 = 1.409 \cdot m_{23}$$

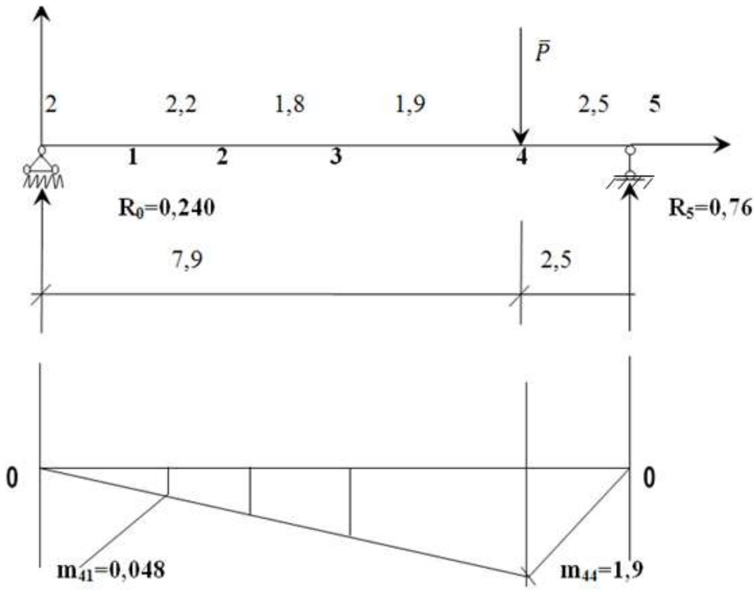
$$m_{23} = \frac{2{,}503}{1{,}409} = 1{,}776$$

$$\frac{1{,}776}{m_{24}} = \frac{4{,}4}{25}; \qquad \frac{1{,}776}{m_{24}} = 1{,}76 \qquad m_{24} = \frac{1{,}776}{1{,}76} = 1{,}009$$

m_{21}=1,192 **m_{23}=1,776**

m_{22}=2,503 **m_{24}=1,009**





$R_0 \cdot 10{,}4 - \overline{P} \cdot 2{,}5 = 0$

$$R_0 = \frac{2{,}5}{10{,}4} = 0{,}240$$

$m_{41}=0{,}48$ $m_{43}=1{,}44$

$m_{42}=1{,}008$ $m_{44}=1{,}9$

$$L_M = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1{,}616 & 1{,}192 & 1{,}363 & 0{,}771 \\ 1{,}192 & 2{,}503 & 1{,}776 & 1{,}005 \\ 0{,}846 & 1{,}777 & 2{,}538 & 1{,}443 \\ 0{,}48 & 1{,}008 & 1{,}44 & 1{,}5 \end{vmatrix}$$

$$\overline{P} = \begin{vmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2 \\ 2{,}4 \\ 1{,}8 \\ 2{,}6 \end{vmatrix} \quad M = L_M \cdot \overline{P}$$

$$M= \left| \begin{array}{l} 1,6128•2+1,194•2,4+0,845•1,8+0,48•2,6 \\ 1,192•2+2,503•2,4+1,776•1,8+1,009•2,6 \\ 0,846•2+1,777•2,4+2,538•1,8+1,443•2,6 \\ 0,48•2+1,008•2,4+1,44•1,8+1,9•2,6 \end{array} \right|$$

$M_0=0$ $M_3=14,277$

$M_1=8,860$ $M_4=10,911$

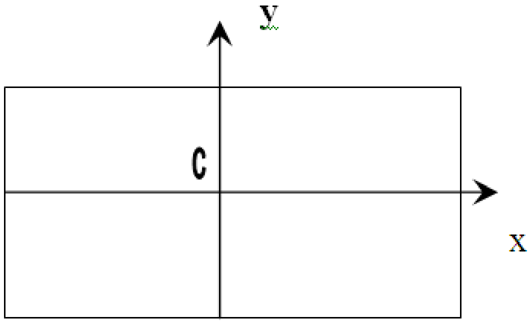
$M_2=14,211$ $M_5=0$

M bahasy	Materiallaryñ garşylygnyñ usuly.	Gurluşyk mehanikanyñ usuly	Ỳalñyşlyk
M_0	O	O	O
M_1	8,866	8,860	0,06
M_2	14,215	14,211	0,08
M_3	14,275	14,277	0,02
M_4	10,918	10,911	0,007
M_5	O	O	O

Mmax = M₃=14,277m $F=a•b=a•1,2a==1,2a^2$

b=1,2 F=a•b

$a = 11.77s$



b=14,124sm

$$\sigma = \frac{Mmax}{W} = [\sigma]\,; \quad W \frac{I}{Ymax} = \frac{bh^2}{6};\ I_x = \frac{a^3 \cdot b}{12} = \frac{a^3 \cdot 1.2_a}{12};$$

$$I_y \frac{b^3 \cdot a}{12} = \frac{(1.2a)^3 \cdot a}{12};\ I_x = \frac{1.2a^4}{12} = 0.1a^4;$$

$$I_y \frac{1.728a^3 - a}{12} = \frac{1.728 \cdot a^4}{12} = 0.144a^4;$$

$$W_y \frac{0.144a^4}{b/2} = \frac{0.144a^4}{0.5\ b} = \frac{0.144a^4}{0.5 \cdot 1.2a} = \frac{0.14a^2}{0.6} = 0.23a^3$$

$$\frac{(Mmax)}{0.23a^3} = [\sigma] \qquad \frac{14.277 \cdot 10^5}{3} = 3800$$

$M_1 277 \bullet 10^5 = 0{,}23a^3 \bullet 3800$

$14{,}277 \bullet 10^5 = 874a^4$

$$a^3 = \frac{1427700}{874} = 1633.524$$

$a = \sqrt[3]{1633{,}524} = 11{,}77sm$

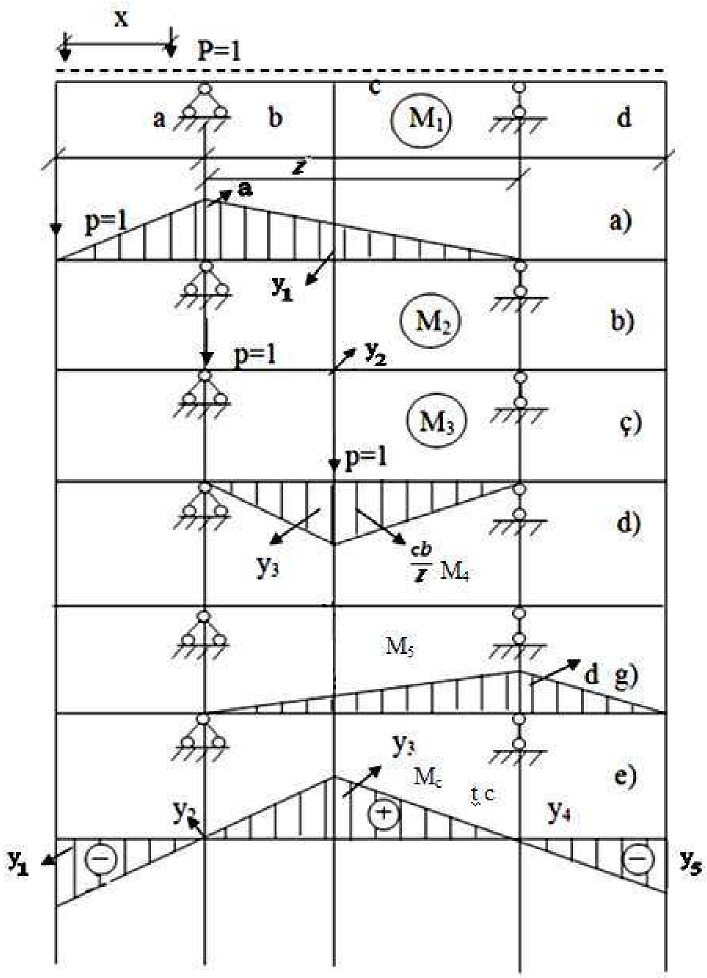
3. Täsir ediş çyzygyň nazarýeti.

3.1 Täsir ediş çyzyklar barada umumy düşünje.

Gurluşyk praktikasynda käbir desgalar hasaplananda hereket edýän güýçler gabat gelýärler. Olara mysal edip köprileri, kran asty pürsleri, estanadalary we ş.m. almak bolar. Haçan-da desgalara hereket edýän güýçler täsir eden-de gurluşyk mehanikada täze mesele peýda bolýar. Ýagny şu hili desgalar proýektirlenende ýüze çykýan içki güýçleriň hereket edýän güýje nähili dereje-de baglydygyny bilmek zerur bolup durýar. Ondan başgada şol hereket edýän güýçleriň iň oňaýsyz ýagdaýyny kesgitlemek esasy meseleleriň biri bolup durýar. Ýokardaky agzalan meseleler täsir ediş çyzygyň kömegi bilen çözülýär.

Kesgitleme: Sistemada belli bir ugur boýunça birlik güýç (p=1) hereket edende, haýsam bolsa belli bir kesikde ýüze çykýan içki güýçleriň (egilme momentiň, kese güýjüň, uzboýuna güýjüň) ululygyny görkezýän grafiki täsir ediş çyzygy diýilýär. Täsir ediş çyzygyň düýp manysyna düşünmek üçin aşakdaky mysala seredeliň. Goý iki kansolly pürsde birlik güýç p=1 çepden saga hereket edýär. Haýsam bolsa bir berlen C kesikde egilme momentiň birlik güýjüň täsiri astynda nä derejede üýtgeýändigini görkezýän grafiki almak maksady bilen şu birlik güýjüň birnäçe ýagdaýyna seredeliň.

Täsir ediş çyzygynyň kömegi bilen hereket edýän güňçlerden hasaplamalar amala aşyrylýar. Ilki bilen birlik güýçden hereket edýän güýjiň grafigi çyzylýar. Alnan grafigiň dahasyny güýjiň bahasyna köpeldilýär.



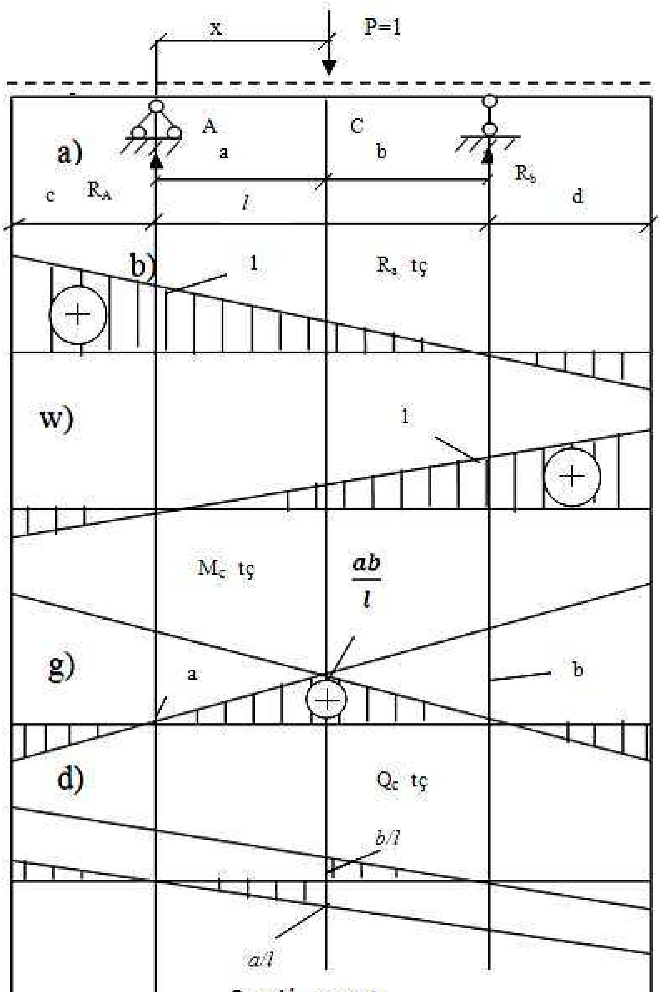
1-nji surat

Bu birlik güýç pürsüň üstünde islendik ýagdaýa eýe bolup biler. Ýöne biz onuň käbir özboluşly nokatlardaky ýagdaýyna seredip geçeliň. Bu özboluşly nokatlar hökmünde 5 sany nokady ýagny pürsüň iň çetki nokady, çetki daýanç nokady, berlen c nokady, sagky daýanç nokady we pürsüň iň sagky nokady. Birlik güýji gezek-gezegine şu nokatlarda goýup egilme momentiň epýurlaryny guralyň (27-nji surat. a-g). Şu epýurlara seredenimizde birlik güýjüň dürli ýagdaýlaryndan egilme momentiň c kesikde nä derejede üýtgeýändigini görýäris. Şeýlelikde birlik güýjüň C kesikde ýüze çykarýan egilme momentini şonuň täsir edýän nokadynda goýup we alnan nokatlary birikdirip (27-nji surat. e) täsir ediş çyzygy diýilýän täze grafigi alarys. Bu alnan grafigiň her bir ordinata birlik güýç şol ordinataň üstünde ýerleşdirilende C kesikde ýüze çykýan egilme momentiň ululygyny görkezýär. Eger egilme moment pürsüň ýokarky gatlaklaryny sündürýän bolsa onda oňa otrisatel baha berlip ol abssissa okuň aşagyna goýulýar. Eger-de egilme moment pürsüň aşakgy gatlaklaryny sündürýän bolsa, onda oňa položitel baha berlip ol x okunyň ýokarsyna goýulýar. Umuman egilme momentiň täsir ediş çyzygyny almany üçin ony elmydam aşakgy gatlaklar süner ýaly edip ugrukdyrmak ýeterlikdir. Kese güýçler täsir edip çyzygynyň alamatlaryny edil epýur gurlandaky ýaly kesgitlemek bolar.

3.2 Ýönekeý pürsleriň içki güýçleriniň täsir ediş çyzyklarynyň gurluşynyň statiki usuly

Täsir ediş çyzyklaryň gurluşynyň iki sany usuly bar.

1. Statiki usul.
2. Kinematiki usul.



2-nji surat

Bu şu we indiki paragrflarda täsir ediş çyzyklaryň gurluşynyň statiki usulyna serederis.

Daýançlaryň proýeksiýalarynyň täsir ediş çyzyklarynyň gurluşy.

Goý, AB pürsde çepden saga birlik güýç hereket etsin we haýsam bolsa bir wagtda ol güýç A daýançdan X arasynda saklanýar diýeliň.

Şu ýagdaý üçin daýançlarda ýüze çykýan proýeksiýalary statikaň deňlemeleriniň üsti bilen kesgitlemek bolýar.

a) $\Sigma M_A = 0;$

$R_B\, x\, l - p_x = 0;$

$R_B = x/e;$

$\Sigma M_B = 0 \quad R_A\, x\, l - p\,(l\text{-}x) = 0$

$R_A = l\text{-}x/l$

Bu alnan deňlemelerden görnüşi ýaly daýançlaryň proýeksiýalarynyň täsir ediş çyzyklary göniçyzykly kanun boýunça üýtgeýärler. Belli bolşy ýaly islendik göni iki sany nokadyň üsti bilen gurulýar. Şol optiki birlik güýjüň iki ýagdaýyna seredeliň ýagny.

$X = 0 \quad R_B = 0 \quad R_A = l$

$X = l \quad R_B = 1 \quad R_A = 0$

Şu alnan ululyklar boýunça täsir ediş çyzyklary gurýarys (28-nji surat b, w) AB kürsüň C we d konsollarynda şu alnan çyzyk dowam etdirilip alynýar. Täsir ediş çyzygyň ähli ordinatalaryny meňzeş üçburçluklaryň kömegi bilen tapyp bolar.

2. Egilme momentiň we kese güýjüň täsir ediş çyzyklarynyň gurluşy.

Egilme momentiň we kese güýjüň täsir ediş çyzyklary gurlan mahalynda hereket edýän birlik güýjüň iki ýagdaýyna seredilýär:

a) birlik güýç c kesikden sagda hereket edýär, şu ýagdaýda kürsüň çep böleginiň deňagramlylygyna seredilýär.

Alnan ululyklardan görnüşi ýaly hagonda birlik güýç c kesikden sagda hereket eden ýagdaýynda egilme momentiň he kese güýjüň täsir ediş çyzyklary A daýanjyň täsir ediş çyzyklarynyň üsti bilen alynýar. Egilme momentiň täsir ediş çyzygyny almak üçin R_B täsir ediş çyzygyny a ulylyga köpeltmeli. Täsir ediş çyzyklary diňe birlik güýjüň hereket edýän ýerinde gurulýar, şol sebäpli alnan ululyklaryň diňe sag tarapy adalatly bolup durýar.

b) birlik güýç c kesikden çepde hereket edýär, şu ýagdaýda pürsüň sag böleginiň deňagramlylygyna seredilýär.

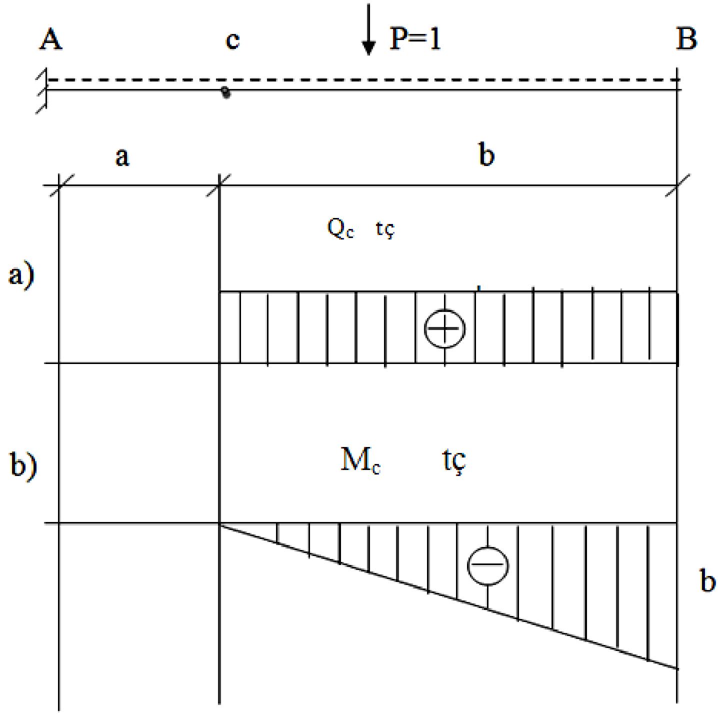
Ýokardan görnüşi ýaly haçanda birlik güýç çepde hereket edende edilme momentiň we kese güýjüň täsir ediş çyzyklary B daýanjyň reaksiýasynyň täsir ediş çyzyklary bilen gabat gelýär diýmek bolar, ýöne egilmäni b ululyga kese güýji (-1) ululyga köpeltmek ýeterlikdir. Şonuň esasynda egimäniň we kese güýjüň täsir ediş çyzyklary gutarnykly görnüşde alynýar Täsir ediş çyzyklarynyň ordinatalary üçburçluklaryň meňzeşliginden tapylýar. Mysal üçin c kesikdäki kese güýjüň ordinatasyny tapmak üçin DEL üçburçlukdan alarys.

$DE/FK = l/b \quad DE = 1 \quad FK = b/l$

Beýleki islendik ordinatalary şu hili edip tapmak bolar.

3.3 Ganatly pürsleriň içki güýçleriniň täsir ediş çyzyklary

Konsol pürsleriň içki güýçleriniň täsir ediş çyzyklarynyň gurluşynda iki daýançdaky pürsler bilen deňeşdirilende uly bolmadyk aýratynlyk bar.



3-nji surat

AB konsol pürsüň c kesigindäki içki güýçleriň täsir ediş çyzyklarynyň gurluşyna seredip geçeliň. Edil ýokardaky ýaly birlikgüýjüň iki ýagdaýyna seredeliň.

1. Birlik güýç c kesikden çepde hereket edýär; konsolyň CB böleginiň deňagramlylygyna seredeliň

$M_C = 0 \quad M_C = 0 \quad zy = 0$

Ýagny haçanda birlik güýç c kesikden çepde hereket edende edilmäniň b kese güýjüň täsir ediş çyzyklary pürsüň oky bilen gabat gelýär ýagny nola deň bolýar.

2. Birlik güýç c kesikden sagda hereket edýär:

Ýokarda seredilen düzgün boýunça biz konsolyň çep bölegine seretmeli. Emma çep bölegine seretmek sag tarapy bilen deňeşdireniňde çylşyrymly deňlemeleri düzmegi talap edýär. Şol sebäpli konsol pürsleriň özboluşly aýratynlygyny nazara alyp ýene-de sag bölegine seredeliň. Birinji ýagdaýdan aýratynlykda bu ýagdaýda sag tarapda birlik güýç hem hereket edýär.

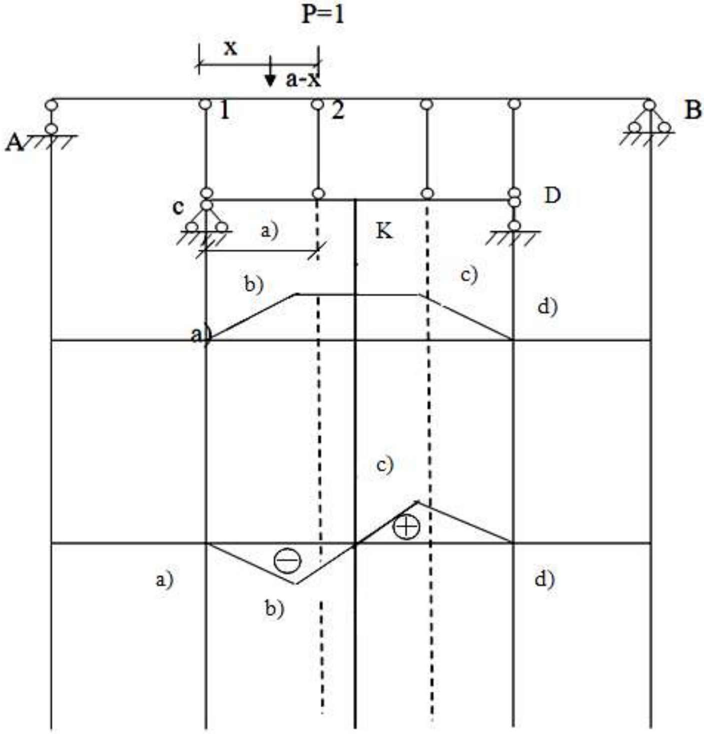
Şu alnan ululyklaryň esasynda egilme momentiň we kese güýjüň täsir ediş çyzyklaryny guraýarys

3.4 Güýçleriň düwünler arkaly ýüklenende täsir ediş çyzyklaryň gurluşy

Aşakda haçanda güýçleriň pürelere göniden-göni täsir etmeýän ýagdaýyna seredip geçeliň. Şu hili meseleler kran asty kurslaryň we köpürileriň hasap işlerinde gabat gelýär.

Biziň ýurdumyzda soňky wagtlarda ýollaryň täzeden gurulýan ýerlerinde örän köp köpri konstruksiýalary ulanylýar.

Görkezilen nazarýet bu köprileriň gurluşygyna hasaplamalarynda ulanylyp biliner.



4-njy surat

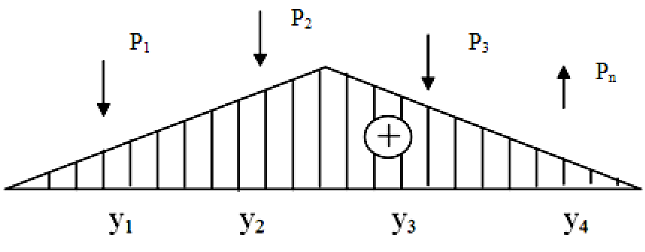
P=1 güýç *AB* pürs boýunça hereket edýär. *CD* pürsüň k kesigi üçin egilme molingiň we kese güýjüň täsir ediş çyzyklarynyň gurluşyna seredip geçeliň. Haçanda p=1 güýç *CD* pürs boýunça hereket eden ýagdaýynda egilme momentiň we kese güýjüň täsir ediş çyzyklary k kesik üçin suratdaky ýaly bolýar ýagny a) suratdaky akd döwülen çyzyk egime momentiň, b) suratdaky a, k_1 k_2 d döwülen çyzyk hem güýjüň täsir ediş gazygy bolup hyzmat edýär. Haçanda p=1 güýç AB pürs boýunça hereket eden ýagdaýynda şol güýjüň täsiri *CD* pürse 2 we 3 düwünleriň üsti arkaly täsir edýär. Onda şol düwüleri degişli täsir ediş çyzyklara proýektirlemek arkaly w we c nokatlary alarys. Şu nokatlary birikdirip a b c düwünler arkaly ýüklenen ýagdaýyndaky täsir ediş çyzyklary alarys. Şu gurulan täsir ediş çyzyklarda islendik ordinatany üçburçluklaryň menzamligini peýdalanyp kesgitläp bolar.

3.5 Içki güýçleriň täsir çyzyklary arkaly kesgitlenilişi (çyzyklaryň ýüklenilişi)

Täsir çyzyklary gurmagyň düýp maksady içki güýçleriň ululygyny kesgitlemekden ybaratdyr. Munuň üçin täsir çyzyklaryny daşky täsir edýän stasionar güýçler bilen ýüklemek ýeterlikdir. Praktikada gabat gelýän üç güýç bilen:

1. Bir nokada jemlenilen p güýçler.
2. Deňölçegli paýlanylan q güýç.
3. Bir nokada täsir edýän moment.

Täsir çyzyklaryň bir nokada jemlenilen güýçler bilen ýüklenilişi. Goý bize haýsam bolsa bir içki güýjüň täsir çyzygy berlen bolsun



5-nji surat

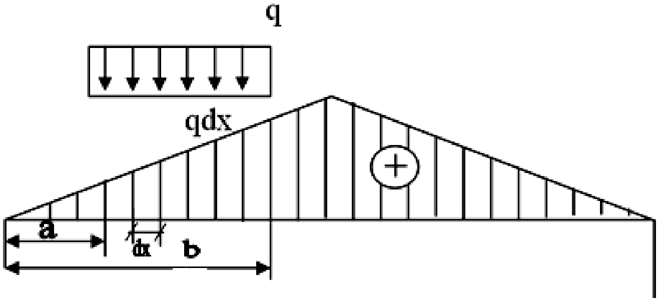
Şu berilen täsir çyzygyň bir nokada jemlenilen güýçler toplumy bilen ýüklenilişine seredeliň.

Kesgitleme 1. Täsir çyzygy bir nokada jemlenilen güýçler toplumy bilen ýüklenilen ýagdaýynda içki güýjüň ululygyny kesgitlemek üçin berlen güýçleriň ululygyny şol güýçleriň astyndaky täsir çyzygyň ordinatalaryna köpeltmek ýeterlikdir.

$$S = p, y_1 + p_2\, y_2 + p_3\, y_3 + ...+ p_n\, y_n = n/2\; p_k\, y_k \qquad (1)$$

Egerde položitel güýç (- ýokardan aşak gönükdirilen) položitel ordinata köpeldilen ýagdaýynda köpeltmek hasyly py – položitel belgi bilen alynýar.

Täsir çyzyklaryň deňölçegli paýlanylan q güýç bilen ýüklenilişi.



6-njy surat

Goý haýsam bolsa bir kesgitli aralykda täsir çyzyk deňölçegli paýlanylan q güýç bilen ýüklenilen bolsun. Umumy mesele çözülende q güýç islendik kanun bilen üýtgäp biler. Biz q = const bolan ýagdaýa seredip geçeliň.

Kesgitleme 2. Täsir çyzygy deňölçegli paýlanylan q güýç bilen ýüklenilen ýagdaýynda içki güýjüň ululygyny kesgitlemek üçin berlen q güýjüň ululygyny şol güýjüň paýlanylan aralygyndaky täsir çyzygyň meýdanyna köpeltmek ýeterlikdir.

$Dp_i = qdx$ – ujypsyz güýjüň ululygy

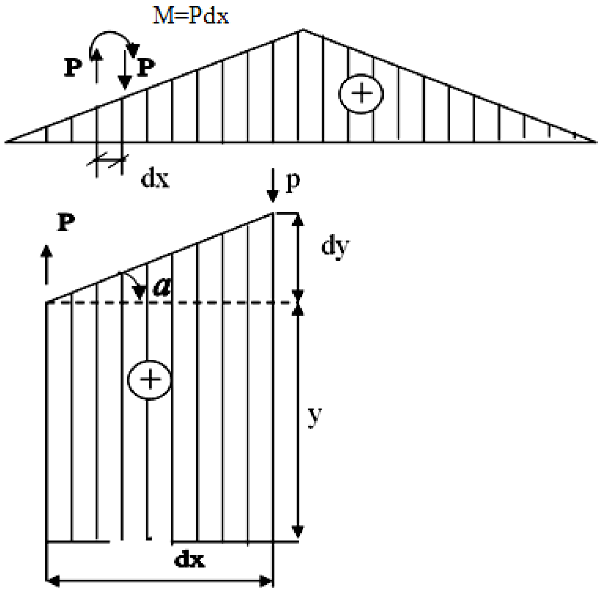
$ds = dp_i\, y$ – birinji kesgitlemäň esasynda.

Jemlenilen güýji kesgitlemek üçin integrirlemek ýeterlikdir.

w- deňölçegli güýjüň paýlanylan aralygyndaky täsir çyzygyň meýdany.

Täsir çyzyklaryň bir nokada jemlenilen moment bilen ýüklenilşi.

Biz momenti iki sany deň gapma-garşy gönükdirilen güýçler bilen çalşyryp bolýanyny bilýäris.



7-nji surat

Şu hili ýagdaýda biz momentiň deregine ýene-de bir nokada jemlenen güýçler bilen ýüklenilişe gaýdyp geldik.

ýagny

$S = - py + p (y + dy) = - py + py + pdy = pdy\ dx/dx = p\ dx\ dy/dx$;

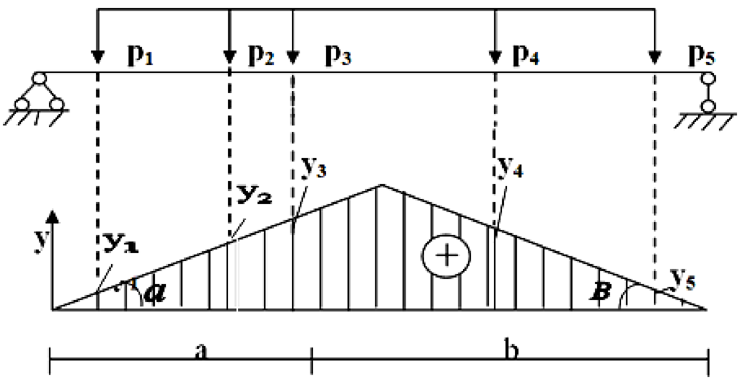
Bu alnan netijede $p\ dx = M$ we $dy/dx = tg\alpha$

Şeýlelikde

$S = M\ x\ tg\ \alpha$

Kesgitleme 3. Täsir çyzygy bir nokada islenen moment bilen ýüklenen ýagdaýynda içki güýjüň ululygyny kesgitlemek üçin berlen momentiň ululygyny täsir çyzygyň ýapgytly burçunyň tangensine köpeldilmegine deňdir.

3.6 Bir nokada jemlenen güýçler sistemasynyň iň bijaý ýagdaýynyň kesgitlenilişi



8-nji surat

suratda pürsüň biri-biri bilen bagly bolan güýçler sistemasy bilen ýüklenişi görkezilen. Eger her bir güýç täsir çyzygyň depesinde durmaýan ýagdaýynda içki güýji ýokarda seredilen düzgün boýunça alarys:

$$S = \Sigma p_g \, y_ç + \Sigma p_c \, y_c \qquad (2)$$

Bu ýerde

$P_ç$ – depeden çepdäki güýçler.

P_c - depeden sagdaky güýçler.

$y_ç$ – depeden çepdäki ordinatalar.

Y_c – depeden sagdaky ordinatalar.

Ýokarda alnan formulaň x boýunça önümini kesgitläliň.

$ds/dx = \Sigma p_2 \, dy_2/dx + \Sigma p_c \, dy_c/dx$

şu alnan formulada görnüşi ýaly täsir çyzygyň çep bölegi üçin $dy_r/dx = tg\alpha$

sag bölegi üçin $dy_c/dx = - tgp$ *şu sebäpli*

$ds/dx = tg\alpha z f_2 - tg\beta \, \Sigma p_c$

eger $ds/dx > 0$ bolan ýagdaýynda güýjüň hereketini dowam etdiren ýagdaýynda içki güýç ulanýar şol sebäpli güýçleriň iň bijaý ýagdaýy heniň ýetilmedik.

Eger $ds/dx < 0$ güýjüň hereketini dowam etdiren ýagdaýynda içki güýjüň kiçelmek bilen bolýar, şol sebäpli iň bijaý ýagdaý eýýäm geçilen.

Şeýlelikde güýçleriň sistemasy bijaý ýagdaýdan geçende güýçleriň önümi ds/dx öz belgisini üýtgedýär.

Ýokarda alnan formuladan görnüşi ýaly formulaň iki agzasy hem hemişelik. Şol sebäpli önümiň belgisi haçanda bir güýç bir bölekden başga bir bölege geçen ýagdaýynda üýtgäp biler. Ýöne şol güýç bir bölekden başga bir bölege geçmek üçin haýsam bolsa bir wagt täsir çyzygyň depesinde durmaly bolýar.

Netije: şeýlelikde haçanda haýsam bolsa bir güýç täsir çyzygyň depesinde duran ýagdaýynda güýçler iktelmasy iň bijaý ýagdaýa eýe bolup bilýär. Şol güýç hem kritiki güýç diýilýär.

Goý p_{kp} täsir çyzygyň depesinde dur diýeli. Ýokarky netijäň esasynda eger p_{kp} çep güýçlere goşsak onda $ds/dx > 0$ eger-de sag güýçleri goşsak onda ds/dx<0

Şeýlelikde

$(R_r + p_{kp})\, tg\alpha - R_e\, tg\beta > 0$

$R_r\, tg\alpha - (R_r + p_{kp})\, tg\beta < 0$

$tg\alpha = y_{kp}/a\ ; \quad tg\beta = y_{kp}/b$

bu ýerde y_{kp} täsir çyzygyň depesindäki ordinataly.

Şeýlelikde (5) (4) goýup we y_{kp} gysgaldyp alarys.

$R_r + p_k/a > R_c/b;$

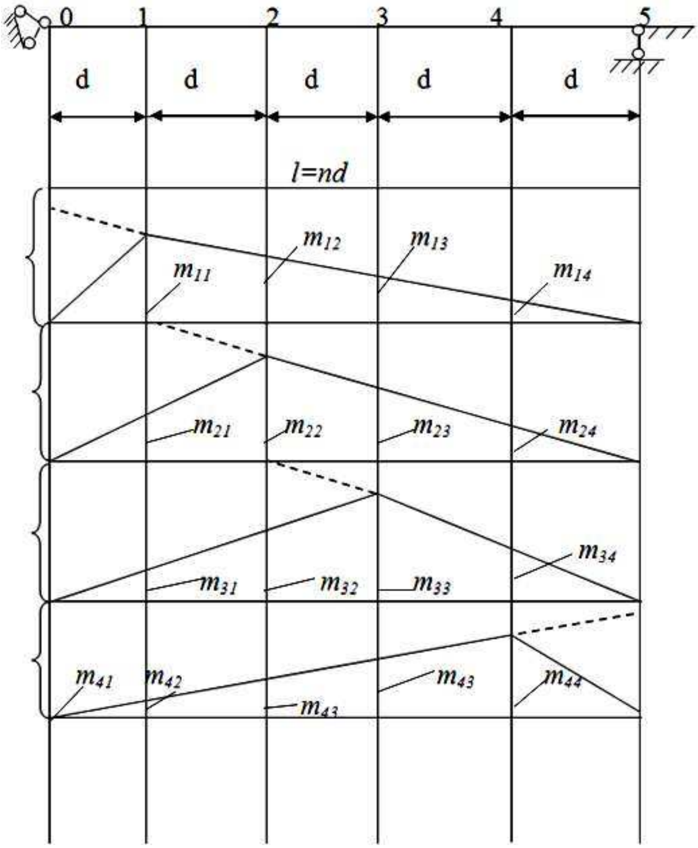
$R_r/a < R_c + p_{kp}/b;$

Şu alnan deňsizlikler kritiki güýji tapmagyň esas şertleri bolup durýar.

3.7 Statiki kesgitlenilýän pürsleriň içki güýçleriniň täsir ediş matrisasy

Haýsam bolsa bir içgi güýjüň täsir ediş çyzygy gurulanda esasy mesele şol içgi güýjüň birlik güýjüň dürli ýagdaýynda baglylygyny tapmakdan ybaratdyr.

Goý uzynlygy l = nd bolan pürse seredip geçeliň. Bu pürsde esasy 4 kesige seredeliň 1, 2, 3, 4 n – bölekleriň sany m_{ik} bilen k kesikde täsir edýän birlik güýjüň i kesikde ýüze çykarýan momentiň ululygyny belläliň m_{ik} – ululygyny täsir ediş çyzyklaryň kömegi bilen ýa-da momentiň epýurasyny her nokatda goýlan birlik güýjüň umumylygyndan gurmak bilen kesgitlemek bolar.



9-njy surat

Ýokardan belli bolşy ýaly eger 1, 2, 3, 4 nokatlarda degişlilikde p_1, p_2, p_3, p_4

Güýçler täsir edýän bolsa, onda biziň seredýän kesiklerimizdäki momentleriň umumylyklaryny şeýle kesgitlemek bolar:

$$M_1 = p_1 m_{11} + p_2 m_{12} + p_3 m_{13} + p_4 m_{14};$$
$$M_2 = p_1 m_{21} + p_2 m_{22} + p_3 m_{23} + p_4 m_{24}; \qquad (3)$$
$$M_3 = p_1 m_{31} + p_2 m_{32} + p_3 m_{33} + p_4 m_{34};$$
$$M_4 = p_1 m_{41} + p_2 m_{42} + p_3 m_{43} + p_4 m_{44};$$

Ýa-da matrisa görnüşde

$$M = \Lambda_m x\, p$$

Bu ýerde M – matrisa – sütün egilme momentleriň gutarnykly ylulyklarynyň 1-4 nokatlardaky bahasy.

$$\vec{M} = \left\| \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \end{matrix} \right\| \quad (4) \qquad \vec{P} = \left\| \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{matrix} \right\| \quad (5)$$

Λ_m – m_{ik} *ululyklaryň matrisasy.*

m_{ik} – *momentleriň kesiklerdäki täsir matrisasy.*

$$\Lambda_m = \left\| \begin{matrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{matrix} \right\| \qquad (6)$$

Eger-de berlen pürs l = nd deň böleklere bölünen bolsa onda täsir matrisanyň ululyklaryny aşakdaky formulalaryň kömegi bilen kesgitlemek bolar.

$m_{ik} = d/n\ i(n-R) \quad eger\ i \le R$

$m_{ik} = d/n\ R(n-i) \quad eger\ i \ge R$

biziň seredýän pürsümiz üçin

$$\Lambda_m = \left\| \begin{matrix} \frac{4d}{n} & \frac{3d}{n} & \frac{2d}{n} & \frac{1d}{n} \\ \frac{3d}{n} & \frac{6d}{n} & \frac{4d}{n} & \frac{2d}{n} \\ \frac{1d}{n} & \frac{2d}{n} & \frac{3d}{n} & \frac{4d}{n} \end{matrix} \right\| = \frac{d}{n} \left\| \begin{matrix} 4 & 3 & 2 & 1 \\ 3 & 6 & 4 & 2 \\ 2 & 4 & 6 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \right\| \qquad (7)$$

Alnan (7) matrisa analiz berlen bilen (6) formulanyň deregine aşakdaky düzgünleri peýdalanmak köp halatlarda amatly bolýar:

a) Momentiň täsir ediş matrisasy bölekleriň ululygyny bölekleriň sanyna bölünen (d/n) ululyga köpeldilýär.

b) Birinji setir we birinji sütün aşakdaky san yzygiderliklerden düzülýär. *(n-1), (n-2), (n-3).*

w) soňky setir we soňky sütin edil şol san yzygiderlikleriň tersine düzülýär.

g) baş diogonalyň üstünde we ýokarsynda ýerleşýän elementi almak üçin gerek bolan setiriň birinji elementini gerek bolan sütüniň soňky ähmiýetine köpeltmek ýeterlikdir. ýagny

$$a_{iR} = a_{R1} \times a_{(n-1)R}$$

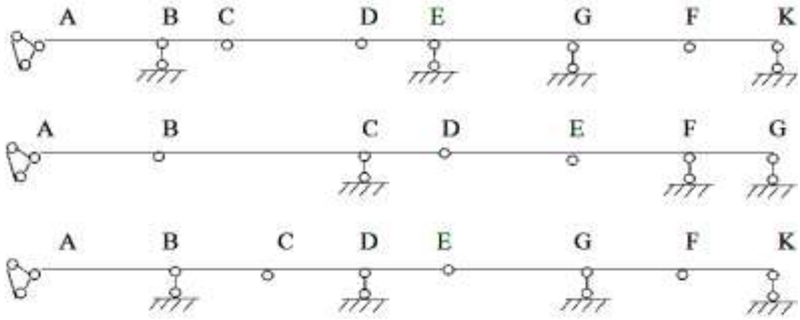
d) baş diogonalyň üstünde we aşagynda ýerleşýän elementi almak üçin gerek bolan sütüniň birinji elementini, gerek bolan setiriň soňky elementine köpeltmek ýeterlikdir.

$$a_{iR} = a_{1R} \times a_{(n-1)}$$

4. Statiki kesgitlenilýän köp daýançly (şarnirli) pürsler

4.1Umumy düşünje

Kesgitleme: birnäçe ýönekeý pürsleriň we konsollaryň özara şarnirler arkaly birikdirilip alynýan sistemasyna köp daýançly pürsler sistemasy diýilýär.



1-nji surat

-njy suratda statiki kesgitlenýän we geometriki üýtgemeýän köp daýançly pürsleriň birnäçesi görkezilen. Seredilýän sistemanyň geometrik ütgemesizligi sistemadaky şarnirleriň sanyna bagly bolup durýar. Geometrik üýtgemesizlik üçin gerek bolan şarnirleriň sanyny ýokarda alnan formulaň üsti bilen kesgitlemek bolar ýagny.

$$W = 3D - 2m - C_a = 0 \quad (1)$$

Belli bolşy ýaly ýönekeý şarnirleriň sany ş bolan ýagdaýynda diskleriň sany ş+1deňdir, şol sebäpli

$$3(ş+1) - 2ş - C_0 = 0 \quad (2)$$

Şu ýerden

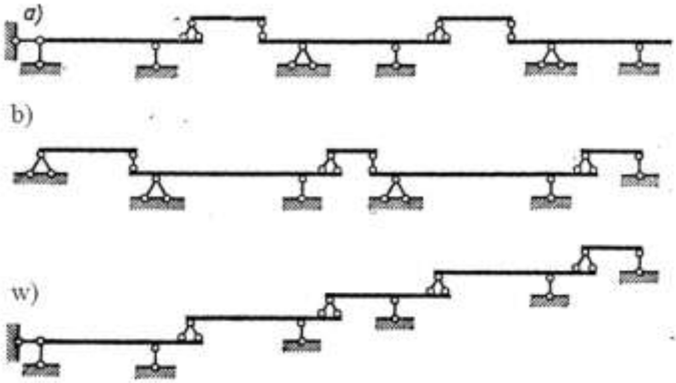
$Ş = C_0 - 3$ (3)

Ýokarda alnan şert hökmanydyr, ýöne ýeterlik däldir. Geometrik ütgemesizlik üçin şarnirleriň we diskleriň özara baglanyşyklarynyň düzgünlerini berjaý etmelidir. şarniriň ýerleşişini kabul etmek bolmaz, ýagny ol ütgeýän sistema degişlidir.

4.2 Hasaplanyş analitik usuly

Köp daýançly balklar üns berip sereden ýagdaýymyzda bu sistemanyň esasy we goşmaça pürslerden düzülendigine göz ýetirmek bolar. Şol sebäpli bu balklary hasaplamak üçin öňi bilen esasy we goşmaça balklary biri-birinden tapawutlandyrmak hökmanydyr.

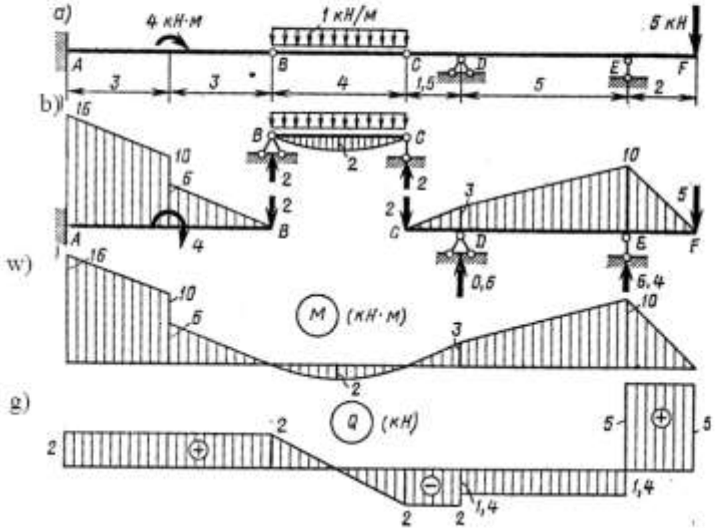
Pürsüň amatly işlemegi üçin egiji momentiň uly bahasyny gerimlere deň paýlanar ýaly edip daýançlary ýerleşdirmeli .Bu pürsleriň iňleýşiniň položitel tarapy olarda ýylylyk täsirinden şol daýanjyň süýşmeginden goşmaça içki güýç ýüze çykmaýar .Otrisatel tarapy gatylygy pes bolýar ,şeýle-de şarnirleri gurnamak konstruktiw kyn bolýar .



2-nji surat

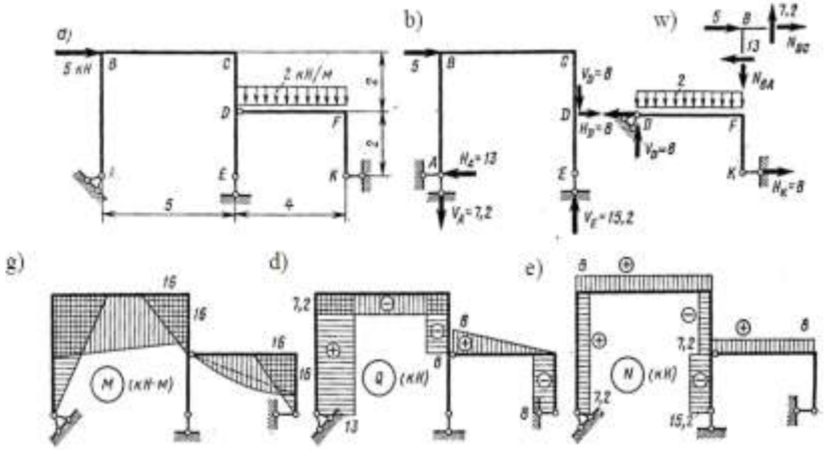
Her bölegiň özara täsirini aýdyňlaşdyrmak üçin köp gatly shemalar gurulýar . Ol şekildeesasy we goşmaça bölekleri aýdyň görünýär . Pürsüň esasy bölegindäki ýükler goşmaça bölege geçirilmeýär. Goşmaça bölekdäki ýüklerbolsa esasy bölege geçirilýär.Köp germewli pürsleriň hasabyny bölekleýin amala aşyrmak amatly bolýar . Ilki iň ýokary bölekden başlanýar Soň esasy bölekgoşmaça bölegiňtäsirini göz öňinde tutyp hasaplanýar .

Birnäçe mysallaryň işlenilişine seredip geçeliň :
Meseläniň şerti :Berlen hemişelik güýçlerden M we Q içki güýçleriň epýuryny gurmaly . Materýallaryň garşylygynyň usullary bilen her şekiliň epýuryny gurmaly.Goşmaça şekiliň esasy şekile edýän täsirini hasaba alyp hasaplamaly.Her ýönekeý şekilleri birleşdirmek arkalygutarnykly epýury gurmaly.



3-nji surat

Ýene-de bir mysala seredip geçeliň.
Mysalyň şerti: Iki germerli rama görnüşli shema seredip geçeliň.Olsistemada görkezilen ýüklerden daýanç güýçleri we içki güýçleri hasaplamaly.

