

Jo‘lanov Isoq Odilovich

**QURILISH MEXANIKASI
FANIDAN TOPSHIRIQLAR
TO‘PLAMI**
(misollar va tushuntirishlar bilan) nomli
O‘QUV QO‘LLANMA

Jizzax 2020

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI

OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

JIZZAX POLITEXNIKA INSTITUTI

JO'LANOV ISOQ ODILOVICH

**QURILISH MEXANIKASI
FANIDAN TOPSHIRIQLAR
TO'PLAMI**

(misollar va tushuntirishlar bilan) nomli

O'QUV QO'LLANMA

Jizzax – 2020 y.

UO’K 624.04

Jo‘lanov I.O. Qurilish mexanikasi fanidan topshiriqlar to‘plami(misollar va tushuntirishlar bilan) . O‘quv qo‘llanma – 187 bet.

Taqrizchilar:

Xaydarov X. Namangan muxandislik – texnologiyalari instituti Umumtexnika fanlari kafedrası dotsenti, texnika fanlari nomzodi.

Igamberdiev X.X. –Jizzax politexnika instituti “Umumrtexnika fanlari kafedrası” dotsenti, texnika fanlari nomzodi.

Qo‘llanmada statik aniq va statik noaniq sterjenli sistemalarining qurilish mexanikasi kursi bo‘yicha topshiriqlari berilgan. O‘quv qo‘llanmaning bosh qismi o‘z ichiga turli xil tuzilmalar (to‘sinlar, ramalar, fermalar, arkali sistemalar)da ichki zo‘riqish kuchlarining epyura va ta’sir chiziqlarini qurish berilgan va turli xil tashqi ta’sirlardan sterjenli sistemalaridagi ko‘chishlarini aniqlash topshiriqlari keltirilgan. O‘quv qo‘llanmaning ikkinchi yarmida nazariy ma’lumotlar va tekis statik noaniq sterjenli sistemalarni kuchlar, joy almashtirishlar va cheklangan sharnirlar usuli bilan hisoblashning asosiy qoidalari keltirilgan. Ko‘p sonli hisoblash misollari yechim uchun zarur tushuntirishlar bilan birga keladi va mustaqil ish uchun topshiriqlarni o‘z ichiga oladi. Qo‘llanma qurilish mexanikasining sterjenli sistemalarini umumiy kursini o‘rganuvchi qurilish mutaxassisliklari talabalariga mo‘ljallangan. Qo‘llanmada hisob-kitob va grafik ishlarni bajarish bo‘yicha misollar va topshiriqlar mavjud.

Qo‘llanma qurilishning barcha mutaxassisliklari talabalari uchun mo‘ljallangan.

Muharrir:

Egamnazarov G’.G’. Jizzax Politexnika instituti
“Umumtexnika fanlari” kafedrası dotsenti.

KIRISH

Mamlakatimizda barcha sohalarda amalga oshirilayotgan izchil islohotlar kabi ta'lim sohasiga ham alohida e'tibor qaratilmoqda. Ta'limning institutsional asoslari borgan sayin jahon andozalariga mos ravishda takomillashib bormoqda. O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim tizimi oldida turgan asosiy vazifalardan biri "Ta'lim to'g'risida" gi Qonun talablari, shuningdek, "Kadrlar tayyorlash milliy Dasturi", eng asosiysi, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 8-oktyabridagi PF-5847 – son Farmoni bilan tasdiqlangan "O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasida va uning strategik maqsadlarida *"O'quv adabiyotlari sifatini yaxshilash, zamonaviy o'quv adabiyotlarini yaratish tartibini soddalashtirish, eng yangi xorijiy adabiyotlarni xarid qilish va tarjima qilish ishlarini jadallashtirish, xorijiy adabiyotlardan qo'shimcha yoki muqobil adabiyotlari sifatida foydalanishni kengaytirish, kutubxonalar fondlarini muntazam yangilab borish, tanlov asosida aniqlangan va o'quv adabiyotlariga mualliflik qilayotgan professor-o'qituvchilarning yillik o'quv yuklamasini taqsimlash mexanizmini takomillashtirish, bunda ularning umumiy yillik yuklamalarida o'quv adabiyotlarini yaratish uchun ajratilgan vaqtni dars o'tish yuklamasi vaqti hisobidan oshirishni nazarda tutilgan;*¹ Unga ko'ra qo'yilgan talablar asosida fanlar bo'yicha davlat ta'lim standartlari va na'munaviy dasturlariga mos zamonaviy o'quv adabiyotlarini yaratish va shu asosida talabalarga chuqur nazariy bilimlar berib, ularni jahon mehnat bozorida raqobatlashadigan yetuk kadrlar qilib tarbiyalashdir.