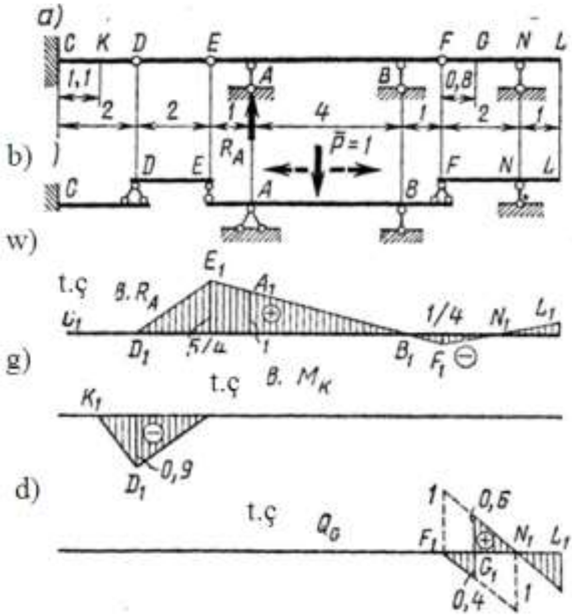


4-nji surat

Şekildäki rama şarnir bilen berkidilen ganatly sistema hökmünde seretmek bolar.DEK bölegine goşmaça bölek hökmünde seredip bolar.P-görnüşli rama esasy rama hökmünde seredip bolar.Ramanyň goşmaça bölegine giň güýçler esasy bölegine bolsa boý güýçler täsir edýär.Daýanç güýçleri we içki güýçler metallaryň garşylygy usuly bilen hasaplanylýar.Momendiň epýury konstruksia bölekleriniň süýnýän taraplarynda gurulýar.Momendiň göni çyzyk bilen çäklenen ýerindäki Q-niň epýuryny gurmak üçin bölegiň öz oky bilen epýura galtaşýan çyzygynyň arasyndaky burçuň tangensini hasaplamak ýeterlikdir.Alamatynyň kesgitlenilişi.Eger seredilýän bölegiň okyny epýur bilen birleşdirmek üçin sagat strelkasynyň ugruna aýlamaly bolsa onda ol položiteldir,tersine bolsa otrisateldir.

4.3 Köp daýançly pürsleriň täsir çyzygynyň gurluşy

Köp daýançly pürsleriň täsir çyzygyny gurmak üçin ony oň täsir çyzygynyň belli bir böleklere bellemeli ony ýerine ýetirmek üçin köp daýançly pürsleri köp gutly shemalara dargatmaly.

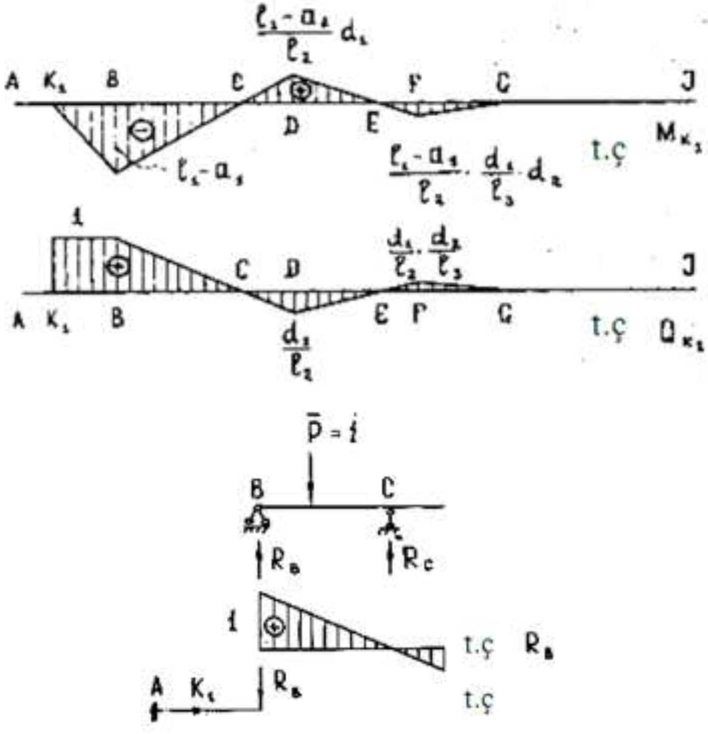


5-nji surat

Bu shemalarda onuň esasy rol goşmaça böleklerini görkezmeli.

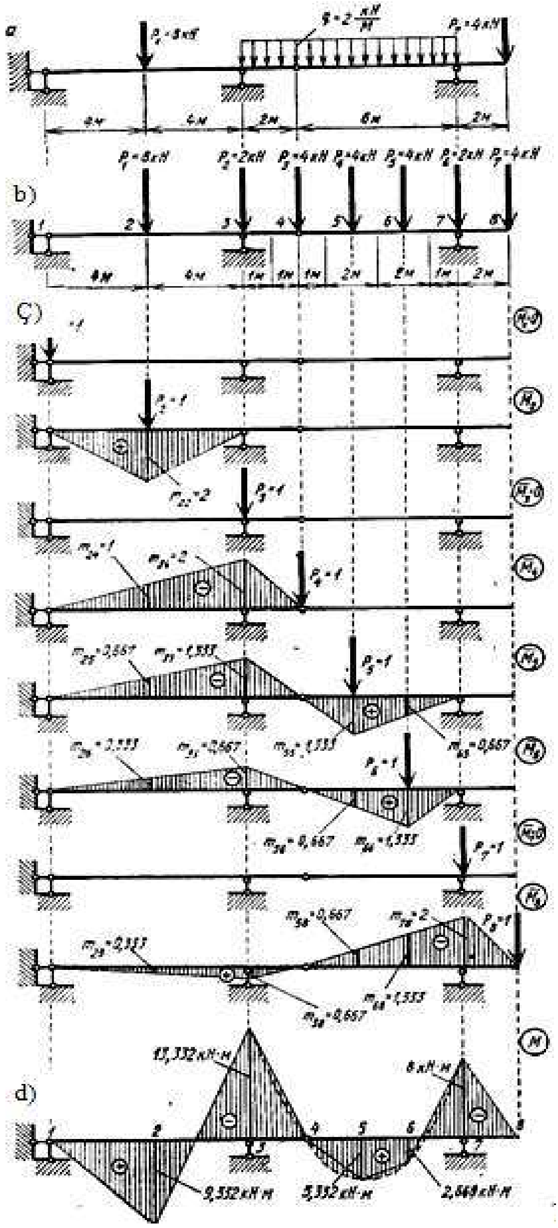
Hasaplama iň ýokarky goşmaça böleginden başlanýar.Goşmaça böleginiň esasy bölegine ýetirýän täsirini göz öňünde tutulyp esasy sistemada täsir çyzygyny gurulýar.

Mysala seredip geçeliň.Mysalyň şerti:Görkezilen köp germewli şekil üçin k_1 nokatda M we Q-nyň täsir çyzygyny gurmaly.



6-njy surat

4.4 Köp daýançly pürsleri matrisa görnüşde çözmek usuly



7-nji surat

Köp germewli pürsleriň matrisa görnüşde çözmek üçin ýönekeý pürsleriň matrisa görnüşde çözülişi ýaly çözülýär. Iki germewli pürse seredip geçeliň.Bu pürs bir nokatda goýlan rol ýaýran güýçler bilen ýüklenen.Bu pürs üçin egiji momendiň epýuryny gurmaly.Ýaýran güýçleri bir nokatda goýlan güýç bilen çalyşýarys.Onda ony matrisa görnüşde çalyşýarys.

$$\bar{s} = h_s \bar{P}$$

Bu ýerde $\bar{s}$ –gözlenýän güýçleriň wektory.

h_s- *Güýjiň täsir matrisasy*

$\bar{P}$ -*Daşky güýjiň wektory*.

$$\vec{M} = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ \dots \\ M_n \end{bmatrix}; \qquad (4)$$

M- egiji momendiň matrisasy.

Täsir matrisasynyň böleklerini tapmak *üçin p=1* birlik güýçden momendiň epýuryny gurmaly. Her ýönekeý epýurlardan peýdalanyp täsir matrisasyny gurmaly.

L_M-*täsir matrisasy*

$$L_M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & \dots & m_{2n} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & \dots & m_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & \dots & m_{nn} \end{bmatrix}; \quad (5) \quad \vec{P} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \dots \\ P_n \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Daşky güýjiň wektoryny gurýarys.

P-daşkygüýjiň wektory.

Onda moment şeýle tapylýar.

$$M = L_M P$$

Formulanyň esasynda

$$
\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ M_5 \\ M_6 \\ M_7 \\ M_8 \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 2 & 0 & -1 & -0{,}667 & -0{,}333 & 0 & 0{,}333 \\
0 & 0 & 0 & -2 & -1{,}333 & -0{,}667 & 0 & 0{,}667 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 1{,}333 & 0{,}667 & 0 & -0{,}667 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}667 & 1{,}333 & 0 & -1{,}333 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix} 0 \\ 8 \\ 2 \\ 4 \\ 4 \\ 4 \\ 2 \\ 4 \end{bmatrix}
$$

Matrisany biri-birine köpeltmek arkaly şu netijäni alýarys.

$$M_1 = m_{11}P_1 + m_{12}P_2 + \ldots + m_{18}P_8,$$

$$M_1 = 0.$$

$$M_2 = 2\cdot 8 - 1\cdot 4 - 0{,}667\cdot 4 - 0{,}333\cdot 4 + 0{,}333\cdot 4 = 9{,}332 \text{ кН·м};$$

$$M_3 = -2\cdot 4 - 1{,}333\cdot 4 - 0{,}667\cdot 4 + 0{,}667\cdot 4 = -13{,}332 \text{ кН·м};$$

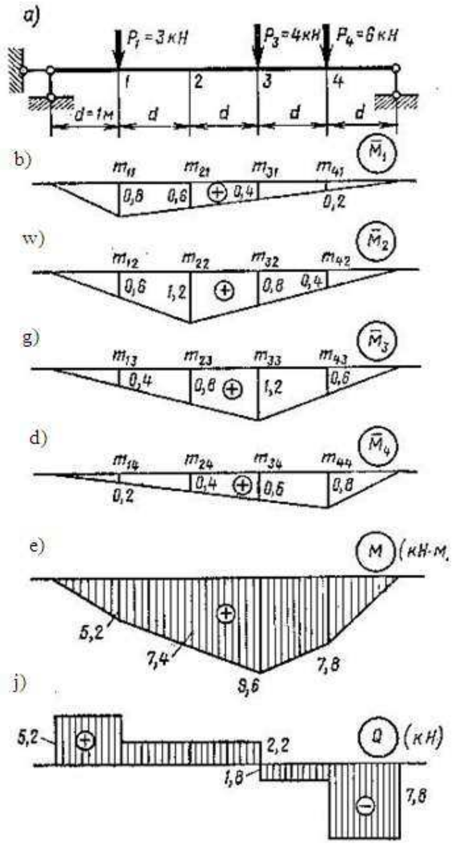
$$M_4 = 0; \quad M_5 = 1{,}333\cdot 4 + 0{,}667\cdot 4 - 0{,}667\cdot 4 = 5{,}332 \text{ кН·м};$$

$$M_6 = 0{,}667\cdot 4 + 1{,}333\cdot 4 - 1{,}333\cdot 4 = 2{,}668 \text{ кН·м};$$

$$M_7 = -2\cdot 4 = -8 \text{ кН·м}; \quad M_8 = 0$$

Mysala seredip geçeliň:
Bir gerimli pürs üç sany bir nokatda goýlan pürsler bilen ýüklenen.
$P_1=3_kH$ $P_2=4_kH$ $P_4=6_kH$.
Şu şertde eplenýän pürsiň egiji momendiniň epýuryny gurmaly.

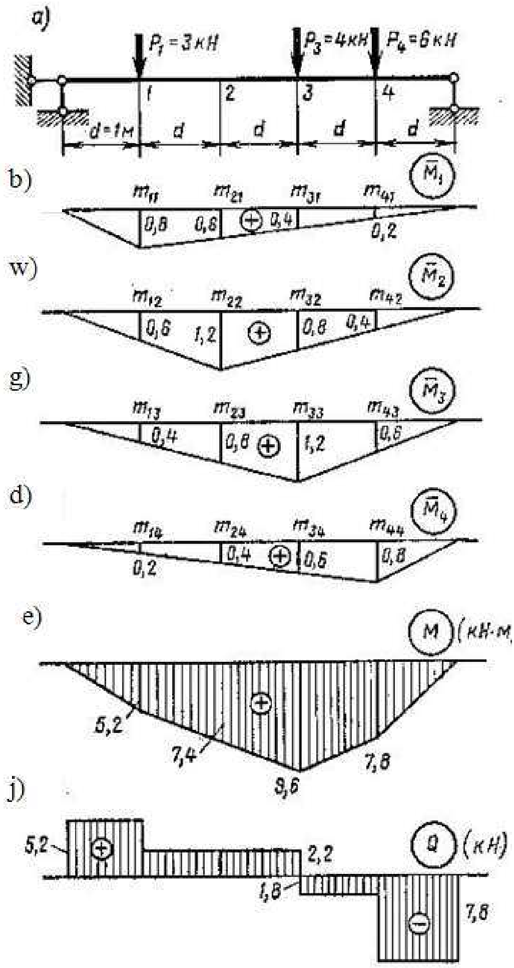
Konstruksiýanyň matrisa usuly bilen hasaplanyşy soňky döwürlerde kompýuter tehnalogiýasynyň ösmegi sebäpli we matrisalaryň algoritimleriniň barlygy sebäpli öň konstrusiýalaryň işleýşine doly baha berip bolmaýan hem bolsa indi programirlemek usullary bilen olaryň işleýşine doly baha bermek mümkinçilgi döredi.



8-nji surat

Berlen pürsi bäş deň bölege bölmeli.Bölünen bölekleri çepden saga nomerlemeli.Gyraky nokatlary nomerlemeýäris.Sebäbi ol nokatlarda moment nola deň.Bölünen nokatlarda $P_j=1$ güýç goýýarys we M_1 M_2 , $M_3 M_4$ birlik güýçleriň epýuryny gurýarys.Birlik epýurlarynyň ordinatalaryny täsir matrisasyna ýygnaýarys.

$$m_{ki}=(n-k)\,il/n^2 \qquad 0<i\leqslant k<n;$$
$$m_{ki}=(n-i)\,kl/n^2 \qquad n>i\geqslant k>0,$$



$$\bar{M}=\begin{vmatrix}M_1\\M_2\\M_3\\M_4\end{vmatrix}=$$

$$\begin{vmatrix}m_{11}&m_{12}&m_{13}&m_{14}\\m_{21}&m_{22}&m_{23}&m_{24}\\m_{31}&m_{32}&m_{33}&m_{34}\\m_{41}&m_{42}&m_{43}&m_{44}\end{vmatrix}\cdot\begin{vmatrix}P_1\\P_2\\P_3\\P_4\end{vmatrix}=$$

$$=\begin{vmatrix}0{,}8&0{,}6&0{,}4&0{,}2\\0{,}6&1{,}2&0{,}8&0{,}4\\0{,}4&0{,}8&1{,}2&0{,}6\\0{,}2&0{,}4&0{,}6&0{,}8\end{vmatrix}\cdot\begin{vmatrix}3\\0\\4\\6\end{vmatrix}=$$

$$=\begin{vmatrix}5{,}2\\7{,}4\\9{,}6\\7{,}8\end{vmatrix}$$

9-njy surat

Daşky güýjiň wektoryny düzýäris .

Momenti tapmak üçin şeýle aňlatma ýazýarys .

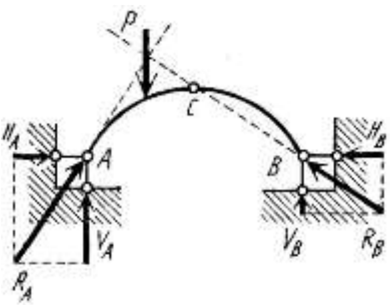
$$M= L_M\, p$$

Alnan netijeden momentiň epýuryny gurýarys .

5.Üç şarnirli arkalar

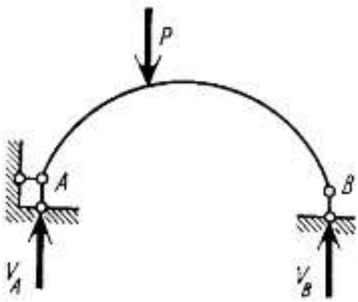
5.1 Umumy düşünje

Arka diýilip egri pürse aýdylýar.Onuň egrisi goýulan güýje ters ugrukdyrylan bolýar.Bu konstruksiýada dik güýç x we y koordinatalar sistemesynda ýapgyt daýanç güýjüni döredýar.Ol ýapgyt güýji boý we kese güýje dagatýarlar.Daýanç güýjiň boý düzijisime gerim diýilýar.Onuň H harpy bilen belleýärler.Arkanyň pürsden tapawudy onda gerimiň döreýänligidir.



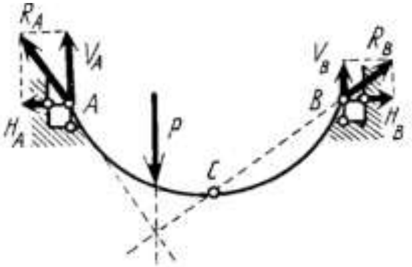
1-nji surat

Şekilde görnüşi ýaly sisteme P, R_A *we* R_B güýçleriniň täsiri netijesinde deňagramlaşýarlar.



2-nji surat

Bu şekilde görkezilen egri çyzykly pürse deginşi ol arka däl, sebäbi dik güýç ýapgyt daýanç güyjüni döredmeýar.Eger goýulan ýükiň ugry egriniň ugry gabat gelýan bolsa , onda olar ýaly arkalara asma arkalar diýilýar.



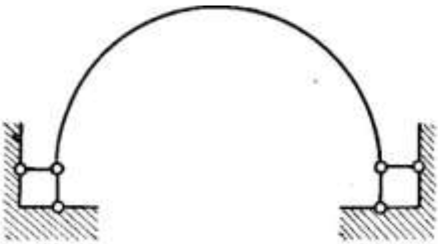
3-nji surat

Daýanç güýçleriniň berkidilişine görä arkalar şu görnüşlerde bolýarlar.

Şarnirsiz arkalar.

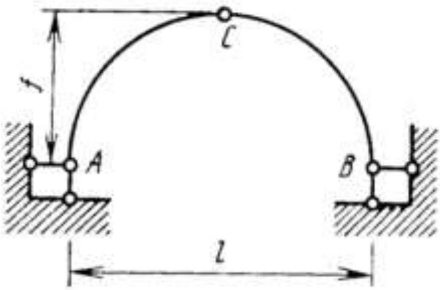
4-nji surat

Iki şarnirli arkalar



5-nji surat

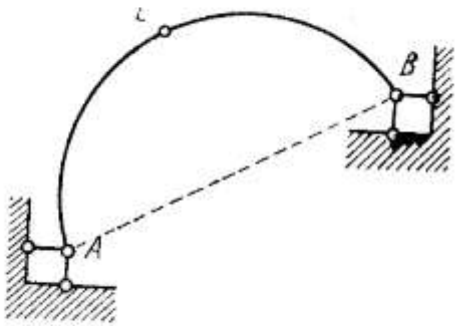
Üç şarnirli arkalar.



6-njy surat

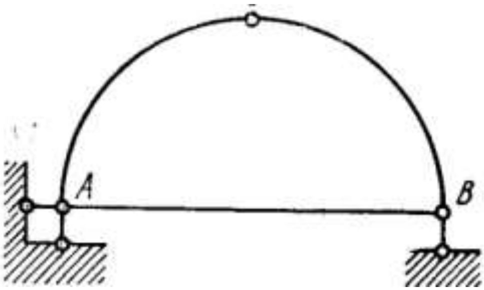
Şarnirsiz we iki şarnirly arkalar statiki kesgitsiz arkalardyr.Üç şarnirli arkalar statiki kesgitli arkalardyr.Arkanyň daýançlary bir derejede ýa-da dürli derejede bolup bilerler.Eger ol dürli derejede bolsa, onda oňa akýan arkalar diýilýar.

Eger arka goltgy berýan konstruksiýalar gerim döredip bilmaýan bolsa , onda arkalarda dartgy goýýarlar.



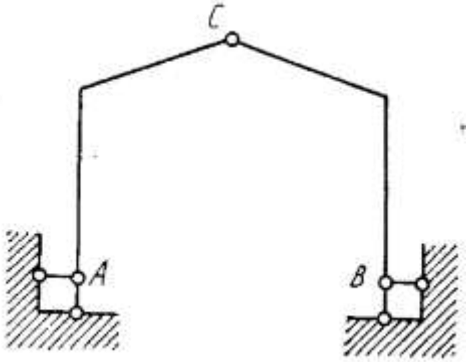
7-nji surat

Üç şarnirli arkalarda dartgy goýlan bolsa onuň bir boý daýanjyny aýryp bolýar.



8-nji surat

Üç şarnirli arkalarda ýarym arkalar tutuş we açyk görnüşde bolup biler.Birinji görnüşde ol tutuş pürs bolup biler, ikinji görnüşde ferma bolup biler.Işleýiş häsiýetine görä üç şarnirli arka üç şarnirli rama ýakyndyr.

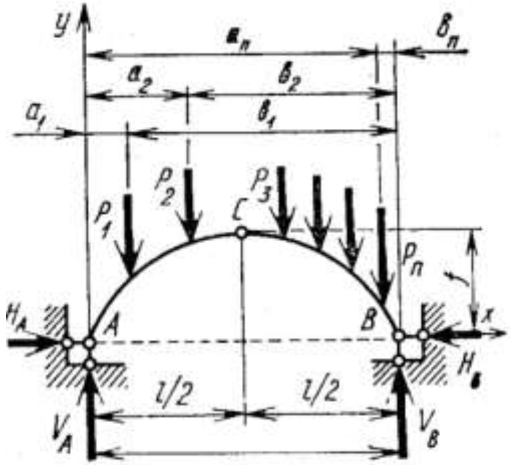


9-njy surat

Üç şarnirli ramalar işleýiş aýratynlygyna göra dürli şekilde bolup biler.

5.2 Arkalaryň daýanç güýglerini hasaplamak.

Daýançlary bir derejede ýerleşýan arkalar.



10-njy surat

A we B daýançlary deňagramlyk deňleme hasaplanylýar.

$$\Sigma M_A = P_1 a_1 + P_2 a_2 + \cdots + P_n a_n -$$
$$- V_B l = 0;$$
$$\Sigma M_B = V_A l - P_1 b_1 - P_2 b_2 - \cdots$$
$$\cdots - P_n b_n = 0,$$

Bu ýerde

$$V_B = \frac{\Sigma Pa}{l};$$

$$V_A = \frac{\Sigma Pb}{l}.$$

Boý güýçleriň öz arasyndaky baglanşyk.

$$\Sigma X = H_A - H_B = 0, \quad H_A = H_B.$$

C nokatda şarnir ýerleşýändigi üçin ol nokada göra moment nula deň.Onda ýarym arkanyň C nokada göra momendini nula deňläliň $\sum M_C^{sep.}=0$

$$\Sigma M_C^{л} = V_A \frac{l}{2} - P_1\left(\frac{l}{2} - a_1\right) -$$

$$- P_2\left(\frac{l}{2} - a_2\right) - Hf = 0.$$

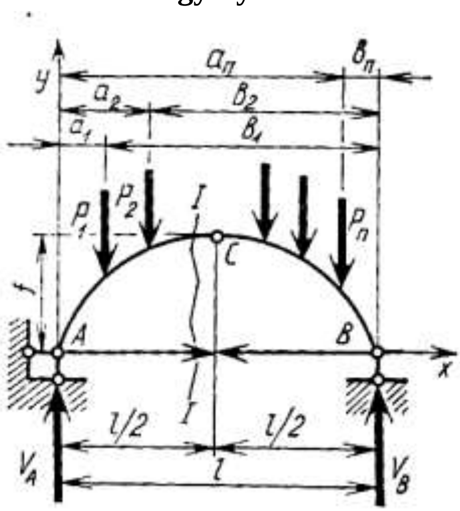
$$V_A \frac{l}{2} - P_1\left(\frac{l}{2} - a_1\right) -$$

$$- P_2\left(\frac{l}{2} - a_2\right) = M_C^0$$

Onda, H-boý güýji tapmak üçin şeýle formula alýarys. $H=\frac{M_Ç^O}{f}$

Netije:dik daýanç güýçlerini arkanyň uzynlygyna deň bolup pürsiň daýanç güýçlerini tapylşy ýaly tapyp bolýar.

Dartgynly arkalar



11-nji surt

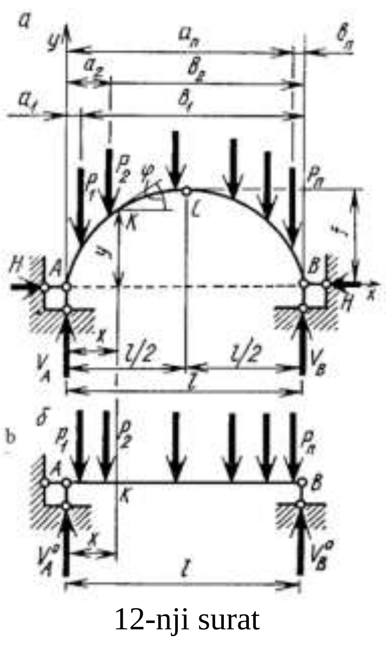
Bu ýagdayda eger güýç dik bolsa onda kese düziji nula deň bolýar.Dik güyçler pürsiň daýanç güýçleriniň tapylşy ýaly tapylýar.
AB-dartgydaky içki güýji tapmak üçin kese-kesik geçirýaris we kesikden bir böleginiň deňagramlygyna seredýaris.Onda ol şeýle hasaplanýar.

$$N_{dart}=\frac{M_C^O}{f} \quad (1)$$

Mc °–pürsden C nokada göra alnan moment.
f-beýikligini häsiýetlendirýan moment.

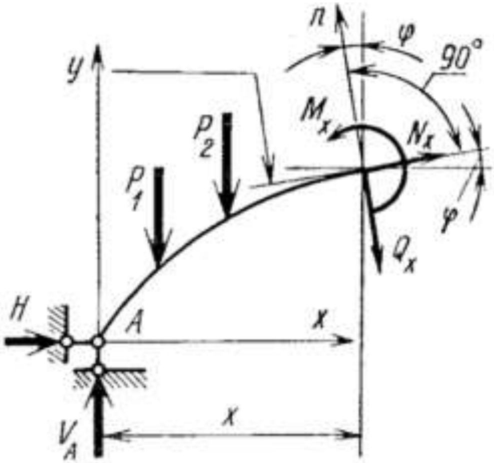
5.3 Arkanýň içki güýçleriniň hasaplanşy

Şekilde görkezilen arka seredip geçeliň.



12-nji surat

Koordinatalar sistemasynda arkany çyzýan egriniň deňlemesi belli diýip hasap edeliň.Koordinatalar başlanjyny A daýanç bilen gabat gelýar diýip hasap edeliň.Dik
güýç täsir edende M,Q we N içki güýçleri tapalyň.Erkin K nokatdaky içki güýçleri tapalyň. Ol nokan üç parametr bilen, (x,y we koordinata bilen egrä galtaşýan çyzygyň arasyndaky burç bilen) häsiýetlendirilýar. Onda içki güýçleri şeýle hasaplaýarys.



13-nji surat

$$Q_x = V_A \cos\varphi - P_1 \cos\varphi - $$
$$- P_2 \cos\varphi - H \sin\varphi,$$

$$M_x = M_x^0 - Hy.$$

$$N_x = -(V_A - P_1 - P_2)\sin\varphi - H\cos$$

$$Q_x = (V_A - P_1 - P_2)\cos\varphi - H\sin\varphi.$$

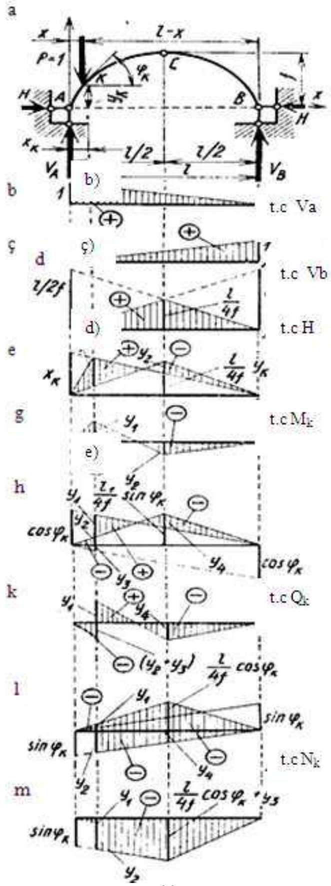
$$V_A - P_1 - P_2 = Q_x^0,$$

$$N_x = -Q_x^0 \sin\varphi - H\cos\varphi.$$

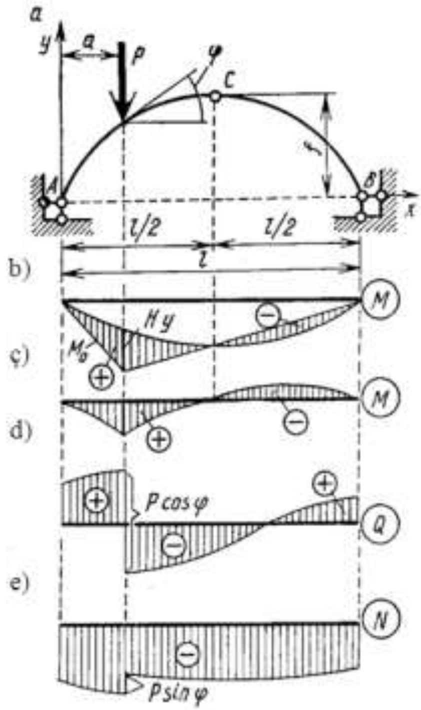
$$Q_x = Q_x^0 \cos\varphi - H\sin\varphi,$$

Bu ýerde: M_x- Kese kesikdäki momendyň hasaby. M_x^o- Pürsiň şöl kesikdäki momendi H-Germewiň hasaby y- x kesikdäki ordinatanyň bahasy. Q_x^{o-}Pürsiň şol kesikdäki kese güyji. φ-Egrä galtaşma çyzyk bilen absisanyň arasyndaky burç. Q_x-Kese-kesikdäki kese güýjiň bahasy. N_x-Kese-kesikdäki boý güýç.

Alnan koordinatalar sistemasynda cosφ ähli kesikler üçin polojytel baha eýedir, sinφ üçin bolsa çep bölegi üçin polojytel, sag bölegi üçin otrisatel baha eýedir.Arkanyň içki güýçleriniň bir güýçden döreýan epýurlary şekilde görkezilen.



14-nji surat



15-nji surat

5.4 Arkanyň iň amatly egrisini saýlamak

Eger arkany ýasamak üçin iň az material sarp edilen egrä iň amatly arkanyň egrisi diýilýar. Bu şertde kese-kesiginiň ölçegi kiçi bolýar.Bu şert eger kese-kesigiň hemme nokadynda moment nula deň bolanda bolýar.Eger şeýle

Şerti döredýan egri tapylsa , onda ol ýerde $(Q=\frac{dM}{dx})Q$- güýç hem nula deň bolýar.Onda ähli kesikde diňe N güýç ýüze çykýar.Onda şeýle egri almak üçin yerine etmeli şertler.

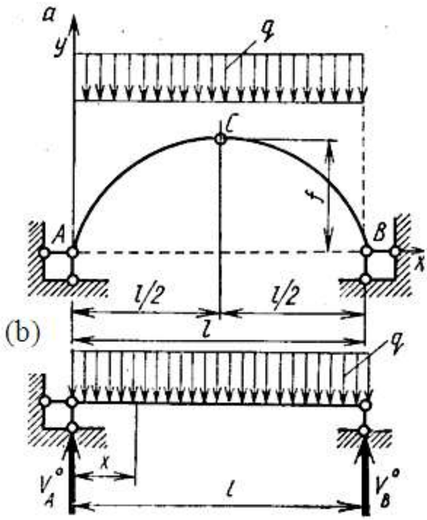
$M_x=M_x^o-H\cdot y=0$

$y=\frac{M_x^o}{H}$ ya-da $\frac{i}{H}=K \quad y=KM_x^o$

Mysal:

Şerti:Arkanyň iň amatly egrisini häsiýetlendirýän egriniň deňlemesini düzmeli.

Çözlişi:Arkanyň şertinde işleýan pürsi saýlap alýarys.



16-njy surat

Onuň daýanç güýçlerini tapýarys.$V_A=V_B=\frac{ql}{2}$

Erkin kesigindäki egiji momendyň deňlemesini düzýaris.

$$M_x^0 = V_A x - 0,5qx^2 = 0,5qlx - 0,5qx^2 \cdot$$

Pürsiň ortasynda egiji moment $\frac{ql^2}{8}$deň , onda $H = \frac{qj^2}{8f}$ onda bu ýerden

$$Y=\frac{4f}{l^2}x(l\text{-}x)$$

Bu ýerden netije:Üç şarnirli arka deňagramly güýç bilen ýüklenende onuň iň amatly egrisi kwadrat parabola bolýar.

5.5 Arkanyň täsir çyzygyny gurmak

Dik güýçleriň täsir çyzygy pürsiňki ýaly gurulýar. Gerimiň täsir çyzygy ýönekeý pürsiň egiji momendiniň (C) şarnirdäki täsir çyzygy ýaly şekili alýar.Şonuň üçin ony gurmak üçin M_c^o täsir cyzygynyň ordinatalaryny f bölip almaly. Egiji momendiň islendik kesikdäki täsir çyzygynyň bahasy ýönekeý pürsiň egiji momendiniň täsir çyzygynyň bahasyny üstüne gerimiň şol nokatdaky täsir çyzygyny arkanyň şol nokatdaky ordinatasyna köpeldip umumy jemi almak usuly bilen hasaplanýar.

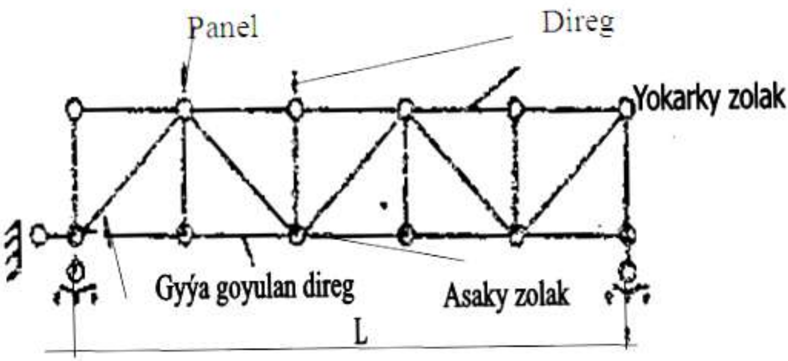
Meselem: k nokatdaky içki güýçleriň täsir çyzygyny guralyň. M_k^o we $H \cdot y_k$ göniçyzykly şonuň üçin M_k hemme ýerde gönigöniçyzykly bolar.O_k jemleýji täsir çyzygyny Q_k täsir täsir çyzygynyň üstüne $Q_k^\circ \cdot \cos\varphi_k$ we $H \cdot \sin\varphi_k$ tqsir cyzyklaryny goşmak arkaly alýarys.N_k bolsa şu formula bilen hasaplaýarys.

$$N_x = -Q_x \cdot sin\varphi_k - H \cdot cos\varphi_k$$

Üç şarnirli arkanyň täsir çyzygyny gurmak iş tertibi islendik egri arkalar üçinem görkezilen tertipli ýerine ýetirilýar.

6. Tekiz fermalar
6.1 Fermalar we olaryň bölekleri barada düşije

Ferma — munuñ özi syryklaryñ toplumy bolup, gaty birikdirmelerini şarnirli birikdirmeler bilen birikdirlende geometriki üỳtgemeỳän görnüş bolup durỳar.
Fermanyñ oklarynyñ aralykalryna gerim diỳilỳär.



1-nji surat

Syryklar fermanyñ sudurynda ỳerleşendir, olara zolakly diỳlip atlandyrylỳar we ỳokary we aşaky zolagy emele getirỳärler.
Zolaklaryñ arasyndaky ỳerleşen syryklaryñ jemine gözenekler diỳilỳär. Şunlukda wertikal ỳerleşenlerine diregler diỳilỳär,gyỳa ỳerleşenleri bolsa gyỳa goỳulan diregleri diỳilỳär.
Fermanyñ hasaplamasyna başlamazdan, hökmany suratda onuñ geometriki üỳtgemaỳändigini we statiki kesgitlenỳändigine göz

ỳetirmeli.
Geometriki üỳtgemezlik bu kinematiki derñewiñ esasynda ỳerine ỳetirilỳär. Eger-de ferma üỳtgemeỳän bolsa onda statiki kesgitlemeler
analitiki görkezmelerde şeỳle formula bilen añladylỳar.

$$2y=C+G_0$$

nirede C-fermanyñ syryklarynyñ sany
C_0-daỳanç baglanşyklaryñ sany
Ferma gozganmaỳan goỳulan ỳüküñ hasaplamasy içki güjenmäniñ
Kesgitlemesi bilen netijelenỳär. Bu ỳerde hökmany ỳatlamaly,eger-de
Fermanyñ böleklerindäki düwünlere goỳulan güỳçleri diñe boỳ uzynlygyna gysylmanyñ we süỳnmäniñ güỳjenmesi ỳüze çykỳar.
Fermanyñelementleriniñ gỳjenmesini anlaitiki usulda kesgitlenilişini
Görkezmek bolar:haçanda düwmaleriñ kesilmek suly, kesigiñ bitewiligne usuly we ş.m.
Gozganỳan ỳüklerde fermanyñ hasplamalary täsir çyzygynyñ ugry bilen ỳerine ỳetirilỳär.(t.ç.). Fermanyñ pürsli görnüşi üçin ilki bilen täsir çyzgy gurulỳar. Daỳanç güỳçleri üçin, bu bolsa kä halatlarda esasy diỳlip atlandyrylỳar. Fermanyñ daỳançlarynyñ aralygynda ỳerleşen syrklaryñ güỳjenmesiniñ täsir çyzygy köplenç esasynyñ kömegi bilen gurulỳar. Şonuñ bilen birlikde ỳönekeỳ pürsüñ üỳtgeỳşiniñ täsir çyzygy bilen esasynyñ täsir çyzygy gabat gelỳär.

6.2 Tekiz statiki kesgitli fermanyñ hasaplanyşy

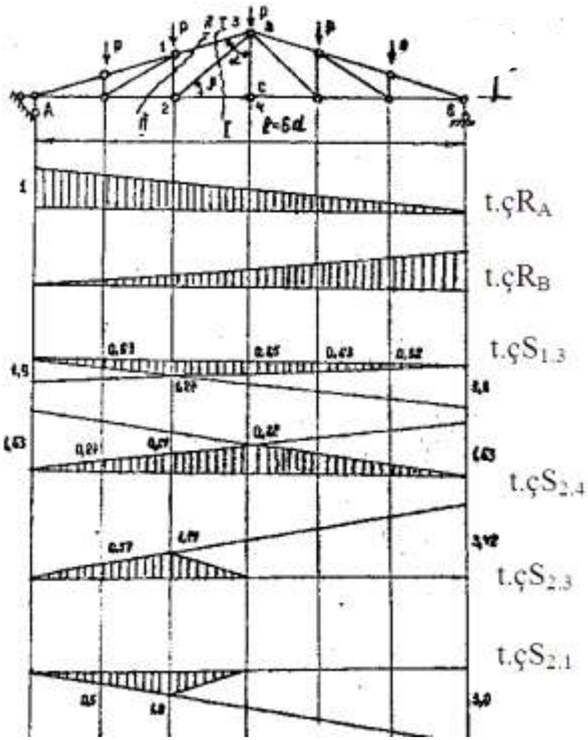
Çep tarpdan başlanỳan ỳerinden üçinji paneliñ kesilen ỳerinden

başlanỳan ỳerine çenli syryklaryñ analitiki güỳjenmesini kesgitlemek.

b) Şol syryklarda güỳjenmäniñ täsir çyzyklaryny gurmak.

w) Berlen ỳüklerden güỳjenmäniñ täsir çyzyklarynyñ hasaplanan

bahalaryny, analitiki usul bilen alynan bahalaryny deñeşdirmek



2-nji surat

Berlen. $l=18sm$
$P=2km$

a)Syryklaryñ güỳjenmesini kesgitläliñ

$$tg\acute{\alpha}=\frac{AC}{CD}=\frac{9}{5.5}=1{,}6363 \qquad \acute{\alpha}=58^{0}34$$

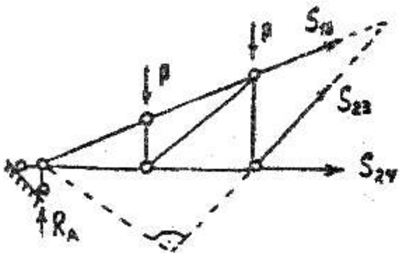
$$tg\,\beta=\frac{h}{d}=\frac{5{,}5}{3}=1{,}8333 \qquad \beta=61^{0}$$

$d=3m$
$h=5{,}5m$

$$R_B=\frac{P(3+6+9+12+15)}{18}=\frac{245}{18}=5kn$$

Daỳanç güỳçlerini kesgitläliñ. R_A we R_B

$P\bullet3+P\bullet6+P\bullet9+P\bullet12+P\bullet15-R_B\bullet 13=0 \qquad \Sigma y=0 \quad R_A=5\bullet P-R_B=10-5=5kn$



1—3, 2-3, 2-4 – syryklaryñ güỳjenmesini kesgitlemek üçin I-I kese-kesik geçirỳäris we fermanyñ çep böleginiñ deñagrymlylygna seredỳäris.

$\Sigma M_2=0 \quad R_A\bullet6-P\bullet3+S_{13}\bullet h_1\bullet\sin\acute{\alpha}=0$

$$S_{13}\ \frac{P\bullet3-R_A\bullet6}{h_1\cdot\sin\acute{\alpha}}=\frac{2\bullet3-5\bullet6}{3{,}7\bullet0{,}8533}=-7{,}6kn$$

$S_{13}=-7{,}6kn$

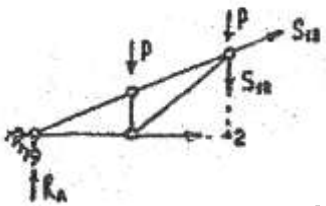
$\Sigma M_A=0$

$P \cdot 3+P \cdot 6-S_{23} \cdot 6 \cdot \sin\beta=0$

$S_{23}=3{,}42kn$

$$S_{23}=\frac{P \cdot 3+P \cdot 6}{6 \cdot \sin\beta}=\frac{2 \cdot 3+2 \cdot 6}{6 \cdot 0{,}878}=3{,}42kn$$

Fermanyñ 1-2 bölegininñ güỳjenmesini kesgitlemek üçin II-II kese- kesigi geçirip çep tarapynyñ deñagramlylygyna seredỳäris.



$S_{12}=-3kn$

$\Sigma M_A=0$

$S_{12} \cdot 6+P \cdot 6+P \cdot 3=0$

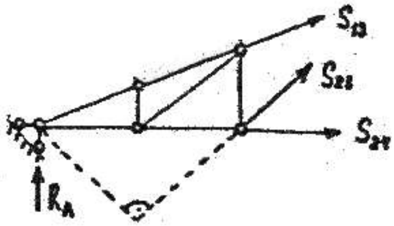
$$S_{12}=\frac{2 \cdot 6+2 \cdot 3}{6}=-3kn$$

b)Şol syryklaryñ güỳjenmesininñ täsir çyzyklaryny guralyñ.

1. I-I kese- kesigi geçirỳäris.

Bu ỳagdaỳda P-1güỳji seredilỳän panelden sag tarapa hereket edỳär.

Kese- kesiginñ çep bölegininñ deñamrylygyna seredip göreliñ.



$\Sigma M_2=0 \quad R_A \cdot 6+S_{13} \cdot h_1 \cdot \sin\alpha=0$

$$S_{13}=-\frac{6}{3{,}7 \cdot 0{,}8533} \cdot R_A=-1{,}9R_a$$

t.ç. S_{13}=-1,9 t.ç. R_A.

Bu deñlik haçanda P-1 güỳjiniñ seredeliñ panelden sag tarapa hereket edỳändigini görkezỳär.1-3 syrgyñ güỳjenmesiniñ täsir çyzygy daỳanç güỳçleriniñ R_A täsir çyzygyndan gelip çykỳar, -1,9 hemme ordinatalaryñ köpeltmek hasylynyñ ỳollary bilen añladylỳar.

Beỳleki syryklar üçin şeỳle görkezme alarys.

$\sum M_{3=0} \quad R_A.9-S_{24}.5{,}5=0$

$S_{24=1{,}63 \cdot R_A}$

t.ċ.S_{24}=*1,63·t.ċ.*R_A

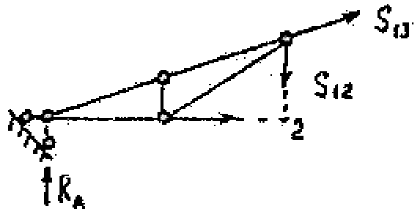
$\sum M_A=0 \quad -S_{23} \cdot \sin\beta=0 \quad$ *t.ċ.*S_{23}=*0*

Alynan añlatmalardan täsir çyzygyny guralyñ,şu ỳerde dogry bölegi diñe sag tarapy diỳip hasap edip P=1 güỳjiñ hereket edỳän ỳeri diỳip aỳdyp bolar

II-II-kese- kesigi geçirỳäris.

Seredip görỳän panelimiziñ sag tarapynyndan P=1 ỳüki hereket edỳär.

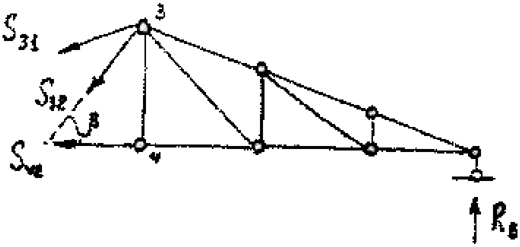
Çap böleginiñ deñagrylylygyna seredip göreliñ.



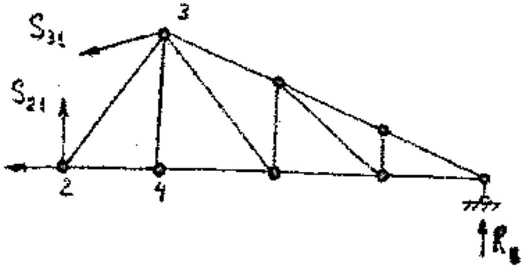
$\Sigma M_a=0; \; S_{12} \cdot 6=0; \; S_{12}=0; \;$ *t.ç.*$S_{12}=0$

Şunlukda seredilỳän paneliñ sag tarpyndaky P=1 güỳjiñ hereketiniñ 2-3,1-2 syrklaryñ güỳjenmesiniñ täsir çyzygy ok bilen birikỳär

2. I-I kese- kesigi geçirỳäris.
Seredilỳän panelden P=1 ỳük çep tarapda hereket edỳär.
Sag tarapyñ deñagramlylygyna seredip görỳäris.



II-II- kese-kesigi geçireliñ.
Seredilỳän panelden P=1 ỳük çep tarapa hereket edỳär.
Sag tarapyñ deñagramlylygyna seredip göreliñ.



$\Sigma M_A=0; \quad S_{21} \bullet 6 - R_B \bullet 18=0$

$S_{21}= - \ 18 \ \bullet R_B= -3 R_B; \quad t.ç. \ S_{21}= -3 \ t.ç. \ R_B:$

Alynan añlatmalardan täsir çyzygyny guralyñ we hemme häsiỳetli ỳa-da
Düwünli ordinatalary kesgitläliñ

6.3 Täsir çyzyklardan güỳjenmäni kesgitläliñ

Güỳjenmäniñ täsir çyzyklaryny kesgitlemek üçin berlen gozganmaỳan ỳükleriñ güỳjenmesiniñ täsir çyzyklaryny üstüne ỳükmeklik ỳeterlikdir.
Belli düzgünlerden peỳdalanyp we formulalaryñ kömegi bilen şu aşakdakylary alarys.

$S_{13}=-P\bullet 0,63-P\bullet 1,27-P\bullet 0,95-P\bullet 0,63-P\bullet 0,32=-2\bullet 3,8=-7,6kn$
$S_{24}=P\bullet 0,27+P\bullet 0,54+P\bullet 0,82+P\bullet 0,54+P\bullet 0,27=2\bullet 2,44=4,88kn$
$S_{23}=P\bullet 0,57+P\bullet 1,14=2\bullet 1,71=3,42kn$
$S_{21}=-P\bullet 0,5-P\bullet 1,0=2\bullet 1,5=-3kn$

Tablisa.