Mazkur talablar doirasida yaratilgan ushbu o'quv qo'llanma qurilish mexanikasi fanining harakatdagi o'quv adabiyotlaridan shu jihati bilan farq

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 8-oktyabridagi PF-5847 – son Farmoni bilan tasdiqlangan "O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi

qiladiki, bunda inshootlar hisob sxemalarining turli xilligi, ichki kuch omillarining epyuralari va ta'sir chiziqlarini chizish hamda berilgan kesimlarning chiziqli va burchakli ko'chishlarini aniqlashdan iboratdir. O'quv qo'llanmadagi vazifalar tobora murakkablashib borgan holda, har bir topshiriq turi muammolarni yechish uchun zarur bo'lgan, tushuntirish va mavzu bo'yicha darslik va qo'llanmalarni mustaqil o'rganish uchun zarur bo'lgan hisoblash misolini taqdim etadi. Mazkur keltirilgan manbalar muallifning uzoq yillar davomida shu sohada to'plagan tajribalaridan, shuningdek, ilg'or xorijiy manbalardan olindi.

Ushbu o'quv qo'llanma O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan na'munaviy dastur asosida 5340200 – Bino va inshootlar qurilishi va 5340500 – Qurilish materiallari, buyumlari va konstruksiyalarini ishlab chiqarish bakalavriat ta'lim yo'nalishlari bo'yicha tahsil olayotgan oliy texnika o'quv yurtlari talabalari uchun o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etiladi.

O'quv qo'llanma VI-bobdan iborat bo'lib, ularda “ortiqcha” (qo'shimcha) bog'lanishga ega bo'lmagan bir oraliqli sterjenli sistemalar, shuningdek, “ortiqcha” (qo'shimcha) bog'lanishga ega bo'lgan ko'p oraliqli balkalar, yassi ramalarni, statik aniq fermalar hamda arkasimon sistemalarni hisoblashga, ulardagi ichki kuchlarni aniqlash uchun faqat muvozanat qonunlarini bilish asoslariga bag'ishlangan. Ushbu qismda talabalarga turli xil murakkablikdagi sterjenli sistemalarda ichki kuch omillari va ta'sir chiziqlarini qurish usullari va texnikasini o'zlashtirishga imkon beradigan topshiriqlar, shuningdek, turli tashqi ta'sirlar (yuk, harorat o'zgarishi, kinematik harakat) dan sterjenli sistemalardagi ko'chishni aniqlash muammolari, qurilish mexanikasining asosiy teoremlari tushuntirishlari va uning isboti, hamda statik noaniq sistemalarga bag'ishlangan inshootning statik noaniqlik darajasi aniqlangandan so'ng kuchlar usuli qo'llanilishi, bu usulning kanonik tenglamalari tuzilishi, noma'lum zo'riqlashlarning topilishi va shu asosida epyuralari qurilishi kabilar, eng asosiysi unda statik noaniq ramalarni kuch usulida

hisoblash namunasi berilgan va mustaqil yechish uchun topshiriqlar keltirilgan.