Güỳjenme	**Analitiki görnüşde**	**Täsir çyzygy boỳunça**	**ỳalñyşlyk %**
S_{13}	-7,6	-7,6	0
S_{24}	4,91	4,88	0,6
S_{23}	3,42	3,42	0
S_{21}	-3,0	-3,0	0

Güỳjenmäniñ göterim görnüşindäki tapawutlylygy şeỳle kesgitlenilỳär.

$$\frac{4\bullet 91-4,88}{4,91}100\%=\frac{3}{4,91}=\ 0,6\%$$

Tablisadan görnüşiỳaly analitiki usul bilen tapylan güỳjenme bilen täsir çyzygynyñ kömegi bilen tapylan güỳjenmeler doly gabat gelỳär.
Bu bolsa fermanyñ hasaplamalarynyñ dogrydygyny subut edỳä

7. Maýyşgak esasdaky pürsler
7.1 Maýyşgak esaslar barada esasy düşije

Maýyşgak esaslar diýilip –pürsiň agramyndan şeýlede goýulan güýçlerden deformirlenmäge ukyply bolup bir wagtyň özünde orun üýtgemä maýyşgak garşylyk görkezmäge ukyply esaslara aýdylýar. Şeýle esaslarda ýerleşýän pürslere maýyşgak esasda ýerleşýän pürsler diýilýär.

Meselem: Demirýol şpallary, relslar, lenta görnüşli fundamentler we ş.m.

Maýyşgak esasda ýerleşen pürsler güýjiň täsiri netijesinde deformirlenme amala aşanda esas tarapdan daýanç güýçleri döreýärler. Ýöne ol daýanç güýçleriň pürsiň uzynlygyna nähili ýaýraýandygyny bilmeýäris. Şol sebäpli olary statikanyň deňlemesi bilen hasaplap bilmeýäris. Şol sebäpli bu mesele statiki kesgitsiz meselelere degişli bolýar. Daýanç güýjiň pürsiň uzynlygyna görä nähili ýaýraýanlygy barada birnäçe göz öňüne getrmeler bar. Ol göz öňüne getrmelere maýyşgak esasyň modelleri diýilýär.

7.2 Maýşgak esasdaky pürsleri hasaplamak üçin hödürlenýän modeller

1. Winkleriň modeli. (1867 ý).

Bu modeliň esasynda şeýle göz öňüne getirme ýatyr. Her nokatdaky emele gelýän daýanç güýçleri şol nokatdaky maýyşgak orun üýtgemä proporsionaldyr. Şunuň esasynda näçe orun üýtgeme köp bolsa şonça-da daýanç güýçleri ulydyr.

Onda $q_o = -k\cdot y;$ *(1)* $(k = k_o\cdot b);$ *(1)*

q_o –esasda pürsiň uzynlygyna görä döreýän daýanç güýçleri,
k_o –esasyň gatylygyny häsýetlendirýän hemişelik koeffisent. Oňa düşek koeffisenti diýilýär. Ol 1sm^2 düşýän daýanç güýjine deň, haçanda 1sm orun üýtgeme bolan wagtynda.
b –pürsüň ini.

$$R_0 = \frac{h}{\ln\frac{R_1}{R_2}} = \frac{4}{\ln\frac{4}{2}} = \frac{4}{\ln 2} = \frac{4}{0{,}693} = 5{,}77 sm.$$

Bitarap okdan we agyrlyk merkezden geçýän oka çenli aralygy hasaplalyň.

$$y_o = R - R_o = 6 - 5{,}77 = 0{,}23\ sm.$$

Bitarap oka görä statiki momendi hasaplalyň.

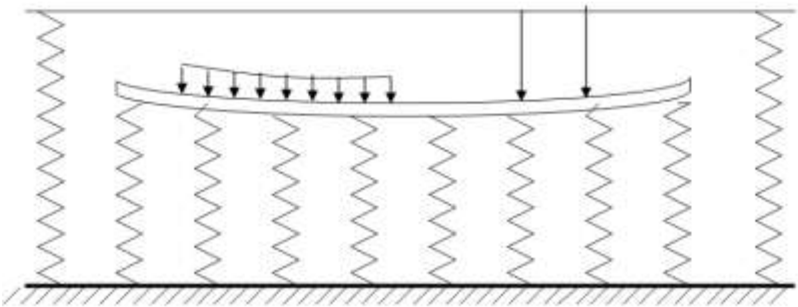
$$F = 2\cdot 4 = 8\ sm^2;\ \rho = F\cdot y_o = 8\cdot 0{,}23 = 1{,}84\ sm^2.$$

Bitarap okdan gyraky süýmlere çenli aralyk.

$$y_1 = R_1 - R_o = 8 - 5{,}77 = 2{,}23\ sm;$$
$$y_2 = R_o - R_2 = 5{,}77 - 4 = 1{,}77\ sm.$$

Gyraky we agyrlyk merkezden geçýän oklara görä güýjenmäniň bahasyny tapalyň.

$$\begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{N}{F} + \dfrac{M}{\rho}\cdot\dfrac{y_1}{R_1} = \dfrac{10}{8\cdot 10^{-4}} - \dfrac{0{,}6}{1{,}84\cdot 10^{-6}}\cdot\dfrac{2{,}23}{8} = -78{,}4\dfrac{MH}{m^2}; \\ \sigma_2 = \dfrac{N}{F} - \dfrac{M}{\rho}\cdot\dfrac{y_2}{R_2} = \dfrac{10}{8\cdot 10^{-4}} + \dfrac{0{,}6}{1{,}84\cdot 10^{-6}}\cdot\dfrac{1{,}77}{4} = 157{,}2\dfrac{MH}{m^2}; \\ \sigma_0 = \dfrac{N}{F} + \dfrac{M}{R\cdot F} = \dfrac{10}{8\cdot 10^{-4}} - \dfrac{0{,}6}{8\cdot 6\cdot 10^{-6}} = 0. \end{cases}$$

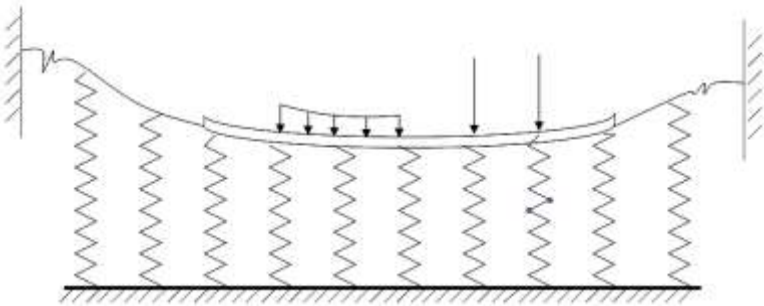


1 – nji surat

Bu model şekilde görkezilişi ýaly biri –birine bagly bolmadyk birnäçe püržinden durýar, ýöne ol püržinler süýnmeýän sim bilen berkidilen we hemişelik boý berkitme bilen berkidilen. Bu meseläni çözmek üçin ýenede köp modeller hödürlenen. Meselem: W.Ž.Wlasowyň, N.M.Gersewanowyň modellerini mysal getrmek bolar.

7.3 Pürsüň egilme okynyň differensiýal deňlemesi

Deňdüzümli tutuş maýyşgak esasynda ýatan pürse seredip geçeliň. Onuň modeli hökmünde Winkleriň modelini alalyň.



2 – nji surat

Onda egilme okunyň differensiýal deňlemesini ýazalyň.

$$EI\frac{d^2y}{dx^2} = -M\ ; \quad (2) \qquad EI = const.$$

Deňlemäniň iki tarapyny hem iki gezek differensirlesek onda şeýle aňlatmany alarys.

$$\left.\begin{aligned} EI\frac{d^3y}{dx^3} &= -Q \\ EI\frac{d^4y}{dx^4} &= P \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

P –daşky güýç, ol q(x) bilen we q_o= -ky daýanç güçlerinden durýar.

P(x) = q(x) – ky; (4) bu aňlatmany (3) deňlemä goýýarys.

$EI\dfrac{d^4y}{dx^4} = q(x) - ky$; (4) iki bölegini hem EI bölýaris.

$$\frac{d^4y}{dx^4} + \frac{4ky}{4EI} = \frac{q(x)}{EI}\ ; \qquad (5)$$

$L^4 = \dfrac{4EI}{k}$ ýa –da $L = \sqrt[4]{\dfrac{4EI}{k}}$; belleýäris. L –bu koeffisente pürsi häsýetlendirýän koeffisent diýilýär, ýa –da pürsiň getrme uzynlygy diýilýär. Onda $\dfrac{d^4y}{dx^4} + \dfrac{4}{h^4}\cdot y = \dfrac{q(x)}{EI}$; (6)

$\varphi = \dfrac{x}{h}; \quad \dfrac{d\varphi}{dx} = \dfrac{1}{h}$ bu çalyşmany amala aşyrmak üçin (6) aňlatmadan y görä dördünji önümi almaly.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dx} = \frac{1}{h}\cdot\frac{dy}{d\varphi}\ ;$$

$$\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{d}{dx}\cdot\left(\frac{dy}{dy}\right)=\frac{d}{dx}\cdot\left(\frac{1}{h}\cdot\frac{dy}{d\varphi}\right)=\frac{1}{h}\cdot\frac{d^2y}{d\varphi^2}\cdot\frac{d\varphi}{dx}=$$

$$\frac{1}{h^2}\cdot\frac{d^2y}{d\varphi^2}\cdot\frac{d^3y}{dx^3}=\frac{1}{h^3}\cdot\frac{d^3y}{d\varphi^3}$$

$$\frac{1}{h^4}\cdot\frac{d^4y}{d\varphi^4}+\frac{4}{h^4}\cdot y=\frac{q(\varphi)}{EI}; \quad (7) \qquad \frac{d^4y}{d\varphi^4}+4y=\frac{h^4}{EI}q(\varphi) \quad (8)$$

Onda bu differensial deňlemä maýyşgak esasyň differensial deňlemesi diýilýär.

8. Güýjiň edýän işi we umumy orun üýtgemeleri hasaplamak

8.1 Umumy düşünje

Eger konstruksiýa täsir edýän güýç ýuwaş –ýuwaşdan ösýän bolsa beýle güýçlere statiki güýçler diýilýär. Onda P statiki güýjiň ýerine ýetirýän işine setredip geçeliň.

1 – njy surat

Onda maýyşgak sistemalarda bolan güýçden orun üýtgemäni şeýle hasaplaýarlar.

$$\Delta = \alpha \cdot P \quad (1)$$

Δ –berlen güýjiň ugruna görä orun üýtgeme,

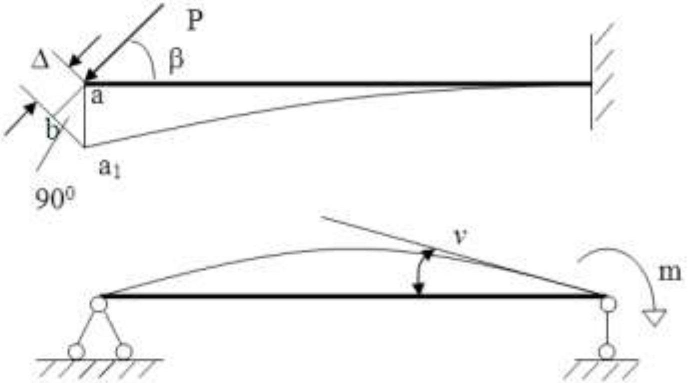
α –konstruksiýanyň materýalyna, şekiline we ölçegine bagly koeffisent.

Onda berilen güýjiň ýerine ýetirýän işini şeýle hasaplap bolar.

$$A = \frac{1}{2} P \cdot \Delta; \quad (2)$$

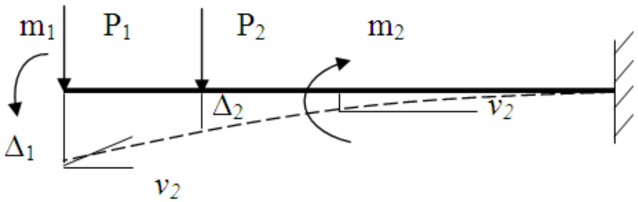
Berilen momentiň ýerine ýetirýän işi.

$$A = \frac{1}{2} m \cdot w; \quad (3)$$



2 – njy surat

m –moment
U –m –momendiň goýulan kesigindäki aýlanma burçy.



3 – nji surat

$$A = \frac{P_1 \cdot A_1}{2} + \frac{P_2 \cdot A_2}{2} + \frac{m_1 \cdot U_1}{2} - \frac{m_2 \cdot U_2}{2}; \qquad (4)$$

onda, $$A = \sum \frac{P_i \cdot \Delta_i}{2} + \sum \frac{m_i \cdot U_i}{2}; \qquad (5)$$

$$A = \sum \int_0^l \frac{M^2 dx}{2EI} + \sum \int_0^l \frac{N^2 dx}{2EF} + \sum \int_0^l \frac{Q^2 dx}{2GF} \cdot \eta; \qquad (6)$$

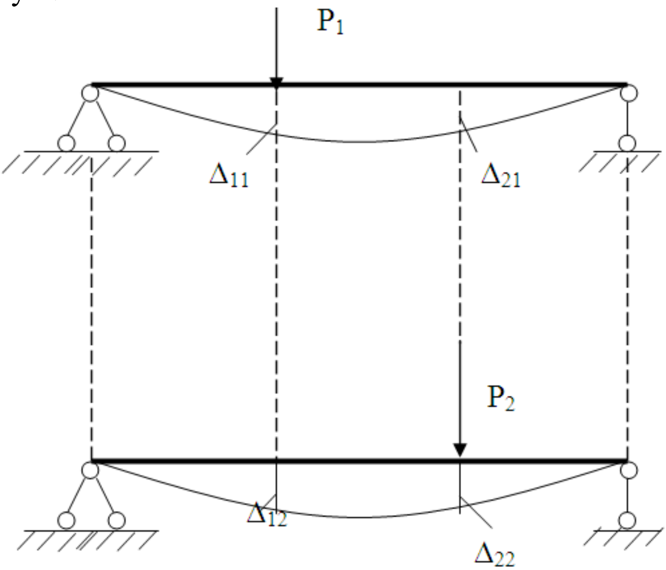
η –düzediş koeffisenti.

Edilen iş potensiýal energiýa geçýänligi sebäpli, $A = U;$ (7)

$$U = \sum\int_0^l \frac{M^2 dx}{2EI} + \sum\int_0^l \frac{N^2 dx}{2EF} + \sum\int_0^l \frac{Q^2 dx}{2GF} \cdot \eta; \qquad (8)$$

8.2 Işleriň özaralyk teoremasy

Δ_{mn} –birinji indeks –m orun üýtgenýmäniň ugruny görkezýär, ikinji –n haýsy güýjiň şol orun üýtgemäni döredendigini görkezýär.

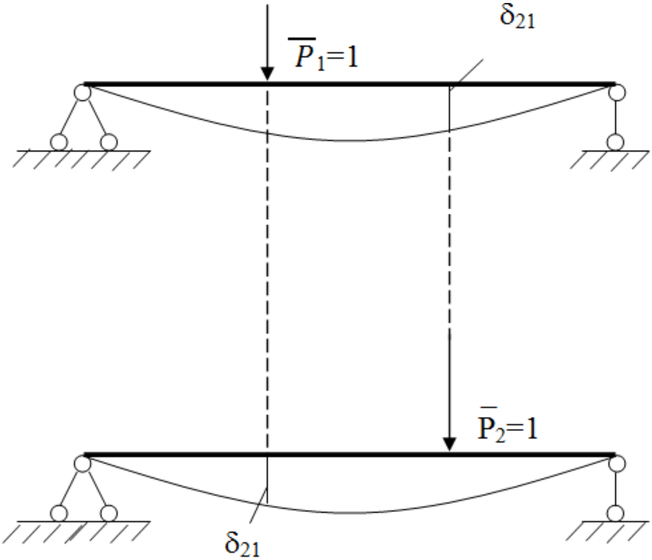


4– nji surat

Onda işleriň özaralyk teorýasynyň seasynda,

$$A_{12} = A_{21} \qquad (9)$$

Orun üýtgemäniň özaralyk teoremasy.



5 – nji surat

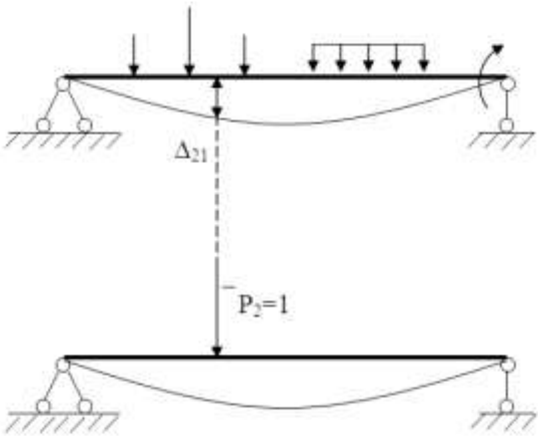
Onda bu teoremanyň esasynda, $\delta_{12} = \delta_{21}$; (10)

$\delta_{mn} = \delta_{nm}$; (11)

Bu ýagdaýa Makswelliň prinsipi hem diýilýär.

8.3 Orun üýtgrmäni hasaplamak Moryň integraly.

Berilen sistemanyň iki hili ýagdaýyna seredip geçeliň.
I – ýagdaýy sistema islendik güýç we moment täsir edýär.
II – ýagdaýy sistema diňe birlik güýç täsir edýär $P_2 = 1$.



6-njy surat

$$A_{21} = P_2 \cdot \Delta_{21} = 1 \cdot \Delta_{21} = \Delta_{21}; \quad (12)$$

$$A_{21} = \sum \int_0^l \overline{M}_2 \frac{M_1 dx}{EI} + \sum \int_0^l \overline{N}_2 \frac{N_1 dx}{EF} + \sum \int_0^l \overline{Q}_2 \frac{Q_1 dx}{GF} \cdot \eta; \quad (13)$$

Bu ýerde $\overline{M}_2, \overline{N}_2, \overline{Q}_2$ üstündäki çyzyk birlik güýçden dörän içki güýçlerdigini aňladýar.

$$\Delta_{mn} = \sum \frac{1}{EI} \int_0^l \overline{M}_m M_n dx + \sum \frac{1}{EI} \int_0^l \overline{N}_m N_n dx + \sum \frac{n}{GF} \int_0^l \overline{Q}_m Q_n dx; \quad (14)$$

Bu formula Moruň integraly ýa –da Moruň formulasy diýilýär.

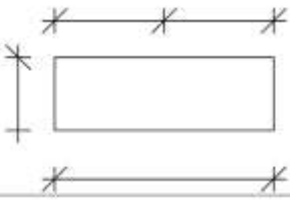
8.4 Wereşaginiň usuly

1925 ýylda Moskwanyň demirýollary transporty institutynyň talyby tarapyndan hödürlenen usula Wereşaginiň usuly diýilýär. Onuň manysy güýçden alynan epýury berilen güýçden alynan epýura köpeltmekden ybaratdyr.

Bu usulyň iş tertibi

1. Berilen güýçlerden M epýurany gurmaly.
2. Orun üýtgeme hasaplanýan nokatda birlik güýç goýmaly.
3. Ol birlik güýçden momendiň epýuryny gurmaly $\overline{M}_1$.
4. Berilen epýurlary biri –birine köpeltmeli $M_p \cdot \overline{M}_1$.

Bu meseläni işlemek üçin kitaplarda görkezilen aşakdaky formaly tablissalardan peýdalanyp işlemeli.

T/N	Şekil.	Meýdany.	Agyrlyk merkeziniň kordinatalary.	
			Z_1	Z_2
1	2	3	4	5
1		$h \cdot l$	$l/2$	$l/2$

9. Konstruksiýany hasaplamgyň usullary

9.1 Güýçler usuly

Eger –de hasap edilýän konstruksiýany ýa –da onuň bölegi deňagramlyk deňlemesi bilen işläp bolmaýan bolsa onda ol hasaplanýan konstruksiýa statiki kesgitsiz sistema diýilýär. Ony hasaplamak üçin onuň näçe gezek statiki kesgitsizligini hasaplamaly. Ol şeýle hasaplanýar.

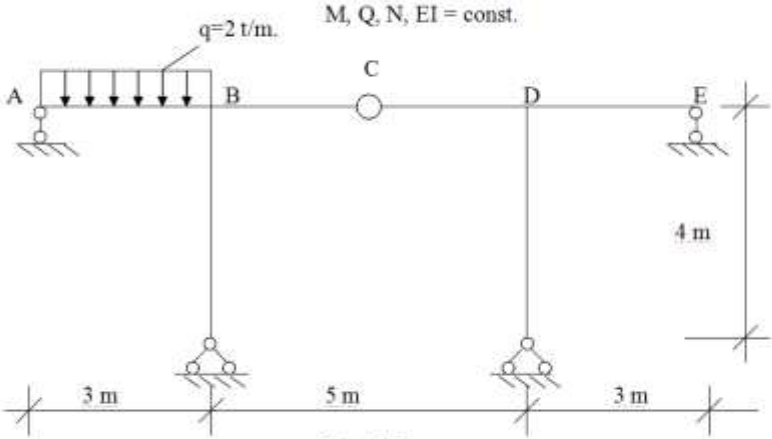
$W = 3D - 2Ş - S_0$; (1) *W* - statiki kesgitsizligi görkezýän parametr,
D – tutuş diskiň sany, Ş – şarniriň sany, S_o – daýanç strukturasynyň sany.

$N = 3K - S$; (2) *N – artyk sterženleriň sany, K – ýapyk* kontorlaryň sany,
S – şarnirleriň sany.

Güýçler usulynyň manysy we onuň statiki kesgitsiz sistemalarynyň işlenişinde ulanmak

Statiki kesgitsiz sistemalary işlemegiň birnäçe usullary bar. Şol usullardan güýçler usulyna giňişleýin seredip geçeliň. Mysala ýüzleneliň.

Güýçler usulynda näbelli güýçleri birlik güýçler bilen çalşmak arkaly we esasy sistemny saýlap ol sistemanyň üstinde hasaplamalar amala aşyrylýar. Usulyň doly manysy materiallaryň garşylygynda hem görkezilýär, we bir näçe meseleler bilen işlenip gökezilýär.



Iş tertibi

Näçe gezek statiki kesgitsizdigini hasaplamaly. Esaey sistemany saýlamaly. Kanoniki deňlemäni düzmeli. Kanoniki deňlemäniň koefissentini tapmaly. Näbellileri tapmaly. Moment tapmaly. M – epýurasyny gurmaly.M – barlagyny gurmaly.

Q – gyrmaly.

N – gyrmaly.

N we Q barlagyny geçirmeli.

$$W = 3D - 2Ş - S_o;$$

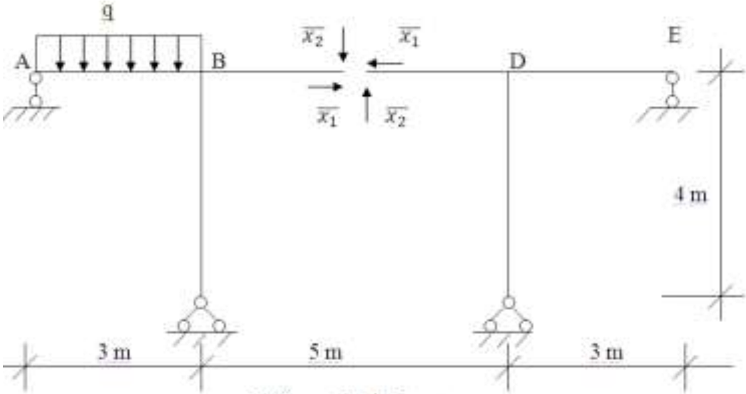
$$L = S_o - 3, \quad L = 3K - 3,$$

$$L = 3 \cdot 1 - 1 = 2;$$

$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 6 = 6 - 2 - 6 = -2;$$

$$L = 6 - 3 - 1 = 6 - 4 = 2;$$

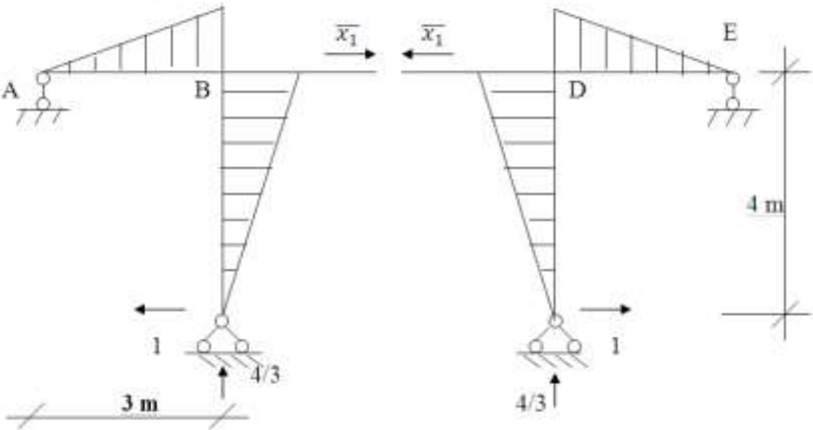
2) <u>Esasy sistema</u>



3) <u>Kononiki deňleme</u>

$$\delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \Delta_{1p} = 0 \qquad \delta_{12} = \delta_{21};$$
$$\delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \Delta_{2p} = 0$$

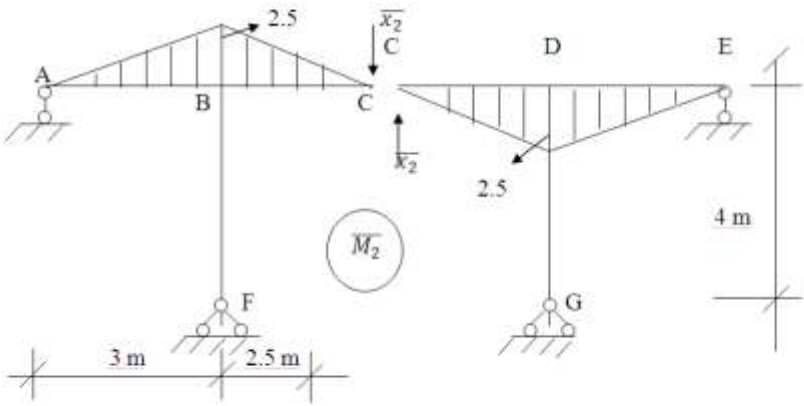
4) <u>Kononiki deňlemäniň koefissentini hasaplamak</u>



$$\delta_{11} = \frac{1}{EI}\cdot\left[\left(\frac{4\cdot 4}{2}\cdot\frac{8}{3}+\frac{4\cdot 3}{2}\cdot\frac{8}{3}\right)+\left(\frac{4\cdot 4}{2}\cdot\frac{8}{3}+\frac{4\cdot 3\cdot 8}{2\cdot 3}\right)\right]=$$

$$\frac{1}{EI}\cdot\left[(21{,}33+16)+(21{,}33+16)\right]=$$

$$=\frac{1}{EI}\cdot(37{,}33+37{,}33)=\frac{74{,}66}{EI}\,\boldsymbol{;}\quad \delta_{11}=\frac{74{,}66}{EI}\,\boldsymbol{;}$$



$$\delta_{22} = \frac{1}{EI}\cdot\left[\left(\frac{2{,}5\cdot 3}{2}\cdot\frac{5}{3}+\frac{2{,}5\cdot 2{,}5}{2}\cdot\frac{5}{3}\right)+\left(\frac{2{,}5\cdot 3}{2}\cdot\frac{5}{3}+\frac{2{,}5\cdot 2{,}5}{2}\cdot\frac{5}{3}\right)\right]=$$

$$\frac{1}{EI}\cdot\left[(6{,}25+5{,}2)+(6{,}25+5{,}2)\right]=$$

$$=\frac{22{,}92}{EI};$$

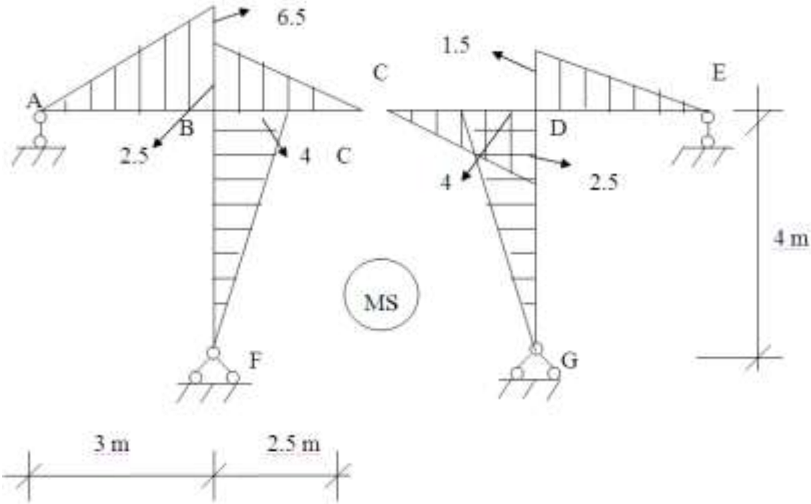
$$\delta_{22}=\frac{22{,}92}{EI};\qquad \delta_{12}=\delta_{21}=0$$

.

Koefissentleri barlamak

$$\delta_{11}+\delta_{12}+\delta_{21}+\delta_{22}=74{,}66+0+0+22{,}92=\frac{97{,}58}{EI};$$

$\overline{M}_s=\overline{M}_1+\overline{M}_2$ epýury gurmak.



$$\delta_{ss}=\frac{1}{EI}\left[\begin{aligned}&\left(\frac{4\cdot 4}{2}\cdot\frac{8}{3}+\frac{2{,}5\cdot 2{,}5}{2}\cdot\frac{5}{3}+\frac{6{,}5\cdot 3}{2}\cdot\frac{13}{3}\right)+\\&\left(\frac{4\cdot 4}{2}\cdot\frac{8}{3}+\frac{1{,}5\cdot 2{,}5}{2}\cdot 1+\frac{2{,}5\cdot 3}{2}\cdot\frac{5}{3}\right)\end{aligned}\right]=$$

$$=\frac{1}{EI}\left[(21{,}33+5{,}2+42{,}25)+(21{,}33+1{,}875+6{,}25)\right]=$$

$$\frac{1}{EI}(68{,}78+29{,}455)=\frac{98{,}235}{EI}\approx\frac{98}{EI};$$

$\delta_{ss} = \dfrac{98{,}235}{EI}$; *ýalňyşlyk % - 0,67 %,*

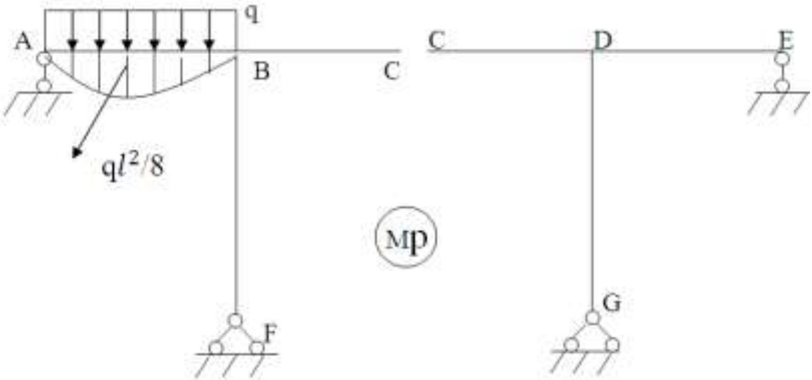
97,58 – 100 %,

98,235 – x %,

97,58·x = 98,235·100

$$x = \frac{98{,}235 \cdot 100}{97{,}58} = 100{,}671;$$

100,671 – 100 = 0,671 %.



$$\Delta_{1p} = -\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 2 \cdot \frac{9}{8} \cdot 2 = -\frac{9}{EI}$$

$$\Delta_{2P} = -\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 2 \cdot \frac{9}{8} \cdot 1{,}25 = -\frac{45}{8EI} = -\frac{5{,}625}{EI};$$

$$\delta_{11} = \frac{74{,}66}{EI}; \quad \delta_{12} = \delta_{21} = 0, \quad \Delta_{1P} = -\frac{9}{EI};$$

$$\delta_{22} = \frac{22{,}92}{EI}; \quad \Delta_{2P} = -\frac{45}{8EI} = -\frac{5{,}625}{EI};$$

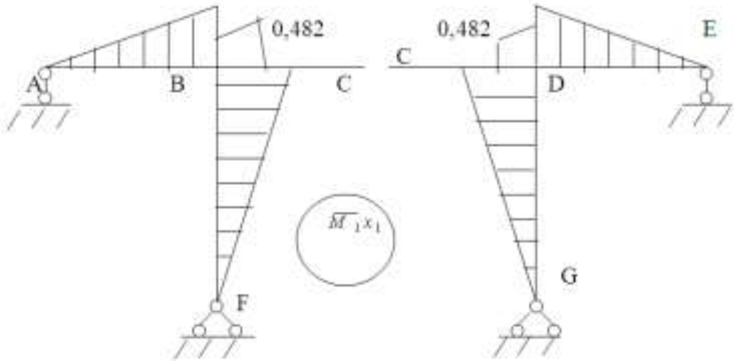
$$\frac{74{,}66}{EI} \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 = \frac{9}{EI} \qquad x_1 = \frac{9}{74{,}66} = 0{,}1205$$

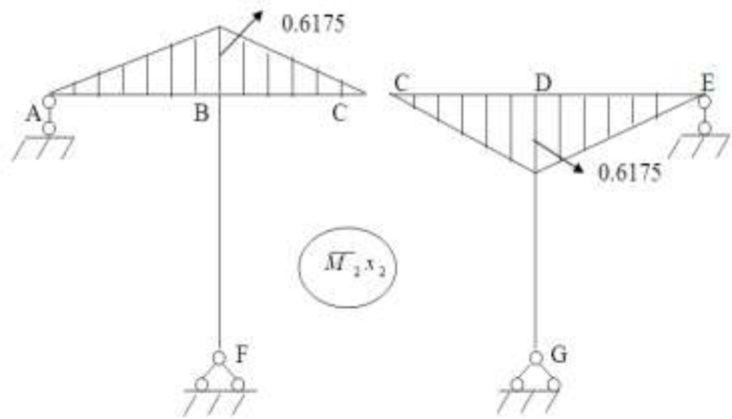
$$0 \cdot x + \frac{22{,}92 \cdot x_2}{EI} = \frac{45}{EI}; \qquad x_2 = \frac{5{,}625}{22{,}92} = 0{,}2455$$

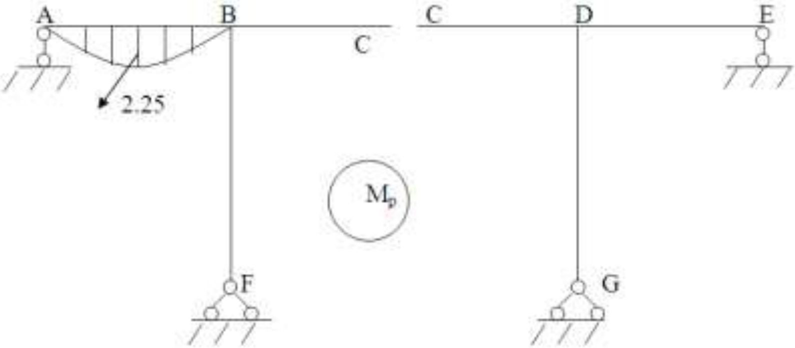
$$\begin{cases} 74{,}66 \cdot x_1 = 9 \\ 22{,}92 \cdot x_2 = 4 \end{cases}$$

$\mathbf{x_1 = 0{,}1205; \qquad x_2 = 0{,}2445;}$

Dogrylanan epýuralar

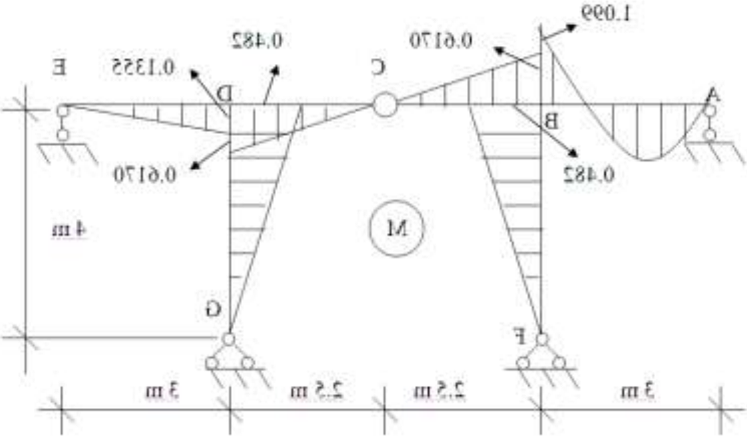






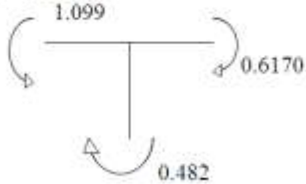
Jemleýji epýuralar

$$M = \overline{M}_1 x_1 + \overline{M}_2 x_2 + M_p;$$



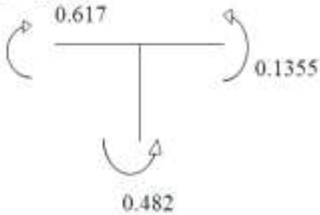
a) Statiki barlagy

B – düwin



$$1{,}099 - 0{,}6175 - 0{,}482 = 1{,}099 - 1{,}099 = 0\ .$$

D – düwin.



$$0{,}6175 - 0{,}1355 - 0{,}482 = 0{,}6175 - 0{,}6175 = 0\ .$$

b) <u>Kinematiki barlagy</u>

Ähli näbellileriň ugryna görä orun ütgeme nula deň bolmaly. Onda

$$\Delta_{sp} = M_s \cdot M = 0.$$

$$\Delta_{sp} = -\frac{2}{3}\cdot 3\cdot 2{,}25\cdot 3{,}25 + \frac{1{,}099\cdot 3}{2}\cdot 4{,}333 + \frac{0{,}482\cdot 4}{2}\cdot 2{,}666 +$$

$$\frac{0{,}6175\cdot 2{,}5}{2}\cdot 1{,}666 + \frac{0{,}482\cdot 4}{2}\cdot 2{,}666 -$$

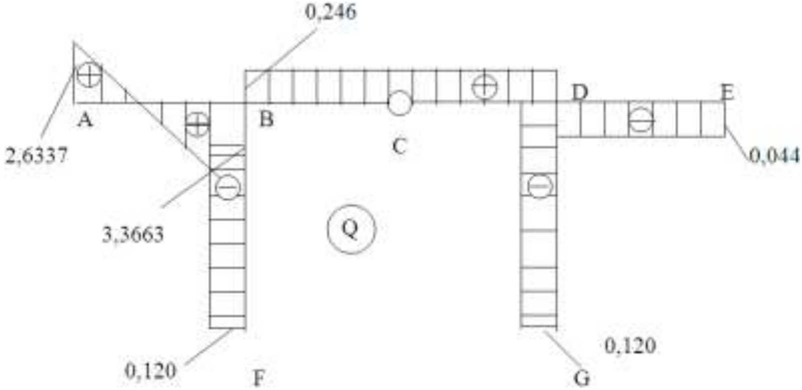
$$\frac{0{,}1355\cdot 3}{2}\cdot 0{,}996 = -14{,}625 + 7{,}143 + 2{,}5700 + 1{,}2859$$

$$+ 1{,}2859 + 2{,}5700$$

$$- 0{,}2024 = -14{,}827 + 14{,}855 = 0{,}0278.$$

Ýalňyşlyk % - de $\quad \dfrac{0{,}0278\cdot 100}{14{,}827} = 0{,}187 \approx 0{,}2\,\%.$

$$\frac{dM}{dx} = Q, \qquad Q = Q_o + \frac{M_{sag} - M_{зер}}{l};$$



<u>AB – bölek</u>

$$Q_{AB} = Q_o + \frac{M_{sag} - M_{зер}}{l} = 3 + \frac{-1{,}099 - 0}{3} = 3 - 0{,}3663 = 2{,}6337;$$

<u>*BA – bölek*</u>

$$Q_{BA} = -3 + \frac{-1{,}099 - 0}{3} = -3{,}3663;$$

<u>*BD – bölek*</u>

bolýar.

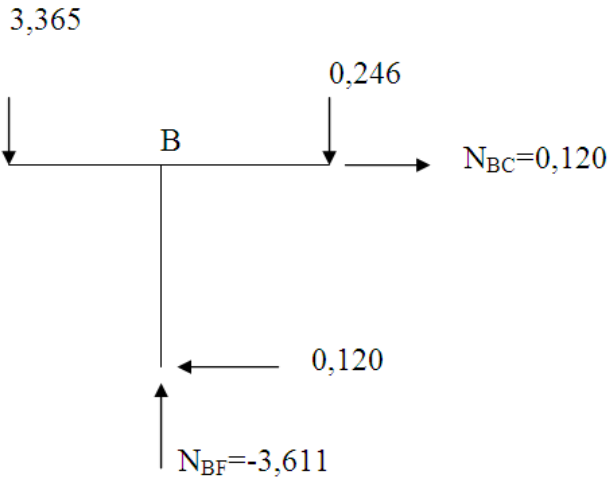
$$Q_{sag} = Q_{зер} = \frac{0{,}675}{2{,}5} = 0{,}246,$$ <u>DE – bölek</u>

$$Q_{DE} = -\frac{0{,}1385}{3} = -0{,}044;$$ <u>BF – bölek</u>

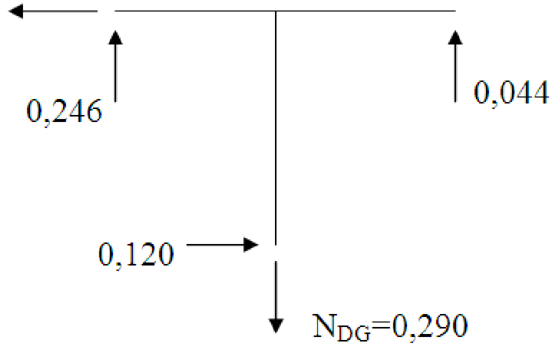
$$Q_{BF} = \frac{0{,}482}{4} = 0{,}120;$$ <u>DG – bölek</u>

$$Q_{DG} = \frac{0{,}482}{4} = 0{,}120;$$

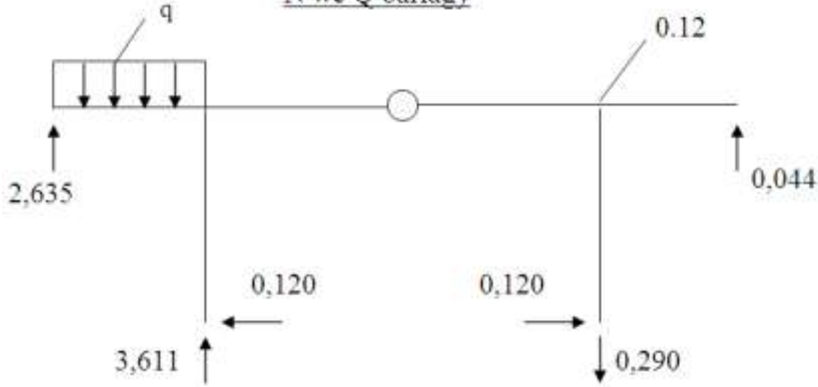
B – düwini kesýäris



D – düwini kesýäris



N we Q barlagy

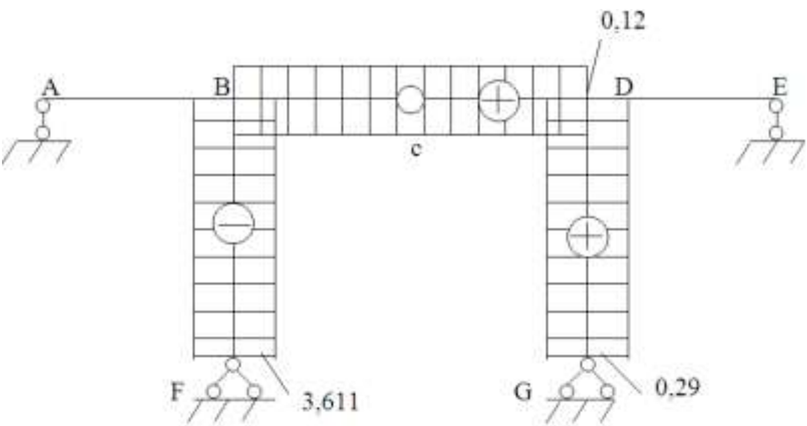


$$\sum x = 0; \qquad 0{,}12 - 0{,}12 = 0; \qquad \sum y = 0;$$

$$2{,}635 + 3{,}611 - 0{,}29 + 0{,}044 - 2 \cdot 3 = 0;$$

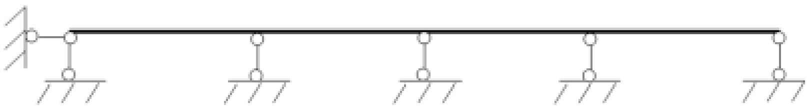
$$\sum x = 0; \qquad 0{,}12 - 0{,}12 = 0; \qquad \sum y = 0;$$

$$2{,}635 + 3{,}611 - 0{,}29 + 0{,}044 - 2 \cdot 3 = 0;$$

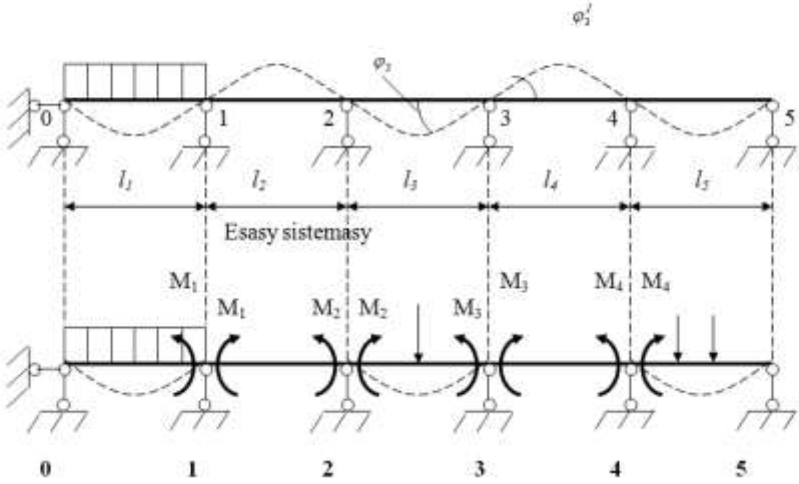


9.2 Üç momentli deňlemeler usuly

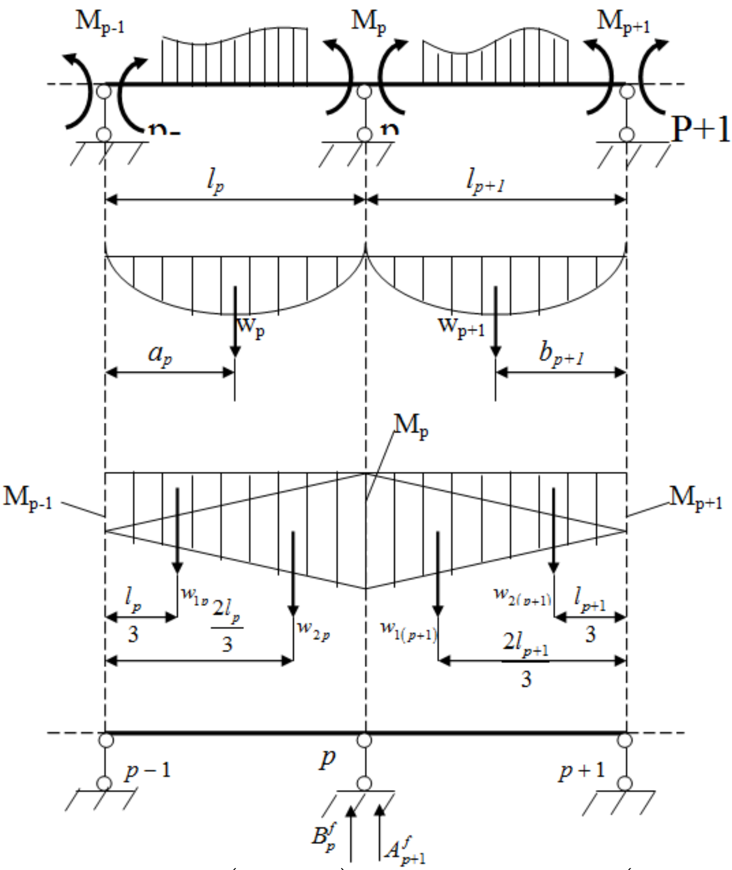
Üznüksiz pürsler diýilip birnäçe aralyklara üzülmän ýaýran pürslere aýdylýar. Ortaky daýançlar direg hökmünde ulanylýar. Şeýle pürslerde ortada şarnirler bolmaýar.



Bu şekilli pürsler hasaplananda artyk näbelliler hökmünde ortaky daýançlarda ýüze
çykýan momentler alynýar.



Bu şekilde görnüşi ýaly näbellileri hökmünde M_1, M_2, M_3, M_4 *alýarys*.



$$M_{p-1} \cdot l_p + 2M_p \cdot \left(l_p + l_{p+1}\right) + M_{p+1} \cdot l_{p+1} = -G \cdot \left(B_p^f + A_{p+1}^f\right);$$

(1)

1 – nji aňlatmanyşeýle ýazmak bolýar.

$$M_{зep} \cdot l_{зep} + 2M_{or}\left(l_{зep} + l_{sag}\right) + M_{sag} \cdot l_{sag} = -G\left(B_{зep}^f + A_{sag}^f\right);$$

(2)

1 – nji aňlatmanyşeýle ýazmak bolýar.

$$M_{çep} \cdot l_{çep} + 2M_{or}\left(l_{çep} + l_{sag}\right) + M_{sag} \cdot l_{sag} = -G\left(B^{f}_{çep} + A^{f}_{sag}\right); \quad (2)$$

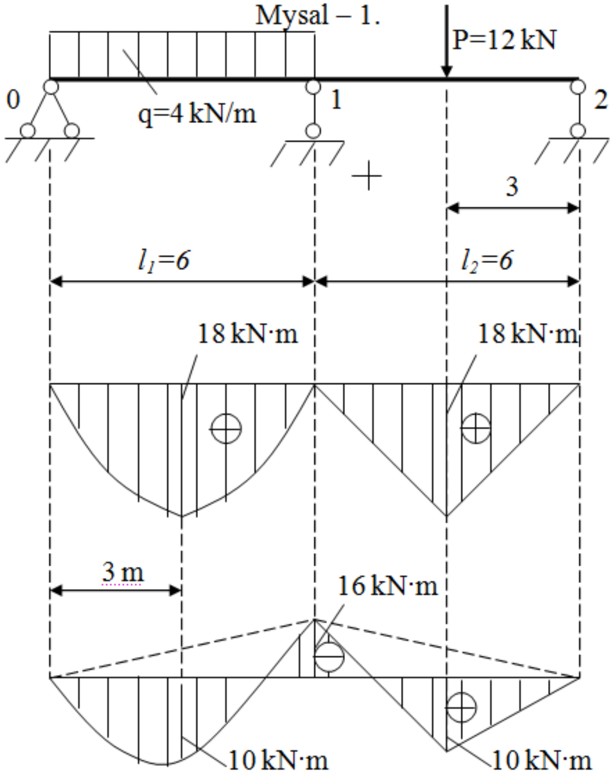
Bu ýerde

$M_{çep}$ – çep daýançdaky moment,
$l_{çep}$ – çep aralyk, M_{or} - ortadaky daýançdaky moment, l_{sag} – sag aralyk,
M_{sag} – sag daýançdaky moment, $B^{f}_{çep}$ – çep hyýaly daýanç güýç,
A^{f}_{sag} - sag hyýaly daýanç güýç,

$R^{f}_{or} = A^{f}_{sag} + B^{f}_{çep}$;

Mysallara seredip geçeliň

Mysal – 1.



Üç momentler deňlemesiniň kömegi bilen M we Q epýuryny görkezilen pürsde gurmaly.

Berlişi.

$$l_1 = 6\ m. \quad M_o = 0,\ l_2 = 6\ m. \quad M_2 = 0$$

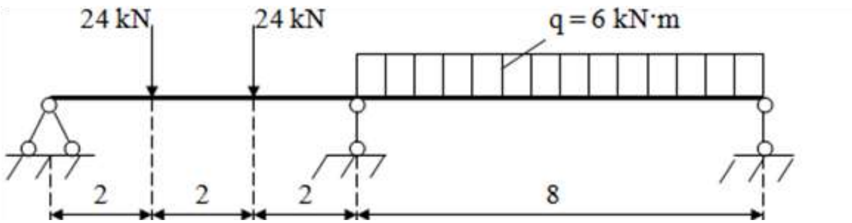
Çep we sag aralyk üçin momentleriň epýuryny guralyň we onuň meýdanyny hasaplalyň. $w_1 = \frac{2}{3} \cdot 18 \cdot 6 = 72 kN \cdot m^2$;

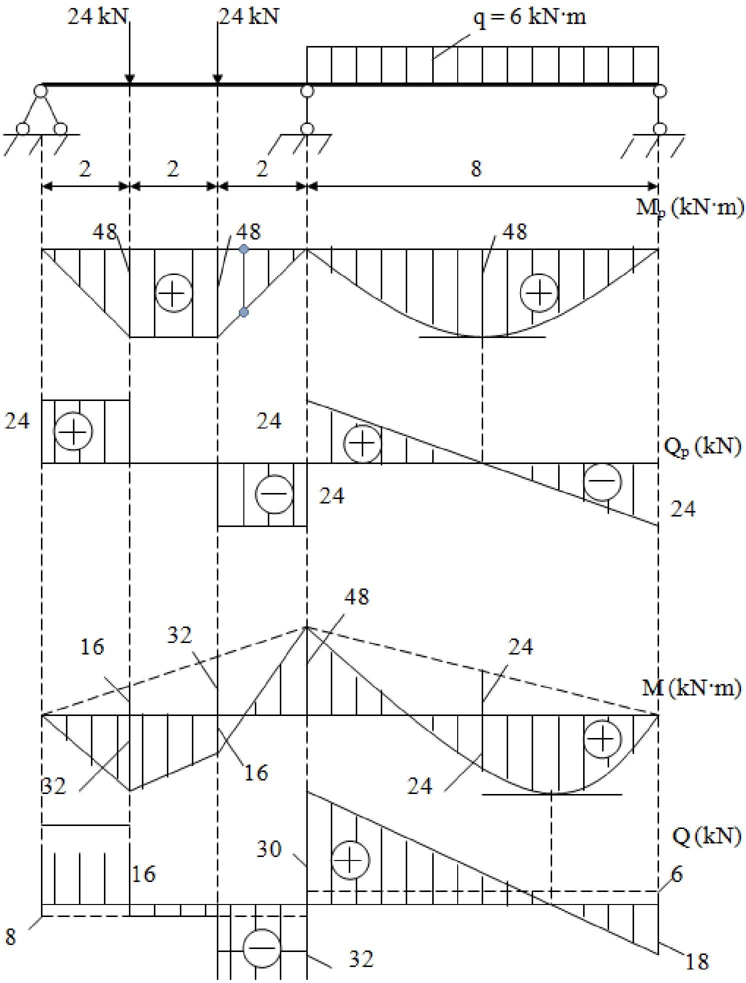
$w_2 = \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 6 = 54 kN \cdot m^2$;

Hyýaly daýanç reýaksiýalaryny tapmaly. $B^h_1 = \frac{1}{2} w_1 = 36$ $kN \cdot m^2$; $A^h_2 = \frac{1}{2} w_2 = 27\ kN \cdot m^2$; Bu aňlatmalary (1) deňlemä goýýarys. $2M_1(6 + 6) = -6(36 + 27)$ $24M_1 = -378$ $M_1 = -\frac{378}{24} = -15{,}75 \approx 16\ kN \cdot m$ Munuň esasynda şekilde görkezilen epýury alýarys.

Berlişi;

$$l_1 = 6\ m. \quad M_o = 0,\ l_2 = 8\ m. \quad M_2 = 0,$$





Pürsiň artykmaç näbellisini tapmaly we M hem –de Q epýuryny gurmaly.

Egilme momendiniň epýurlarynyň meýdanlaryny hasaplaýarys.

$$w_1 = \frac{2+6}{2} \cdot 48 = 192 kN \cdot m^2;$$

Hyýaly daýanç güçleri

$$w_2 = \frac{2}{3} \cdot 48 \cdot 8 = 256 kN \cdot m^2;$$

hasaplaýarys

$$B_1^h = \frac{1}{2} w_1 = 96 kN \cdot m^2;$$

Üç momentler deňlemesine

$$A_2^h = \frac{1}{2} w_2 = 128 kN \cdot m^2;$$

goýýarys

$2M_1 \cdot (6 + 8) = -6 \cdot (96 + 128)$ $28M_1 = -1344$ $M_1 = -\dfrac{1344}{28} = -48$ kN·m,

Kese güýçleri hasaplaýarys

$$Q_1 = \frac{M_1 - M_0}{l_1} = \frac{-48-0}{6} = -8kN;$$

$$Q_2 = \frac{M_2 - M_1}{l_2} = \frac{-0-(-48)}{8} = 6kN;$$

Üç gerimli pürsiň M we Q epýuryny gurmaly. Näbelli M_1 we M_2. Onda,

$$\begin{cases} M_o l_1 + 2M_1(l_1 + l_2) + M_2 l_2 = -6(B^h{}_1 + A^h{}_2); \\ M_1 l_2 + 2M_2(l_2 + l_1) + M_3 l_3 = -6(B^h{}_2 + A^h{}_3); \end{cases}$$

1 – nji gerim üçin **3 – nji gerim üçin** Hyýaly daýanç güýçler

$$M_1^0 = \frac{Pl}{4} = \frac{46 \cdot 6}{4} = 60kNm; \qquad M_3^0 = 20 \cdot 2 = 40kNm;$$

$$w_1 = \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 6 = 180kNm; \qquad w = \frac{2+6}{2} \cdot 40 = 160kNm;$$

$$B_1^h = \frac{1}{2} w_1 = 90kN \cdot m^2;$$

$$A_2^h = B_2^h = \frac{1}{2} w_2 = 72kN \cdot m^2;$$

$$A_3^h = \frac{1}{2} w_3 = 80kN \cdot m^2;$$

$M_o = 0$, $M_3 = 0$, $l_1 = l_2 = l_3 = 6\ m$.

$$\begin{cases} 2M_1(6+6) + 6M_2 = -6 \cdot (90+72), \\ 6M_1 + 2M_2(6+6) = -6 \cdot (72+80), \end{cases} \begin{cases} 24M_1 + 6M_2 = -972 \\ 6M_1 + 24M_2 = -912 \end{cases}$$

Bu deňlemäni işläp M_1 we M_2 tapýarys. $M_1 = -33{,}1$ kNm, $M_2 = -29{,}3$ kNm.

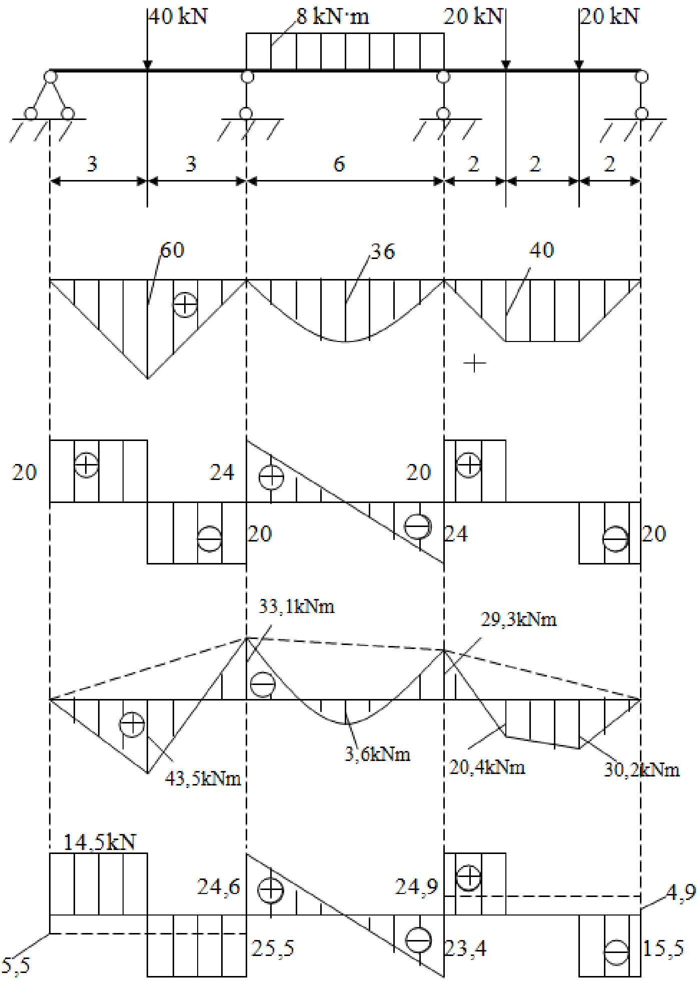
Bularyň esasynda M epýury gurýarys

$$Q_1 = \frac{M_1 - M_0}{l_1} = -\frac{33{,}1}{6} = -5{,}5kN,$$

$$Q_2 = \frac{M_2 - M_1}{l_2} = \frac{-29{,}3 - (-33{,}1)}{6} = 0{,}6kN,$$

$$Q_3 = \frac{M_3 - M_2}{l_3} = \frac{0 - (-29{,}3)}{6} = 4{,}9kN;$$

Üç gerimli pürsiň M we Q epýuryny gurmaly



9.3 Orun üýtgeme usuly

Orun üýtgeme usuly bilen statiki kesgitsiz sistemalaryň hasaplamalarybarada umumy düşünje.

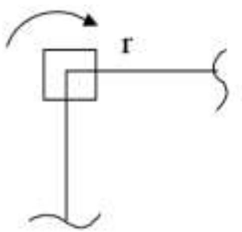
Ýagny güýçler usuly bilen statiki kesgitsiz sistemalaryň rama görnüşleriniň hasaplamalary bize öňden belli bolup durýar. Ol görnüşde esasy näbelliler artyk birikmelerdäki güýjenmeler diýlip kabul edilýär. Şonuň üçin ilki bilen güýjenme tapylýar soňra bolsa orun üýtgeme. Bulardan başgada güýçler usulynyň berlen görnüşinden artykmaç birikdirmeleriň aýyrmaklygyň ýoluny görkezýär.

Orun üýtgeme usulynda esasy sistema şeýle ýagdaýda bolýar. Ýagny berlen ramanyň göni çyzykly baglanyşygynyň düwündäki orun üýtgemesi we täze goşmaça päsgelçilikli burçdaky baglanyşyklaryň ýolynyň girmegi bilen baglydyr. Bu ýerden esasy orun üýtgeme usulynyň näbellisi diýip burçlardaky we göni çyzykdaky düwünleriň orun üýtgemesi bolup durýar.

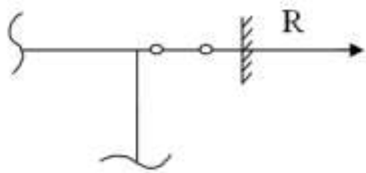
Şunlukda esasy sistema goýulýan baglanyşyklar iki görnüşde bolýar.

1). Burçlaýyn (momentli) ramanyň gaty düwünine goýulan baglanyşyk we diňe aýlanmaga päsgelçiligi.

2). Göni çyzykly (güýç bilen). Rama goýulan baglanyşyk, diňe düwüniň göni çyzykly orun üýtgemä päsgelçiligi.



burçlaýyn. baglanyşyk

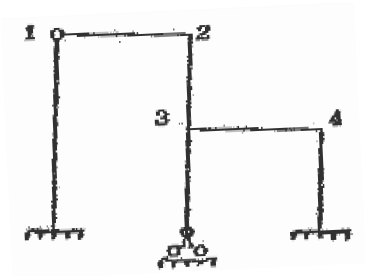


göni çyzykly baglanyşyk.

Şunlukda burçlaýyn we göni çyzykly baglanyşyklaryň girizilmegi orun üýtgeme usulynyň esasy sistemasy bolup durýar. Ýokarda görkezilenlerden ugur alyp, orun üýtgeme usulynyň näbellileriniň goşulýandygy, ýagny burçlaýyn sanyň näbellisiniň we göni çyzykly orun üýtgemäniň şonuň üçin.

$$n = n_{у} + n_{л}$$

nirede $n_{у}$ – burçlaýyn orun üýtgemäniň sany, bu bolsa ramanyň gaty düwünleriniň anyna deňdir.



Suratda seredilýän ramanyň 2, 3, 4. Düwünleri gatydyr, şonuň üçin $n_{у}=3$. Göni çyzykly orun üýtgeme usulyny kesgitlemek üçin şeýle düzgün bar diýip düşnükli aýtmak bolar.

Düzgün: Göni çyzykly orun üýtgemäniň $n_{л}$. Sanyny kesgitlemek üçin hemme gaty düwünlerde. Şarnir goýmaly, şuňa şol sanda daýançlary hem degişlidir we geometriki üýtgeýşiň derejesini formula boýunça kesgitlemeli

$$W = 3D - 2Ш - Co$$

Bu ýerde D-diskleriň sany.

Ш - ýönekeý şarnirleriň sany.

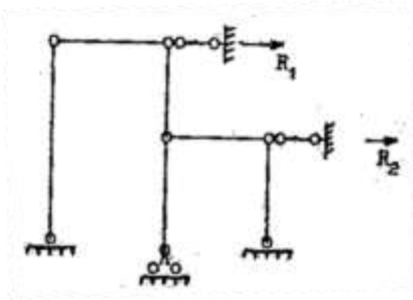
Co - syryklaryň daýançlarynyň sany.

$n_{л}$ – Göni çyzykly orun üýtgemäniň sany azat derejäniň sanyna deňdir.

$$n_{л} = W = 3x6 - 2x8 = 18 - 16 = 2$$

suratdaky seredilýän ramanyň $n_л = 2$

bu göni çyzykly orun üýtgemeler ramanyň ýokarky hatarynda bolup biler, şonuň üçin suratda görkezilişi ýaly olary gorizontal ýagdaýda goýalyň.

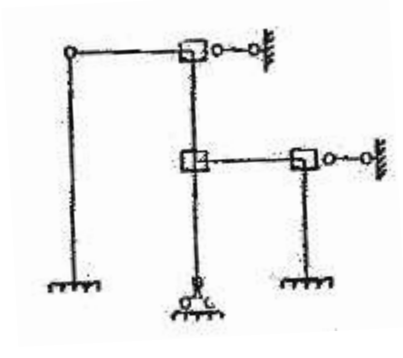


Orun üýtgeme usulynyň kanoniki deňlemeleri.

görkezilişi ýaly orun üýtgeme usulynyň näbellisiniň sany

$$n = n_у + n_л = 3 + 2 = 5$$

Şunlukda bu nama orun üýtgeme usulynda bäş gezek kesgitsizdir. Bu ýerde esasy sistemany düzýäris, ýagny gorizontal göni çyzykly orun üýtgemä üç sany gaty burçlaýyn sepleşigi we iki sany göni çyzykly birikdirmäni goýýarys. Bu ýerde güýçler usulyndan tapawutlylykda näbelliniň sany üç burçlaýyn we iki göni çyzykly orun üýtgemelerdir.



Kanoniki deňlemäniň sistemasyny düzmek üçin K-baglanyşygyň reaksiýasyna seredeliň.

R_k (Z_1, Z_2... Z_n, P) = 0 – bu reaksiýalar orun üýtgemäniň funksiýalary

Z_1, Z_2... Z_n we daşky täsir güýji. Bu reaksiýa goşmaça k-baglanyşyga girizilen. Hakykaty alsak berlen ramada şeýle baglanyşyk ýok, şonuň üçin hökmany suratda bu reaksiýa nula deňdir ýagny.

$$R_k (Z_1, Z_2... Z_n, P) = 0$$

Bu deňlemäni her taraplaýyn şeýle ýazyp bolýar.

$$R_k Z_1 + R_k Z_2 + ...+ R_k Z_n + R_{kp} = 0.$$

Nirede < R_{kp} – daşky goýulan güýçden k-baglanyşygyň reaksiýasy.

R_kZ_1 – 1 baglanyşykdan Z_1 – çenli orun üýtgemesiniň k baglanyşygyň reaksiýasy.

R_k Z_n – reaksiýany birlik reaksiýanyň ýagny r_{kn} üsti bilen görkezýäris. $R_{kzn} = r_{kn}xZ_n$

Bu ýerde r_{kn} – n birlige baglanyşygyň orun üýtgemesinden k baglanyşygyň birlik reaksiýasy.

(2) Deňlemeden (3)- deňlemäni hasaba almak bilen şeýle deňleme alarys.

$r_{k1}Z_1 + r_{k2}Z_2 + ...+ r_{kn}Z_n + R_{kp} = 0$

k = 1,2...n kabul edip orun üýtgeme usulynyň kanoniki deňlemesiniň sistemasynyň gutarnykly deňlemesini alarys.

$r_{11} Z_1 + r_{12} Z_2 + ...+ r_{1n} Z_n + R_{1p}= 0$

$r_{21}Z_1 + r_{22} Z_2 + ...+ r_{2n} Z_n + R_{2p}= 0$

$r_{n1}Z_1 + r_{n2}Z_2 + ...+ r_{nn} Z_n + R_{np}= 0$

3.Orun üýtgeme usulynyň esasy sistemasynyň egiji momentleriniň epýurlary.

Suratdan görnüşi ýaly.

Orun üýtgeme usulynyň esasy sistemasy iki sany pürsiň görnüşinden durýar.

Iki tarapy gaty berkitme bilen berkidilen.

Bir gapdaly gaty berkitme beýleki gapdaly şarnirli gozganmaýan berkitme.

Mundan beýläk ramanyň orun üýtgeme usuly bilen hasaplamasynyň şu iki görnüş üçin dürli täsirlere görä egiji momendiň epýurlary bolmaly.

Esasanam.

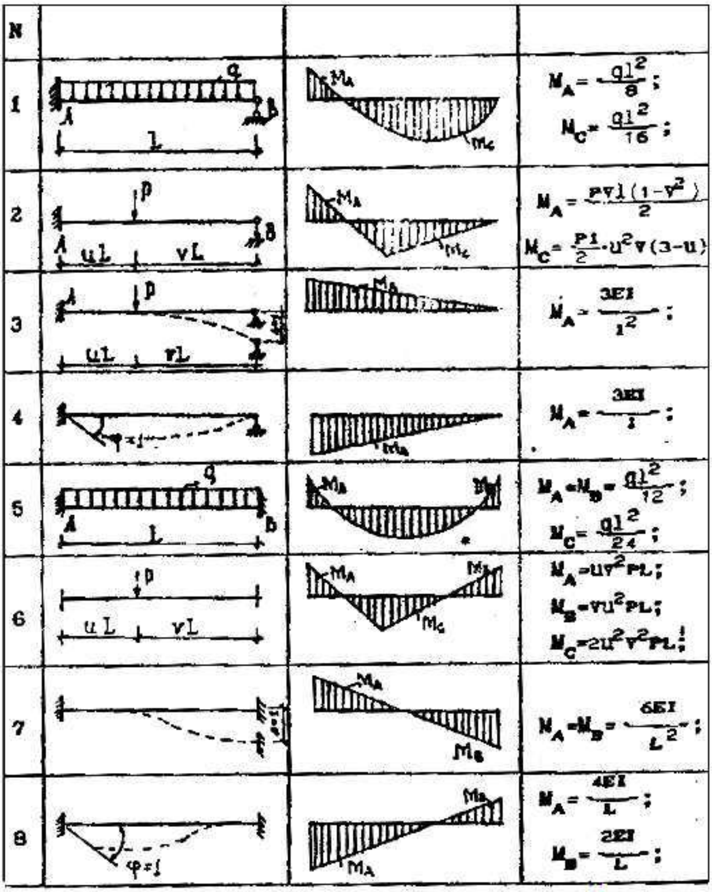
a). Erkin nokatda deň ýaýran ýükleriň we jemlenen güýçleriň ýüklenmegi.

b). Gaty berkitmäniň orun üýtgemesi birlik gönükdirmäniň synygyň okuna perpendikulýarlygy.

w). Gaty berkitmäniň birlige aýlanmasy.

Orun üýtgeme usuly bilen statiki kesgitsiz sistemalar işlenende öňden gurylan epýurlay ulanmak örän amatly bolýr. Şol sebäpden standart gurylan epýurlaryň tablisalaryndan peýdalanyp şeýlede orun üýtgemäni we aýlanma burçyny hasaplamak üçin tablissada hödürlenýän aňlatmalardan peýdalanyp hasaplamak amatly bolýar. Şol sebäpden taýyn epýurlaryň barlygy bu usuly güýçler usulyna görä konstruksiýalary hasaplamagy ýeňilleşdirilýär.

Epýurlaryň görnüşleri tablisada görkezilen.

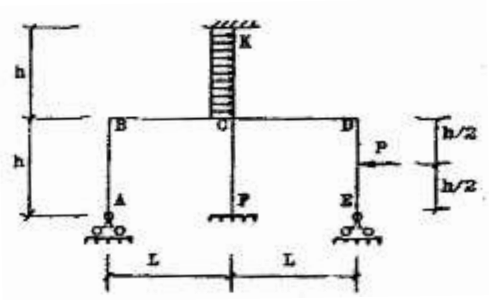


Pürsiň şekili we täsiri | **Egilme momendiň epýurlary** | **Egilme momendiň beýikleri**

Orun üýtgeme usuly bilen hasaplama mesele.

Berlen $q = 3kn/m$ $p = 4kn$ $L = 4m$ $h = 4m$

$I_{st} = EI$, $I_p = 2EI$



Orun üýtgeme usulynyň näbellisiniň sanyny kesgitläliň.

$n = n_y + n_1$

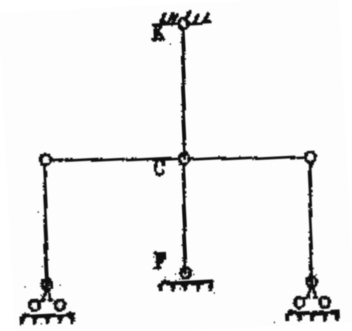
$n_y = 3$ – ramanyň gaty düwünleriniň sany

n_l - kesgitlemek üçin daýanç düwünlerden beýlekileri ýagny gaty düwünlere şarnirleri girizýäris we W-ni hasaplaýarys.

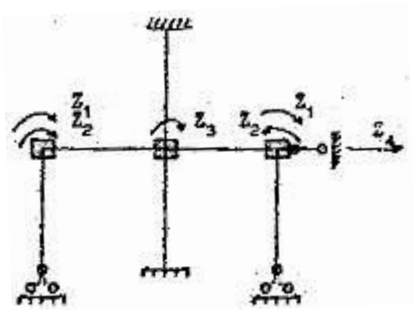
$n_l = W = 3D – 2Ш – C_o = 3•6-2•9=0$

$n_l=0$ rama görnüşi suratdan görşümiz ỳaly şol bir wagtda üỳtgeỳän şekil k,c,p, üç şarnir bir gönide ỳatyr.Şonuñ üçin c şarnir tükeniksiz gorizontal orun üỳtgeme almagy mümkin.

Bu orun üỳtgemä $n_l=1$ bökdençligi kabul edỳäris, onda n=3+1=4



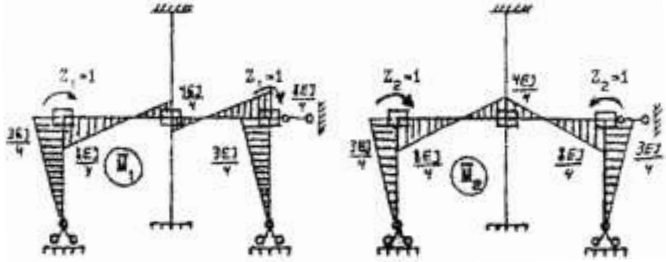
2) berlen ramanyñ simmetriỳasyny ulanyp esasy sistemasyny ulanyp esasy sistemany emele getirỳäris.

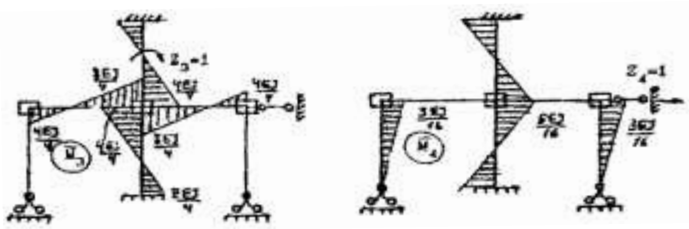


3)Kononiki deñlemäniñ sistemasy şeỳle görnüşde ỳazylỳar.

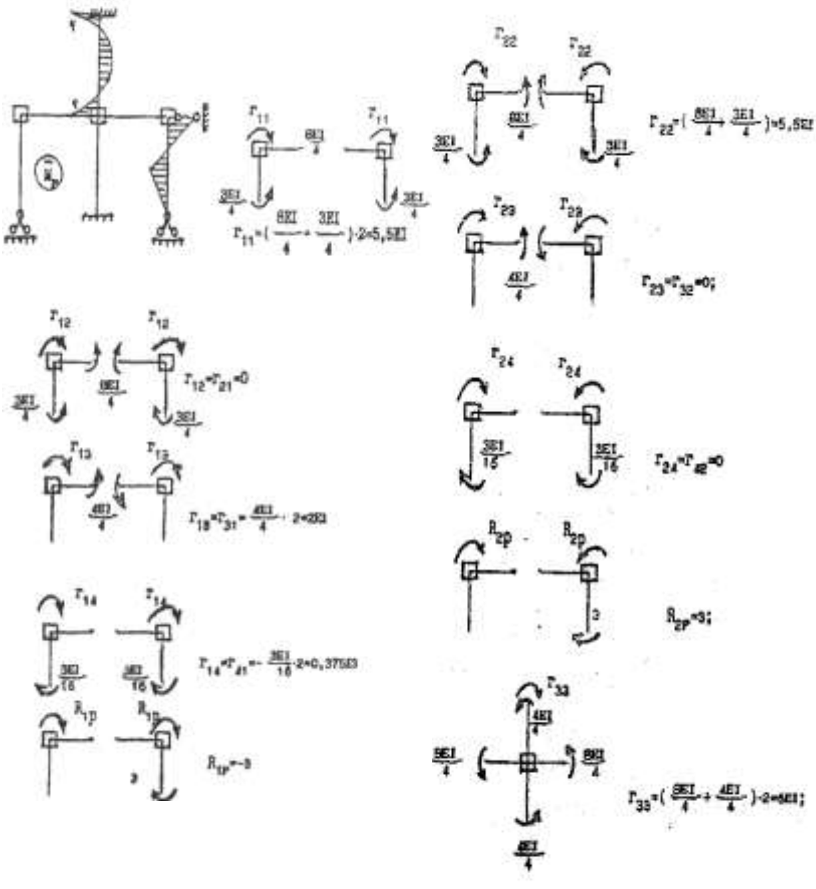
$$R_{11}Z_1+R_{12}Z_2+R_{13}Z_3+R_{14}Z_4+R_{1P}=0$$
$$R_{21}Z_1+R_{22}Z_2+R_{23}Z_3+R_{24}Z_4+R_{2P}=0$$
$$R_{31}Z_1+R_{32}Z_2+R_{33}Z_3+R_{34}Z_4+R_{3P}=0$$
$$R_{41}Z_1+R_{42}Z_2+R_{43}Z_3+R_{44}Z_4+R_{4P}=0$$

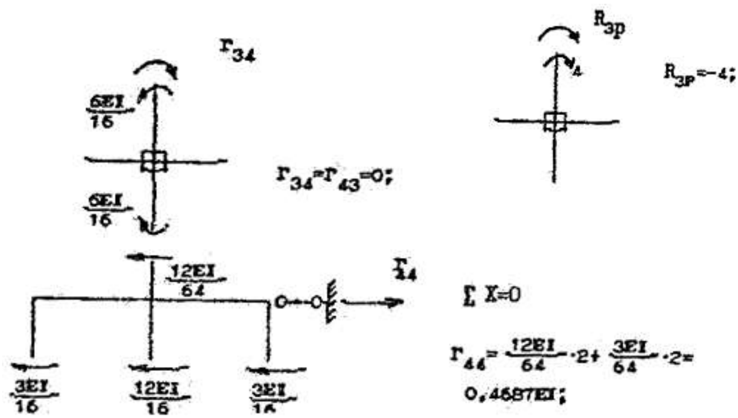
4) Kononiki deñlemöniñ sistemasyna girỳän birlik we ỳüküñ reaksiỳalaryny
Kesgitlemek üçin hökmany esasy sistemanyñ
$Z_1=1, Z_2=1, Z_3=1, Z_4=1$ we daşky ỳüklerden momentleriñ epỳuryny gurmaly.





4) Deñlemer sistemasynyñ koefisiendini we azat çlenlerini tapalyñ.





6) Şeỳlelikde birlik reaksialar.

$r_{12}=r_{21}=r_{23}=r_{32}=r_{24}=r_{42}=r_{34}=r_{43}=0$

Deñlermeler sistemasy biri-birine baglanşyksyz sistema bölünỳär.

$r_{11}Z_1+r_{13}Z_3+r_{14}Z_4+R_{1P}=0$

$r_{31}Z_1+r_{33}Z_3+r_{34}Z_4+R_{3P}=0$

$r_{41}Z_1+r_{43}Z_3+r_{44}Z_4+R_{4P}=0$

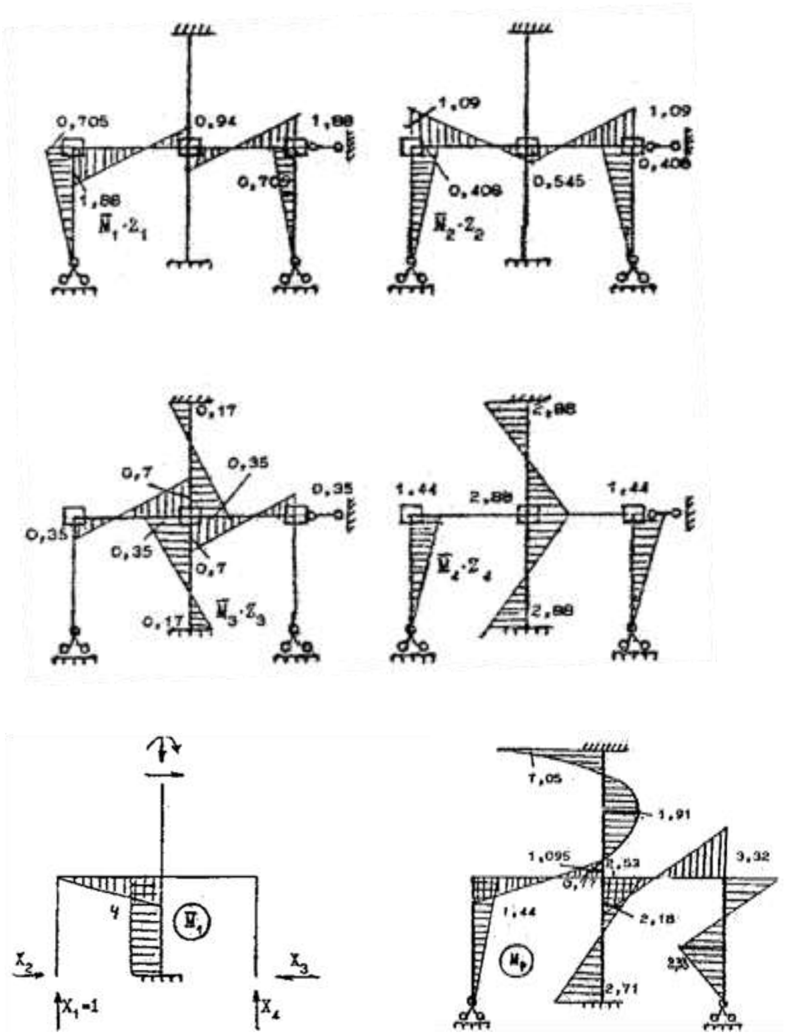
$r_{22}Z_2+R_{2P}=0$ *nirede* $5{,}5\,Z_2=-3;\ Z_2=\dfrac{0{,}545}{EJ}$

Deñlemeler sistemasyny kesgitleỳjileri ulanyp çözeliñ.

$$\begin{cases} 5{,}5Z_1+2Z_3-0{,}375Z_4=3 \\ 2Z_1+6Z_3=4 \\ -0{,}375Z_1+0{,}4687Z_4=3{,}25 \end{cases} \qquad Д=\begin{vmatrix} 5{,}5 & 2 & -0{,}375 \\ 2 & 6 & 0 \\ -0{,}375 & 0 & 0{,}4687 \end{vmatrix}=12{,}7523$$

$$Z_1=\frac{\begin{vmatrix} 3 & 2 & -0{,}375 \\ 4 & 6 & 0 \\ 3{,}25 & 0 & 0{,}4687 \end{vmatrix}}{12{,}7523}=0{,}94/EI;\quad Z_4=\frac{\begin{vmatrix} 5{,}5 & 2 & 3 \\ 2 & 6 & 4 \\ -0{,}375 & 0 & 3{,}25 \end{vmatrix}}{12{,}7523}=7{,}686/EI;$$

7) Indi dogurlanan epỳury guralyñ.Munuñ üçin şu epỳurlary biri- birine köpeltmek ỳeterlikdir, ỳagny M_1xZ_1, M_2xZ_2, $M_3X\check{z}_3$, M_4Xz_4

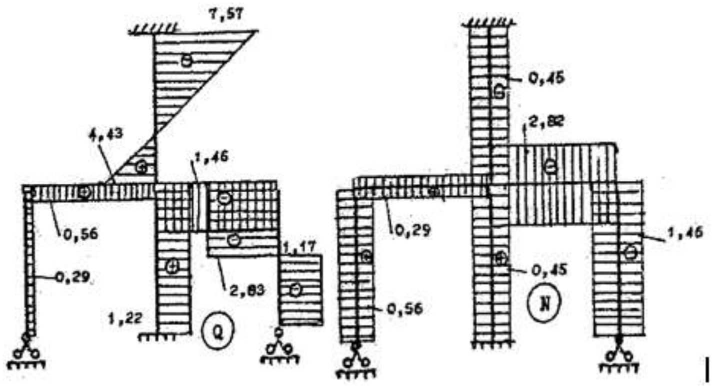


8) Dogurlanan epỳurlaryñ we Mp epỳuryñ jemi gutarnykly momentleriñ
epỳurlaryna deñdir, onda
$M_p = \overline{M_1} Z_1 + \overline{M_2} \check{Z}_2 + M_3 \overline{Z_3} + M_4 \overline{Z_4} + M_P$
9) Deformasion barlygy:
Bu barlag üçin güỳçler usulynyñ islendik esasy sistemasyny saỳlap alỳarys.
Suratda görkezilỳär we $X_1=1$-den epỳuryny gurỳarys.

$$\int \frac{M_1\ M_P}{EJ}\,ds = \frac{4 \cdot 1{,}44 \cdot 4}{2 \cdot 6EJ} - \frac{4 \cdot 1{,}095 \cdot 4}{2 \cdot 3EJ} + \frac{2{,}71 \cdot 4 \cdot 4}{2\,EJ} - \frac{2{,}53 \cdot 4 \cdot 4}{2\,EJ} =$$

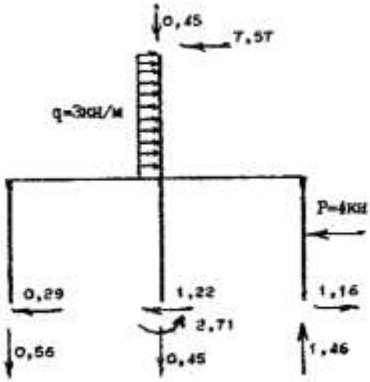
$$\frac{23{,}6 - 23{,}16}{EJ} = 0$$

Differensiỳal baglanyşygy ulanyp Q epỳury M epỳurdan alỳarys ỳagny.
$Q = \frac{dm}{dx} = tg\alpha$



Düwünleri kesmek usuly bilen N epỳury Q epỳurdan alỳarys.

Statiki barlagy.



$\sum X = q \cdot 4 + 1{,}16 - 7{,}57 - 0{,}29 - 1{,}22 - P = 12 + 1{,}16 - 13{,}08 = 13{,}16 - 13{,}08 = 0$

$\sum У = 0{,}45 + 0{,}56 + 0{,}45 - 1{,}46 = 1{,}46 - 1{,}46 = 0.$

10. Steržensler sistemelaryň dinamikasynyň esaslary

10.1 Esasy düşünjeler

Gurluşyk mehanikasynyň bir bölegi bolan, desgalaryň dinamikasy, ulylygy, ugry we orny wagt aralygynda üýtgeýän dinamiki ýükleriň täsirine desgalaryň hasaplama usullaryny we yzygiderliligini işläp düzmek bilen meşgullanýar. Desga dinamiki ýükler täsir edende şol ýükleriň we desganyň özüniň massalarynyň inersiýa güýçleri ýüze çykýar we esasy rol oýnaýar.

Dinamiki ýükler aşakdaky esasy görnüşlere bölünýärler:

1) periodiki – berkidilen maşynlaryň we hereketlenýän bölekleri bolan mehanizmleriň döretýän (mysal üçin elektroddwigatelleriň, turbogeneratorlaryň, stanoklaryň we ş.m.) ýükleri. Şu görnüşli ýükler täsir edýän konstruksiýalarynyň häsiýetlerine bagly bolýarlar diýseň hem boljak, ýöne şol konstruksiýalaryň yrgyldylarynyň esasy çeşmesi bolup durýarlar;

2) impulsy – güýç gurallaryň (çekiçleriň, kopýorlaryň we ş.m.) gaçýan bölekleri we gaçýan ýükleriň emele getirýän ýükleri. Bu ýükler gysga wagtlaýyn täsir etmegi bilen häsiýetlendirilýär we gaçýan ýüki kabul edýän ýasawlaryň inersiýalyk we maýyşdak häsiýetlerine bagly;

3) gozganýan – desganyň aralyklarynda goýulan ýüküň ornunyň wagt aralygynda üýtgeýän ýükler, mysal üçin demir ýollardaky hereketlenýän düzümden, awtomobillerden, kranlardan döreýän ýükler. Dinamiki ýükler utgaşdyrylan hem bolup biler, mysal üçin impulsly-periodiki

ýükler. Şu görnüşli ýükler periodiki täsir edýän kopýorlaryň täsirinden döräp biler.

Ýeliň täsiri, seýsmiki we portlaýyş tolkunlarynyň täsiri degişlidir. Seýsmiki we partlaýyş tolkuny bir näçe, käbir halatlarda periodiki, silkinmeler görnüşli bolýarlar.

Dinamiki ýükler täsir edýän ýasawlarynyň yrgyldamalaryny ýüze çykarýarlar.

Wagt aralygynda garmoniki kanun boýunça üýtgeýän, ýa-da sinusoidanyň, kosinusoidanyň kanuny boýunça üýtgeýän periodiki täsir edýän güýçleriň täsirine seredeliň.

Dinamiki hasaplama desganyň berkligini barlamak bilen bir hatarda dinamiki orunüýtgetmeleriň, tizlikleriň we tizlenmeleriň ulylyklaryny kesgitlemek üçin geçirilýär. Olar adamlara we käbir görnüşli gurallara, enjamlara (mysal üçin ölçeýji enjamlara) belli bir şertleşilen, çäklendirilen ulylyklardan ýokary bolmaly däldir.

Desgalaryň dinamiki meselelerini çözmek üçin iki esasy usul ulanylýar:

1) statiki usul, dinamiki deňagramlanşyk deňlemelerini ulanmaklyga esaslanandyr. Ol deňlemeleriň, Dalamberiň prinsipine laýyklykda, statiki deňagramlanşyk deňlemelerinden tapawutlanýan tarapy inersiýa güýçlerini (massalaryň köpeltmek hasyllary görnüşinde ýa-da olaryň inersiýa momentleriniň tizlenmelere köpeldilmegi, başgaça aýtsak gös-göni ýa-da burçlaýyn orunüýtgetmeliriniň wagt aralygynda ikinji önümlerini (proizwodnylaryny) goşmaça hasaba almak bilen meseläni çözmek.

2) Energetiki usul, energiýanyň saklanmaklyk kanunyna esaslanandyr, oňa laýyklykda maýyşgak sistemanyň potensial

we kinetiki energiýalarynyň jemi wagt aralygynda hemişelik ulylyk bolup durýar.

Haýsy hem bolsa bir maýyşgak sistemanyň dinamiki hasaplamasynyň kynlygy onuň erkinlik derejesine bagly bolýar. Şol sebäplere bagly işlendik wagt aralygynda sistemanyň mümkin bolaýjak orunüýtgetmelerinde hemme massalaryň orunyny kesgitlemek bolýar.

Desgalaryň statikasy bilen deňeşdirilende desgalaryň danamikasynda erkinlik derejesiniň başga manydadygyny göz öňünde tutmaly. Desgalaryň statikasynda kinematiki derňew geçirlende diskleriň we sterženleriň öz ýarsmalary hasaba alynmaýar. Olar absolýut gaty hasaplanýarlar. Desgalaryň dinamikasynda bolsa sistemanyň erkinlik derejesi kesgitlenende diskleriň we sterženleriň maýyşgak ýa-da maýyşgak-plastiklik ýarsmasy tutulýar.

10.2 Bir erkinlik bolan sistemanyň erkin yrgyldylary

Eger maýyşgak sistema, başga bir fiziki jisim bilen, soňra özara täsir aýrylan bolsada, sistema erkin yrgyldysyny dowam eder. Bir ujy gaty berk gapjadylan, beýleki ujynda bolsa nokatlanç massasy bolan balkanyň mysalynda bir erkinlik derejesi bolan sistemanyň erkin yrgyldamasyna seredeliň.

Dinamikanyň esasy deňlemesinde, (Nýutonyň ikinji kanuny) massa ýüküň agyrlyk güýjiniň erkin gaçmak tizlenmesine ($g=981 sm/s^2$) bölünmegine deň,

$m=Q/g$ ýa-da $Q=mg$ (1).

Şeýlelik bilen, tehniki birlikler sistemasynda, massanyň ölçegi ($kg \ s^2$)/sm arkaly aňladylýar. Balka goýlan Q ýüküň täsiri esasynda, Q ýük goýlan nokat aşaklygyna Y_{st} deň aralyga ornuny üýtgeder. Statiki Q güýjiň täsiri netijesinde ergelen maýyşgak okuň orny suratda bitewi ergi çyzyk arkaly görkezilen.

Balkanyň erkin yrgyldaýan mahalynda, islendik wagt aralykda, Y ululyk bilen deňagramlanşykdan çykarylan m massa: dikeldiji R güýç, garşylyk güýji F we inersiýa güýji Xtäsir eder. Güýçleriň ugryny, orunüýtgetmeleri, tizlikleri we tizlenmeleri aşak ugrypdyryp olary položitel hasap edip her aýratynlykda seredeliň.

Dikeldiji güýç R - bu sistemanyň maýyşgaklygynyň reaksiýasydyr. Ol m massasyň statiki deňagramlanşyk ýagdaýyndan çykmagy esasynda ýüze çykýar. Bu güýç m massany statiki deňagramlanşyga gaýtaryp getirjek bolýar. Ugry boýunça ýüze çykýan orunüýtgetmä ters ugra ugrukdyrylýar. Kabul edilen şerte görä otrisatel hasap edilmelidir.

Dikeldiji R güýç m massa goýulan nokadyň Y üýtgemesine proporsionaldyr,

ýa-da $R= - r \cdot Y$ (2)

r- proporsionallyk koeffisientidir. Ol ýük goýulan nokadynyň bire deň deformirlenendäki balkanyň ýük goýulan nokadynyň reaksiýasydyr.

Bu ululyk, sistemanyň geometriki we maýyşgaklyk häsiýetnamalaryna baglydyr. Ol deformasiýalaryň umumy aňlatmalary arkaly tanalýar we bire deňlňnilýär, ýa-da

$Y = \delta_{11}\, r = 1,$ *ýa-da* $r = 1/\delta_{11}:$

bu ýerde δ_{11} - birlik güýçden emele gelen, seredilýän nokadyň orunüýtgetmesi.

Mysal üçin, seredilýän balka üçin, gatylygyny El, täsir güýji Q = 1 diýip kabul etsek:

$$\delta_{11} = Q\, l^3 / 3\,E\,I = l^3 / 3\,E\,I \quad \text{we} \quad r = 3\,E\,I / l^3$$

Garşylyk güýji F – doly maýyşgak bolmadyk materialyñ içki sürtülmesinden, konstruksiýalaryñ birleşmelerindäki sürtülmelerden daşky (howanyñ ýada suwuñ) gurşagyñ sürtülmesinden ýüze çykýar. Şu maýyşgak bolmadyk garşylyklarda enegiýanyñ kem-käs ýitmegi ýüze çykýar.