Va nihoyat o'quv qo'llanmaning yakuniy beshinchi va oltinchi boblarida statik noaniq ramalarni hisoblashda ko'chish usuliga bag'ishlangan statik noaniq sistemalarning kinematik tavsifi keraksiz ulanishlarning mavjudligi, ularning soni statik noaniqlik darajasi, shuningdek, statik noaniq sistemalarni hisoblashning asosiy usullari kuchlar usuli hisoblanashi, bu yerda sistema tugunlarining burchak va chiziqli

ko'chishlari noma'lumligi, sterjenli sistemalarni chekli elementlar usulida hisoblanishlari bayon qilingan.

O'quv qo'llanmada har xil turdagi tashqi ta'sirlardan ushbu usullar yordamida statik noaniq sistemalarning hisob-kitoblari batafsil yoritilgan.

O'quv qo'llanmadagi keltirilgan topshiriqlar murakkablik darajasi oshgan holda joylashtirilgan bo'lib, har bir topshiriq turi topshiriqlarni bajarish uchun zarur bo'lgan, tushuntirish va mavzu bo'yicha mustaqil o'rganish uchun zarur bo'lgan hisoblash misollarini o'z ichiga oladi.

I BOB. STERJENLI SISTEMALARDA ICHKI KUCH OMILLARINING EPYURALARI VA TA'SIR CHIZIQLARI

1.1. 1-HGI. Bir oraliqli statik aniq balkalarni hisoblash

Topshiriqlar bayoni

1.1.1 - 1.1.25-rasmlarda ko'rsatilgan bir oraliqli balkalardan biri uchun quyidagilar talab qilinadi:

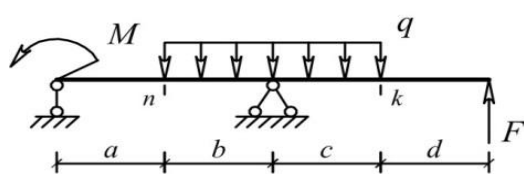
n va **k** kesimda ichki kuch omillari va ichki kuchlarning ta'sir chiziqlarining epyurasini qurish;

n va **k** kesimlarda berilgan yukning ta'sir chiziqlari bo'yicha kuchlarni aniqlash va ularni epyuradagi kuchlar bilan taqqoslash.

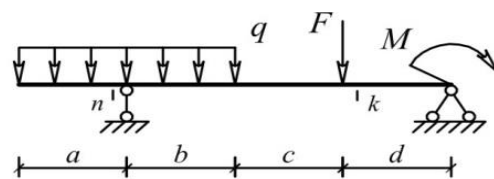
Hisoblash uchun dastlabki ma'lumotlar 1.1- jadvalda berilgan.

1.1-jadval

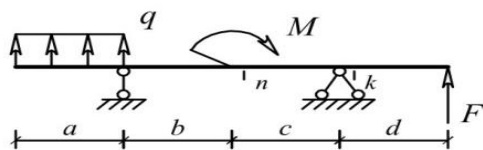
Variant tartibi	1	2	3	4	5	6	7
$a, \text{ m}$	2	3	4	2	2	4	3
$b, \text{ m}$	3	4	2	4	3	2	3
$c, \text{ m}$	4	3	2	2	4	3	2
$d, \text{ m}$	2	4	3	2	3	2	4
$M, \text{ kN}\cdot\text{m}$	6	5	4	6	8	10	7
$F, \text{ kN}$	4	5	3	6	7	2	8
$q, \text{ kN/m}$	2	1	3	4	2	1	3