Meseläniñ matematiki tarapyny ýöneýkeýleýşdirmek üçin esasan garşylyk F güýji yrgyldylaryñ tizligine proporsional $V = y'$ diýip kabul edilýär. Özi hem massa goýulan we hereketiñ tersine ugrukdyrylan hasap edilýär. Şonuñ üçin „minus“ alamaty bilen alynýar:

$F = -\, k dy/d t = -\, k\, y'$ (3)

bu ýerde k - proporsionallyk koeffsiýenti. Onuñ fiziki manysyna aşakda serederis; t – wagt.

Inersiýa güýji X – Dalamberiñ prinsipine görä ol m massanyñ, onuñ tizlenmesine köpeldilmegine deñdir, ýa-da geçilen ýoluñ (y – orunüýtgetmäniň) t wagta görä ikinji proizwodnysyna (önümine) deňdir. Bu güýç tizlenmäniň ters ugruna ugrukdyrylýandygy üçin, otrisatel hasaplanýar:

$$X = -\, m\, d^2 y/dt^2 = -\, m\, y'' \quad (4)$$

Massa täsir edýän güýçleriň dinamiki deňagramlanşyk deňlemesi.

$$\Sigma Y = X + F + R = 0$$

Bu deňlemede Q güýç hasaba alynmaýar. Orunüýtgetmeler noldan hasaba alynman, statiki deňagaramlanşygyň gabadyndan alynýanlygy üçin, Q güýjiň täsiri hasaba alyndygy bolýar.

Deňlemede *R, F we X ýerine (4), (2) we (3)* aňlatmalary goýup, we deňlemäni m bölüp, üýtgedip ýönekeý birjynsly çyzyklaýyn differensial (ikinji derejeli) deň lemäni alýarys:

$$y'' + ky'/m + ry/m = 0 \quad (5)$$

Bu deňlemäniň çözüwini:

$$Y = a_0\, e^{-kt\,2m} \sin(wt = \varphi_0) \quad (6)$$

görnüşde göz öňüne getirmek mümkin.

Bu ýerde e = 2,72 – natural logarifmiň esasy; w- erkin yrgyldylaryň doly öwrüm (töwerekleýin) ýygylygy, ýa-da yrgyldylar sikliniň 2π sekund wagtyndaky sany;

$$w = \sqrt{(r/m) - (k/2m)^2} \quad (7)$$

a_0 *- erkin yrgyldylaryň başlangyç amplitudasy;*

$$a_0 = \sqrt{y_0^2 + [(v_0 + y_0 k / 2m / w)]^2} \quad (8)$$

φ_0 -hereketiň başynda massanyň orunüýtgemesini häsiýetlendiriji erkin yrgyldynyň başlangyç fazasy;

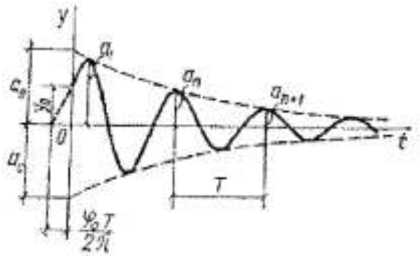
$$\varphi_0 = \arcsin(y_0/a_0) \qquad (9)$$

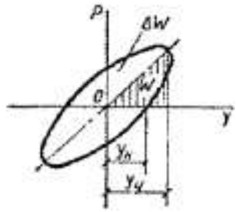
v_0 - massanyň başlangyç tizligi.

Yrgyldylaryň doly sikilniň dowamlylygy, ýa-da periody sekundda

$$T = 2\pi / w \quad (10)$$

Kesilýän erkin tolkunlaryň grafigi





Erkin yrgyldylaryň iki yzygiderli birbelgili amplitudalarynyň gatnaşygynyň natural logarifmini tapalyň. Ony δ bilen belgileýäris:

$$\delta = \ell n \ a_n/a_{n+1} = \ell n \ e^{kt2m} = kt/2m = At \quad (11)$$

Yrgyldylaryň kesilmeginiň tizligini häsiýetlendirýän ululyga, yrgyldylaryň logarifmiki dekrementi diýilýär, a = k/2m ululyga kesilmek koeffisienti diýilýär.

Islendik daşky P güýç we Y orunüýtgetme arasyndaky arabaglanşyk kesilýän sistemeda göniçyzykly däl, şonuň üçin P-Ydiogrammada yrgyldylaryň her siklende ellips görnüşli ýapyk egri emele gelýär. Bu ýagdaýda gisterezis diýilýär. Garmoniki yrgyldylarda gisterezis ellips (merkezi koordinatalar sistemasynyň başynda bolan) görnüşinde kabul etmek bolýar.

Sikldäki maýyşgak däl garşylyklaryň ΔW işiniň çaýrek sikldäki maýyşgak güýçleriň işiniň gatnaşygy, ýa-da ýüksiz we ahyrky deformirlenen halyndaky (sistemanyň) aralyga energiýanyň ýitiş koeffisienti diýilýär.

Grafikde ΔW iş ellipsiň meýdany. W iş bolsa ştrihlenen üçburçlygyň meýdany arkaly aňladylýar.

$W = Py/2 = y^2/2\delta_{11}$; $\qquad dW = y\,dy/\delta_{11}$

Energiýanyň ýuwdulyş koeffisient

$$\psi = \Delta W/W = -\int_{t}^{t+T} dW/W = -2\int_{t}^{t+T} dy/y = 2\,\ln(a_n/a_{n-1}) = 2\delta \qquad (12)$$

Köplenç hasaplama konstruksiýalardaky materiallaryň maşyşgak däl gapşylyk γ koeffisientiniň bahasy girizilýär. Olar maýyşgak däl we maýyşgak deformasiýalaryň gatnaýyklaryny göz öňünde tutulandaky ýuwdulyş koeffisientleriniň 2π bölünmegine deňdir:

$$\gamma = Y_n/Y_u = \Psi/2\pi = \delta/\pi = kT/2\pi\, m = k/mw \qquad (13)$$

Dürli materiallar üçin we maşynlarynyň inersiýa güýçleriniň amplitudalarynyň dürli ululyklary üçin bu koeffisiýentiniň bahalary tablisada getirilýär.

Inersiýa güýjiniň amlitudasy, kg g	Demir beton		Örülen kerpiç	Agaç	Ýasalan polat
	Başlangyç naprýaženiýaly	naprýaženiýasyz			
<100	0,025	0,05	0,04	0,03	0.01
>100	0,05	0,1	0,08	0,05	0.025

Başlangyç kabul edilen proporsionallyk koeffisiýenti K kesilmäniň beýleki häsiýetnamalar arkaly aňladyp (13) formuladan almak mümkin.

$$k = 2m\delta T = m\Psi/T = m\gamma w = 2m\alpha = \gamma\sqrt{rm} \qquad (14)$$

Şeýlelik bilen , K koeffisiýent materialyň fiziki hemişeligi bolmaýar-da, ýene-de massadan we konstruksiýanyň gatyltgna bagly .

E.S. Sorokiniň hödürleýän arabaglanşygy has umumyrak bolýar.

$$k = mw\gamma\varepsilon_0 \qquad (15)$$

bu ýerde ε_0 - deformasiýanyň amplitudasy.

Kä halatda garşylyk güýjini hemişelik ýa-da massanyň orunütgetmesine proporsional diýip kabul edýärler.

Yrgyldylaryň kesilmegini hasaba almasak, ýa-da k=0 diýsek, onda (6)-(15) formulalara görä alarys:

$$Y = a\,sin(wt + \varphi_0)\;; \qquad (16)$$

$$w = \sqrt{r/m} = 1/\sqrt{\delta_{11}m} = \sqrt{g/Y_{st}}\;; \qquad (17)$$

$$a = \sqrt{Y_0^2 + (v_0/w)^2}\;; \qquad (18)$$

$$\varphi_0 = arcsin(Y_0/a) \qquad (19)$$

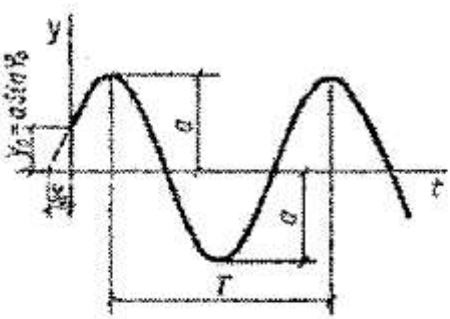
Bu ýerde $Y_{st} = \delta_{11}Q$ -täsir ($Q = mg$) güýjine bagly sistemanyň statiki orunüýtgetmesi.

Tizlik we tizlenme formulalaryny (16) aňlatmany differesirläp alýarys:

$$v = y' = a\,w\,cos(wt + \varphi_0)\;; \qquad (20)$$

$$w = y'' = -a\,w^2\,sin(wt + \varphi_0)\,. \qquad (21)$$

Görkezilen (16) deňlemäniň grafigi



Yrgyldylaryň amplitudasy diýip a ululyga aýdylýar. Yrgyldynyň başlangyç fazasy φ_0 ululykdyr.
Ýokardaky (16) deňlemä görä $t = t_1$, $t= t_1 + 2\pi/w$,... $t =t_1 +2\pi n /w$ deň bolanda Y bahasy bir deň ululyga gelýär, şonuň üçin period, ýa-da yrgyldylaryň doly sikliniň dowamlylygy (10) formula arkaly aňladýar.

$$T = 2\pi/w.$$

Wagt ölçegi bolan bu ululyk grafikde şol bir ölçegleri bolan amplitudalaryň arasyndaky wagt kesimi hökmünde görkezilen.

Yrgyldylaryň ýygylygy, ýa-da doly siklli yrgyldylaryň 1 sekunddaky sany. Gers bilen aňladylýar we

$$\lambda= I/T = w/2\pi \qquad \text{deňdir, (22)}$$

bu ýerde T sekunda arkaly aňladylmalydyr.

Gatylygyň kiçelmegi, ýa-da maýyşgak sistemanyň statiki egrelmesiniň ulalmagy bilen ýygylygyň kiçelýändigini formuladan görmek bolýar. Massanyň ulalmagy hem ýygylygyň kiçelmegine getirýär.

Bir minutdaky yrgyldylaryň n sanyna tehniki ýygylyk diýilýär. Tehniki ýygylyk:

$$n = 60\lambda = 60/T = 30w/\pi = 30/\pi\sqrt{981/Y_{st}} = 300/\sqrt{Y_{st}} \quad (23)$$

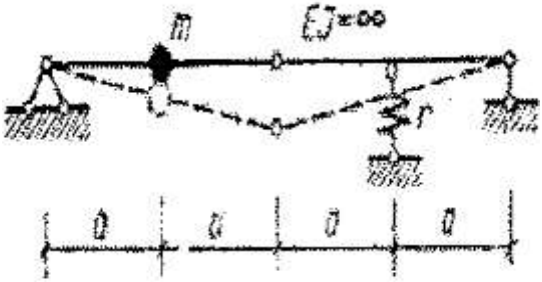
formula arkaly aňladylaýar.

Erkin yrgyldylaryň ýygylygynyň kiçelmegine kesilmäniň getirýändigini (7) formula görkezýär. Ýöne bu aňlatmadaky köküň içindäki ikinji çlen, köp halatlarda birinji çlenden has kiçi bolýar.

Şonuň üçin erkin yrgyldylaryň ýygylygyna kesilmäniň täsiri bolmaýar.

Mysal 1. Suratda görkezilen sistemanyň düzümine girýän m massanyň erkin yrgyldylarynyň aýlaw ýygylygyny tapmaly.

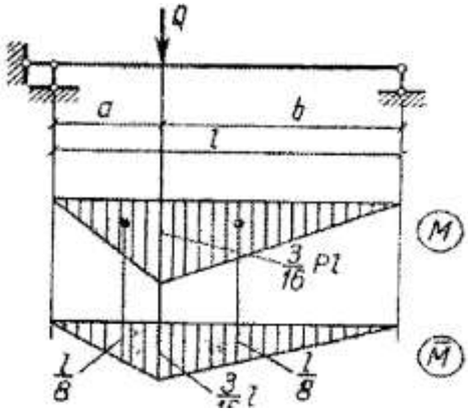
Sterženleriň we pruzinleriň gatylyklary EI = ---- we r deň.



Massanyň statiki orunüýtgetmesi pružiniň statiki gysgalmasyna deň we $Y_{st} = mg/r$ bolýar.

Erkin yrgyldylaryň aýlaw ýygylygy

Mysal 2. balkanyň çep daýanjyndan a = 1.5m aralykda nokatlanç goýulan m massanyň (egerde Q =mg – 3 tg bolsa). erkin yrgyldylarynyň aýlaw ýygylygyny kesgitlemeli.



Balkanyň daýançlarynyň aralygy ℓ=6m. Balkanyň (dwutawr № 30a) öz agramyny hasaba almaly däl. Balkanyň kese kesiginiň inersiýa momendi I = 8950 sm^4 . şol bir güýç täsir edende, täsir etýän Q güýjiň aşagyndaky balkanyň staiki egrelmesini A.N. Wereşaginiň usuly boýunça epýurlary köpeltmek arkaly tapylýar:

$$Y_{st} = 1/EI\,(3Q\ell/16 \cdot \ell/8 \cdot \ell/8 + 3Q\ell/16 \cdot 3\ell/8 \cdot \ell/8) -$$

$$= 3Q\ell^3/256\,EI = 3 \cdot 3000 \cdot 600^3/256 \cdot 2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 8950 = 0.404\ sm.$$

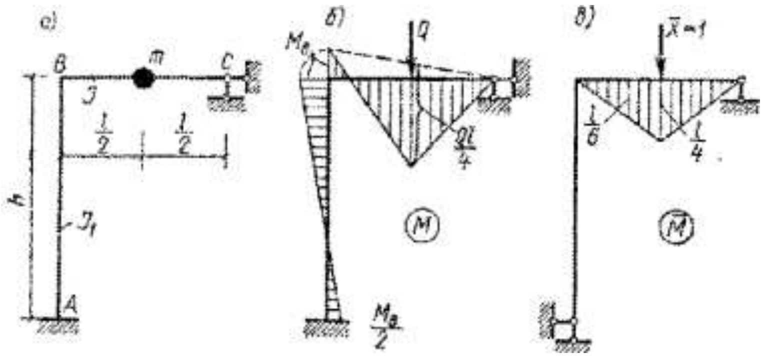
Aýlaw ýygylyk (17) formula görä

$$w = \sqrt{g/Y_{st}} = \sqrt{981/0.404} = 49{,}2\ s^{-1}$$

ortoarasynda nokatlanç goýulan m = Q/g massanyň erkin yrgyldylarynyň aýlaw ýygylygyny kesgitlemeli.

$Q = 1000$ kg g, $\ell = 2$ m, $h = 3$ m, $EI = 10^{10}$ kg g sm^2 we $I/I_1 = 2$.

Ramanyň sterženleriniň öz agramyny hasaba almaly däl. Prof.A.N. Byçkowyň kitabyndaky „Formulalar we grafikler ramany hasaplamak üçin“ (M. Gosstroýizdat, 1957, 70 sah) berlenleri ulanyp rama täsir etýän güýçlerden egreldiji momendiň epýuryny taýýar görnüşinde gurýarys.



Häsiýetlendiriji B düwündäki momendiň ululygyny formula arkaly (çykaryp getirmesiz) hasaplaýarys:

$$M_B = \frac{3Q\ell}{8} \cdot \frac{1}{2 + 3Ih/2I_1\ell} = \frac{3 \cdot 1 \cdot 2}{8} \cdot \frac{1}{2 + 3 \cdot 2 \cdot 3/2 \cdot 2} = 0{,}115 =$$
$$= 11500 \text{ kg g sm}$$

Goýulan Q güýjiň aşagyndaky statiki egrelmäni epýurlary köpeldip kesgitleýäris. Öz gezeginde birlik güýçden M epýury gözlenýän orunüýtgetmäniň ugruna ugrukdyrylyp goýulan güýçden esasy sistemada (statiki kesgitli) gurýarys.

Epýurlary köpeldip (A. N. Wereşaginiň usuly boýunça), taparys:

$$Y_{st} = 1/EI\,(Q\ell/4 \cdot \ell/2 \cdot 1/2 \cdot \ell/6 \cdot 2 - M_B/2 \cdot \ell/4 \cdot \ell/2) =$$

$$= 1/EI\,(Q\ell^3/48 - M_B\ell^2/16) =$$

$$= 1/10^{10}\,(1000 \cdot 200^3/48 - 11500 \cdot 200^2/16) = 0{,}0139\ sm.$$

Erkin yrgyldylaryň aýlaw ýygylygy

$$w = \sqrt{g/Y_{st}} = \sqrt{981/0{,}0139} = 266\ s^{-1}$$

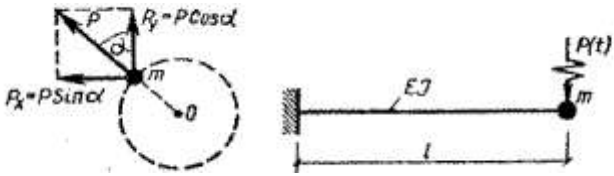
10.3 Garmoniki güýç täsir edende, bir erkinlik derejesi bolan sistemanyň mejbury yrgyldylary.

Massanyň dikeldiji güýçden, garşylyk güýjinden we inersiýa güýjinden daşary asudalygy bozýan güýç (wagt aralygynda üýtgeýän) goýulýan mehaniki sistemanyň yrgyldylaryna mejbury yrgyldylar diýilýär. Ýa-da wagt aralygynda üýtgeýän sinusyň ýa-da kosinusyň kanuny boýunça üýtgeýän ýükdir. Muňa nokatlanç goýulan güýç mysal bolup biler.

$$P(t) = P\sin\theta t, \qquad (24)$$

bu ýerde P –asudalygy bozýan güýjiň amplitudasy;
θ –asudalygy bozýan güýjiň aýlaw ýygylygy.

Maşynyň deňölçegli aýlanýan böleginde deňagramlaşmadyk m massa bar bolsa, onda merkezden daşlaşýan güýçleri düzýän dikligine (P_y) we gorizontal (P_x) güýçler garoniki kanunlar boýunça üýtgeýärler (surat № 1).



Eger-de bir erkinlik derejesi bolan sistema, mysal üçin öňki paragrafda görkezilen we seredilen balka asudalygy bozýan garmoniki P(t) güýç goýulsa, onda dinamiki deňagramlanşyk deňlemesine R,F we X güýçlerden başga P(t) güýç girer.

Onda birjynsly (5) deňlemä derek sag bölegi bolan birjynssyz deňlňmň alarys

$$y'' + (k/m)\,y' + (r/m)\,y = (P/m)\sin\theta t. \qquad (25)$$

Bu deňlemäniň doly çözgüdi iki bölekden durýar. Birinjisi birjynsly (5) deňlemäniň umumy çözgüdi. Ikinjisi deňlemäniň hususy çözgüdi (25) aşakdaky görnüşdäki ýaly bolýar.

$$y = a_0\, e^{-kt/2m} \sin(wt + \varphi_0) + \mu Y_{st} \sin(\theta t - \varepsilon), \qquad (26)$$

Şu deňlemäniň birinji çleni erkin yrgyldylary, ikinji çleni bolsa - asudalygy bozýan yrgyldylary aňladýar.

Ýokarda görkezilişi ýaly garşylyk güýçleriniň barlygy üçin erkin yrgyldylar tiz kesilýärler-de θ ýygylygy bolan asudalygy bozýan yrgyldylar galýar. Formulanyň (26) ikinji çlenine aşakdaky ulylyklar girýärler: ε -ozmanyň ulylygyny häsiýetlendiriji, asudalygy bozýan güýjiň

$$\varepsilon = arctg \frac{k\theta/m}{w^2 - \theta^2}$$

yrgyldylaryna görä asudalygy bozýan yrgyldylarynyň fazasynyň süýşmegi,

(27)

μ - garmoniki ýüküň dinamiki koeffisiýenti.

Ol okuň statiki täsiriniň amplitudasynyň onuň dinamiki täsirinden näçe esse ýokarydygyny görkezýär.

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{(1-\theta^2/w^2)^2 + (k\theta/mw^2)^2}} = \frac{1}{\sqrt{(1-\theta^2/w^2)^2 + (\gamma\theta/w)^2}} \quad (28)$$

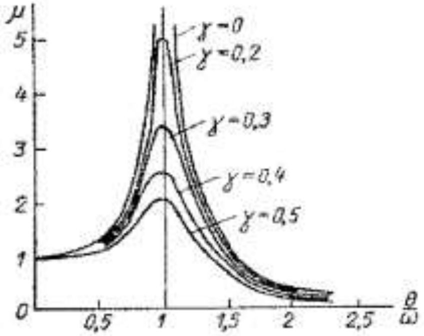
Kesilme zerarly asudalygy bozýan yrgyldylaryň amplitudalary we dinamiki koeffisiýentler kiçelýärler we eger rezonans bolaýandada (asudalygy bozujy yrgyldylaryň we hususy yrgyldylaryň ýygylygy gabat geläýende-de) howply bolup galsalar hem, gutarnykly bolup galýarlar. Ýygyltklar gabat gelenlerinde (θ/w) (28) formuladan alýarys

$$\mu = 2\pi/\Psi = \pi/\delta = 1/\gamma \quad (29)$$

Dinamiki koeeffisient $(\theta/w)^2$ -1 – $\gamma^2/2$, ýetende iň uly baha eýe bolýar

$$\mu_{max} = \frac{1}{(\gamma/2)\sqrt{1-\gamma^2}} \quad (30)$$

Ýöne (29) we (30) formulalara görä netijeleriň arasyndaky tapawut has kiçi.



Kesilme wagtynda μ koeffisiýentiniň grafigi suratda görkezilen. Bu ýerde γ bahalary tablisadaky bahalara görä ulaldylandyr. Şeýlelik bilen, rezonans wagtynda asudalygy bozujy yrgyldylaryň amplitudasy, yrgyldylaryň logarifmiki dekrementine proporsioaldyr. Yrgyldylaryň fazasynyň süýşmegi asudalygy bozujy güýje görä $\varepsilon = - \pi/2$, ýa-da periodyň ¼ bölegini düzýändir.

Ýuwdujy koeffisiýentiň ($\psi>4\pi$) bahasy has uly bolan mahaly, mysal üçin şepbeşik suwuklykda yrgyldylar bolanda, (7) formula boýunça tapylan w –ýygylygyň hyýaly bolmagy mümkin. Bu yrgyldylaryň bolmajaklygyny aňladýar we eger maýyşgak sistema başlangyç deňagramlanşyk halyndan çykarylan hem bolsa, ol şol ýagdaýa hyýallyk bilen gaýdyp geler. Eger k=0 bolsa, kesilmäniň hasaba alynmadygyny aňladýar. Onda (28) formula:

$$\mu = \frac{1}{(1 - \theta/w)^2} \qquad (31)$$

görnüşe geler.

Kesilmäniň täsiriniň rezonansa ýakyn oblastda uly bolmaklygy sebäpli bu formula ýeterlik takyk däldir. Ýygylyklaryň deň (θ = w) bolan halatynda formula boýunça $\mu = \ = \infty$ bolýar. Bu ýagdaýda hakykatda ýetmek mümkin däl. Rezonans wagtynda asudalygy bozujy yrgyldylaryň tapawutly onuň asudalygy bozujy güýje görä orunüýtgetmeler fazasy boýunça wT/y = $\pi/2$ çenli süýşürülenligindedir. Bu güýjiň nola deň bolan halatlarynda orunüýtgetmeleriň iň uly ulylyklara ýetýändigindedir.

Eger $\theta > w$ bolsa, (31) formula boýunça μ otrisatel bolýar. Bu asudalygy bozujy güýjiň we massanyň özüniň yrgyldylarynyň ters taraplara bolýandygyny aňladýar.

Mysal 1. Ozal 2 mysalda seredilen balkadaky iň uly naprýaženiýalary, asudalygy bozujy yrgyldylaryň amplitudasyny we dinamiki koeeffisiýentini kesgitlemeli. Goý nokatlanç goýulan Q = 3 t.g. güýç ýygylygy 400 aýlaw/min bilen aýlanýan dwigatel bolsun. Onuň dikleýin merkezden daşlaşýan düzüji güýjiniň ulylygy P(t) = P sinθt. Bu ýerde P = 0,8 t.g. Şol bir wagtda rezonans bolandaky dinamiki koeffsiýentiň ulylygyny hem kesgitlemeli.

Ozalky 2 mysalda erkin yrgyldylaryň aýlaw ýygylygy tapylypdy we w=49,2 s^{-1} deň. Asudalygy bozujy yrgyldylaryň aýlaw ýygylygy, asudalygy bozujy güýjiň ýygylygyna deň,

$$\theta = n \cdot 2\pi/60 = 400 \cdot 2\pi/60 = 41,8 \ s^{-1}$$

Dikleýin merkezden daşlaşýan güýjiň amplitudasy 100 kg.g. ýokarda. Materilyň maýyşgak däl garşylyk koeffisiýentini γ 0,025 (tablisadan) polat balka üçin alýarys.

Dinamiki koeffisiýent (28) formula boýunça:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{(1-\theta^2/w^2)^2 + (\gamma\theta/w)^2}} = \frac{1}{\sqrt{(1-41{,}8^2/49{,}2^2)^2 + (0{,}025\cdot 41{,}8/49{,}2)^2}} = \frac{1}{\sqrt{0{,}278^2 + 0{,}021^2}} = 3{,}56$$

$$\mu = \frac{1}{1-(\theta/w)^2} = \frac{1}{1-(41{,}8/49{,}2)^2} = 3{,}60$$

Şeýlelik bilen, rezonans ýok wagtynda, kesilmäni hasaba alsaňam, dinamiki koeffisiýentiň ulylygy üýtgemedi diýseň hem boljak.

Rezonans bolanda bolsa, θ = w bolýar. Onda kesilmüniň täsirini (29) formula boýunça alarys

$$\mu = 1/\gamma = 1/0{,}025 = 40$$

Diýmek, kesilmäni hasaba alyp tapylan dinamiki koeffisiýent tükeniksiz gaty uly bolmasa-da, ol, diýseň uly ekeni. Bu ýagdaý konstruksiýalarda rezonansyň döremegine ýol berilmeli däldigini görkezýär.

Ozalky netijäni ulanyp (Q = 3 t.g.bolandaky) P = 0,8 t.g. güýçden dörejek statiki egrelmäni kesgitleýäris:

$$Y_{st} = 0{,}404\,P/Q = 0{,}404\cdot 0{,}8/3{,}0 = 0{,}107\ sm$$

Asudalygy bozujy yrgyldylaryň amplitudasy dinamiki egrelmä deň bolar:

$$Y_{din} = \mu\, Y_{st} = 3,56 \cdot 0.107 = 0.381\ sm$$

Goýulan güýjiň aşagyndaky balkanyň doly egrelmesi Q güýçden tapylan statiki egrelmäniň üstine P güýçden tapylan dinamiki egrelmäniň goşulmagyna deň:

$$Y_{doly} = Y_{st}^{Q} + Y_{din}^{P} = 0,404 + 0,381 = 0,785\ sm$$

Balkanyň, ortasyna ýakyn ýerleşen, iň uly egrelmesi, bir (azyrak) näçe ýokary bolmagy mümkin. P güýjiň dinamiki täsirini hasaba alyp tapylan iň uly egreldiji moment:

$$M_{max} = (Q - \mu P)(ab/\ell) = (3 + 3.56 \cdot 0,8)(1.5 \cdot 4.5/6) =$$

$$= 6.56\ tg.m = = 656000\ kg\ g\ sm$$

Balkanyň howply kese kesegindäki iň uly normal napriženiýalar:

$$\sigma_{max} = M_{max}/W_z = 656000/597 = 1100\ kg^2/sm^2$$

Dwigatel hereketsiz wagtynda bolsa,

$$M_{max} = Q\, a\, b/\ell = 3 \cdot 1,5 \cdot 4,5/6 = 3.37\ t.\ g.m\ ;$$

Şeýlelik bilen, dinamiki ýükiň barlygy, rezonans bolmasa-da, statiki dartgynlyk bilen deňeşdirlende, desgadaky dartgynlyklaryň güýçli ösmegine getirip biler.

10.4 Bir erkinlik derejesi bolan sistema usuldalygy impulsly güýçleriň täsiri

Hemişelik uly ýaly bolan duýdansyz goýulan asudalygy bozujy güýç.

Eger dynç halyndaky maýyşgak sistema, t_0 wagt aralygynda P(t) = P bolan asudalygy bozujy güýç goýulsa, onda $t > t_0$ wagyt üçin (kesilmäni hasaba almazdan) dinamiki deňagramlaşyk deňlemesi şeýle bolar:

$$y'' + w^2 y = P/m \qquad (32)$$

Sistemanyň erkin we mejbury yrgyldylaryny (t_0 = 0 balkadaky) içine alyp bu deňlemäniň doly çözgüdi aşakdaky görnüşe eýe bolýar.

$$y = a \sin(wt + \varphi_0) + P/mw^2 \bullet (1 - \cos wt) \qquad (33)$$

Getirilen (17) formula boýunça $w^2 = 1/\delta_{11}m$ deň bolsa, onda P/mw^2 = Yst deň bolýar we dinamiki koeffisiýent (P güýjiň) mejbury yrgyldaýan wagtynda

$$\mu = 1 - \cos wt \quad \textit{bolar.} \qquad (34)$$

Bu koeffisiýentiň uly bahalary wt = π, 3 π,... bolanda μ_{max} = 2 ýetýär.

Suratda P güýjiň goýulan nokadynyň yrgyldyly hereketiniň grafigi görkezilen.

10.5 Hemişelik ululygy bolan duýdansyz goýulan we duýdansyz aýrylan güýç

Goýulan P güýç, t_0 wagt aralygynda duýdansyz goýulýar we özüniň hemişelik täsirini T_p period geçýänçä saklaýar diýip kabul edilýär.

Ozalky çözgüt $t_0 < t < t_0 + T_p$ period üçin öz ähmiýetini ýitirenok. Ýöne $t > t_0 + T_p$ period aralykda, (P güýjiň täsiriniň aýrylan wagty), (31) aňlatmanyň birinji çlenine baglanşykly, sistema erkin yrgyldylary dowam eder. Bu hereketiň ($t = t_0 + T_p$) başlangyç şertleri öňki periodyň ahyryndaky şertlerine gabat gelýänligi sebäpli, yrgyldylaryň amplitudasyny we P güýjiň dinamiki koeffisiýentini kesgitlemäge mümkinçilik berýär:

$$\mu = \pm\, 2\, sin(wT_p/2) = \pm\, 2\, sin(\pi T_p/T) \qquad (35)$$

Bu koeffisiýentiň ululygy täsir güýjiniň we sistemanyň erkin yrgyldylarynyň periodlarynyň (T_p we T) arasyndaky gatnaşyga bagly bolýar. Tablissada T_p/T gatnaşygynyň ululygyna baglylykda μ koeffisiýentiniň bahalary getirilen.

T_p/T	0	0.01	0.02	0.05	0.1	0.167	0.2	0.3	0.4	0.5 we 0.5
μ	0	0.52	0.125	0.313	0.618	1.0	1.175	1.617	1.902	2.0

10.6 Güýjiň pursatlaýyn gysga wagtlaýyn impulsy.

Nokatlanç P(t) güýjiň impulsy S ululyga eýe bolsa we (az wagt aralygyň) T_p^0 (periodyň) dowamynda täsir edýän bolsa, onda şol period güýjiň ortaça ululygy

$$P = S/T_p^0 \text{ bolar} \qquad (36)$$

Dinamiki koeffisiýenti (35) formuladan kesgitlemek üçin P (t) güýje derek onuň ortaça bahasyny P kabul edýäris. Bu aňlatmanyň iki tarapyny P köpeldeliň. Ondan başgada, sag bölegi w T_p^0 /2 köpeldeliň we şol bir wagtda w T_p^0 /2 böleliň. Onda, deňlikden çep tarapda, täsiri boýunça, berlen impulsa ekwiwalent statiki güýji alarys:

$$P_{ek} = \mu P = \pm P w T_p^0 \cdot \frac{\sin(wT_p^0/2)}{(wT_p^0/2)} = \pm wS \cdot \frac{\sin(wT_p^0/2)}{(wT_p^0/2)} \qquad (37)$$

Islendik α burç üçin sinα / α < 1. Bu gatnaşyk α burç nula ymtylanda bire deň bolýar. Şonuň üçin hemme urgy (berlen S impuls ululygyna eýe bolan) impulslarynyň içinde has howplusy mgnowen impuls bolýar. Onda ekwiwalent statiki güýç $P_{ek} = = w\,S$ *bolar* *(38)*

10.7 Ugry döredýän ýük

Maýyşgak sistema, hereketlenýän jisim urulanda, mysal üçin balkanyň ujyna (N surat) Q = mg ýüküň erkin gaçan mahaly hereketlenýän ýüküň kinetiki energiýasy balka berilýär. Şol wagt balka deformirlenýär we bir-birine deň bolan balkanyň we ýüküň özara täsir güýçleriniň ýüze çykmagyna eltýär. Bu güýçleriň her birine urgynyň zarbasy diýilýär. Urgynyň güýji belli bir dowamlylykda, ýa-da T_p^0 wagtda täsir

edýändir. Bu hadysa sekundyň ýüzden ýa-da müňden bir böleginde bolup geçýär we şol wagtyň dowamynda ululygy boýunçz üýtgeýär. Urgy güýjiniň grafigi (bütewi çyzyk) suratda görkezilen.

Urgynyň güýji, urgy güýjiniň uly P ululygy, dowamlylyk T_p^0 periodywe impulsy arkaly häsiýetlendirilýär. Urgy güýjiniň impulsy urgy diagrammasynyň meýdany deňdir.

$$S = \int_0^{T_p^0} P(t)dt \qquad (39)$$

Şol wagtyň özünde urgy güýjiniň impulsy balka urulýan massanyň m balka berýän hereketiniň sanyna deňdir:

$$S = mv \qquad (40)$$

Bu ýerde v – hereketlenýän m massanyň tizligi.

Egerde T_p periodyň dowamlykda güýç P deň bolup hemişelik üýtgemeýän bolsa onda şeýle güýjiň impulsy ýönekeý köpeltmek arkaly aňladylýar:

$$S = PT_p \qquad (41)$$

Urgynyň güýji, onuň täsir ediş periody we wagt aralykda üýtgeýşi, jisimiň m massasynyň ululygyna we onuň hereketleniş tizligine baglydyr. Ondan başgada urgynyň güýji desganyň özüniň maýyşgaklygyna we urgy boljak üstine-de bagly. Häzirki döwürde biz urgy güýjiniň grafigini diňe eksperiment arkaly ossillografyň kömegi bilen alyp bileris. Periodlaryň $T_p = T_p^0$ deňligi sebäpli (suratda ştrih çyzyk arkaly görkezilen), ýa-da iň uly ordinatalaryň deňliginden, urgy güýjiniň grafigini deň ululykly göniburçlyk bilen çalyşyp bolar.

Maýyşgak däl urgynyň güýjine ekwiwalent bolan statiki güýji tapmak üçin (37) formulany ulanyp bolar. Onuň üçin urgy güýjiniň S impulsynyň ululygyny, onuň täsir T_p^0 periodyny, sistemanyň özüniň yrgyldylarynyň aýlaw ýygylygyny w bilmek gerek.

Urgy güýjiniň täsiriniň dowamlylygyny bilmesek, onda onuň impulsyny mgnowen pursatlaýyn diýip hasap edeliň.

Onda ekwiwalent statiki güýç (38) formula arkaly aňladylyýar. Urýan Q güýjiň dinamiki koeffisiýenti (42) formuladan tapylar

$$\mu = P_{ek}/Q = wS/Q = (\sqrt{g/Y_{st}} \cdot mv)/Q = \qquad (42)$$

$$= (\sqrt{g/Y_{st}} \cdot Qv/g)/Q = v/\sqrt{gY_{st}}$$

Bu formulany m massa islendik urga hereket etse-de ulanmak bolýar.

Formuladan urgy güýjiniň effekti onuň impulsynyň ululygyna we sistemanyň öz yrgyldylarynyň [ygylygyna baglydygyny görýäris. Şol bir impulsada, desga näçe gaty bolsa, urgynyň dinamiki koeffisienti şonça-da uly bolar. Eger ν tizligi Q ýüküň erkin gaçmak tizligine (h + μY_{st} beýiklikden) deň diýip kabul etsek (diýmek $\nu = \sqrt{2g(h + \mu Y_{st})}$) bolýar diýsek) onda bu aňlatmany (42) formula goýanmyzdan soň we kwadrat deňlemäni çözüp alarys

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + 2h/Y_{st}} \qquad (43)$$

Eger h ululyk Y_{st} görä köp uly bolsa, onda birlikleri hasaba almasaň hem bolar.

$$\mu = \sqrt{2h/Y_{st}} \qquad (44)$$

Ýük duýdansyz goýulanda, ýa-da h = 0 diýsek, onda (43) formula görä μ = 2 bolar.

Eger, ugry boljak ýerde, desgada m massa bar bolsa, iki massanyň täsiri esasynda statiki egrelme :

$$Y_{1st} = Y_{st} \bullet (m + m_1)/m = Y_{st} \bullet (1 + m_1/m)$$

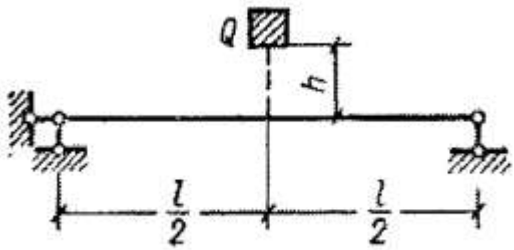
deň bolar.

Dinamiki koeffissienti (44) formula arkaly Y_{st} ýerine Y_{1st} ululygyna goýup alarys.

$$\mu = \sqrt{2h/Y_{st} \bullet 1/(1 + m_1/m)} \qquad (45)$$

Şu ýol bilen (42) we (43) formulalary düzedip bolar. Deňölçegli ýaýradylan massany urgy boljak nokada β<1 bolan koeffisiente köpeltmek arkaly bir ýere ýygnalan güýje getirip bolar. Ol koeffisientiniň ululygy sterženleriň uçlarynyň berkidilşine bagly.

Mysal 1. Aralygy ℓ = 6 m bolan demirbeton balkanyň ortaarasyna h = 20 sm beýiklikden Q = 200 kg.g. ýük gaçýar. Balkanyň öz agramy 2,0 t.g. kese kesiginiň inersiýa momenti 1 = 360000 sm ^{4} , betonyň maýyşgaklyk moduly E_b = 340000 kg/sm^2 bolanda urgynyň güýjini kesgitlemeli.



Goýulan Q güýçden balkanyň statiki egrelmesi

$$Y_{st} = Q\ell^3/48EI = 200 \cdot 600^3/48 \cdot 3,4 \cdot 3,6 \cdot 10^{10} = 0,0074\ sm.$$

Balkanyň ortaky urgy nokadyna öz agramyndan ýygnalan agram balkanyň agyrlygynyň ýarysyna deň diýip kabul edilýär.

$$Q_1 = 0,5 \cdot 2,0 = 1\ t.g.$$

Urgynyň dinamiki koeffisiýentini (45) formula arkaly kesgitleýäris. Bu ýerde massalaryň gatnaşygy degişli agramlaryň gatnaşygy degişli agramlaryň gatnaşygy bilen çalşyrylýar.

$$\mu_y = \sqrt{2h/Y_{st}(1 + Q_1/Q)} = \sqrt{2 \cdot 20/0,0074(1 + 1000/200)} = 31$$

Urgynyň güýji

$$P = \mu_y Q = 31 \cdot 200 = 6200\ kg.g.$$

Eger-de biz balkanyň massasyny hasaba almadyk bolsak, onda dinamiki koeffisientini we urgynyň güýji hasap boýunça has uly bolardy:

$$\mu_y = \sqrt{2h/Y_{st}} = \sqrt{2 \cdot 20/0,0074} = 73,5;$$

$$P = \mu_y Q = 73,5 \cdot 200 = 14700\ kg.g.$$

Şeýlelik bilen, uly bolmadyk beýiklikden gaçýan ýüküň urgy güýji onuň öz agramyndan uly bolýar ekeni. Öz gezeginde desganyň gatylygy uly boldygyça urgynyň güýji ulalýar ekeni.

10.8 Köp erkinlik derejesi bolan sistemanyň erkin yrgyldylary

Maýyşgak sistemanyň erkin yrgyldylarynyň formasynyň sany onuň erkinlik derejesiniň sanyna deň. Her bir yrgyldylar formasynyň degişli öz ýygyly bar. Barlen sistemanyň ýygylyklarynyň birleşmegi onuň ýygylyk spektirini düzýär.

Praktiki maksatlar üçin, köplenç iň kiçi ýygylygy tapmaklyk ýeterlik bolýar. Sarsdyryjy ýük zerarly rezonansyň döräýjekligi sebäpli bu ýygylyk, iň uly howp bolup galýar.

Birinjiden, iň pes ýygylykda iň uly dinamiki effekt ýäze çykýar. Ikinjiden, eger asudalygy bozujy güýjiň ýygylygy, sistemanyň özüniň yrgyldylarynyň iň pes ýygylygynda ýokary bolaýsada, şu ýygylykdaky rezonans (maşynyň göýberilýän wagty) maşynyň bat alýan pursatynda ýüze çykýar.

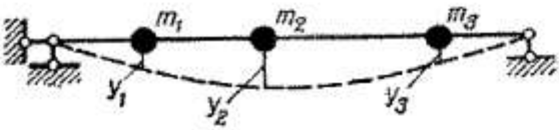
Şonuň üçin, iň pes ýygylyga, käbir halatda, yrgyldylaryň esasy tonunyň ýygylygy diýilýär. Yzygiderlilik boýunça, indiki yrgyldylar tonuna-oberton diýilýär.

Birnäçe erkinlik derejeli sistema mysal hökmünde üç sany nokatlanç massaly (m_1, m_2, m_3) ýönekeý balka seredeliň (suratda).

Şeýle balkanyň üç sany erkinlik derejesi bolar. Şonuň üçin, ol erkin yrgyldylaryň üç sany (w_1, w_2, w_3) ýygylyklary arkaly häsiýetlendirilýär.

Bu ýygylyklary kesgitlemek üçin, massalaryň inersiýa güýçleriniň täsiri netijesinde massaly nokatlaryň orun üýtgetmeleriniň aşakdaky aňlatmalyryny düzmek mümkin.

Massalaryň inersiýa güýçleri, massaly naokatlarynyň orunüýtgetmelerini döredýär. Erkin yrgyldylaryň ýygylyklaryny kesgitlemek üçin aşakdaky aňlatmalary düzmek mümkin.



$$y_1 = -\delta_{11} m_1 y_1'' - \delta_{12} m_2 y_2'' - \delta_{13} m_3 y_3'',$$

$$y_2 = -\delta_{21} m_1 y_1'' - \delta_{22} m_2 y_2'' - \delta_{23} m_3 y_3'',$$

$$y_3 = -\delta_{31} m_1 y_1'' - \delta_{32} m_2 y_2'' - \delta_{33} m_3 y_3''$$

Nokatlanç massalar goýulan kesiklerde (inersiýa güýçleriniň goýulan ýerlerinde), birlik güýçleri goýup O. Moruň ýa-da A.N. Wereşaginiň usuly arkaly δ_{11}, $\delta_{12} = \delta_{21}$, $\delta_{13} = \delta_{31}$, $\delta_{23} = \delta_{32}$, δ_{22}, δ orunüýtgetmeleri kesgitlenýär.

Differensial deňlemeler sistemasynyň (46) aşakdaky çözgüdi bar:

$$y_1 = a_1 \sin(wt + \varphi_0), \qquad (47)$$

$$y_2 = a_2 \sin(wt + \varphi_0),$$

$$y_3 = a_3 \sin(wt + \varphi_0)$$

Bu ýerde a_1, a_2 we a_3 - degişli massalarynyň yrgyldylarynyň amplitudalary;

φ_0 -yrgyldylaryň başlangyç fazasy.

Tizlenmeler ýa-da bu orunüýtgetmeleriň wagta görä ikinji önümleri (proizwodnylary), şeýle aňladylýar:

$$y_1'' = -w^2 a_1 \sin(wt + \varphi_0),$$
$$y_2'' = -w^2 a_2 \sin(wt + \varphi_0), \quad (48)$$
$$y_3'' = -w^2 a_3 \sin(wt + \varphi_0)$$

Ýokardaky (46) deňlemelerde (47) we (48) aňlatmalary ýerinde goýup we $w^2 \sin(wt + \varphi_0)$ gysgaldyp alarys:

$$(\delta_{11}m_1 - 1/w^2)a_1 + \delta_{12}m_2a_2 + \delta_{13}m_3a_3 = 0,$$
$$\delta_{21}m_1a_1 + (\delta_{22}m_2 - 1/w^2)a_2 + \delta_{23}m_3a_3 = 0, \quad (49)$$
$$\delta_{31}m_1a_1 + \delta_{32}m_2a_2 + (\delta_{33}m_3 - 1/w^2)a_3 = 0$$

Sistemadaky çözgüdiň $a_1 = a_2 = a_3 = 0$ bolmagy yrgyldylaryň amplitudalarynyň nola deňligini görkezýär. Diýmek sistemanyň asuda deňagramly ýagdaýynda degişli bolýar. Eger-de amplitudalaryň ýanyndaky koeffisientlerden düzülen opredelitel nola deň bolsa, onda a_1, a_2 we a_3 amplitudalaryň noldan tapawutly bolmagy mümkin.

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11}m_1 - 1/w^2 & \delta_{12}m_2 & \delta_{13}m_3 \\ \delta_{21}m_1 & \delta_{22}m_2 - 1/w^2 & \delta_{23}m_3 \\ \delta_{31}m_1 & \delta_{32}m_2 & \delta_{33}m_3 - 1/w^2 \end{vmatrix} \quad (50)$$

Belli bolan Sarrýusyň şertine bagly şu opredeliteli açsak onda $1/w^2$ görä, üçünji derejeli bir deňleme alynýar. Olam çözülende w ýygylygyň üç sany polojitel ululygyny berer.

Her bir tapylan w kesgitlenen bir deňlemeler sistemasy degişli. Olary çözüp yrgyldylaryň amplitudalarynyň arasyndaky gatnaşyklary tapmak mümkin.

Nola deňlenen ýygylyklar opredeliteliniň umumy görnüşini (n erkinlik derejesi bolan sistema üçin) aşakdaky ýaly ýazylýar.

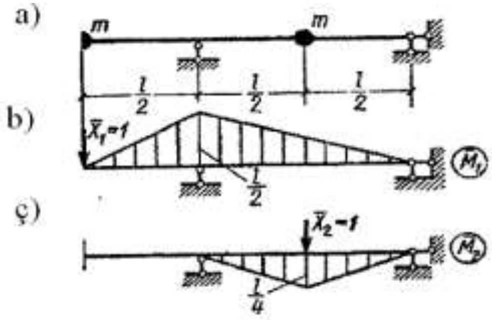
$$D = \begin{vmatrix} (\delta_{11}m_1 - 1/w^2),\ \delta_{12}m_2, \ldots, \delta_{1n}m_n \\ \delta_{21}m_1,\ (\delta_{22}m_2 - 1/w^2), \ldots, \delta_{2n}m_n \\ \delta_{n1}m_1,\ \delta_{n2}m_2, \ldots, \delta_{nn}m_n - 1/w^2 \end{vmatrix} = 0 \qquad (51)$$

Ikinji derejeli iň bolmanda , üçünji derejeli (n=2 ýa-da n=3) opredelitel açylandan soň alynan ýygylyklar deňlemesini çözüp bolýar. Eger-de n ≥ 3 bolsa, onda onuň çözgüdi kynlaşýar ýa-da çözülmeýçr.

Eger $y_1, y_2, \ldots, y_n$ orunüýtgetmeleriň ugurlary gapdalky δ_{ik} orunüýtgetmeler nol bolar ýaly saýlanan bolsa, onda diferensial deňlemeler sistemasy we oňa degişli ýygylyklar deňlemeleri (diňe baş orunüýtgetmelerini içine alýan) aýratyn deňlemelere dargaýarlar. Bu ýagdaýa degişli $y_1, y_2, \ldots, y_n$ orunüýtgetmelere baş koordinatalar diýilýär. Olara degişli yrgyldylar formasyna bolsa baş formalar diýilýär. Yrgyldylaryň baş formalary bir-birinden aýry-aýry bolýar. Olaryň her biri özraýyna kesgitlenen ýygylyklary bilen ýäze çykýarlar. Olar şeýle formula arkaly aňladylýar.

$$w_i = 1/\sqrt{\delta_{ii}m_i} \qquad (52)$$

Bu formula, özüniň gurluşy boýunça, bir erkinlik derejesi bolan sistemanyňky ýalydyr.