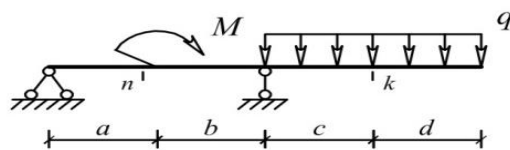
1.1.1-rasm



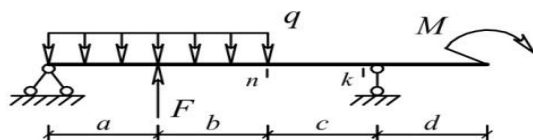
1.1.2. - rasm



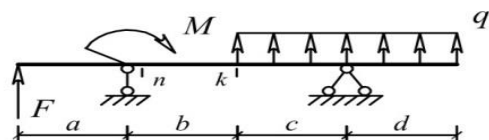
1.1.3-rasm



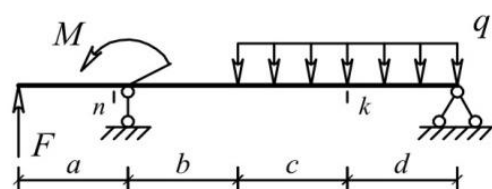
1.1.4-rasm



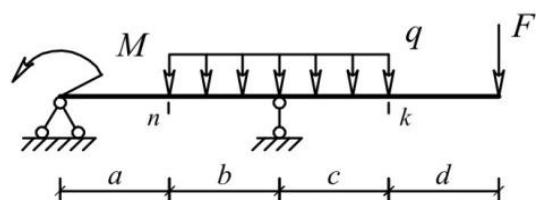
1.1.5-rasm



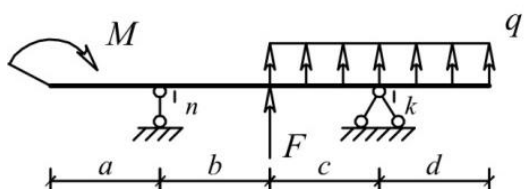
1.1.6-rasm



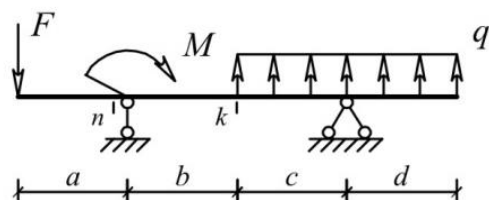
1.1.7- rasm



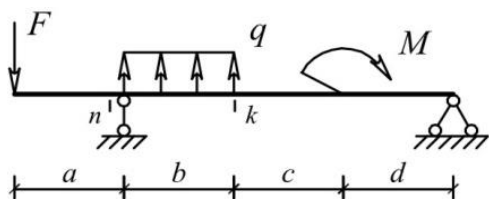
1.1.8-rasm



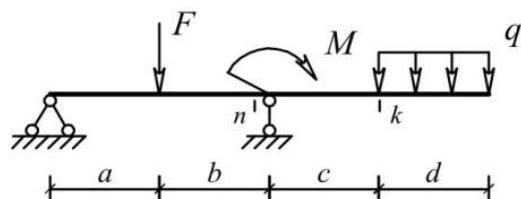
1.1.9-rasm



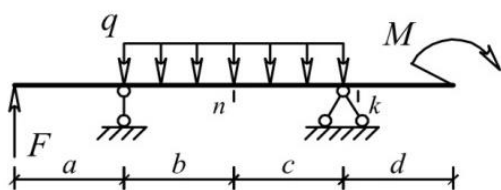
1.1.10-rasm



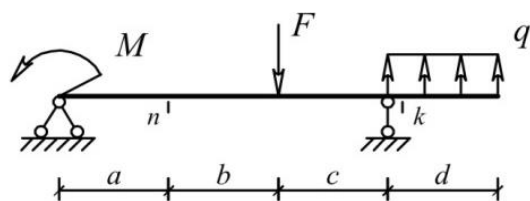
1.1.11-rasm



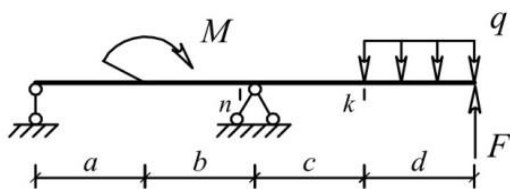
1.1.12-rasm



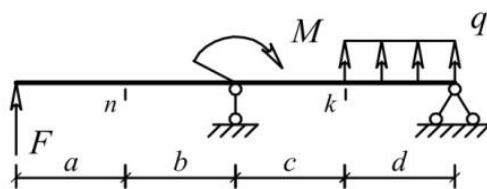
1.1.13-rasm



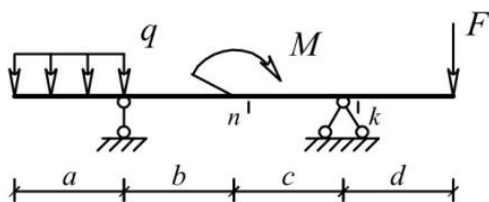
1.1.14-rasm



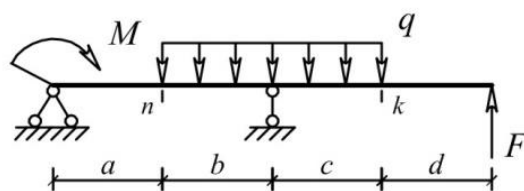
1.1.15-rasm



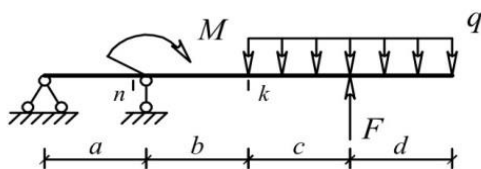
1.1.16-rasm



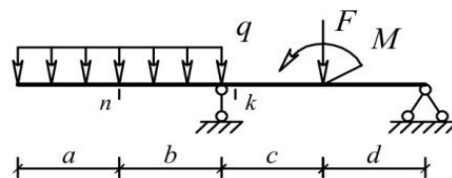
1.1.17-rasm



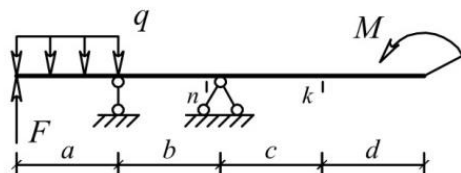
1.1.18-rasm



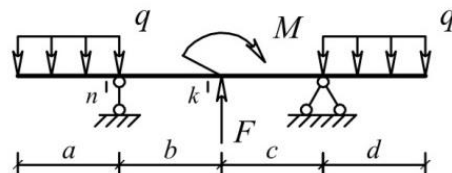
1.1.19-rasm



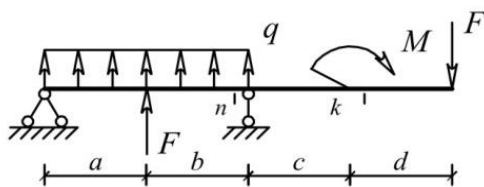
1.1.20-rasm



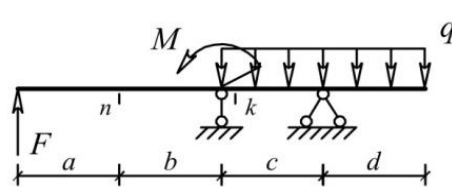
1.1.21-rasm



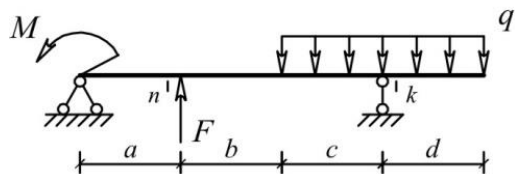
1.1.22-rasm



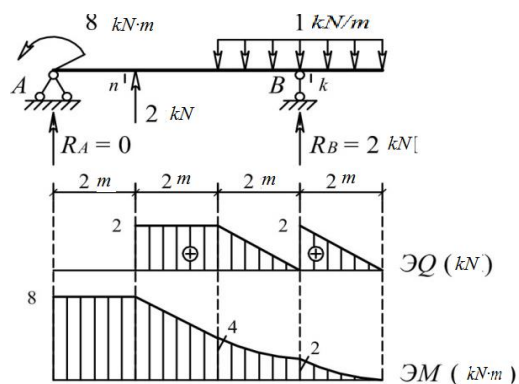
1.1.23-rasm



1.1.24-rasm



1.1.25 –rasm



1.1.26-rasm

Topshiriqni bajarish uchun namuna

Dastlabki ma'lumotlar: 1.1.25-rasm;