Galyberse-de erkinlik derejesi iki-üçden köp bolan sistema üçin baş koordinatalary saýlamak umuman has kynrak. Iki erkinlik derejesi bolan sistema üçin bu mydama mümkin bolýar ekeni.

Massalary simmetriki ýerleşen simmetriki üçin yrgyldylar formasynyň simmetriki we terssimmetriki bolmagy mümkin. Olaryň inersiýa güýçleri simmetriki we terssimmetriki bolýar. Şeýle bolsa, olaryň orunüýtgetmeleri jübt simmetriki we terssimetriki birlik güýçlerden baglanşdyrýan gapdal orunüýrgetmeleri gruppalaýyn hasaplanýarlar. Simmetriki we terssimmetriki inersiýa güýçlerini baglanşdyrýan gapdal orunüýtgetmeler nola öwrülýärler.

Bu ýygylyklar deňlemeleriniň iki sany özbaşdak deňlemelere dargamagyna getiýär. Olaryň biri simmetriki yrgyldylarynyň ýygylygyny, beýlekisi bolsa terssimmetriki yrgyldylaryň ýygylygyny tapmaga mümkinçilik berýär.

Gruppalaýyn orunüýtgetmeler jübt birlik güýçler arkaly tapylýanlygy üçin, her bir degişli massa deňlemelere ½ koeffisiýent bilen girmeli.

Mysal 1. iki sany nokatlanç massasy (bir-birine deň) bolan agramsyz konsal balkanyň erkin yrgyldylarynyň ýygylyklaryny kesgitlemeli.

$$m = Q/g = 0,5/9,81 = 0,051\ t.g.s^2/m;\ \ EI = 2000\ t.g.sm^2;\ \ \ell = 4,0\ m$$

çözüwi (surata seret):

Birlik güýçlerden gurulan egreldiji momentleriň (M_1; M_2) epýurlaryny köpeldip, birlik güýçlerden *($x_1 = 1$, $x_2 = 1$)* dörän orunüýtgetmeleri (δ_{ii}) hasaplaýarys:

$$\delta_{11} = 1/EI(\ell\bullet\ell\bullet2\bullet\ell/2\bullet2\bullet2\bullet3\bullet2 + \ell\bullet\ell\bullet2\bullet\ell/2\bullet2\bullet3\bullet2) = \ell^3/EI$$

bu ýerde $$\delta_{11} = \int_S (M_1M_1)dS/EI$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = -\ell\bullet\ell\bullet\ell/4\bullet2\bullet4EI = -\ell^3/32EI$$

bu ýerde $$\delta_{12} = \delta_{21} = \int_S (M_1M_2)dS/EI$$

$$\delta_{22} = 2(\ell\bullet\ell\bullet2\bullet\ell/4\bullet2\bullet2\bullet3\bullet4) = \ell^3/48EI$$

bu ýerde $$\delta_{22} = \int (M_2M_2)dS/EI$$

Tapylan koeffisiýentler bilen opredelitel düzýäris we ony nula deňleýäris:

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11}m - 1/w^2; & \delta_{12}m \\ \delta_{21}m; & \delta_{22}m - 1/w^2 \end{vmatrix} = 0, \quad \text{ýa-da}$$

$$D = \begin{vmatrix} \ell^3m/8EI - 1/w^2; & -\ell^3m/32EI \\ -\ell^3m/32EI; & \ell^3m/48EI - 1/w^2 \end{vmatrix} = 0$$

Opredeliteli açyp, 1/w2 görä kwadrat, ýygylyklar deňlemesini alarys:

$$(\ell^3 m/8EI - 1/w^2)(\ell^3 m/48EI - 1/w^2) - (\ell^3 m/32EI)^2 = 0, \quad ýa\text{-}da$$

$$(1/w^2)^2 - 7\ell^3 m/48EI \cdot 1/w^2 + 5\ell^6 m^2/30702E^2I^2 = 0.$$

Kwadrat deňlemäni çözüp, taparys:

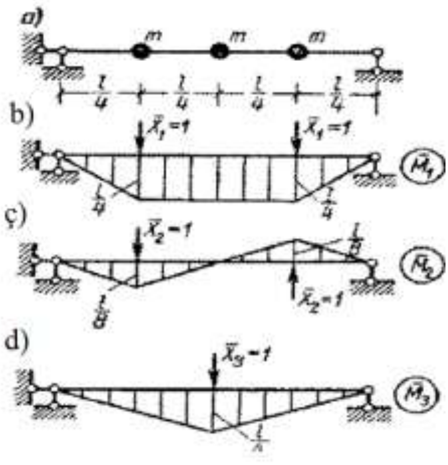
$$1/w^2 = 7\ell^3 m/96EI \pm \sqrt{(7\ell^3 m/96EI)^2 - 15/49(7\ell^3 m/96EI)^2} =$$

$$= 7\ell^3 m/96EI(1 \pm 0{,}835);$$

$$1/w_1^2 = \ell^3 m/7{,}48EI; \quad w_1 = 2{,}74\sqrt{EI/\ell^3 m} = 2{,}74\sqrt{2000/4^3 \cdot 0.051} = 68.5\ s^{-1};$$

$$1/w_2^2 = \ell^3 m/83{,}2EI; \quad w_2 = 9{,}12\sqrt{EI/\ell^3 m} = 9.12\sqrt{2000/4^3 \cdot 0{,}051} = 228\ s^{-1};$$

Mysal 2. Suratda görkezilişi ýaly ýerleşdirilen, üç sany deň nokatlanç massalary bolan, balkanyň erkin yrgyldylarynyň ýygylygyny kesgitlemeli. Balkanyň gatylygy *EI.*



Sistema we ýerleşdirilen massalar simmetriki bolanlygy üçin, meseläni simmetriýany hasaba alyp çözýäris. Birlik inersiýa güýçlerinden egreldiji momentleriň epyurlaryny gurýarys. Epýurlary köpeldip orunüýtgetmeleri tapýarys:

$$\delta_{11} = 1/EI(\ell \cdot \ell \cdot 4 \cdot \ell/4 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 + \ell \cdot \ell \cdot \ell/4 \cdot 2 \cdot 4) = \ell^3/24EI;$$

$$\delta_{22} = 2/EI(\ell \cdot \ell \cdot 2 \cdot \ell/4 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4) = \ell^3/48EI;$$

$$\delta_{33} = 4/EI(\ell \cdot \ell \cdot 2 \cdot \ell/8 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 8) = \ell^3/192EI;$$

$$\delta_{13} = 1/EI(\ell \cdot \ell \cdot 2 \cdot \ell \cdot 2/8 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 + 3\ell \cdot \ell \cdot 2 \cdot \ell/8 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4) = 11\ell^3\,384EI;$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = 0$$

Iki güýçden bolan, toparlaýyn X_1 güýçden döreýän orunüýtgetme dikeldilen bolany üçin degişli massalary ½ koeffisiýent bilen girizin simmetriki yrgyldylar üçin opredelitel düzýäris:

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11}m/2 - 1/w^2\,; & \delta_{12}m \\ \delta_{21}m/2\,; & \delta_{22}m - 1/w^2 \end{vmatrix} = 0. \qquad \text{ýa-da}$$

$$D = \begin{vmatrix} \ell^3 m/(2 \cdot 24EI) - 1/w^2\,; & 11\ell^3 m/384EI \\ 11\ell^3 m/(2 \cdot 384EI)\,; & \ell^3 m/48EI - 1/w^2 \end{vmatrix} = 0.$$

Opredelitel açyp $1/w^2$ görä kwadrat bolan ýygylyklar deňlemesini alarys:

$$(\ell^3 m/48EI - 1/w^2)^2 - [1/2(11\ell^3 m/384EI)]^2 = 0. \qquad \text{ýa-da}$$

$$(1/w^2)^2 - (\ell^3 m/24EI)1/w^2 + 7/2(\ell^3 m/384EI)^2 = 0.$$

Deňlemäni çözüp, tapýarys:

$$1/w^2 = \ell^3m/48EI \pm \sqrt{(8\ell^3m/384EI)^2 - 7/2(\ell^3m/384EI)^2} =$$

$$= \ell^3m/384EI(8 \pm 7,78);$$

$$1/w_1^2 = 15,78\ell^3m/384EI = \ell^3m/24,35EI;$$

$$w_1 = \sqrt{24,35EI/\ell^3m} = 4,98\sqrt{EI/\ell^3m};$$

$$1/w_3^2 = 0,22\ell^3m/384EI = \ell^3m/1745EI;$$

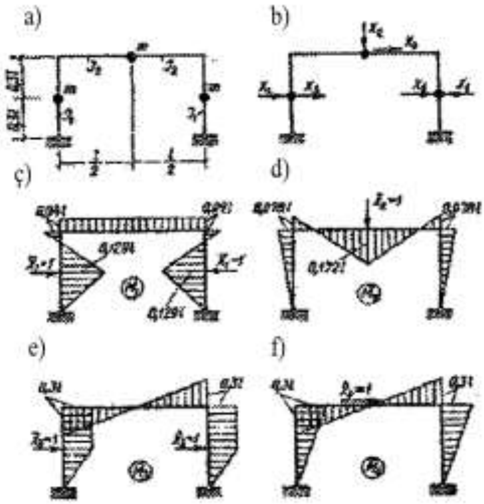
$$w_3 = \sqrt{1745EI/\ell^3m} = 42\sqrt{EI/\ell^3m}\,.$$

Ters simmetriki yrgyldylar üçin ýygylyklar deňlemesi.

$$\delta_{22}m/2 = 1/w_2^2 = 0;$$

$$w_2 = \sqrt{2/\delta_{22}m} = \sqrt{2 \cdot 192EI/\ell^3m} = 19,6\sqrt{EI/\ell^3m}$$

Mysal 3. Suratda görkezilen, üç sany, bir-birine deň bolan, nokatlanç massaly ramanyň öz yrgyldylarynyň ýygylygyny kesgitlemeli ($h = 0,6\ell$, $I_2/I_1 = 1,5$). Ramanyň simmetriýasyny ulanyp onuň hasaplamasyny ýerine ýetirýäris.



Birlik güýçlerden egreldiji momentleriň epýurlaryny gurup, orunüýtgetmeleri kesgitleýäris:

$$\delta_{11} = 0{,}0118\ell^3/EI_i;\quad \delta_{12} = \delta_{21} = -0{,}00352\ell^3/EI_i;\quad \delta_{22} = 0{,}00738\ell^3/EI_i;$$

$$\delta_{33} = 0{,}0447\ell^3/EI_i;\quad \delta_{34} = \delta_{43} = 0{,}0695\ell^3/EI_i;\quad \delta_{44} = 0{,}056\ell^3/EI_i$$

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11}m/2 - 1/w^2; & \delta_{12}m \\ \delta_{21}m/2; & \delta_{22}m - 1/w^2 \end{vmatrix} = 0$$

Simmetriki yrgyldylar üçin deňlemeler sistemasynyň opredeliteliniň görnüşi:

Opredeliteli açyp ýygylyklar deňlemesini alarys.

$$m^2/2(\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2) - m/w^2(\delta_{22} + \delta_{11}/2) + 1/w^4 = 0$$

Hasaplanan orunüýtgetmeleriň bahalaryny ýerinde goýup, deňlemäni çözüp, simmetriki yrgyldylaryň ýygylyklaryny alarys:

$$w_1 = 10{,}57\sqrt{EI_i/\ell^3 m};\quad w_2 = 17{,}3\sqrt{EI_i/\ell^3 m}$$

Terssimmetriki yrgyldylaryň opredeliteli:

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{33}m/2 - 1/w^2; & \delta_{34}m \\ \delta_{43}m/2; & \delta_{44}m - 1/w^2 \end{vmatrix} = 0$$

Ýygylylar deňlemesi:

$$m^2/2(\delta_{33}\delta_{44} - \delta_{34}^2) - m/w^2(\delta_{44} + \delta_{33}/2) + 1/w^4 = 0$$

Deňlemäni çözüp, terssimmetriki yrgyldylaryň ýygylyklaryny kesgitleýäris:

$$w_3 = w_{min} = 3{,}14\sqrt{\frac{EI_i}{l^3 m}}:\qquad w_4 = 33{,}43\sqrt{EI_i l^3 m}:$$

Balkalardan tapawutlylykda, ramalaryň dürli formaly yrgyldylar ýygylyklarynyň bir-birine ýakyn bolup biljekdigini göz öňünde tutmaly. Şol wagtyň özünde ikeldilen rezonansyň bolaýmagy mümkin. Desga üçin bu örän uly howpy döredýär.

Käbir halatlarda opredeliteliň açylmagy üçinji derejeli ýa-da ýokary derejeli ýygylyklar deňlemesine getirýär. Şu halatlarda, şular ýaly deňlemeleriň köklerini kesgitlemek üçin grafiki usuly ulanmak mümkin. Şonuň üçin göniburçly koordinatalar sistemasynyň gorizontal oky boýunça $1/w^2$ dürli bahalary goýulýar dik oky boýunça ýygylyklar deňlemeleriniň hemme çlenleriniň jemleriniň bahalary goýulýar. Grafigiň nolluk nokatlarynyň abssissalary gözlenýän $1/w^2$ bahalaryny bererler.

Köp erkiplik derejeli sistemalaryň erkin yrgyldylarynyň ýygylyklaryny tapmak üçin başga (orunüýtgetmeler) usuly hem ulanmak mülekin. Onuň üçin inersiýa güýçleri orunüýtgetmeler funksiýalary hökmünde aňladylýar. Mysal üçin, suratda görkezilen üç erkinlik derejesi bolan sistema üçin, m_1, m_2 we m_3 massalaryň inersiýa güýçleri şeýle aňladylýar:

$$-m_1 y_1'' = y_1 r_{11} + y_2 r_{12} + y_3 r_{13};$$

$$-m_2 y_2'' = y_1 r_{21} + y_2 r_{22} + y_3 r_{23};$$

$$-m_3 y_3'' = y_1 r_{31} + y_2 r_{32} + y_3 r_{33}.$$

Nokatlanç massalaryň goýulan ýerlerinde (kesiklerinde), öňküler ýaly, birlik orunüýtgetmelerden r_{11}, $r_{12} = r_{21}$, $r_{13} = r_{31}$, r_{22}, $r_{23} = r_{32}$, r_{33} reaksiýalar hasaplanýar.

Orunüýtgetmeler üçin we olaryň ikinji proizwodnylary üçin (47) we (48) aňlatmalar güýjinde galýarlar. Olar soňky deňlemelerde ýerinde goýulýarlar. Netijede birjynsly deňlemeler sistemasy emele gelýär:

$$(r_{11} - m_1 w^2)a_1 + r_{12}a_2 + r_{13}a_3 = 0;$$

$$r_{21}a_1 + (r_{22} - m_2 w^2)a_2 + r_{23}a_3 = 0;$$

$$r_{31}a_1 + r_{32}a_2 + (r_{33} - m_3 w^2)a_3 = 0.$$

Bu deňlemäniň koeffsentlerinden kesgitleýji düzip, ony açyk,sistemanyň öz yrgyldylarynyň ýygylyklaryny tapyp bolýar.

Şu prinsip arkaly islendik n erkinlik derejeli sitemanyň öz yrgyldylarynyň ýygylyklaryny tapmak mümkin.

Berlen sistema üçin, ulanylan şu usul, ýygylyklar sistemasynyň yzygiderliligi ýalydyyr.

Statiki güýçleriň täsirine ramany hasaplamak üçin reaksiýalar tablisasyny ulanyp bolýar. Nokatlanç massaly steržiniň hasaplamalarynda köplenç reaksiýalar tablisasyny ulanyp bolanok. Şonuň üçin nokatlanç massa goýulan steržiniň reaksiýalaryny orunüýtgetmeleriň üsti bilen kesgitlemeli bolýar.

Şol sebäpli berlen usul, öňki seredilen usula görä, kynyrak görinýär.

10.9 Yrgyldylaryň esasy tonunyň ýygylygyny takmyn bahalamak

Ýokarda görkezilişi ýaly, sarsdyryjy güýç täsir etýän islendik erkinlik derejesi bolan sistemanyň hasaplamasy bu sistemanyň erkin yrgyldylarynyň ýygylygyny tapmagy talap etýär. Ol hem ýygylyklar deňlemesini düzmeklik we ony çözmeklik bilen bagly. Erkin yrgyldylaryň hemme ýygylyklaryny kesgitlemek köp halatda artykmaç bolýar. Diýmek, diňe birinji ýygylygy ýa-da iň pes ýygylygy kesgitlemek ýeterlik ekeni. Mysal üçin, asudalygy bozujy ýüküň ýygylygy konstruksiýanyň özüniň yrgyldylarynyň birinji ýygylygyndan pes bolan ýagdaýynda munuň bolmagy mümkin, diýmek has ýokary ýygylykly rezonansyň bolmagy mümkin däl. Birinji ýygylygy tapmak üçin, wekowoý deňlemäniň çözgüdini talap etmeýän we ýönekeýräk hasaplamalara getirýän dürli takmyn usullary ulanmak mümkin.

Ýygylyklar deňlemesiniň opredeliteliniň häsiýetlerinden ugur alyp, prof. A.F. Smirnow yrgyldylaryň esasy tonunyň ýygylygynyň bolaýjak aralygynyň predellerini kesgitledi. Bu predellere w_{min} ýygylygyň ikitaraplaýyn bahasy diýilýär we olary aşakdaky görnüşde ýazmak mümkin:

$$1/\sqrt[4]{B_2} < w_{min} < \sqrt{B_1/B_2} \quad B_1 = \Sigma\delta_{ii}m_i; \; B_2 = \Sigma\delta_{ii}^2 m_i^2 + 2\Sigma\delta_{ik}^2 m_i m_k$$

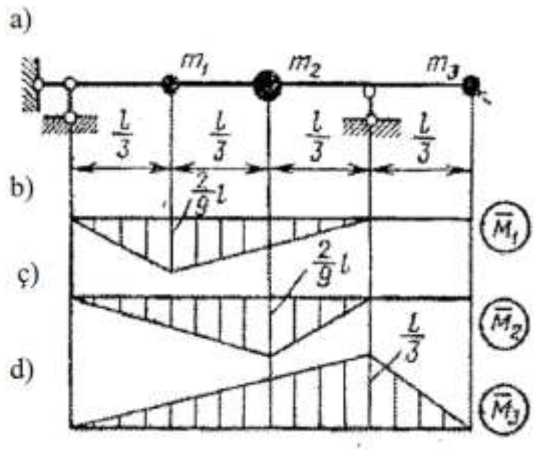
Bu ýerde δ_{ii} we δ_{ik} - m_i we m_k nokatlanç massalarynyň goýulan nokatlarynda goýulan birlik güýçlerden sistemanyň esasy we degişli gapdal orunüýtgetmeleri.

Goşup jemlemek hemme massalara we olara degişli sistemanyň orunüýtgetmelerine degişli bolýar.

Mysal. Suratda görkezilen balkanyň erkin yrgyldylarynyň pes ýygylygyny kesgitlemeli.

$m_2 = 2m_1$ $\qquad m_r = m_1 = m$

Balkanyň gatylygy *EI*



Birlik güýçlerden gurulan epýurlardan orunüýtgetmeleri tapýarys.

$$\delta_{11} = \delta_{22} = 8\ell^3/486EI; \quad \delta_{22} = 7\ell^3/486EI; \quad \delta_{13} = -8\ell^3/486EI;$$

$$\delta_{23} = -10\ell^3 m/486EI; \quad \delta_{33} = 24\ell^3/486EI$$

Parametriň bahalaryny (53 formulalardaky) tapýarys

$$B_1 = \delta_{11}m_1 + \delta_{22}m_2 + \delta_{33}m_3 = 8\ell^3 m/486EI + 8\ell^3 2m/486EI +$$

$$+ 24\ell^3 m/486EI = 48\ell^3 m/486EI;$$

$$B_2 = \delta_{11}{}^2 m_1{}^2 + \delta_{22}{}^2 m_2{}^2 + \delta_{33}{}^2 m_3{}^2 + 2(\delta_{12}{}^2 m_1 m_2 + \delta_{23}{}^2 m_2 m_3 +$$

$$+ \delta_{13}{}^2 m_1 m_3) = (8\ell^3 m/486EI)^2 + (8\ell^3 2m/486EI)^2 + (24\ell^3 m/486EI)^2 +$$

$$- 2[(7\ell^3/486EI)^2 m2m + (10\ell^3/486EI)^2 2mm + (8\ell^3/486EI)^2 mm] =$$

$$= 1620(m\,\ell^3/486EI)^2.$$

Gözlenýän ýygylyk tapylan aralykda bolmaly:

$$w_{min} > 1/\sqrt[4]{B_2} = 1/\sqrt[4]{1620(m\,\ell^3/486EI)^2} = 3{,}48\sqrt{EI/m\ell^3};$$

$$w_{min} < \sqrt{B_1/B_2} = \sqrt{48\ell^3 m/486EI\,/\,1620(m\,\ell^3/486EI)^2} =$$

$$= 3{,}70\sqrt{EI/m\ell^3};$$

Ýygylygyň ortaça bahasy $w_{min} = 3{,}59\ \sqrt{EI/ml^3}$

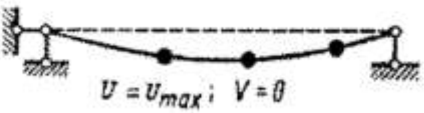
10.10 Erkin yrgyldyly sistemalaryň ýygylyklaryny kesgitlemeleriň energetiki usuly

Mälim bolşy ýaly, energiýanyň saklanmak kanunyna görä, yrgyldan sistemanyň (kesilmä baglanşykly ýitgileri hasaba almazdan), potensial (U) we kinetiki (V) energiýalarynyň jemi hemişelik ululyk bolýar, (ýa-da) diýmek

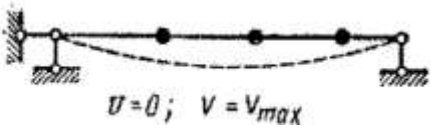
$$U + V = const \qquad (54)$$

Yrgyldylaryň her bir siklinde energiýa bir görnüşden beýleki görnüşe geçýär. Statiki deňagramlaşykdan çykarylan massa iň uly gyşarma eýe bolan pursatynda potensial energiýa özi üçin iň uly bahasyna eýe bolýar. Tizlik bilen kinetiki energiýa bolsa nola çenli azalýar. (surata seret)

a)



b)



Massany statiki deňagramlaşma ýagdaýyndan geçen pursatynda defarmasiýanyň potensial energiýasy (statiki deňagramlaşyk ýagdaýyndaky bilen deňeşdireniňde potensial energiýanyň ösüşin) nula deň, kinetiki energiýa bolsa özüniň iň uly bahasyna ýetýär (V_{max}) (surata seret).

Potensial we kinetik energiýalaryň iň kiçi bahalarynyň nula deň bolýalygy sebäpli, (54) şerte görä:

$$U_{max} = V_{max} \quad (55)$$

bolýar diýen netije çykaryp bolýar.

Bu deňlemä energiýalaryň aňlatmalaryny ýerinde goýsak, onda bu deňleme yrgyldylaryň ýygylyklaryny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Eger yrgyldylaryň formulasy, diýmek maýyşgak egrelen okun görnüşi öňünden bize belli bolan bolsady, onda (55) deňleme meseläniň hakyky çözüwine elterdi.

Meseläniň takmyn çözgüdi üçin dinamiki maýyşgak çyzygyny kabul etmek bolar, ýa-da bolmasa araçäk şertlerini kanagatlandyrýan duran tolkunuň egri çyzygyny Y=f(x).

Islendik deňleme arkaly kabul etmek mümkin. Mysal üçin goýulan massalara kybapdaş bolan statiki güýçler täsir edendäki steržiniň egrelen okunyň deňlemesini bermek bolar. Soňky usul iň pes ýygylyk kesgitlenende ulanylýar. Egri maýyşgak çyzygyň formulasy bizi gyzyklandyrýan ýygylykly yrgyldylaryň formulasyna ýakyn boldugyça şonçada gözlenýän ýygylyk takyk kesgitlenende öz gezeginde, energetiki usul boýunçz, hasaplanan ýygylyk, hakykysyndan ýokary bolar. Nokatlanç massaly sterženiň, egrelme deformasiasynyň potensil energiýasyny, orunüýtgetmelerdäki (Y_1) daşky

$$Q_i = m_{gi}$$

güýçleriň işiniň üsti bilen aňlatmak mümkin:

$$U_{max} = 1/2 \sum_{0}^{n} Q_i Y_i = g/2 \sum_{0}^{n} m_i y_i \qquad (56)$$

n-massalaryň sany

Kinetik energiýanyň iň uly ululygyny kesgitlemek üçin tizligiň iň uly bahasyny tapmaly. Şonuň üçin (20) aňlatma görä islendik massanyň tizligi her bir pursatda şeýle aňladylýar diýip kabul edeliň:

$v_i = y_i\, w \cos (wt + \varphi_0)$

iň uly, $\cos(wt + \varphi_0)=1$ pursata kybapdaş tizlik,

$$v_{max} = y_i\, w$$

gözlenilýän kinetiki energiýa:

$$V_{max} = 1/2 \sum_{0}^{n} m_i v_{i\,max}^2 = w^2/2 \sum_{0}^{n} m_i y_i^2 \qquad (57)$$

V_{max} ululyklaryny deňläp yrgyldylaryň gözlenilýän ýygylygyny kesgitlär ýaly formulany alarys:

$$w = \sqrt{(g \sum_{i=1}^{n} m_i y_i)/\sum_{i=1}^{n} m_i y_i^2} \qquad (58)$$

Ýaýradylan massaly m balka üçin, jemlemek balkanyň uzynlygy boýunça integrirlemek bilen çalşyrylýar.

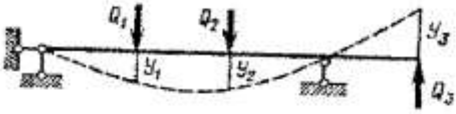
$$w = \sqrt{(g\int_{0}^{e} my\,dx) / \int_{0}^{e} my^2\,dx} \qquad (59)$$

Balkanyň uzynlygy boýunçz m massa hemişelik ululykda bolsa, onda ol integralyň daýyna çykarylýar we şonuň özüne gysgaldylýar. Onda, köküň içinde sanawjyda duran integral egrelmeler epýurynyň meýdanyna deň bolar, maýdalawjydaky integral bolsa, - egrelme ordinatalarynyň kwadratlarynyň epýurynyň meýdanyna deň bolar.

Mysal. Energetiki usuly ulanyp, ýokarda getirilen mysaly çözmeli. Mysalaryň berlen ululyklaryna görä degişli güýçleri tapýarys.

$$Q_1 = Q_3 = Q = mg; \qquad Q_2 = 2Q = 2mg$$

Täsir edýän Q_3 inersiýa güýjiniň ugryny ýokaryk ugrykdyrýarys. Şeýle edilse balkadaky deformasiýalar has uly baha eýe bolýarlar. Balkanyň egrelen oky suratda görkezilen.



$$y_1 = [Q\ell^3/486EI](8 + 2\cdot 7 - 8) = 30\,Q\ell^3/486EI;$$

$$y_2 = [Q\ell^3/486EI](7 + 2\cdot 8 + 10) = 33\,Q\ell^3/486EI;$$

$$y_3 = [Q\ell^3/486EI](8 + 2\cdot 10 + 24) = 52\,Q\ell^3/486EI$$

Egrelmeleri hasaplamak üçin birlik güýçlerden tapylan orun üýtgetmelerini ulanýarys.

Yrgyldylaryň gezekleşýän tonuň ýygylygy formula arkaly tapylýar.

$$w = \sqrt{g(30 + 2\cdot 33 + 52)/(30^2 + 2\cdot 33^2 + 52^2)\cdot 486EI/Q\ell^3} =$$

$$= 3{,}54\sqrt{EI/m\ell^3}$$

10.11 Köp erkinlik derejesi bolan sistemanyň güýçler usuly bilen hasaplamak

Köp erkinlik derejesi bolan maýyşgak sistema garmoniki ýükler täsir edende egreldiji mametlere, kese we boý güýçler hem wagta bagly üýtgeýärler. Olaryň iň uly bahalary (amplitudalary) bolsa asudalygy bozujy güýçleriň ýygylygyna bagly bolarlar. Eger sistema täsir ediji asudalygy bozujy güýçleriň hemmesi şol bir fazada üýtgeýän bolsalar, şol bir Ö ýygylyga eýe bolsalar, onda, inersiýa güýçleri, diýmek, egreldiji mometler, kese we boý güýçler şol bir wagtda iň uly bahalara ýeterler. Köp erkinlik derejesi bolan sistema üçin rezonansyň birnäçe ýagdaýlary bolup biler. Sistemanyň erkin yrgyldylarynyň dürli ýygylyklarynyň gabat gelmegi zerarly ýüze çykýarlar.

Içki güýçleriň we naprýaženiýalaryň amplitudalaryny kesgitlemek, sistemany rezonansa barlamak dinamiki hasaplamalara degişlidir. Şu barlag geçirlende köp halatda erkin yrgyldylaryň esasy tonunyň ýygylygyny kesgitlemek ýeterlikdir.

Bulary güýçler usuly ýa-da orun üýtgetmeler usuly arkaly ýerine ýetirmek bolýar.

11.Steržенleri we sterženler sistemasyny durnuklylyga hasaplamagyň statiki usullary.

11.1 Sterženleriň egilen okunyň differensial deňlemesini gös-göni integrirlemek usuly.

Uçlary şarnirli berkidilen, daşky P boý güýç goýulan,maýyşgak sistemenyň başlangyç deňagramlanşykdan çykarylan , egilen (deformirlenen) görnüşi berlen. Şol bir wagtyň özünde sistema degişli her bir sterženiň egilen oky üçin differensial deňleme düzülýär :

$$EI\, y^{II} = -M_x \qquad (1)$$

bu deňlemäniň takyk matematiki görnüşi

$$EI \frac{y^{II}}{\left[1+\left(y^{I}\right)^2\right]^{3/2}} = -M_x \quad deň \quad (2)$$

Bu deňlemäniň çözgüdinde birnäçe integrirleme hemişeliklerini – her bir sterženüçin ikisini öz içine alýar.

Bu usuluň ulanylyşyny suratlardaky hemişelik EI egilme gatylygy bolan boýuna gysylan, uçlary şarnirli daýançly sterženiň mysalynda seredeliň

Bu sterženP< P_n bolanda ýeketäk –göni-çyzykly deňagramlaşyk halyna eýe bolýar.

Eger $P=P_n$ bolsa ,onda sterženiki görnüşli deňagramlanşyk halynda : göniçyzykly we egreldilen bolýarlar. Öz gezeginde göniçyzykly deňagramlanşyk halynda durnuksyz , egilen deňagramlanşyk halyna durnukly bolýarlar.

Egilen okuň differensial deňlemesini ulanyp P_h deňligini hasaba alyp , islendik x kesikde egreldiji momendi tapalyň

$$M = P_n \cdot y \qquad Onda \qquad Iey = -P_n y$$

Ýa-da $y^{II} + \alpha^2 y$ *bolar.* *(3)*

Bu ýerde:

$\alpha^2 = \frac{P_n}{EI}$ deň ,onda (4) $P_n = \alpha^2 EY$ (5)

Şeýlelik bilen P_n güýji tapmak üçin... deňlemeden α^2 tapmak zerur.

deňlemäniň integraly

$$y = A\sin \alpha x + B\cos \alpha x \qquad (6)$$

deň bolar;

bu ýerde A we B integrirleme hemişelikleri. Şol A we B hemişelikleri kesgitlemek üçin :

$x = 0$ *bolanda* $y = 0;$

$x = l$ *bolanda* $y = 0;$ araçäk şertlerimiz bar.

Birinji araçäk şerti ýerinde goýsak $B=0$ bolar .

Şeýlelik bilen , sterženiň egilen okunyň deňlemesi sinusoida :

$$y = A \sin \alpha x \qquad (7)$$

deň bolýar.

Ikinji araçak şerti ulanyp , taparys

$$0 = A \sin \alpha l \qquad (8)$$

Bu deňligi kanagatlandyrmak üçin iki şert bar:

1). $A=0$ bolanda. Ýöne bu halda steržen durnukly deňagramlanşykda bolýar.

2). $A \neq 0$ bolanda. Bu hal egilen sterženiň deňagramlanşyk halyna degişli bolýar.

Şeýle bolanda $\sin \alpha l = 0$ bolýar.

Bu deňleme seredilýän sterženiň howply halyny aňladýar.

Bu deňlemäniň iň kiçi položitel köki,noldan tapawutly,

$$\alpha l = \pi \text{ ; ýa-da } \alpha^2 = \frac{\pi^2}{l^2} \qquad (9)$$

deň bolup P güýjiň howplylyk çägindäki ulylygyna degişli bolýar.

(5) deňlige α^2 tapylan bahalaryny ýerinde goýup,

$$P_n = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \qquad (10)$$

deň bolan

- uçlarynda şarnirli daýançlary bolan gysylýan sterženüçin Eýleriň formulasyny alarys.

Bu formulany 1744 ýylda (260 ýyl ozalrak) L.Eýler tarapyndan alynypdyr, ýöne ol özüniň ähmiýetini häzirki döwre çenli ýitirenok we maýşgak sterženler sistemalarynyň esasy bolup durýar.

Öňki (7) formuladaky A integrirleme hemişeligiň ululygy kesgitlenilmän galdy. Onuň fiziki ňhmiýetini anyklamak üçin (7) deňlemä

$\alpha = \dfrac{\pi}{l}$ (9) formuladan , we $X = \dfrac{l}{2}$ aňlatmalary goýalyň.

Onda

$y_{max} = f = A$ deňligini taparys.

Görüşimiz ýaly, A- sterženiň uzynlygy boýunça orta arasyndaky kesigiň edrelme deformasiýasy ekeni.

Öz gezeginde sterženiň egilen okuny

$$y = f\sin\frac{\pi x}{l} \qquad (11)$$

görnüşde göz öňüne getirmek bolýar.

11.2 Gysylan sterženiň hasaplama (getirlen) uzynlygy we çeýeligi barada düşünje.

Howply güýjiň ulylygy , şeýle-de şoňa degişli bolan gysylyp durnuklylygyny ýitiren sterženiň egilen okunyň görnüşi sterženleriň uçlarynyň berkidilişine bagly bolýar.

Aşakdaky №1 tablisada bäş görnüşli uçlary berkidilen gysylýan sterženler üçin P_n güýjiň ululyklary getirilen. Tablisadan görnüşi ýaly uçlarynyň berkidilişine görä howply ýükler üçin formulany

$$P_n=\frac{\pi^2 EI}{l_0^2} \qquad (12)$$

Görnüşine getirmek bolýar.

Gysylan sterženiň getirilen uzynlygy baradaky düşünjäni XIX-njy asyryň ahyrlaryna ilkinji professor F.S .Ýasenskiý girizdi.

Getirilen l_0 uzunlygyň formulasyny deňlikden alýarys

$$L_0 = \pi\sqrt{\frac{EI}{P_h}} = \pi\sqrt{\frac{EI}{N_h}}, \qquad (13)$$

Bu ýerde: N_h – berlen steržendäki boü güýjiniň howply ululygy.

Gysylan sterženiň hasaplama uzynlygynyň onuň geometriki uzynlygyna bolan gatnaşygyna hasaplama uzynlygynyň koeffisiýetti diýilýär we μ harpy bilen belgilenýär.

$$\mu = \frac{l_0}{l} \qquad (14)$$

Sterženleriň uçlarynyň bäş tüýsli berkidilişine degişli getirilen l_0 uzynlygyň bahalary tablisada getirilen.

Nazary taýdan μ bahalary 4-nji hal üçin 0,5 $\div\infty$ aralykda üýtgäp bilýär.
Bu halda sterženiň ýokarky ujy düýbinden berkidilmedik, aşaky ujy bolsa şarnirli berkidilen. Adaty bu koffisiýent 2-3 ýokary bolmaýar. Aýdyň görnüşde l_0 we l uzynlyklaryň gatnaşygy göz öňüne getirmek üçin (13) formulany birneme üýtgedeliň.

Şonuň üçin $\frac{\pi^2 EI}{l^2} = N_E$ (15) bilen belläliň.

Onda (13) formulany $l_0 = l\sqrt{\frac{N_E}{N_h}}$ (16)

görnüşinde belläliň, bu ýerde :
N_E – Eýleriň formulasy (10) arkaly boý güýjiniň howply ululygy.
Berlen steržen üçin N_h bilip , şu güýje degişli howply dartgynlylygy kesgitläp bolýar.

$$\sigma_h = \frac{N_h}{A} = \frac{\pi^2 EI}{l_0 A} = \frac{\pi^2 E}{\left(l_0 / \rho\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \qquad (17)$$

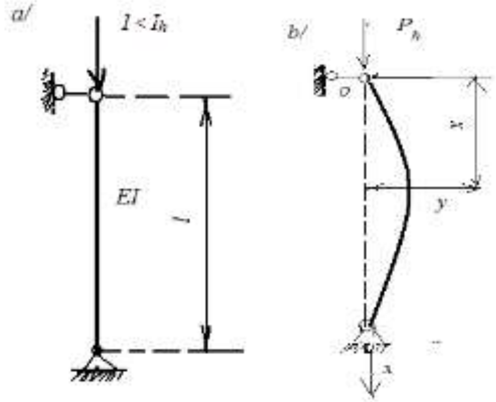
Bu ýerde: $\rho = \sqrt{\frac{I}{A}}$ - sterženiň durnuklylygyny ýitirjilik ugruna degişli kesigiň inersiýa radiusy.

Gysylan sterženiň çeýeligi diýl $\lambda = \frac{l_0}{\rho} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{I}{A}}}$ (18)

gatnaşyga aýdylýar.

11.3 Steržençler sistemasynyň durnuklylygyny hasaplamagyň mysaly.

Mysal №1 1-nji suratda görkezilen dürli gatnaşykly I_1 we I_2 (I_2=kI_1) sütünleriň inersiýa momentleri bolan, şarnirli rigelleri bolan ramanyň a b sütünininiň hasaplama l_o uzynlygyny we P_h – howply ýüküni kesgitläliň.



1-nji surat

Şol ramanyň durnuklylygyny ýitiren pursatynda defotmirleniş
shemasy 1b suratda görkezilen
Şol wagt Şarnirli steržende H güýç ýüze çykýar.

Suratdaky ab gysylan steržen üçin egilen okuň differensial deňlemesi (1) düzeliň. Kordinatalaryň başlangyjyny b nokatda almak amatly.

N_{ab}=N_h deňligini göz öňünde tutyp alýarys :

$$Mx= M_h^0 + N_{ab}\, y = -H\, x+P_h y \qquad (19)$$

Onda sütün üçin (1) deňleme

$$EI_1 y^{II} + P_h y = H\,x \qquad (20)$$

görnüşde bolar.

Ozaldan belli (4) formuladaky ýalydygyny

$$\alpha^2 = \frac{P_h}{EI_1}$$

Hasaba alsak ,onda $P_h = \alpha^2 EI_1$ (21) deň bolýar.

Alynan deňlemäni $y^{II} + \alpha^2 y = \dfrac{H}{EI_1}$ *(22)*

görnüşe getirýäris.

Bu differensial deňlemäniň sag bölegi bilen umumy çözgüdi

$$y = y_0 + y^{II} = A\sin\alpha x + B\cos\alpha x + \frac{H}{\alpha^2 EI_1}x, \qquad (23)$$

görnüşde bolar.

Integrirleme A we B hemişelikleri kesgitlemek üçin aşakdaky araçäk şertlerimiz bar.

$$x = 0 \text{ bolanda } y = 0;$$
$$x = l \text{ bolanda } y^1 = l;$$

Birinji şert boýunça B=0.

Ikinji şerti ulanýarys , onda

$$y^1_{x-l} = 0 = A\alpha\cos\alpha l + \frac{H}{\alpha^2 EI_1} \quad \text{onda} \quad A = -\frac{H}{\alpha^3 EI_1}\cdot\frac{1}{\cos\alpha\cdot l}$$

Indi ab sterženiň egilme oky

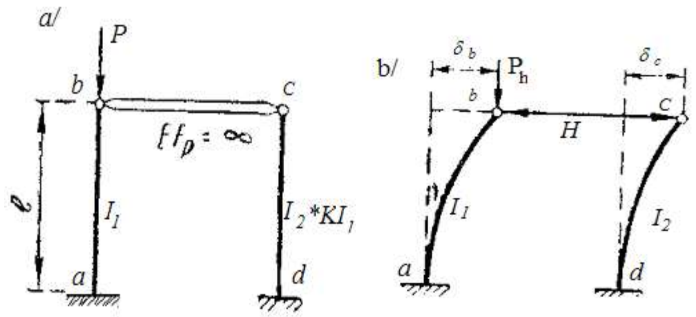
$$y = -\frac{H}{\alpha^3 EI_1}\cdot\frac{\sin x}{\cos\alpha l} + \frac{H}{\alpha^2 EI_1}\cdot x = \frac{H}{\alpha^3 EI_1}\left(\alpha x - \frac{\sin x}{\cos\alpha l}\right), \quad (24)$$

aňlatma arkaly kesgitlenýär.

Bu deňlemede x=l kabul edip, sterženiň ýokary b ujynyň orunüýtgetmesini kesgitleýäris.

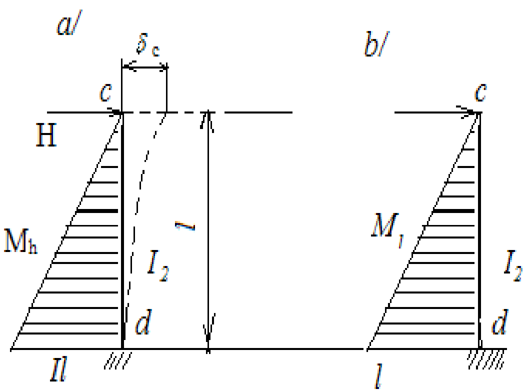
$$\delta = \frac{H}{\alpha^3 EI_1}\left(\alpha l - tg\,\alpha l\right) \qquad (25)$$

Ramanyň howply halynda H we δ_b näbelli bolup durlar. Bu ululyklaryň özarabaglanşykşgyny



2-nji surat

$\delta_b = \delta_c$ şerti ulanyp tapýarys. Moryň adaty formulasy arkaly cd sütüniň



3-nji surat

H güýç täsir edendäki ýokarky ujynyň orunüýtgetmesini kesgitlemek bolýar. Onuň üçin M_H we M_1 epýurlary gurýarys.

Onda

$$\delta_{c} = \int_0^l \frac{M_{H+} \cdot M_{1=}}{EI_2} dx = \frac{\frac{Hl \cdot l}{2} \cdot \frac{2}{3} l}{EI_2} = \frac{Hl^3}{3EI_2}$$

Bu ýerde: $\delta_{c} = \delta_{b}$ hasaba alyp, tapaýrys

$$H = \frac{3EI_2}{l^3} \delta_{b}$$

Indi tapylany ýerinde goýup , soňky deňlamäni alarys :

$\delta_b [\frac{1}{3k} (\alpha l)^3 - \alpha l + tg\alpha l] = 0$, *bu ýerde :* $K = \frac{I_2}{I_1}$

Rama durnuklylygyny ýitiren pursatynda $\delta_{c} \neq 0$ bolýanlygyny hasaba alsak , onda kwadrat skobkanyň içindäki aňlatma nola deň bolmaly :

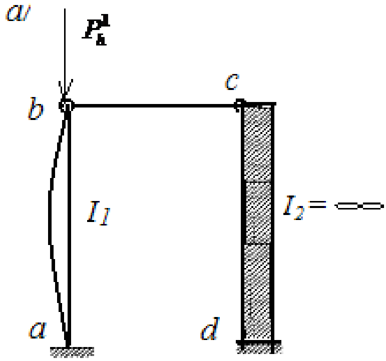
$$\frac{1}{3k} (\alpha l)^3 - \alpha l + tg\alpha l = 0 \qquad (26)$$

Ramanyň howply haly şu transsendent deňleme bilen aňladylýar .

Her bir k – nyň bahasyna görä bu deňlemäniň çözgüdi α parametriň howply bahasyny berer . Olar arkaly P_h howply ýüki keskitlemek bolar .

Alynan (26**)** – njy deňlemäni barlamak maksady bilen , şeýle – de k gatnaşygyň P_h güýje baglylygyny derňemek üçin iki hususy hala seredeliň .

1. $I_2 = 0$ bolsa , onda $k = \frac{I_2}{I_1} = 0$ bolýar



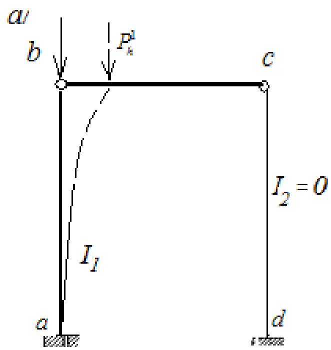
4-nji(a) surat

Bu hal üçin (26) deňleme : -tg αl+αl=∞ görnüşe eýe bolýar . Belli EI_1 ululyklar üçin αl ≠∞ bolýar .
Onda : tgαl=∞ (27) Bu deňlemä αl=$\frac{\pi}{2}$ iň kiçi kök

degişli . Onda: $P_h^1 = x = \dfrac{\pi^2 EI_2}{4I^2}$ (28)

Bu 0 tablisadaky (l_0=2l) bolan II haly kanagatlandyrýar .

2. $I_2 = \infty$ bolsa , onda k=∞



4-nji (b)surat

Bu halda (26) deňleme ýönekeýleşýär we

$$tg\alpha l=\alpha l \qquad (29)$$

görnüşe eýe bolýar .

Bu deňlemäniň iň kiçi köki αl = 4,493 .

Onda :

$$P_n''= \frac{20{,}19EI_1}{l^2} \qquad (30)$$

Bu hal O tablisadan V hala degişli .

Şeýlelik bilen k gatnaşygyň 0 ÷ ∞ aralykda üýtgemegi bilen αl

parametr $\frac{\pi}{2}$ *÷4,493 aralykda* üýtgeýär . Şonuň üçin (26) deňlemäniň umumy çözgüdi yzygider ýakynlaşma arkaly çözülýär .

Deňlemäni :

$$D=\frac{1}{3k}(\alpha l)^3-\alpha l+tg\alpha l=0 \qquad (31)$$

görnüşde ulanmak amatly .

Indi $I_2=\frac{1}{3}I_1$ $(k=\frac{1}{3})$ halyna seredeliň .

Onda (26) deňleme :

$$D=(\alpha l)^3-\alpha l+tg\alpha l=0$$

görnüşe gelýär .

Şu deňlemäni ýakynlaşma arkaly çözsek :

αl=2 bolanok tgαl =2,185 D=+3,375 ;

αl=1,8 bolanda tgαl=4,286 D=-0,250 ;

αl=1,82 bolanda tgαl=-3,93 D=0,250 ;

αl=1,81 bolanda D≈0 bolýar .

Şeýlelik bilen , howply parametr αl=1,81 .

Onda (21) deňlemeden , alarys

$$P_h = \alpha^2 EI_1 = 1{,}81^2 \frac{EI_1}{l^2} = 3{,}28 \frac{EI_1}{l^2}$$

Bu hal üçin (13) formula arkaly a b gysylma sütüniň hasaplama uzynlygy

$$l^0 = \pi \sqrt{\frac{EI_1}{P_h}} = \pi \sqrt{\frac{EI_1 l^2}{1{,}81^2 EI_1}} = 1{,}73l$$

bolar.

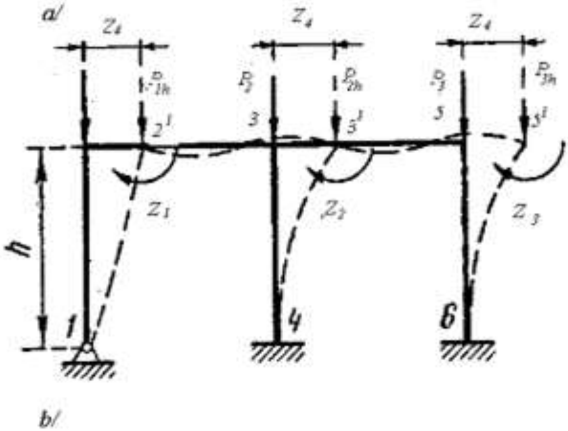
Geçirilen hasaplama görä ab sütüniň boý güýjiniň howply bahasy we onuň hasaplama uzynlygy bütin sistemanyň sütünleriniň gatylyklaryna örän uly baglanşykda bolýanlygyny görkezýär .