$a = 2 \text{ m}$; $b = 2 \text{ m}$; $c = 2 \text{ m}$; $d = 2 \text{ m}$; $M = 8 \text{ kN} \cdot \text{m}$; $F = 2 \text{ kN}$; $q = 1 \text{ kN} / \text{m}$.

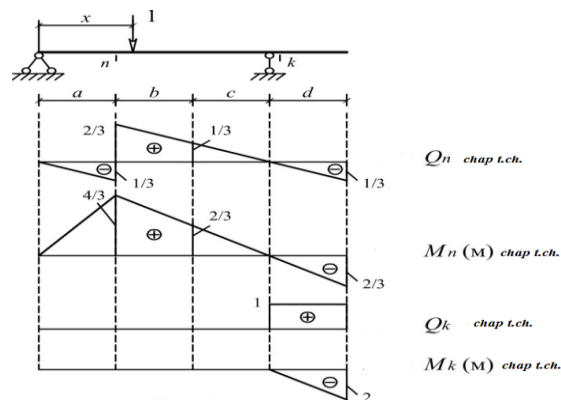
a) Ichki kuch omillari epyurasi (1.1.26-rasm)

Muammoni hal qilish yechimi

Dastlabki ma'lumotlar: 1.1.25-rasm; $a = 2 \text{ m}$; $b = 2 \text{ m}$; $c = 2 \text{ m}$; $d = 2 \text{ m}$; $M = 8 \text{ kN} \cdot \text{m}$; $F = 2 \text{ kN}$; $q = 1 \text{ kN} / \text{m}$.

b) n va k kesimlarda ichki kuch omillarining ta'sir chiziqlari (1.1.27-rasm)

c) n va k kesimlarda S (eguvchi momenti yoki ko'ndalang kuchi) ichki kuchlarini formulalar yordamida aniqlash: $S = M \cdot \operatorname{tg} \alpha + F \cdot y + q \cdot \omega^2$,



1.1.27-rasm

² Q.S.Abdurashidov, B.A.Hobilov, N.J.To'ychiyev, A.G.Rahimboyev "Qurilish mexanikasi" .34 – bet.

Bu yerda: M – eguvchi moment («+» - soat strelkasi bo'yicha, «-» - soat strelkasiga qarshi yo'nalganda);

α – M eguvchi momentning ta'sir chizig'idagi burchagi;

F – ta'sir kuchi («+» - pastga yo'nalganda, «-» - yuqoriga yo'nalganda);

y – tashqi kuchning ta'sir chizig'idagi ordinatasi;

q – tekis taqsimlangan kuch («+» - pastga yo'nalganda, «-» - yuqoriga yo'nalganda);

ω – tashqi yukning ta'sir chizig'idagi yuzasi.

$$M_n = (-8) \cdot (4/6) + (-2) \cdot (4/3) + 1 \cdot 0 = -8 \text{ kN} \cdot \text{m},$$

$$Q_n = (-8) \cdot (-1/6) + (-2) \cdot (2/3) + 1 \cdot 0 = 0,$$

$$M_k = (-8) \cdot 0 + (-2) \cdot 0 + 1 \cdot (-2) = -2 \text{ kN} \cdot \text{m},$$

$$Q_k = (-8) \cdot 0 + (-2) \cdot 0 + 1 \cdot 2 = 2 \text{ kN}.$$

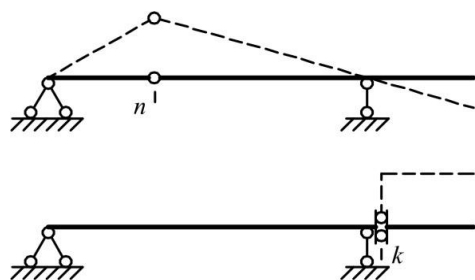
Demak, ko'rinib turibdiki, hisoblangan zo'riqishlarning qiymati epyuralardagi tegishli zo'riqishlarga to'g'ri keladi.