11.4 Orun üýtgetmeler (deformasiýalar) usuly . Durnuklylygyň kanoniki deňlemeleri .

Häzirki döwürde ramalary durnuklylyga hasaplamak üçin orunüýtgetmeler esasy bolup durýar .
Mälim bolşy ýaly ramalary berklige hasaplamaly bolanda beýleki (güýçler usuly we başgalar) usullar bilen deňeşdirilende orunüýtgetmeler usuly birnäçe artykmaçlyklara eýedir .
Ol artykmaçlyklar ;

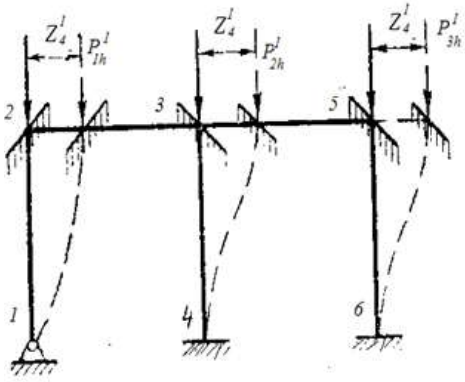
1. Esasy sistemanyň ýönekeýligi ;
2. Kanoniki deňlemeleriň koffitsiýentlerini hasaplamak üçin formulalaryň ýönekeýligi ;
3. Senagat gurluşygynda köplenç ulanylýan ramalaryň karkaslar üçin näbellileriň(deňlemeleriň) sanynyň azlygy .

Orunüýtgetmeler usulynyň şol artykmaçlyklary ramalary durnuklylyga hasaplamaly bolanda hem öz güýjini ýitirmeýär .
Ramalary durnuklylyga hasaplamaly bolanda oňa täsir edýän daşky güýçler düwünlerde bolup , saýlanyp alynýan esasy sistemanyň beýlekilerden tapawutlylygyny görkezýär .
Düwünleýin ýükleri bolan



5-nji (a) surat

(5.a.suratdaky) ramanyň durnuklylygyny ýitirmegi aýratyn elementleriň egilme deformasiýalaryny ýüze çykarmagy bilen häsiýetlendirilýär . Şol wagytda orunüýtgetmeler usulynyň näbellileri hökmünde
Z_1 , Z_2 , Z_3 düwünleriň öwrülme burçlary we olaryň Z_4 çyzyklaýyn orunüýtgetmesi kabul edilýär . Goşmaça berkitmeler arkaly ramanyň düwünleriniň öwrülmwzligini we o çyzyklaryň süýşmez;igini gazanyp orunüýtgetmeler usulynyň esasy sistemasyny alýarys



5-nji (b) surat

Sistemanyň Z_i näbellileri kesgitlemek üçin kanoniki deňlemeler sistemasyny düzýäris . Ramanyň durnuklylygyny ýitirýän pursatyna çenli , düwünlerde goýulan, daşky güýçler esasy sistemanyň goşmaça berkitmelerinde hiç hilli reaksiýalary döretmeýärler , diýmek bilen

$$r_{1p} = r_{2p} = r_{3p} = r_{4p} = 0 \qquad (32)$$

Şonuň üçin bu deňlemeler birjynsly bolýarlar:

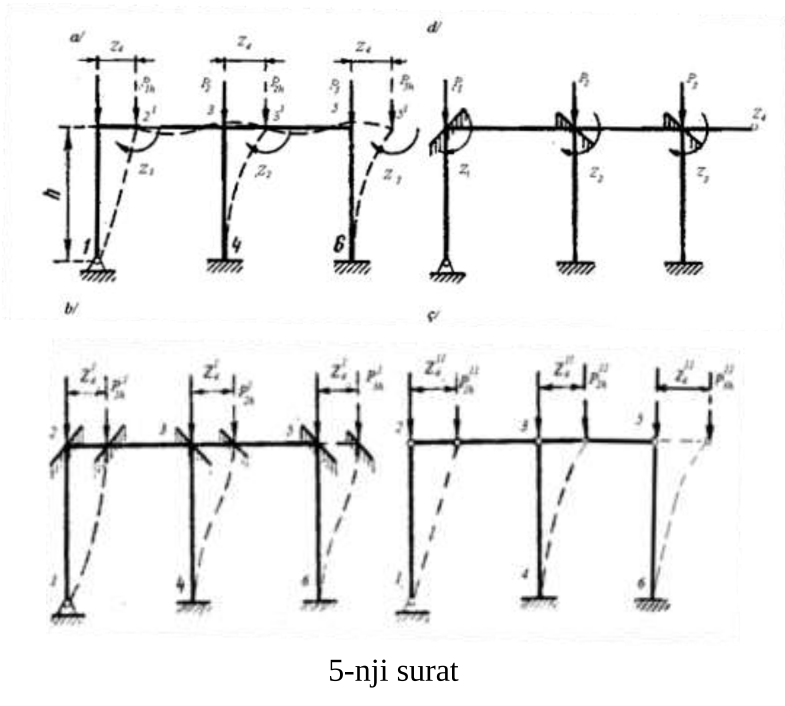
$$\left.\begin{aligned}
\mathbf{Z_1 r_{11} + Z_2 r_{12} + Z_3 r_{13} + Z_4 r_{14} = 0} \\
\mathbf{Z_1 r_{21} + Z_2 r_{22} + Z_3 r_{23} + Z_4 r_{24} = 0} \\
\mathbf{Z_1 r_{31} + Z_2 r_{32} + Z_3 r_{33} + Z_4 r_{34} = 0} \\
\mathbf{Z_1 r_{41} + Z_2 r_{42} + Z_3 r_{43} + Z_4 r_{44} = 0}
\end{aligned}\right\} \qquad (33)$$

Bu deňlemeleriň fiziki manysy islendik goşmaça berkitmedäki reaksiýalaryň jeminiň nola deňligindendir . Bu deňlemeleriň koeffitsiýentleri goşmaça berkitmelerdäki reaksiýalardyr . Olar esasy sistemada aýratyn berkitmeleriň ugruna birlik orunüýtgetmelerden ýüze çykýarlar .

11.5 Gysylan sterženleriň , orun üýtgetmelerinden reaksiýalaryny kesgitlemek .

Esasy sistemanyň goşmaça berkitmelerindäki reaksiýalary keskitlemek üçin , gysylýan sterženlerdäki , birlik öwrülme burçlaryndan we daýançlaryň çyzyklaýyn orunüýtgetmelerinden reaksiýalar üçin formulalary almak zerur Bu meseläni (1) deňligi hasaba almak bilen egilmäniň differensial deňlemesini integrirlemegiň esasynda çözýäris .

Ilki bilen bir ujy gapjalan we beýleki ujy şarnirli berkidilen steržene seredeliň



5-nji surat

Gapjama daýanjy Z_a=1 burça öwrülen ab steržen üçin daýanç güýçlerini tapyp M epýuryny gurýarys . Sterženiň egilen x we y oklarynyň (5.a. suratda) görkezilen , şol wagytda $> y^{II} < 0$
Şol surata laýyklykda gapjama berkitmesinde reaktiw moment

$$M_a=Hl\,, \qquad (34)$$

Bu ýerde H- daýanç güýçleriniň gorizontal $R_в$ düzüjisi , ýa-da $R_в$ = H diýildigidir .

Şeýlelik bilen meselede H – reaksiýa gözlenilýär .
Islendik x kesikde egreldiji moment :

$$M_x = M_x^0 + N_{ав} \cdot y = H \cdot x + N \cdot y\,.$$

deň bolýar .
Onda bu sütün üçin (1) differensial deňleme :

$$EI \cdot y^{II} + N \cdot y = -Hx \quad \text{görnüşde bolýar .}$$

Bu deňlemäni $+\alpha^2 y = \dfrac{H}{IE}x$ (35)

görnüşde ýazmak bolar , bu ýerde : $\alpha^2 = \dfrac{N}{EI}x$

Deňlemäniň umumy çözgüdi :

$$\boldsymbol{y} = y_0 + \breve{y} = A \sin \alpha x + B \cos \alpha x = -\frac{H}{\alpha^2 EI}x \qquad (36)$$

görnüşde bolýar .
Araçäk şertlerini ulanyp A we B hemişelikleri kesgitleýäris :

$X = 0$ *bolanda* $y = 0$ *bolýar ;*

$X = l$ *bolanda* $y = 0$ *bolýar .*

Şu şertleriň esasynda

$$B = 0 \qquad we \quad A = \frac{HI}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{1}{\sin \alpha l}$$

Onda sterženiň egilen oky üçin :

$$y = \frac{Hl}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{\sin \alpha x}{\sin \alpha x} - \frac{Hx}{\alpha^2 EI} = \frac{Hl}{\alpha^2 EI}\left(\frac{\sin \alpha x}{\sin \alpha l} - \frac{x}{1}\right) \qquad (37)$$

Indiden beýläk H keskitlemek üçin sterženiň ýokarky ujynyň öwrülme burçy

yx =l = Za = -1 .

Bu şert esasynda : $-1 = \frac{HI^2}{\alpha l EI}\left(\frac{1}{tg\,\alpha l} - \frac{1}{\alpha l}\right)$

Onda : $H = \frac{i}{l} \cdot \frac{\upsilon_2 tg\,\upsilon}{tg\,\upsilon - \upsilon}$ (38)

bu ýerde kabul edilen belgiler :

$i = \frac{EI}{l} - ab$ sterženiň birlik uzynlyk gatylygy ; (39)

$$\upsilon = \alpha l = l\sqrt{\frac{N}{EI}} \qquad (40)$$

Tapylan H bahasyny deňlige goýup ,

$M_a = Hl = 3i \cdot \varphi_1(\upsilon)$ (41) bu ýerde :

$$\varphi_1(\upsilon) = \frac{\upsilon^2 tg\,\upsilon}{3(tg\,\upsilon - \upsilon)} \qquad (42)$$

Onda keseligine reaksiýa formula $H = \frac{3i}{l}\varphi_1(\upsilon)$ (43)

bilen aňladylýar.

Bu ýerde $\upsilon = \mathbf{0}$ bolanda (N=0 bolanda) $\varphi_1(\upsilon)$ =1 bolýanlygyny görkezip bolar .

Onda $M_a = 3i$ *we* $H = \frac{3i}{l}$ *deň bolýar .* υ

Haçan parametr $\upsilon > \mathbf{0}$ *bolanda* $\varphi_1(\upsilon) < 1$ *bolýar .*

Bu ýerden görnüşi ýaly gapjama daýanjy bire deň bolan burça öwrülende gapjamanyň reaksiýasy , boýuna gysyjy N güýjiň täsirini hasaba almak bilen , edil şeýle steržendäkiden (N güýjiň täsirini hasaba almazdan) kiçi . Birinji soňkydan $\varphi_1(\upsilon)$ köpeldijisi bilen tapawutlanýarlar . Ol köpeldiji öz gezeginde gysylýan steržendäki kese güýçleriň we egreldiji momentleriň ululygyna boý güýjiniň täsirini hasaba alýar .
Gysylýan sterženiň öwrülendäki momentiniň epýurynyň(5.в.) suratda görnüşi görkezilen . Sterženiň uçlarynyň berkidilşiniň dürli ýagdaýlary üçin gysylýan sterženiň uçlarynda ýüze çykýan birlik orunüýtgetmeleriň başga görnüşlerinde M we H üçin formulalar O tablisada getirilen . Ol tablisada düzediş koeffitsiýentleri üçin aňlatmalar berlen .
Momentleriň epýurlarynyň ordinatalaryna düzediji koeffisiýent bolan

$$\varphi_1(\upsilon)\ ;\ \varphi_2(\upsilon);\quad \varphi_3(\upsilon);\quad \varphi_4(\upsilon);\qquad \frac{\upsilon}{tg\upsilon},\frac{\upsilon}{\sin\upsilon}\quad \text{we}\quad \upsilon\,\mathrm{t}\,\upsilon$$

funksiýalaryň san bahalary , şeýle -de dürli υ bahalary üçin sterženiň uçlarydaky kese H reaksiýalaryň $\eta_1(\upsilon)$ we $\eta_2\upsilon\ (\upsilon)$ funksiýalaryň san bahalary goşudylarda (№1 we №2) tablisalarda getirilen.
Eger sterženiň gysyjy güýji ýok bolsada $\varphi(\upsilon)$ we $\eta(\upsilon)$ funksiýalary bire deň kabul edip tablisany ulanmak bolýar .
Onda :

$$\frac{\upsilon}{tg\upsilon}=1\qquad \frac{\upsilon}{\sin\upsilon}=1\quad \text{we}\quad \upsilon\cdot tg\upsilon=0\ \ \text{bolar .}$$

Şeýle ýagdaýda momentleriň epýurlary göniçyzykly (punktir çyzygy boýunça) bolarlar .

11.6 Orun üýtgetmeler usuly arkaly ramany durnuklylyga hasaplamagyň mysallary

Mysal 2 . Ozal seredilen , $I_2 = \frac{1}{3} I_1$ bolan (7.a. surat) rama üçin howply P_h ýüki we ab sütüniň hasaplama l_0 uzynlygyny kesgitläliň .

Orunüýtgetmeler usuly boýunça bir Z_1 näbelli ol hem ramanyň düwünleriniň gorizontal orunüýtgetmesi . (7,b) shemada esasy sistema görkezilen . Şol shemada sütünleriň birlik $i_1 = \frac{EI}{l_1}$, , $i_2 = \frac{EI}{l_2}$, gatylyklary getirilen .

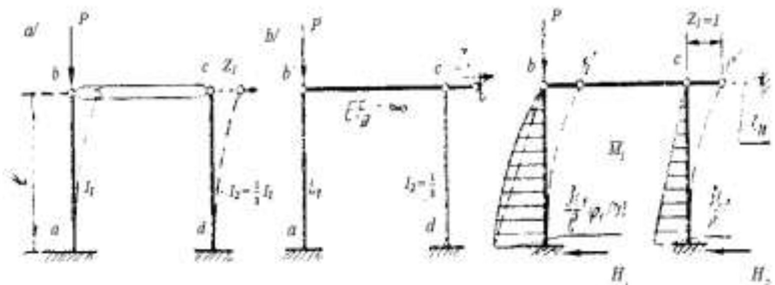
Düwünleriň ýükler üçin υ_i – parametrleri

$$\upsilon_1 = l\sqrt{\frac{P}{EI_1}} = \upsilon; \qquad \upsilon_2 = 0 .$$

Berlen rama üçin durnuklylygyň kanoniki deňlemesi (33) boýunça

$$Z_1 r_{11} = 0$$

görnüşe geler .



7-nji surat

Rama durnuklylygyny ýitirende $Z_1 \neq 0$ sebäpli howply halyň deňlemesi $r_{11} = 0$ görnüşde ýazylýar . Sütünleriň ýokarky uçlarynyň bire deň (Z_1 = 1) çyzyklaýyn orunüýtgetmeden **O** tablisa arkaly guralan $\overline{M}_1$ epýury (7,ç. suratda) görkezilen . Goşmaça gorizontal steržende r_{11} reaksiýa rigeliň deňagramlanşygyndan kesgitlenip bilner (7,g.suratdan) . Sütünleriň ýokarky uçlarynda Z_1 = 1 deň bolanda ýüze çykýan kese reaksiýalaryň jeminden

$$r_{11} = H_1 + H_2 = \frac{3i_1}{l_2}\eta(\upsilon) + \frac{3i_2}{l_2} = 0 .$$

Bu ýerde : $\eta_1(\upsilon) - (\upsilon)_h$ *bagly näbelli funksiýa .*

Soňky deňlemäni $\eta_1(\upsilon)$ *görä* **(** $i_2 = \frac{1}{3} i_1$ *deňligini hasaba alyp)* *çözüp , alarys*

$$\eta_1(\upsilon) = -\frac{i_2}{l_1} - \frac{1}{3} = -0{,}333 .$$

Bu $\eta_1(\upsilon)$funksiýanyň bahasyna (1 – njy tablisadan , goşundydaky) degişli howply parametriň iň kiçi ululyk

$(\upsilon)_h$ = 1,81 .Onda $P_h = \upsilon_h^2 \frac{EI_1}{l^2} = 3{,}28\frac{EI}{l^2}$, formula boýunça :

$l_0 = \frac{\pi}{\upsilon_h} l = \frac{3{,}14}{1{,}81} l = 1{,}731$ bolýar .

Mysal 3 . Suratda görkezilen (8,a.)ramanyň gysylan sütüniň l_r - hasaplama uzynlygyny we ýüküň bahasyny kesgitläliň .

Berlenler:

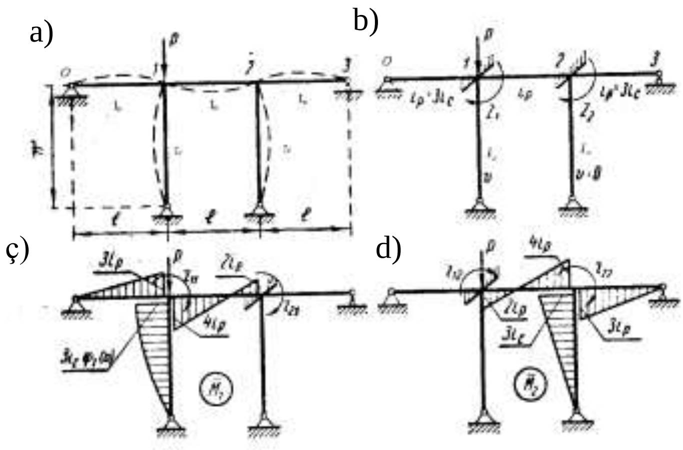
$I_r = 2I_s$ **;** $l = \frac{2}{3} h$. Uzynlyk gatylyklary :

$$i_s = \frac{EI_s}{h}; \qquad i_r = \frac{EI_r}{l} = \frac{EI_s}{\frac{2}{3}h} = 3i_s$$

Suratda(8,b.) orunüýtgetmeler usulynyň esasy sistemasy görkezilen . Sistemada iki

Z_1 we Z_2 düwünleriň öwrülme burçlary – näbelliler .

Bu ramanyň howpply haly :



8-nji surat

$$D = \begin{vmatrix} \mathbf{r}_{11} & \mathbf{r}_{12} \\ \mathbf{r}_{21} & \mathbf{r}_{22} \end{vmatrix} = r_{11} \cdot r_{22} - r_{12}^{2} = 0 \ .$$

Suratda(8,ç.we g.) boý güýçlerini hasaba almak bilen $\overline{M}_1$ we $\overline{M}_2$ birlik epýurlardan

$$r_{11} = 3i_s \varphi_1(\upsilon) + 3i_r + 4i_r = 3i_s[\varphi_1(\upsilon) + 7],$$

bu ýerde : $(\upsilon) = h\sqrt{\dfrac{P}{EI_s}}$; $r_{11} = r_{21} = 2i_r = 6i_s$;

$$r_{22} = 3i_s + 3i_r + 4i_r = 24i_s \ .$$

Tapylanlary ýerinde goýup , alýarys

$$D = 3i_s \ [\varphi_1(\upsilon)] + 7 \ \ 24i_s - 6 \cdot 6i^2_s = 0$$

Onda $\varphi_1(\upsilon) = -6,5$.

Goşundynyň tablisasyndan deňlemäniň iň kiçi kökini υ_h = 4,29 tapýarys .

Onda : $P_h = \upsilon_h^2 \dfrac{EI_s}{h^2} = 1{,}84 \dfrac{EI_s}{h^2}$; $h_0 = \dfrac{\pi}{\upsilon_h} = \dfrac{3{,}14}{4{,}29} h = 0{,}732$

Indi 1 –düwünde goşmaça işjeň berkitme girizip P_n howply ýüki we h_0 hasaplama uzynlygy kesgitläliň .
Goşmaçanyň №2 tablisasyndan V – hal boýunça :

$$P_h^1 = 20{,}19 \frac{EI_s}{h^2} \text{ we } h_0^1 = 0{,}7h$$

Indi **1** – düwünden goşmaça berkitmäni aýyryp iki ujy şarnirli berkidilen sütüni alýarys . Şeýle sütün (№2 tablisadan , 1 – hal boýunça)

$P_h^{II} = 9{,}87 \dfrac{EI_s}{h^2}$ we $h_0^{II} = h$ Şeýlelik bilen :

$P_h^{II} < P_h = P_h^1$ we $. h_0^I < h_o < h$

Mysal 4 . Iki düwüni hem ýüklenen ramanyň sütünleri üçin hasaplama uzynlyklary kesgitlemeli (9a,b,ç,d. surat)
Orunüýtgetmeler usulynyň esasy sistemasynda Z_1 , Z_2 - düwünleriň öwrülmesi , Z_3 çyzyklaryň orunüýtgetme , diýmek iki gezek statiki kesgitsiz sistema .
Düwünleýin ýükler üçin υ parametr

$$\upsilon_1 = \sqrt{\frac{P_1}{EI_1}} = \sqrt{\frac{P\,h}{i}} = \upsilon \qquad \upsilon_2 = h\sqrt{\frac{P_2}{EI_2}} = \sqrt{\frac{0{,}6Ph}{i}} = 0{,}775\upsilon$$

Esasy sistemada $\overline{M}_1$, $\overline{M}_2$ we $\overline{M}_3$ birlik epýurlary gurýarys we degişli koeffitsiýentleri hasaplaýarys

$$r_{11} = 4\varphi(\upsilon) + 4 \cdot 1{,}4;$$

$$r_{21} = r_{12} = 2 \cdot 1{,}4 \;;$$

$$r_{31} = r_{13} = -\frac{\mathbf{6}}{\mathbf{h}}\eta_3(\upsilon);$$

$$r_{22} = 4\varphi(0{,}775\ \upsilon) + 4 \cdot 1{,}4\ ;$$

$$r_{32} = r_{23} = -\frac{\mathbf{6}}{\mathbf{h}}\eta_3(0{,}775\upsilon)\ ;$$

$$r33 = \frac{12}{h_2}\eta_2(\upsilon) + \frac{12}{h^2}\eta_2(0{,}775\upsilon) = \frac{24}{h_2}|\eta(\upsilon)| = +\eta_2(0{,}775\upsilon)$$

Öz gezeginde ramanyň howply halynyň şerti :

$$\begin{vmatrix} 4\varphi_2(\upsilon)+5{,}6 & 2{,}8 & -\frac{6}{h}\eta_2(\upsilon) \\ 2{,}8 & 4\varphi_2(0.775\upsilon)+5{,}6 & -\frac{6}{h}\eta_3(0{,}775\upsilon) \\ -\frac{6}{h}\eta_2(\upsilon) & -\frac{6}{h}\eta_3(0{,}775\upsilon) & \frac{24}{h}[\eta(\upsilon)+\eta_2(0.775\upsilon)] \end{vmatrix}$$

görnüşe gelýär.

Kesgitleýjini açyp υ parametre görä alynan deňlemäni goşmaçanyň 1 –njy tablisasynyň kömegi bilen çözüp , taparys $\upsilon_h = \upsilon_{1h} = 3{,}14$.

Onda : $\upsilon_{2h} = 0{,}775\,\upsilon_{1h} = 0{,}775 \cdot 3{,}14 = 2{,}43$.

Degişli formulalar arkaly sütünleriň hasaplama uzynlyklaryny taparys .

$$h_{0(1)} = \frac{\pi}{\upsilon_{1h}}h = \frac{3{,}14}{3{,}14}h = h \quad h_{0(2)} = \frac{\pi}{\upsilon_{2h}}h = \frac{3{,}14}{2{,}43}h = 1{,}29h$$

Görüşimiz ýaly sütünleriň kese kesikleri bir – birine deň bolsa , onda

sütünleriň uly ýüklisiniň hasaplama uzynlygy gysga bolýar , eger sütün

kiçi ýükli bolsa , onda onuň hasaplama uzynlygy uzyn bolýar .

11.7 Sütünleri basgançakly ramany durnuklylyga hasaplamak.

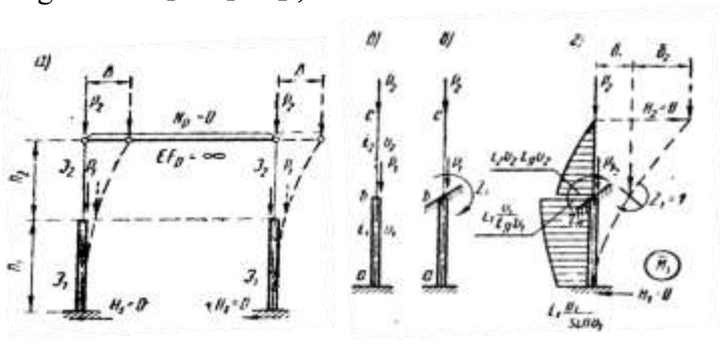
Sütündäki basgançakly ramalar senagat gurluşygynda giňden ulanylýar.

Şeýle ramalaryň ýokarky uçlary rigeller bilen adaty şarnirli birleşdirilýärler ýa-da berk guýma birleşdirilýärler. Birinji birleşdiriliş demirbeton ramalarda ulanylýar. Ikinji birleşdiriliş metal ramalarda ulanylýar.

Mälim bolşy ýaly sütünleri dürli ululykdaky ýükler bilen ýüklenen köp aralykly ramalary takmyn bir aralykly simmetriki ramalaryň hasaplamasyna getirmek mümkin . Şeýle ramalaryň durnuklylygyny ýütirmegi rigelleriň göni süýşmegi we sütün bölekleriniň gyşarmagy bilen häsiýetlendirilýär. Ramanyň sütünleri birmeňzeş şertde bolýarlar, rigellerdäki boý güýçler bolsa nola deň bolýar. Şol ýagdaýy göz öňünde tutup ,indiki hasaplamalarda diňe bir sütüniň durnuklylygyna seretmek ýeterlikdir, Şol sütünleriň ýokarky uçlaryny degişli etmeli (surat).

1-nji hal – sütüniň ýokarky ujy erkin (10.b.surat)

Sütüniň aýratyn bölekleri üçin υ parametrleri we boý güýçleri kesgitläliň: $N_1 = P_1 + P_2$,



10-njy surat

$$\upsilon_1 = h_1\sqrt{\frac{N_1}{EI_1}} = h_1\sqrt{\frac{P_1 + P_2}{EI_1}}; \qquad (44)^{I}$$

Ýokarky bölegi üçin:

$N_2=P_2$, $$\upsilon_2 = h_2\sqrt{\frac{N_2}{EI_2}} = h_2\sqrt{\frac{P_2}{EI_2}}, \qquad (44)^{II}$$

Berlen sütüniň durnuklylyk meselesini orunüýtgetmeler usuly bilen çözmek has amatly.Onda sütünniň howply halynyň deňlemesi

$r_{11}=0,$

görnüşde bolar.

Sütünde diňe dikleýin güýçler täsir edýär,şonuň üçin gorizontal berkitmeler bilen berkidilmeýär.Şonuň üçin durnuklylygyň ýitirilen pursadynda sütüniň ýokarky we aşaky böleklerinde kese güýçler nola deň bolýar, diýmek

$H_1 = H_2 = 0$

Deňlemedäki näbelliniň r_{11} koeffitsiýettini 3-nji tablisanyň 5-nji we 6 –njy formulalaryny ulanmak bolýar. Gurulan

$\overline{M}_1$ epýurdan

$$r_{II} = i_1\frac{\upsilon_1}{tg\,\upsilon_1} - i_2\upsilon_2 tg\,\upsilon_2$$

Kesgitläp seredilýän sütüniň howply halynyň deňlemesi

$$tg\,\upsilon_1 tg\,\upsilon_2 = \frac{i_1}{i_2}\cdot\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} \qquad (45)$$

görnüşde bolar.

Bu transsendant deňlemeleri çözmek üçin i_1/i_2 gatnaşykdan ötri , υ_1 we υ_2 parametrleriň gatnaşygyny hem bilmek zerur. Eger esas hökmünde υ_1 alsak , onda (44) deňlige laýyklykda alarys

$\upsilon_2 = c\ \upsilon_1,$

bu ýerde:

$$c=\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}=\frac{h_2}{h_1}\sqrt{\frac{P_2}{\left(P_1+P_2\right)}}\cdot\frac{I_1}{I_2}\ ; \qquad (46)$$

öz gezeginde (45) deňlik diňe bir näbelli -υ_{1h} howply parametr

$$\operatorname{tg}\upsilon_1\operatorname{tg}\upsilon_2=\frac{i_1}{ci_2} \qquad (47)$$

Bu deňleme goşundydaky 2-nji tablisanyň kömegi bilen yzygider ýakynlaşma arkaly çözülýär.

Ilki bilen υ_{1h} tapyp , sütüniň aşaky bölegi üçin hasaplama uzynlygyny (43) deňlemäni ulanyp kesgitlemek bolýar.

$$h_{0(1)}=\frac{\pi}{\upsilon_{1h}}\cdot h_1$$

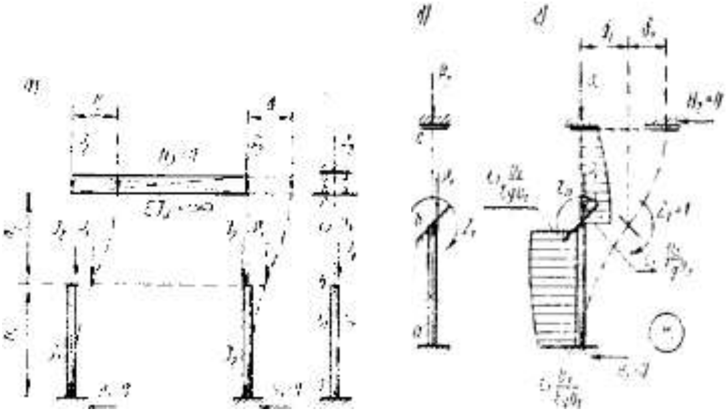
Sütüniň ýokarky bölegi üçin :

$$h_{0(2)}=\frac{\pi h_1}{\upsilon_2 h}=\frac{\pi}{c\upsilon_{1h}}\cdot h_2$$

2- hal – sütüniň ýokatky ujy hereketli gapjalan.Şeýle sütün durnuklylygyny ýitirende (1-nji haldaky ýaly) uçlardaky kese reaksiýalar (aşaky we ýokarky uçlarynda) nola deň bolýar.

$$H_1 = H_2 = 0$$

Şonuň üçin ,esasy sistemany „b“ shema görä kabul edip, meseläni orunüýtgetmeler usuly bilen çözenimizde r_{11} reaksiýasy kesgitlenende 3-nji tablisanyň 6-njy halyny ulanmak mümkin. Birlik $\overline{M}_1$ momendiň epýury ($z_1=1$deň bolanda) (11,g.suratda) görmek bolýar. $\overline{M}_1$ epýuradan alarys



11-nji surat

$$r_{11}=i_1\frac{\upsilon_1}{tg\,\upsilon_1}+i_2\frac{\upsilon_2}{tg\,\upsilon_2}$$

Rama durnuklylygyny ýitiren makaly $r_{11}=0$ bolmaly. Onda howply halyň deňlemesi

$$\frac{tg\,\upsilon_1}{tgc\,\upsilon_2}=-\frac{i_1}{ci_2} \qquad (48)$$

Görnüşde bolar, bu ýerde $c=\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}$, öňkisi ýaly (46) deňlik arkaly kesgitlenilýär.

Mysal 5.Şarnirli – birleşdirilen rigelleri (10 suradyň a. shemasyna görä) bolan simmetriki ramanyň basgançakly sütüniniň her bir böleginiň hasaplanan uzynlygyny kesgitläliň.

Berlenler: $P_1=P_2$; $I_1=8I_2$; $h_1= 2h_2$;

Onda:

$$i_2 = \frac{EI_2}{h_2}; \quad i_1 = \frac{EI_1}{h_1} = \frac{EI_1}{h_1} = \frac{8EI_2}{2h_2} = 4i_2$$

$$\upsilon_2 = h_2\sqrt{\frac{P_2}{EI_2}}; \quad \upsilon_1 = h_1\sqrt{\frac{P_1+P_2}{EI_1}} = 2h_2\sqrt{\frac{2P_2}{8EI_2}} = \upsilon_2$$

Şeýlelik bilen , ramanyň sütünleri üçin

$c = \frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = 1$ onda howply halyň (45) deňlemesi ýönekeýleşip

$$tg\,\upsilon_1 tg\,\upsilon_1 = \frac{i_1}{ci_2} = 4; \quad \mathrm{tg}\,\upsilon_1 = 2$$

görnüşe geler , bu ýerden

$$\upsilon_{1h} = \upsilon_{2h} = 1.11$$

Şeýlelikde sütüniň aýratyn bölekleriniň hasaplanan uzynlyklary

$$h_{0(1)} = \frac{\pi}{\upsilon_{2h}} h_2 = \frac{3,14}{1,11} h_1 = 2,83h_1\,;$$

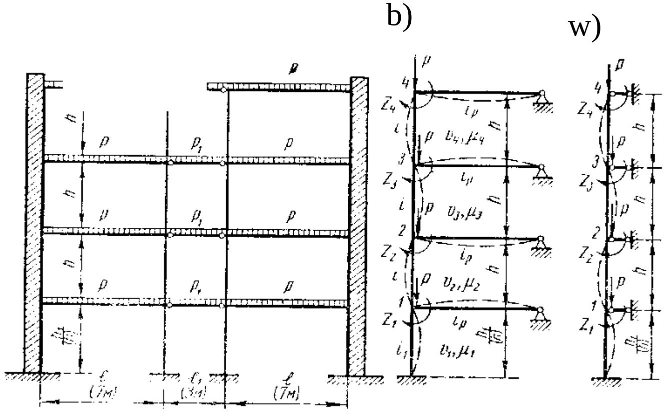
$$h_{0(2)} = \frac{\pi}{\upsilon_{2h}} h_2 = \frac{3.14}{1,11} h_2 = 2,83h_2$$ deň bolar.

11.8 Düwünleri gozganmaýan köpgatly ramalaryň sütünleriniň (kolonnalarynyň) durnuklylygy.

Ini 17-18m üç- dört etažly senagat jaýlarynyň gurluşygynda göteriji diwarlary bilen rama karkaslary giňden ulanylýar.

Şeýle karkasyň (adaty jaýlar üçin) hasaplama shemasy 12,a suratda görkezilen

Şeýle jaýlaryň kese diwarlarynyň arasy 30-40 metrden uly bolmaýar.



12-nji surat

Basdyrmalaryň öz tekizligindäki gatylygyň uly bolýanlygy sebäpli, keseligine ramanyň düwünlerini üýtgewsiz hasap etmek bolýar. Şeýle konstruktiw shema ramalaýyn baglanşykly shema diýilýär.

Köpgatly senagat jaýlarynyň her gatynyň bassyrmalaryna adaty normatiw bir ulylykdaky (hasaplama)“P“ güýç goýulýar.Şonuň üçin görkezilen ramanyň diňe bir aralygyny durnuklylyga hasaplamak ýeterlik bolýar. (surat 12,b.“shema).Şeýle ramanyň durnuklylygy ýitirmegi düwünleriň näbelli z_i burça öwrülmegi bilen häsiýetlendirilýär (i=1,2,3,4).Ramanyň sütünlerindäki boý güýçleri kesgitlemek üçin orunüýtgetmeler usulynyň dördünji derejeli kesgitleýjisini düzmeli we açmaly.

Eger çetki (esasy) aralyklaryň rigelleri sütünler bilen şarnirli birikdirilen bolsalar, onda „b“ görnüşli aralyk gaty daýançlary bolan iki özbaşdak sütünleri alarys. Eger rigelleriň egilme gatylyklaryny i_p=0 nola deň kabul edip „b“ görnüşli rama üçin düzülen deňlemelerden şeýle sütün üçin durnuklylyk deňlemesini almak bolýar.Şonuň üçin 12 suratda getirilen „b“ görnüşli köpgatly sütün üçin durnuklylyga hasaplamagyň aratapawudy bolmaýar. Birinji sistema üçin sütünlerde howply boý güýçleriniň ulylyklary düzülen we açylan dördünji derejeli kesgitleýjiniň üsti bilen,çözülýär.

Ikinji sistema üçin bolsa –üçinji derejeli kesgitleýjini düzüp açmaly.

Mysal 6. Ramanyň (12. b. suratda görkrzilen) sütünleriň hasaplanan uzynlyklaryny kesgitläliň.

Berlenler: hemme gatlaryň sütünleriniň kesigi 30x45sm,rigelleriň kesigi 30x65 sm, gatylygyň beýikligi h=4,8 sm; l= 70 m.

Şeýlelikde birlik gatylyklaryň bahalary sütünler üçin i=1; rigeller üçin i_p=2,06б

Her gatda düwünleýin ýükler birmeňreş . Birnji gaty sütüni üçin υ parametri tapalyň

$\upsilon_1 = \sqrt{\frac{N_1 h}{i}} = \sqrt{\frac{4Ph}{i}}$,onda beýleki gatlakdaky sütünler üçin υ parametr

$$\left.\begin{aligned}
\upsilon_2 &= \sqrt{\frac{N_2 h}{i}} = \sqrt{\frac{3Ph}{i}} = 0{,}866\upsilon_1; \\
\upsilon_3 &= \sqrt{\frac{N_3 h}{i}} = \sqrt{\frac{2Ph}{i}} = 0{,}707\upsilon_1; \\
\upsilon_4 &= \sqrt{\frac{N_4 h}{i}} = \sqrt{\frac{Ph}{i}} = 0{,}5\upsilon
\end{aligned}\right] \qquad (49)$$

Alynnan (49) gatnaşyklary ulanyp 3-nji tablissanyň formulalaryndan peýdalanyp z_i=1 bolan burça öwrülmede ramanyň düwünlerindäki reaksiýalaryň bahalaryny alarys

$r_{11}=4\upsilon_2(\upsilon_1)+4\upsilon_2(0{,}866\upsilon_1)+3\cdot 2{,}06$;

$r_{21}=r_{12}=2\upsilon_3(0{,}866\upsilon_1)$; $r_{31}=r_{13}=0$;

$r_{22}=4\upsilon_2(0{,}866\upsilon_1)+4\upsilon_2(0{,}707\upsilon_1)+3\cdot 2{,}06$;

$r_{32}=r_{23}=2\upsilon_3(0{,}707\upsilon_1)$; $r_{42}=r_{24}=0$;

$r_{33}=4\upsilon_2(0{,}707\upsilon_1)+4\upsilon_2(0{,}5\upsilon_1)+3\cdot 2{,}06$;

$r_{43}=r_{34}=2\upsilon_3(0{,}5\upsilon_1)$; $r_{13}=r_{31}=0$;

$r_{44}=4\upsilon_2(0{,}5\upsilon_1)+3\cdot 2{,}06$; $r_{14}=r_{41}=0$

Bu ýerde i_s=1; i_r=2,06

Şeýlelikde gapdal koffisiýentleriň käbirleriniň nola deňligini hasaba alsak seredilýän rama üçin durnuklylygyň kanoniki deňlemelri

$$\begin{aligned}
&z_1r_{11}+z_2r_{12}=0;\\
&z_1r_{21}+z_2r_{22}+z_3r_{23}=0;\\
&z_2r_{32}+z_3r_{33}+z_4r_{34}=0;\\
&z_3r_{43}+z_4r_{44}=0;
\end{aligned}\qquad (50)$$

görnüşde gelerler.

Birinji deňlemeden z_1 näbellini z_2 bilen aňladyp, z_4 bilen aňladsak

$$z_1=-\frac{r_{12}}{r_{11}}\cdot z_2;\qquad z_4=-\frac{r_{43}}{r_{44}}z_3$$

Hemde olary ikinji we üçünji deňlemelerde goýup iki näbellili z_2 we z_3 näbellisi bolan iki deňleme

$$\left(r_{22}-\frac{r_{12}^2}{r_{11}}\right)z_2+r_{23}z_3=0;$$

$$r_{32}z_2+\left(r_{33}-\frac{r_{34}^2}{r_{44}}\right)z_3=0$$

alarys.
Rama durnuklylygyny ýitirende $z_2 \neq 0$ we $z_3 \neq 0$ bolýanlygy sebäpli şol näbellileriň koeffitsiýentleriden düzülen kesgitleýji hala deň bolmaly.

Kesgitleýjini açyp

$$D=\left(r_{22}\frac{r_{12}^2}{r_{11}}\right)\left(r_{33}-\frac{r_{34}^2}{r_{44}}\right)-r_{23}^2=0 \qquad (51)$$

deňleme alarys.
Bu deňleme seredilýän ramanyň howply halynyň ýertini aňladýar.Bu deňlemäniň υ_1 parametr üçin iň kiçi köki 1-nji gatyň sütünindäki boý güýjiniň ulylygyny berýär.
Tapylanlary (51) deňlemä goýup 4 gysgaltsak

$$D=\left\{\upsilon_2(0{,}866\upsilon_1)+\upsilon_2(0{,}707\upsilon_1)+1{,}545-\frac{[\upsilon_3(0{,}866\upsilon_1)]^2}{\upsilon_2(\upsilon_1)+\upsilon_2(0{,}866\upsilon_1)+1{,}545}\right\}\times$$
$$\left\{\upsilon_2(0{,}707\upsilon_1)+\upsilon_2(0{,}5\upsilon_1)+1{,}545-\frac{[\upsilon_3(0{,}5\upsilon_1)]^2}{\upsilon_2(0{,}5\upsilon_1)+1{,}545}\right\}-[\upsilon_3(0{,}707\upsilon_1)]^2=0$$

(51.a)
Bu deňlemäni goşmaçanyň 1-nji tablisasynyň kömegi bilen yzygider ýakynlaşma bilen çözüp,iň kiçi köki taparys

$$\upsilon_{1h}=\sqrt{\frac{N_{1h\cdot}h}{i}}=5{,}29,$$

Sütünleriň hasaplanan uzynlyklary:

$$h_{0(1)} = \frac{\pi}{\upsilon_{1h}} h = \frac{3{,}14}{5{,}29} h = 0{,}594h; \qquad \mu_1 = 0{,}594$$

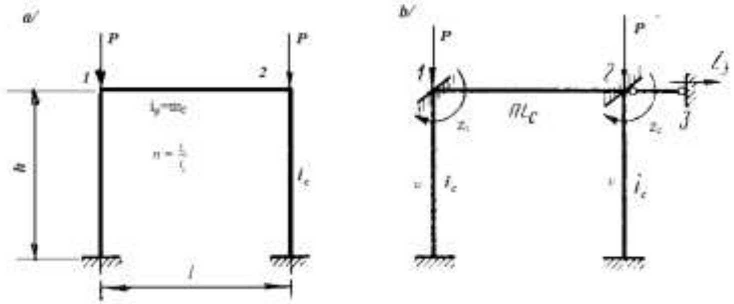
$$h_{0(2)} = \frac{\pi}{\upsilon_{2h}} h = \frac{3{,}14}{0{,}866 \cdot 5{,}29} h = 0{,}686h; \quad \mu = 0{,}686;$$

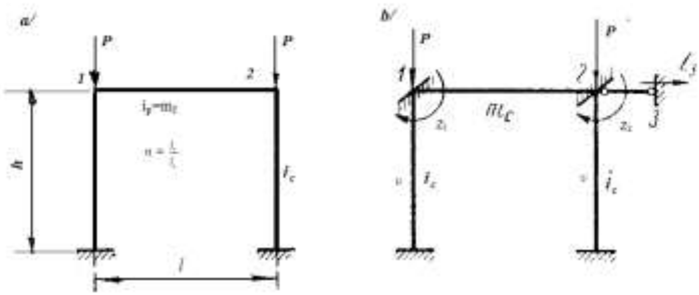
$$h_{0(3)} = \frac{3{,}14}{0{,}707 \cdot 5{,}29} h = 0{,}841h; \qquad \mu_3 = 0{,}841$$

$$h_{0(4)} = \frac{3{,}14}{0{,}5 \cdot 5{,}29} h = 1{,}184h; \qquad \mu_4 = 1{,}184$$

Görüşimiz ýaly ýokarky gatlaryň sütünleri üçin h_0 hasaplama uzynlyklary aşakdaky sütünleriň hasaplama uzynlyklaryndan uly bolýar.

11.9 Bir aralykly simmetriki ramalar durnuklylyga hasaplananda sadalaşdyrmalar. Birgatly rama





13-nji surat

Suratda (13)görkezilen simmetriki ramanyň durnuklylygyna seredeliň. Bu meseläni orunüýtgetmeler usuly bilen çözsek ,onda üç näbellili esasy sistema emele gelýär. Şeýlelikde berlen ramanyň durnuklylyk kanoniki deňlemeleri

$$\left.\begin{aligned} z_1 r_{11} + z_2 r_{12} + z_3 r_{13} = 0, \\ z_1 r_{21} + z_2 r_{22} + z_3 r_{23} = 0, \\ z_1 r_{31} + z_2 r_{32} + z_3 r_{33} = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (52)$$

görnüşde bolýar.

Kesgitleýjini açyp alarys

$$D = \left(r_{11}\, r_{22}\, r_{33} + 2\, r_{12}\, r_{13}\, r_{23}\right) - \left(r_{13}^2 r_{22} + r_{23}^2 r_{11} + r_{12}^2 r_{33} \right) = 0 \qquad (53)$$

Rama täsir edýän ýükleriň we ramanyň simmetrikligi sebäpli

$r_{11}=r_{22}$ we $r_{31}=r_{32}$

deňlikleri alarys.

Onda (53)deňligi üýtgetmek bolýar

$$D = \left(r_{11} - r_{12}\right) \cdot \left[\left(r_{21} + r_{22}\right) r_{33} - 2 r_{23}^2\right] = 0$$

Bu deňlik: ýa-da

$$\left.\begin{array}{l} D_1 = r_{11} - r_{12} = 0. \\ \text{ýa-da} \\ D_2 = (r_{21} + r_{22})r_{33} - 2r_{23}^2 = 0 \end{array}\right\} \qquad (54)$$

bolanda kanagatlandyrylýar.

Diýmek (54) deňlemäniň köki (53) deňlemäniň kökine deň bolýar.

Görnüşi ýaly birinji (54) deňleme kanoniki (52) deňlemeler sistemasyna gabat gelýär, haçan-da şol deňlemelerde $z_3=0$ we $z_2= -z_1$ deň kabul edilse.Bu deňlemeler simmetriki görnüşde deformirlenen ramalar üçin dogry bolýar.

Ikinji (54) deňleme

$$D_2=\begin{vmatrix} (r_{21}+r_{22})r_{23} \\ \\ 21_{32}.....r_{33} \end{vmatrix}=0$$

Aňlatmadan gelip çykýar,ol hem (52) deňlemeler sistemasyna degişli bolýar, ýöne ol deňlemelerde $z\neq0$, $z_2 =+z_1$ edip kabul edilse,ol hem suratda görkezilen terssimmetriki görnüşli deformirlenýän rama degişli bolýar.

Şeýlelik bilen, birinji (54) deňleme simmetriki şerti, ikinji bolsa terssimmetriki görnüşli durnuklylygy ýitirmäge degişli bolýar.Şonuň üçin indiden beýläk her bir görnüşli durnuklylygy ýitirmä aýratyn seretmek bolar.

a) Durnuklylygy ýitirmegiň simmetriki görnüşi, $z_3 =0$, $z_2=-z_1$ bolanda

Bu halda P güýjiň υ_h howply parametri

$$D_1=r_{11}-r_{12}= 0$$

deňlemeden kesgitlenýär.

Bu deňlemäniň koeffitsiýentleri 3-nji tablisanyň esasynda

$$r_{11}=4r_s\varphi_2(\upsilon)\ +4i_r;\quad r_{12}=r_{21}=2i_r;$$

Onda ramanyň howply halynyň deňlemesi käbir ýönekeýleşdirmelerden soň

$$n=\frac{i_r}{i_s}=-2\varphi_2(\upsilon) \qquad (55a)$$

görnüşde bolýar, bu ýerde $\varphi_2(\upsilon)$-funksiýa

$\upsilon=\sqrt{\frac{Ph}{i_s}}$ aňlatmadan gelip çykýar.

Şeýle-de $i_r=i_s$ bolanda n=1 bolýar.

Onda $1=-2\varphi_2(\upsilon)$; bu ýerden $\varphi_2(\upsilon)=-0{,}5$

Goşundynyň 1-nji tablisasyndan bu deňlemäniň iň kiçi köküni υ_h^s=5,02 alarys.

Onda sütüniň hasaplanan uzunlygy

$$h_0^s=\frac{\pi}{\upsilon_h^s}h=\frac{3{,}14}{5{,}02}\cdot h=0{,}624h;$$

$$P_h^s=\left(\upsilon_h^s\right)^2\frac{i_s}{h}=5{,}02^2\frac{i_s}{h}$$

b) Durnuklylygy ýitirmegiň terssimmetriki görnüşi, $z\neq0$, $z_2=+z_1$ bolanda

Şeýle bolanda υ_h kesgitlemek üçin (54) ikinji deňlemäni ulanmak bolýar.

Ramanyň deformirlenişi terssimmetriki häsiýete eýe bolýanlygy sebäpli onuň durnuklylygy ýitiren pursaty sütünleriň gorizontal daýanç reaksiýalary bir-birine ulylyklary boýunça deň we şol bir ugra ugrukýarlar.Ýöne olaryň jemi nula deň bolmaly,sebäbi daşky P güýçleriň ugry dikleýin bolýar. Bu şert

$$H_1 = H_2 = 0$$

bolanda kanagatlandyrylýar.

Ýönekeýleşdirmek üçin ramanyň diňe ýarysyny esasy sistema hökmünde kabul edip (1-nji düwüni diňe öwrülmeden berkitýäris) seredeliň.Şeýle-de rigeliň ikeldilen metrleýingatylygyny kabul etmek zerur.

Durnuklylyk deňlemesi

$$r_{11} = 0$$

görnüşde bolar.

Onda $$r_{11} = i_s \frac{\upsilon}{tg\upsilon} + 3 \cdot 2i_r$$

Şu aňlatmany nula deňläp, ramanyň durnuklylygyny ýitirmegiň şertini

$$n = \frac{i_r}{i_s} = -\frac{1}{6} \cdot \frac{\upsilon}{tg\upsilon} \qquad (55b)$$

görnüşde ýazmak bolýar.

Şeýle-de n=1 bolanda $\frac{\upsilon}{tg\upsilon} = -6$ bolar.

Bu deňlemäniň iň kiçi köki $\upsilon_h^{k-s} = 2{,}72$

Onda

$$h_0^{k-s} = \frac{3{,}14}{2{,}72} h = 1{,}15h;$$

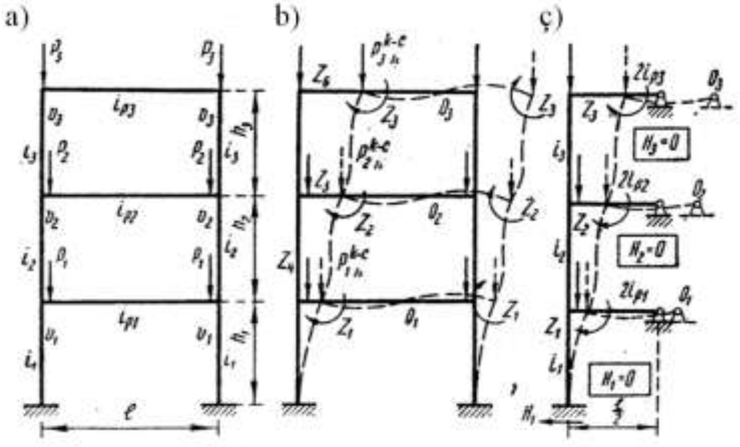
$$P_h^{k-s} = \left(\upsilon_h^{k-s}\right)^2 \frac{i_s}{h} = 2{,}72^2 \frac{i_s}{h}$$

Şeýlelikde alarys $P_h^s = \frac{25,2}{7,4} P_h^{k-s} = 3,4 P_h^{k-s}$; $h_o^s = 0,54 h_0^{k-s}$

Görüşimiz ýaly simmetriki rama üçin düwünleriň göni hereketde bolmagy üçin durnuklylygy ýitirmegiň terssimmetriki görnüşi has howply bolýar. Adaty halda şeýle ramalaryň durnuklylygy ýitirmegi düwünleriň göni süýşmegi bilen geçýär.

11.10 Köpgatly rama

Bu rama üçin durnuklylygy ýitirmegiň terssimmetriki görnüşi has howply bolýar. Umumy halda orunüýtgetmeler usuly boýunça alty näbellili sistema emele gelýär. Ramalaryň rigelleri sinusoidanyň 2 ýarymtolkuny görnüşinde egilýärler. Şonuň üçin ramanyň diňe ýarty bölegine serederis.



14-nji surat

Rigeliň ortasynda şarnirli gozganýan daýanç kabul edýäris.

Birgatly ramadaky ýaly durnuklylyk ýitirmede her gaty sütünleriň uçlarynda kese reaksiýalar

$$H_1 = H_2 = H_3 = 0$$

Bolýar.

Şonuň üçin düwünleriň z_4, z_5 we z_6 göni süýşmelerini orunüýtgetmeler usulynyň kanoniki deňlemelerinde näbelliler hökmünde görkezmesek hem bolýar.

Şeýlelik bilen diňe üç näbellili (z_1, z_2, z_3 düwünleriň öwrülme burçlary) kanoniki deňlemeler sistemasy emele gelýär.

$$\left.\begin{aligned} z_1 r_{11} + z_2 r_{12} + z_3 r_{13} = 0, \\ z_1 r_{21} + z_2 r_{22} + z_3 r_{23} = 0, \\ z_1 r_{31} + z_2 r_{32} + z_3 r_{33} = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (56)$$

Suratda birlik güýçleriň täsirine görä birlik öwrülmelerden birlik epýurlary görkezilen. Gurulan $\overline{M}_1, \overline{M}_2,$ we $\overline{M}_3$ epýurlardan tapýarys.

$$r_{11} = i_1 \frac{\upsilon_1}{tg\,\upsilon_1} + i_2 \frac{\upsilon_2}{tg\,\upsilon_2} + 6i\, r_1 \quad r_{11} = r_{12} = -i_2 \frac{\upsilon_2}{\sin \upsilon_2}; \quad r_{31} = r_{13} = 0;$$

$$r_{22} = i_2 \frac{\upsilon_2}{tg\,\upsilon_2} + i_3 \frac{\upsilon_2}{tg\,\upsilon_3} + 6i\, r_2 \quad r_{33} = i_3 \frac{\upsilon_3}{tg\,\upsilon_3} + 6i\, r_3 \quad ;$$

$$r_{32} = r_{23} = -i_3 \frac{\upsilon_3}{\sin \upsilon_3};$$

Bu ýerde:

$$\upsilon_1 = h_1 \sqrt{\frac{P_1 + P_2 + P_3}{EI_1}}\,; \upsilon_2 = h_2 \sqrt{\frac{P_3 + P_2}{EI_2}}; \quad \upsilon_3 = h_3 \sqrt{\frac{P_3}{EI_3}}\,;$$

Şeýlelikde $r_{13} = r_{31}$ deňligi hasaba alyp (56) deňlemeler sistemasy ýönekeýleşip

$$\left.\begin{aligned} &z_1r_{11}+z_2r_{12}=0,\\ &z_1r_{21}+z_2r_{22}+z_3r_{23}=0,\\ &z_2r_{32}+\ z_3r_{33}=0, \end{aligned}\right\} \qquad (56^1)$$

Görnüşe geler.

Bu deňlemeler sistemasyny bir näbellili bir deňlemä getirip bolýar. Şonuň üçin

z_1-i, z_2-niň üsti bilen, z_3-i, z_2-niň bilen aňlatsak:

$$\left[-\frac{r_{12}^2}{r_{11}}+r_{22}-\frac{r_{23}^2}{r_{33}}\right]z_2=0\,,$$

bu ýerde : $r_{ik}=r_{ki}$ deňligi hasaba alýarys.

Durnuklylyk ýitende $z\neq0$. Onda

$$D=-\frac{r_{12}^2}{r_{11}}+r_{22}-\frac{r_{23}^2}{r_{33}}=0 \qquad (57)$$

Seredilýän üçgatly ramanyň durnuklylygy ýitirmek şerti şu deňleme arkaly aňladylýar.

Alynan (57) deňleme yzygider ýakynlaşma arkaly çözülýär.Amatlylyk üçin esas hökmünde υ_1 parametri alýarys (1-nji gat we) $\upsilon_2\,,\upsilon_3$ parametrleri υ_1-iň üsti bilen aňladýarys

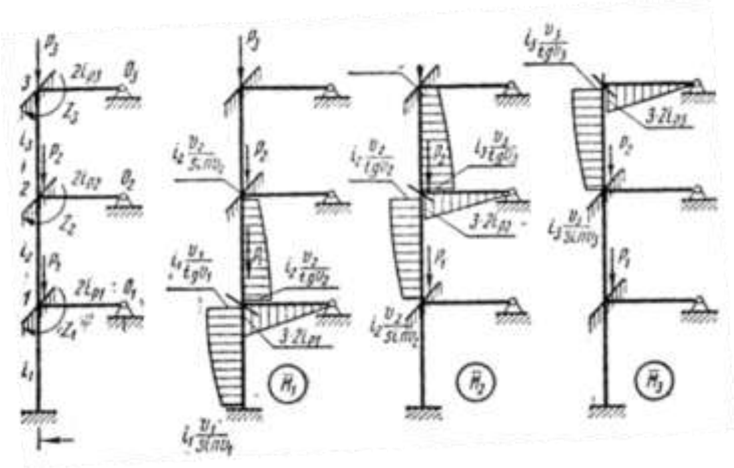
$$\upsilon_2=c_2\upsilon_1\text{, we }\ \upsilon_3=c_3\,\upsilon_1,$$

bu ýerde: c_2 we c_3 käbir belli ulylyklar.Onda (57) deňleme bir näbellili-υ_1 parametriň howply bahasy bolýar. Birinji gatyň rigelleriniň gatylygyna baglylykda υ_{1h}-niň bahasy $\frac{\pi}{2}-den\ \ \pi$

çenli aralykda üýtgär. Şonuň bahasyny bilip gysylan sütünleriň hasaplanan uzynlygyny

$$h_{0(1)} = \frac{\pi}{\upsilon_{1h}} h; \qquad h_{0(2)} = \frac{\pi}{c_2 \upsilon_{1h}} \cdot h_2; \quad h_{0(3)} = \frac{\pi}{c_3 \upsilon_{1h}} \cdot h_3;$$

Aňlatmalary ulanyp kesgitlemek bolýar.



15-nji surat

11.11 Maýyşgaklyk çäginden daşarda ramalaryň we sterženleriň durnuklylygy

Eýleriň umumylaşdyrlan formulasy getirilip çykarylanda, şeýle-de ýokarda getirilen ramalar üçin düwünleriň ýükleriň howply bahalaryny kesgitlemegiň usullarynyň esassynda gysylýan elementler maýyşgaklyk halynda işleýärler diýilen çaklama goýulypdy.Seýlelik bilen seredilýän sistemanyň her bir gysylýan sterženi üçin differensial deňlemesinde ýeketäk „E“ maýyşgaklyk moduly kabul edillen. Bu şert sterženlerdäki howply dartgynlylygyň ululygy maýyşgaklyk çäginden pes bolanda kanagatlandyrylýar.

$$\sigma_h = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} < \sigma_m \text{ Ýa-da } \min \lambda\eta_1 > \pi\sqrt{\frac{E}{\sigma_m}} \qquad (58)$$

Görüşimiz ýaly, Eyleriň, umumylaşdyrylan formulasynyň ulanylyş mümkinçiligi,şeýle-de ,hemme gysylýan sterženler üçin ýeketäk E maýyşgaklyk modulynyň ulanylmagyna rsaslanan, ramalaryň durnuklylygyny derňemegiň usullary, $\frac{E}{\sigma_m}$ gtanaaşyga bagly bolan,sterženiň käbir çeýeligiň çägi bilen çäklendirilýär.

Mysal üçin ,poladyň Cт3 markasy üçin E=2,1*10^6 kg/sm^2 ; $\sigma_ь \approx 0{,}8 \approx 1920$ kg/sm^2 deň bolanda (58) formula arkaly rapsak,Eýleriň formulasyny diňe

$$\lambda \geq 104$$

çenli çeýelikde ulanmak bolýar.

Gurluşyk konstruksiýalarynda gysylan sterženleriň λ çeýeligi köplenç 100-den kiçi. Şonuň üçin Cт3 polatdan bolan konstruksiýalar üçin Eýleriň formulasyny ulanyp bolmaýar. Başga metallar üçin, meselem ýokary markaly НЛ1 ,НЛ2 polatlar üçin, has hem alýuminiý spawlar üçin bu formulanyň ulanylyş çägi giňelýär. Ýöne adaty ýagdaýlarda çeýeligi çäklendirilen min λ_m çeýelikden kiçi elementleri gysylýan kosnstruksiýalar köp ulanylýar.

Şeýlelik bilen maýyşgaklyk çäginden daşary gysylýan steržen üçin howply ýüki tapmaklygyň zerurlygy ýüze çykýar. Meseläni çýzmegiň bir kynçylygy ýüze çykýar,ol hem maýyşgaklyk çäginden daşarky halda durnuklylygy ýitirmek materialyň häsiýetlerinden daşary,sterženi ýüklemek prossesine bagly bolýar.

Maýyşgaklyk çäginden daşarda, $\sigma_p > \sigma_m$ bolanda, gysylýan sterženiň çişmesi başlanýar ,gysylýan sterženiň çişmesi ulalýan ýük täsir edýärkä, ýüki,ulylygy bir çene ýetende gysylýan sterženiň çişmesi başlanýar. Şol çäkdäki ýükleriň ululygy Endesseriň formulasy arkaly hasaplanýar

$$P^I = \frac{\pi^2 E^' I}{l_0^2} \tag{59}$$

bu ýerde: E^I – üýtgeýän modul (galtaşma moduly), gysylma diagrammasyda c nokadyň üstünden geçýän galtaşma çyzygynyň tangens burçynyň ýapgytlygyna deň.

Bu ýerde $\sigma_0 = \sigma_h$

$$E^I = tg\,\psi^I = \left|\frac{d\sigma}{d\varepsilon}\right| \quad \varepsilon = \varepsilon_i \tag{60}$$

Ýöne ,öz gezeginde, entek steržen göteripbilijilik ukybyny ýetirenok we ýüküň artmagy bilen egilýär. Bu egilme P güýjiň ululygy, Engesseriň-Ýasinskiýniň –Karmanyň formulasy bilen kesgitlenýän ululuga ýakynlaşanda, egilme birden ulalýar.

$$P^{II} = \frac{\pi^2 TI}{l_0^2} \tag{61}$$

Bu ýerde: T-getirilen modul, ol sterženiň çeýeligine $\lambda = \frac{l_0}{\rho}$ (ýa-

da oklaýyn gysylýan $\sigma_0 = \sigma_h$ dartgynlyga), kesigiň formulasyna we materialyň görnüşine bagly bolýar.
Umumy halda

$$T = \frac{E^I I_s + E_r}{I}, \qquad (62)$$

bu ýerde: I_s, I_r bitarap 0-0 oka görä sterženiň kesiginiň gysylýan we süýnýän zolaklarynyň inersiýa momentleri;
I-kesigiň merkezinden geçýän oka görä bütin kesigiň inersiýa momendi.

Ýokarky (62) formulada E= $tg\psi$ -dartgynlygyň $\sigma_h \le \sigma_m$ çäginde boý maýyşgaklyk moduly.

11.12 Maýyşgaklyk çäginden daşarky ramalary durnuklylyga hasaplamagyň tertibi.

Maýyşgaklyk çäginden daşarda ramanyň durnuklylygyny hasaplamany yzygider ýakynlaşma usuly bilen ýerine ýetirmek has amatly.

Birinji ýakynlaşmada ramanyň her bir sterženi maýyşgaklyk halynda hasap edilýär. Her bir steržen üçin $\tau_{ks} = 1$ deň diýip kabul edilýär.

Şeýle-de metrleýin gatylyk t_{ks}-i_{ks}

Şeýle hasaplamanyň netijesinde hemme sterženler üçin howply $\upsilon_h^1 = \upsilon_h^m$ parametriň birinji ýakynlaşmasyny alarys.

Soňra $\lambda = \frac{l_0}{\rho} = \frac{\mu l}{\rho} = \frac{\pi}{\upsilon_h}\left(\frac{l}{\rho}\right)$, (63)

Gysylan sterženleriň çeýeliklerini

$\lambda^I = \lambda^m$ taparys.

Ikinji ýakynlaşmada tarylan λ^I çeýeliklere görä, $\tau - \lambda$ tablitsanyň kömegi bilen her bir steržen üçin

$\tau^{II} = \frac{T^{II}}{E}$ we degişli $t_{ks}^{II} = \tau_{ks}^{II} \cdot i_{ks}$ ululyklary taparys.

Eger haýsy hem bolsa bir steržen üçin $\lambda^{II} = 1(T^{II} = E)$ kabul etmeli. Soňra tarylan t_{ks}^{II} sterženleriň metrlik gatylyklary boýunça hasaplamalary gaýtadan geçirmeli. Şeýle hasaplamanyň netijesinde ikinji ýakynlaşmanyň υ_h we λ^{II} ululyklaryny ramanyň hemme sterženleri üçin taparys.

Soňra hasaplama yzygiderliligini gaýtalap iň soňky hasaplamalaryň netijesinde alynan ululyklar hasaplamanyň öň ýanyndaky ululyklara has ýakyn bolsa we tapawudy kiçi bolsa hasaplamalary tamamlamak bolýar.

Mysal Ramanyň gysylan sütüniniň çeýeligini kesgitläliň.

Berlenler: $i_1=3i_2$; $\frac{l}{\rho} = 40$ rigeliň we sütünleriň materiallary Ст3 polat , $\lambda_m = 104$

Maýyşgak-plastiki halynda işleýän ramanyň, orunüýtgetmeler usuly boýunça, howply halynyň deňlemesi

$\eta(\upsilon) = -\frac{i_2}{i_1} = -\frac{i_2}{\tau 3 i_2} = \frac{-1}{3\tau_1}$, bu ýerde: $\upsilon = l\sqrt{\frac{\rho}{\tau_1 E I_1}}$; $\tau_2 = 1$

Birinji ýakynlaşmada $\tau_1^I = \frac{T_1}{E} = 1$ kabul edýäris.

Onda $\eta\left(\upsilon^I\right) = -\frac{1}{3}$; bu ýerde : $\upsilon^I = l\sqrt{\frac{P}{EI_1}}$

Bu deňlemäniň çözgüdi $\upsilon_h^I = \upsilon_h^m = 1,81.$

Onda $\lambda_1^I = \lambda_h^m = \frac{3,14}{1,81} \cdot 40 = 69,3 \le \min \lambda_m$

Şeýlelik bilen ramanyň gysylan sütünininiň durnuklylygy ýitirmegi maýyşgaklyk çäginden daşarda.

Ikinji ýakynlaşma, $\lambda = 69,3$ üçin $\tau - \lambda$ grafik boýunça 1-nji sütün üçin $\tau_1^{II} = 0,51.$

Onda : $t_1^{II} = 0,51 i_1$; t $t_2^{II} = i_2$;

$\eta\left(\upsilon^{II}\right) = -\frac{t_2^{II}}{t_1^{II}} = -\frac{i_2}{0,51 \cdot 3 i_2} = -0,653,$ bu ýerde : $\upsilon^{II} = l\sqrt{\frac{P}{0,51 EI_1}}$

Goşundynyň tablisasyndanyň kömegi bilen deňlemäni çözsek

$$\upsilon_h^{II} = 2,01 .$$

onda $\lambda_1^{II} = \frac{3,14}{2,01} \cdot 40 = 62,5$

Üçünji we dördünji ýakynlaşmalar bilen

$\tau_1^{III} = 0,41$, $\upsilon_h^{III} = 2,10$ we $\lambda_1^{III} = 59,8$.

$\tau_1^{IV} = 0,39$, $\upsilon_1^{IV} = 2,125$ we $\lambda_1^{IV} = 59,1$

$\left(\tau_1^{v} = 0,38\right)$

Gutarnykly : $\upsilon_h = 2{,}13$; $\lambda_1 = 59$ bolanda $\tau_1 = \dfrac{T_1}{E} = 0{,}38$

Mysal.. Simmetriki ramanyň materialy - Cт3; R=2100 kg/sm^2
Ramanyň düwünlerinde täsir edýän ýüküň aňryçäk bahasyny $P_{a.ç}$ kesgitlemeli.
Berlenler: h=l= 605 sm; rigelleriň we sütünleriň kesikleri – dwutawr N:30a.

Ol dwutawr üçin Ix=8950 sm^4, Wx=597 sm^3; A=61,2 sm^2;

$\rho = 12{,}1sm$; $\dfrac{h}{\rho_{ы}} = 50$; gatylyklary $i_r = i_s \left(n = \dfrac{i_r}{i_s} = 1 \right)$.

Ramanyň sütünleri üçin işleýiş şertiniň koeffitsiýenti m=0,9.

Hasaplamanyň birinji rapgyry – ilki bilen ramanyň statiki hasaplamasyny geçirýäris. S we P güýçleriň täsirine sütünleriň hasaplama ekssentrisititini hasaplaýarys.
Suratda gorizontal S güýjiň täsirinden gurulan momentleriň epýury görkezilen.
Düwünlerde we daýançlarda epýurlaryň ordinatalary

$$M_a = M_d = \frac{Sh}{2} \cdot \frac{3n+1}{6n+1} = \frac{4}{7} \cdot \frac{605}{2} S = 173s\ kg.sm.$$

$M_b = M_c = S\dfrac{h}{2} - M_a = (302 - 173)S = 129S$ *S=0,11P deňligini hasaba alyp ,alarys* $M_a = 19{,}05\ P(kg.sm)$; $M_b = 14{,}2P(kg.sm)$.
Dikleýin daýanç güýçleri S-güýjiň täsirine

$$A_m^s = -D_m^s = -3S\frac{n}{6n+1} = -\frac{3}{7}S = -0{,}428S = -0{,}047P\ ;$$

Onda 5% çenli takyklykda $N_{ab} = N_{bd} = P$
Ramanyň sütünleri üçin e-ekssentrisite

$e_{hasap}= \frac{M_a}{N_{ab}} = \frac{19{,}05P}{\rho} = 19{,}05 sm.$

Dwutawr kesik üçin ,koeffitsiýenti $(\lambda_s) \approx 50$ *bolanda* $\eta = 1{,}45;$

Onda : $\varepsilon_1 = 1{,}45\left[\left(19{,}05 + \frac{605}{1000}\right)\frac{61{,}2}{597} + 0{,}05\right] = 1{,}45 \cdot 2.07 = 3{,}9$

Ikinji tapgyr – ramanyň hasaplama çeýeligini gysylýan sütünler üçin kesgitleýäris.

$$n = \frac{t_r}{t_s} = \frac{1 \cdot i_r}{\tau_s i_s} = \frac{1}{\tau_s} = -\frac{1}{6} \cdot \frac{\upsilon}{tg\upsilon}$$; bu ýerd $\upsilon = h\sqrt{\frac{N_{ab}}{\tau_s EI_s}} = \sqrt{\frac{Ph}{\tau_s i_s}}$

; $\tau_\rho = 1$

Birinji ýakynlaşma. Gysylan sütünler üçin

$\tau_s = 1(T_s = E)$ diýip kabul edýäris, onda $n^I = \frac{1}{1} = -\frac{\upsilon^I}{tg\upsilon^I}$;

bu ýerden: $\frac{\upsilon_1}{tg\upsilon} + -6$ Bu deňlemäni çözüp,alarys $\upsilon_k^1 = 2{,}72$;

onda $\lambda_s^I = \lambda_s^m = \frac{3{,}14}{2{,}72} \cdot 50 = 57{,}8 < \min \lambda_m = 104$

Şeýlelik bilen rama durnuklylygyny ýttirende onuň sütüni maýyşgaklyk çäginden daşarda işlär. Ikinji ýakynlaşma. Suratdaky $\tau - \lambda$ grafigi boýunça $\lambda = 57{,}8$ bolanda polat Cт3 üçin sütünler üçin $\tau_s^{II} = 0{,}36$; onda

$n^{II} = \frac{1}{0{,}36} = 2{,}78 = -\frac{1}{6}\frac{\upsilon^k}{tg\upsilon^{II}}$; bu ýerden: $\frac{\upsilon^{II}}{tg\upsilon^{II}} = -16{,}56$

Goşundynyň tablisasyndan peydalanyp deňlemäni çözsek

$\upsilon^{II} = 2{,}96$; onda: $\lambda_s^{II} = \frac{3{,}14}{2{,}96} \cdot 50 = 53$ Şeýle yzygiderlilik bilen

üçünji ýakynlaşmany geçirýäris

$\tau_s^{III} = 0{,}30$, n^{III}= 3,33; $\upsilon_h^{III} = 3{,}0$; $\lambda_s^{III} = 52{,}4$.

Gatylygy

$\tau_s^{III} = 0{,}30$, n^{III}=3,33; $\upsilon_h^{III} = 3{,}0$; $\lambda_s^{III} = 52{,}4$.

Gtaylygy $\upsilon_h = 3{,}0$; $\lambda_s = 52$; $\tau_s = \frac{T_s}{E} = 0{,}29$;

Hasaplanýan uzynlygyň koeffitsiýenti $\mu_s = \frac{52}{50} = 1{,}04$

Üçünji tapgyr –ramanyň sütünlerindäki howply maýyşgaklyk çäginden daşarky ýüki $N_h^m = m\varphi_{md} AR$

Formula arkaly kesgitleýäris.

Cт3 polat üçin $\varepsilon_1 = 3{,}0$ we $\lambda = 52$ bolanda interpolirläp taparys.

$\varphi_{md} = 0{,}336$ onda $N_h^m = 0{,}9 \cdot 0{,}336 \cdot 61{,}2 \cdot 2100 = 38800$ kg=38,8t.

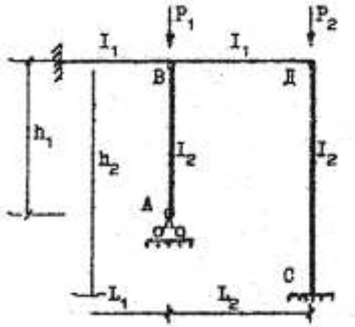
Täsir edýän P we S ýükleriň çakdan daşarky bahasy , 5% takyklykda

$P_{ç.d.} = N_{ç.d}^m = 38{,}8t$ $S_{ç.d}$=0,11$P_{ç.d.}$=4,27 t.

11.13 Tekiz ramalaryň gurlyşykda hasaplaýyş usullary

Orun üýtgeme usulyny peýdalanyp statiki kesgitsiz rama üçin howply güýji we getirme koofisentini (μ) tapmaly.

Berlişi (1)



$L_1=3м.,\ L_2=5м.,\ h_1=4м.,$
$h_2=6м.,\ \alpha=P_1/P_2=2,\ I_1/I_2=$
$1{,}6,\ P_1=2P_2;\ P_2=P;\ P_1=2P$
$I_1=1{,}6I_2;\ I_2=I,\ I_1=1{,}6I.$

$$\begin{cases} r_{11}Z_1+r_{12}Z_2=0 \\ r_{21}Z_1+r_{22}Z_2=0 \end{cases}$$

Orun üýtgeme usulynyň kakoniki deňlemesi şeýle görnüşe eýedir.

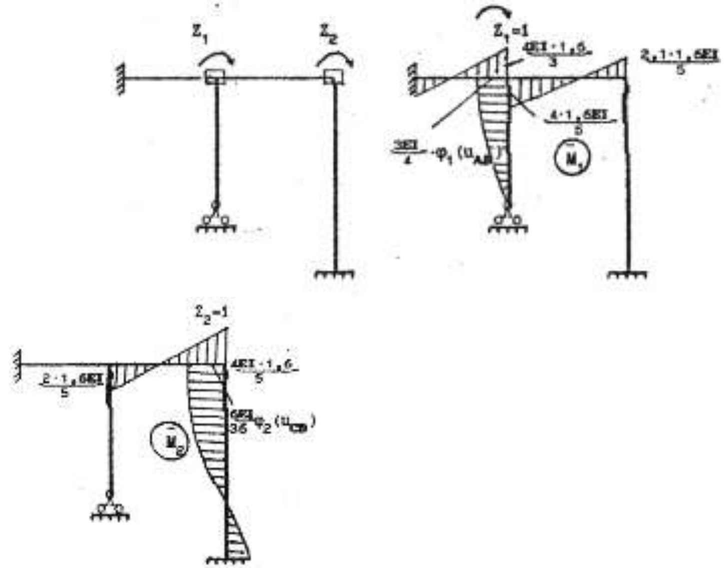
Bu deňleme statiki hasaplamadaky ýaly ýöne ýükden döreýän parametrler aýrylýar. Mesele işlemek üçin tablissadan peýdalanmal.
Ramanyň sütünleri üçin we parametr dürli bolýar.

$$u_{AB}=4\sqrt{\frac{2P}{EI}}=5{,}6568\sqrt{\frac{P}{EI}}=u;\quad u_{CD}=6\sqrt{\frac{P}{EI}}=1{,}0606u$$

Esasy sistemalar döredip birlik güýçleriň ($\check{z}_1=1$; $\dot{z}_2=1$)

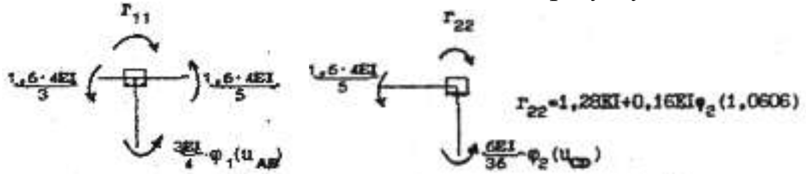
u	$\varphi_1(u)$	$\varphi_2(u)$	$\varphi_3(u)$	$\varphi_4(u)$	$\eta_1(u)$	$\eta_2(u)$
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,40	0,9895	0,9945	1,0026	0,9973	0,9362	0,9840
0,80	0,9566	0,9787	1,0111	0,9895	0,7432	0,9362
1,20	0,8998	0,9511	1,0251	0,9751	0,4198	0,8557
1,40	0,8613	0,9329	1,0348	0,9669	0,2080	0,8035
$\pi/2$	0,8225	0,9149	1,0445	0,9581	0,0000	0,7525
1,60	0,8153	0,9116	1,0463	0,9566	-0,0380	0,7432
1,80	0,7609	0,8871	1,0600	0,9448	-0,3191	0,6747
2,00	0,6961	0,8590	1,0760	0,9313	-0,6372	0,5980
2,20	0,6202	0,8273	1,0946	0,9164	-0,9931	0,5131
2,40	0,5304	0,7915	1,1164	0,8998	-1,3895	0,4198
2,60	0,4234	0,7513	1,1417	0,8814	-1,8299	0,3181
2,80	0,2944	0,7064	1,1712	0,8613	-2,3189	0,2080
3,00	0,1361	0,6560	1,2057	0,8393	-2,8639	0,0893
π	0,0000	0,1616	1,2336	0,8224	-3,2898	0,0000
3,20	-0,0635	0,5997	1,2463	0,8153	-3,4768	-0,0380
3,40	-0,3248	0,5366	1,2940	0,7891	-4,1781	-0,1742
3,60	-0,6862	0,4656	1,3508	0,7609	-5,0062	-0,3191
3,80	-1,2303	0,3850	1,4191	0,7297	-6,0436	-0,4736
4,00	-2,1726	0,2933	1,5018	0,6961	-7,5058	-0,6372
4,20	-4,3155	0,1877	1,6036	0,6597	-10,196	-0,8103
4,40	-15,330	0,0648	1,7310	0,6202	-27,781	-0,9931
4,46	-44,148	0,0237	1,7754	0,6077	-50,779	-1,0499
4,50	227,80	-0,0048	1,8070	0,5991	221,05	-1,0884
4,60	14,669	-0,0808	1,8933	0,5772	7,6160	-1,1861
4,70	7,8185	-0,1646	1,9919	0,5543	0,4553	-1,2865
4,80	5,4020	-0,2572	2,1056	0,5304	-2,2777	-1,3895
5,00	3,3615	-0,4772	2,3924	0,4793	-4,9718	-1,6040
5,20	2,3986	-0,7630	2,7961	0,4234	-6,6147	-1,8299

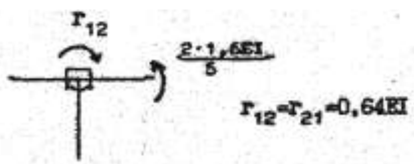
momendiniň epýurlaryny gurýarys.



3-nji surat

Kanoniki deňlemäniň koofisentlerini hasaplaýarys.





$$r_{11}=\frac{6,4EI}{3}+\frac{6,4EI}{5}+\frac{3EI}{4}\varphi_1(u)=3,41EI+0,75EI\varphi_1(u).$$

Näbelli orun üýtgemeleriň koofisentlerinden durýan opredeliteli düzýäris.

$$D=\begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{vmatrix}=0 \qquad r_{11}r_{22}-r_{12}^2=0$$

Birlik reaksiýalaryň bahasyny deňlemä goýup alýarys.

$$[3,41EI+0,75EI\varphi_1(u)][1,28EI+0,16EI\varphi_2(1,0606)]=0,41(EI)^2$$

Durnyklylygyň bu deňlemesi saýlama usuly bilen işlenýar.

a) u – koofisentiniň bahasy u = 4 bolanda φ_1,we φ_2 bahasynytablisadan (φ_1=-2,1726, φ_2=0,1562) alýarys.

Bu parametrleri deňlemä goýsak 2,31≠0,41
Onda bu koofisintler bizi kanagatlandyrmaýar.

b) Eger u = 4,2 onda φ_1=4,3155, φ_2=0,014
Bolýar. Deňlemä goýsak
0,22≠0,41
Bu koofisent hem kanagatlandyrmaýar.

g) n=4,192 onda φ_1=4,1216, φ_2=0,093 bu bahalary deňlemä goýsak (3,41-0,75·4,1216)(1,28+0,16·0,0093)=3,188·1,2815=0,408≈0,41
Onda n=4,192 edip Kabul edýäris
Onda howuply güýji hasaplaýarys

$$P_{AB}^{how}=\frac{u_{AB}^2EI}{n_1^2}=\frac{4{,}192^2\cdot EI}{4^2}=1{,}098EI$$

$$P_{CD}^{how}=\frac{u_{CD}^2EI}{n_2^2}=\frac{(1.0606\cdot 4.192)}{36}=0.549EI$$

Sütünlerdäki erkin uzynlygyň koofisenti

$$\mu_{AB}\cdot\frac{\tau}{U_{AB}}=\frac{3.14}{4.192}=0.75 \ : \quad \mu_{CD}\cdot\frac{\tau}{U_{CD}}=\frac{3.14}{1.0606\cdot 4.192}=0.71 \ :$$

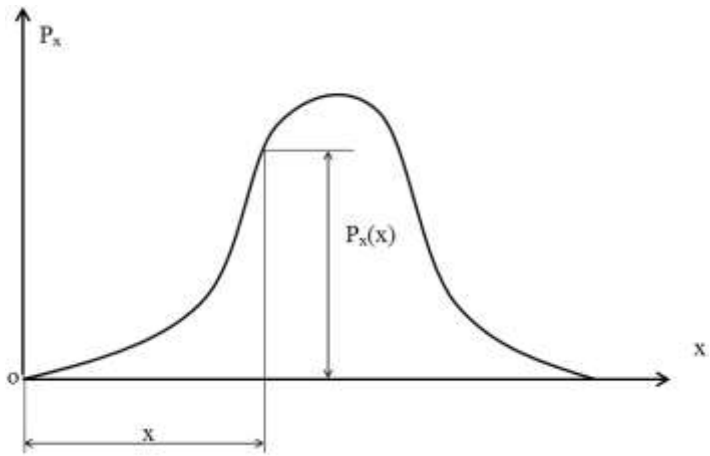
12. Konstruksiýanyň ygtbarlygyna baha bermek

12.1 Ähtimallyk modeliniň hasaplamalarda ulanylyşy

Häzirki döwürde konstruksiýa goýulýan güýçleri, berkligi häsýetlendirýän parametrleri, geometriki häsýetnamalary tutuk hasaplap bolmaýar. Şol sebäpli ol parametrleri tötänleýin parametrler hökmünde häsýetlendirmegi teklip edýärler. Onda hemme hasaplamalar ähtimallyk teorýasyna eýermeli bolýar. Onda bu teorýanyň esasynda konstruksiýanyň ulanylýan wagtyndaky ygtybarlylygyna baha berip bolýar. Bu teorýanyň esasy görkezijisi konsttuksiýanyň ulanylýan wagtynda işe ukypsyz bolmagynyň ähtimallygyny görkezýän parametrdir. Onda bu meseläni çözmek üçin ähtimallyk teorýasyny, statiki matematikany we tötänleýin sanlaryň teorýasyny öwrenmek gerekdir. Tötänleýin sanlar diýilip onuň belli bir bahasyny aýdyp bolmaýan ýagdaýa aýdylýar. Onda şu wagyta çenli seredip çykarylan formulalardaky parametrlere biz tötänleýin sanlar hökmünde seretsek onda biz olaryň nähili ýaýraýandygyny bilmeli bolýarys.

<u>Meselem:</u> Berkligiň çägini tötänleýin san hökmünde garamak bolar.
Onda onuň ýaýraýyşyny şekilde görkezeliň.

Onuň ýaýraýşy normal ýaýraýyş kanunyna gabat gelýändigi görünýär. Bu ýaýarama birnäçe eksperimental derňewleriň esasynda alynýar. Tötänleýin sanlar başga ýaýrama kanunlarynada gabat gelip biler.

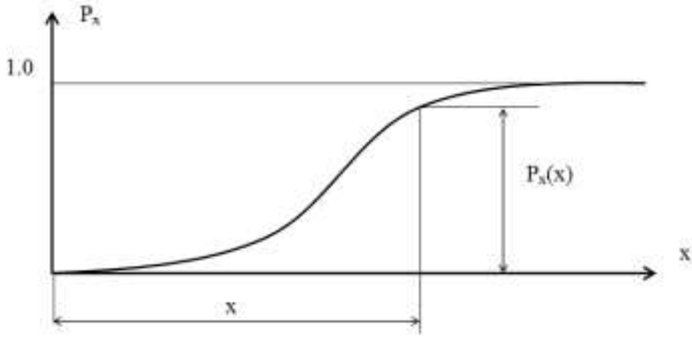


1 – nji surat

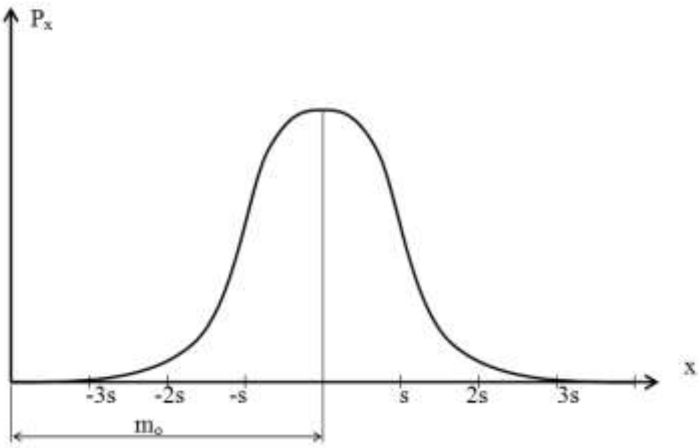
Onda egriniň meýdanyny şeýle hasaplaýarys

$$\int_{-\infty}^{\infty} P_x(x)dx = 1; \qquad (1)$$

Onda tötänleýin sanyň x –den kiçi boljagynyň ähtimallygyny hasaplap bolýar $P_x(x) = \int_{-\infty}^{\infty} P_x(\zeta)ds$; (2)



2-nji surat



3– nji surat

Tötänlaýin sanyň matematiki garaşmasyny hasaplalyň

$$M(x) = m_0 = \int_{-\infty}^{\infty} xP_x(x)dx; \qquad (3)$$

Matematiki garaşmadan ýaýraýşyny häsýetlendirýän parametre tötänleýin sanyň dispersiýasy diýilýär.

$$D(x) = D = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_0)^2 P_x(x)dx; \qquad (4)$$

Matematiki garaşmany biz tötänleýin sanyň ýagdaýyny häsýetlendirýän egriniň agyrlyk merkeziniň absisasy hökminde seredip bileris.

Dispersiýany bolsa egriniň çyzan çyzygynyň meýdanynyň moment inersiýasy hökminde garap bolar. Onda tötänleýin sanyň standartyny şeýle hasaplap $S = \sqrt{D}$; (5)
Köpülenç halatda tötänleýin sany häsýetlendirmek üçin şeýle

ýaýrama ulanylýar. $P_x(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi D}}\cdot e^{\frac{(x-m_0)}{2D}}$; (6). Normal ýaýramanyň integral formulasy köp ulanylýar.

$$P_x(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi D}}\int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{(\zeta-m_0)}{2D}}\cdot d\zeta; \quad (7)$$

Täsir edýän güýjenmäniň öz çäginden geçjekdigininiň ähtimallygy şeýle
hasaplanýar. $P\{\sigma\rangle\sigma^*\}=\int_0^{\infty} P(\sigma^*)\left\{\int_0^{\infty} P(\sigma)d\sigma\right\}d\sigma^*$; (8)

Onda konstruksiýanyň ygtybarlygy şeýle hasaplanýar.

$$H=1-P\{\sigma\rangle\sigma^*\}; \quad (9)$$

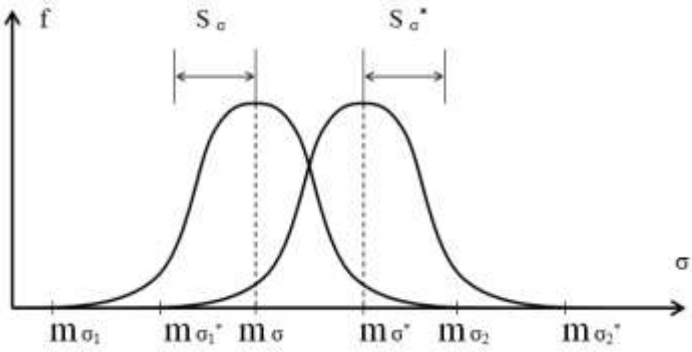
Eger täsir edýän güýjenme we onuň çägi normal ýaýrama boýunça ýaýraýan bolsa

$$H=\frac{1}{2}+\Phi\left\{\frac{m(\sigma^*)-m(\sigma)}{\sqrt{2\{D(\sigma^*)+D(\sigma)\}}}\right\} \quad (10)$$

$$P\{\sigma\rangle\sigma^*\}=\frac{1}{c_1c_2}\left\{\frac{1}{2}+\Phi\left\{\frac{m(\sigma^*)-m(\sigma)}{\sqrt{2D(\sigma^*)+D(\sigma)}}\right\}\right\}; \quad (11)$$

$$c_1=\Phi\left\{\frac{m(\sigma_2)-m(\sigma)}{\sqrt{2D(\sigma)}}\right\}-\Phi\left\{\frac{m(\sigma_1)-m(\sigma)}{\sqrt{2D(\sigma)}}\right\};$$

$$c_2=\Phi\left\{\frac{m(\sigma_2^*)-m(\sigma^*)}{\sqrt{2D(\sigma^*)}}\right\}-\Phi\left[\frac{m(\sigma_1^*)-m(\sigma^*)}{\sqrt{2D(\sigma^*)}}\right];$$



4– nji surat

$$n = \frac{m(\sigma^*)}{m(\sigma)}; \qquad H = \frac{1}{2} + \Phi\left[\frac{n-1}{\sqrt{2\{V_1^2 + nV_2^2\}}}\right]; \qquad (12).$$

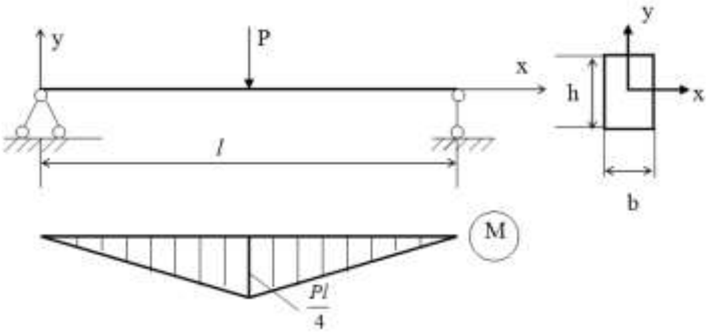
$$V_1 = \frac{\rho(\sigma)}{m(\sigma)}; \qquad V_2 = \frac{\rho(\sigma^*)}{m(\sigma)};$$

12.2 Görkezilen nazarýetiň esasynda mysal işlemek

<u>Mysalyň şerti:</u> Şarnirli berkidilen *l* uzynlykly pürse P güýç

Tötänleýin san.	Matematiki garaşmasy. m_x	Standarty - ρ_x .	Wariýasiýa koeffisenti. V = ρ_x / m_x ;
Materýalyň berklik çägi. $\sigma^* = \sigma_{ak};(MPa)$	305,0	18,3	0,060
Täsir edýän güýç. P(MH)	$8 \cdot 10^{-2}$	$2{,}8 \cdot 10^{-3}$	0,035
Pürsiň aralygy. *l*(m)	6	$6 \cdot 10^{-2}$	0,01

täsir edýär. Bu şertde işleýän pürsiň kese –kesiginiň beýikligini hasaplamaly. Onuň ygtybarlygy H = 0,96 deň ölçegde goý berilýän mümkinçilik α = 0,015.



5– njy surat

Aňry baş çäkde P = P_{ag} momendiň bahasy (nokadyň goýulan ýerinde).

$$M_{ag} = \frac{P_{ag} \cdot l}{4}; \quad (13).$$

Güýjenmäniň çägi.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{ag}}{W} = \sigma_{ak}; \quad (14)$$

$$W = \frac{bh^2}{4} = \frac{2}{3} \cdot \frac{h^3}{4} = \frac{h^3}{6}; \quad (15)$$

Onda,

$$\sigma_{ak} = \frac{M_{ag}}{W} = \frac{3P_{ag} \cdot l}{2h^3}; \quad (16)$$

P_{ag}, l we h –tötänleýin sahlar diýip alalyň.

$$\left.\begin{aligned} f(P) &= \frac{1}{\rho_p\sqrt{2\pi}}\cdot e^{\frac{(P_{ag}-mp)^2}{2\rho p^2}}; \\ f(e) &= \frac{1}{\rho_e\sqrt{2\pi}}\cdot e^{\frac{(e-me)^2}{2\rho e^2}}; \\ f(h) &= \frac{1}{\rho_h\sqrt{2\pi}}\cdot e^{-\frac{(h-mh)^2}{2\rho h^2}}; \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

Tötänleýin sanlaryň ýaýraýyşlary.Normal güýjenmäniň matematiki garaşmasy

$$m_\sigma = f\left(m_p; m_e; m_h\right) = \frac{3m_p m_e}{2m_h^2}; \qquad (18)$$

Normal güýjenmäniň dispersiýasy.

$$\rho_\sigma^2 = \left(\frac{v\sigma}{vP_{ag}}\right)^2 \left|\begin{matrix} m_p \\ m_e \\ m_h \end{matrix}\right. \cdot \rho_p^2 + \left(\frac{v\sigma}{ve}\right)^2 \left|\begin{matrix} m_p \\ m_e \\ m_h \end{matrix}\right. \cdot \rho_e^2 + \left(\frac{v\sigma}{vh}\right)^2 \left|\begin{matrix} m_p \\ m_e \\ m_h \end{matrix}\right. \cdot \rho_h^2; \qquad (19)$$

α –ny gözöňünde tutsak onda dispersiýany şeýle hasaplap bolýar

$$D(\sigma) = S_\sigma^2 = \frac{9}{4m_h^\sigma}\left(m_p^2 \cdot S_p^2 + m_e^2 S_e^2 + \alpha^2 m_p^2 m_e^2\right); \qquad (20)$$

Onda pürsiň ygtybarlylygyny şeýle hasaplaýarys.

$$H = \frac{1}{2} + \Phi\left\{\frac{m(\sigma^*) - m(\sigma)}{\sqrt{2\{D(\sigma^*) + D(\sigma)\}}}\right\}; \qquad (21)$$

$\Phi(z)$ -ähtimallygyň integraly. Ol tablissada berilýär

Edebiýatlar

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny).
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň “Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşaýyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin” Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. “Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry” Milli maksatnamasy. “Türkmenistan” gazeti, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. “Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy”. Aşgabat, 2006.
10. Amansahatow. Ç. A Строительная механика. A.1992
11. Дарков А.В. и др. Строительная механика. М., ВШ, 1976.
12. Довнар Е.П. Коршун Л.И., Строительная механика. Минск. ВШ .

1986.
13. Клейн Г.К. Руководство к практическим занатиям по строительной
механике. М., ВШ. 1973.
14. Митропольский М.Н. Применение теории матриц к решению
задач строительной механики. М., ВШ.1969.
15. Остроменцкий Ю.Ц. Портаев Л.П. Приближенные
и сокращенныеспособы расчета статический неопределимых систем.
М., Стройиздат, 1964.
16. Снитко Н.К. Строительная механика. М., ВШ. 1980.

M a z m u n y

5. Üç görnüşliarkalar

6. Tekiz fermalar.

7. Maýyşgak esasdaky pürsler.

11. Sterženleri we sterženler sistemasyny durnuklylyga hasaplamagyň statiki usullary.

12. Konstruksiýanyň ygtybarlygyna baha bermek.