Topshiriqning yechimini tushuntirish

1) Zo'riqishlarning ta'sir chizig'ini qurish uchun statik-kinematik usuldan foydalanish tavsiya etiladi. Usulning mohiyati shundaki, avval ta'sir chizig'ining turi aniqlanadi. Ta'sir chizig'ini chizish uchun balkadan ulanish chiqariladi. Shunday qilib, bir daraja erkinlik bilan olingan mexanizmدا mumkin bo'lgan harakatlar epyurasi tuzilgan (1.1.28-rasm). Ta'sir chiziqlari nazariyasida, mumkin bo'lgan ish o'ng tamoyiliga asoslanib, ta'sir chizig'ining rasmi ushbu epyura konturiga to'g'ri kelishi isbotlangan.

Ta'sir chizig'ining ma'lum doirasi bilan, uning har qanday qonuniyatini

statika qonunlari bo'yicha hisoblash oson. Ya'ni, buning uchun esa ordinata ustiga birlik yukini o'rnatish kifoya qiladi, kerakli kuchga ega balkaning qismini ajratib olish va bu qismning muvozanatini ko'rib chiqish zarur bo'ladi.



M_n ning ta'sir chizig'i yoki mumkin bo'lgan ko'chish (shrix chiziqda)

Q_k ning ta'sir chizig'i yoki mumkin bo'lgan ko'chish (shrix chiziqda)

Izoh: Ta'sir chizig'ining belgisi, agar mexanizmning mumkin bo'lgan harakati kerakli kuchning ijobiy yo'nalishiga to'g'ri keladigan yo'nalishda o'rnatilsa, avtomatik ravishda aniqlanadi.

2) Ta'sir chiziqlari bo'yicha zo'riqlashlarni aniqlashda tashqi eguvchi moment ta'sir formulasiga agar soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha yo'naltirilsa "+" belgisi bilan, tashqi to'plangan kuch va tekis taqsimlangan yuk pastga yo'naltirilgan bo'lsa "+" belgisi bilan kiritish kerakligini yodda tutish kerak. Bunday qoidalar ta'sir formulasini olishda qabul qilinadi. Tangensning belgisi odatiy tarzda aniqlanadi, ya'ni birinchi va uchinchi choraklarda bu ijobiy (agar ta'sir chizig'i pastga tushmasa).

1.2. 2-HGI. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni hisoblash

Topshiriqlar bayoni

Rasmda ko'rsatilgan ko'p oraliqli balkalardan biri 1.2.1 - 1.2.25–rasm uchun talab qilinadi:

k kesimdagi ichki kuch omillari va ichki kuchlarning ta'sir chiziqlari sxemalari;

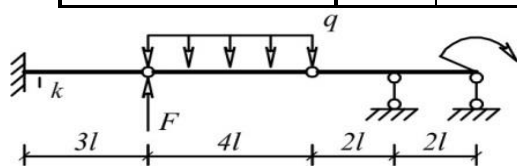
k berilgan kesmaning ta'sir chiziqlari bo'yicha k kesimidagi kuchlarni aniqlang va ularni epyuralardagi kuchlar bilan taqqoslang;

1.2.26-rasmda ko'rsatilgan balka uchun yuklarning harakatlanadigan sistemasidan k kesimida eguvchi momentning maksimal va minimal qiymatini toping.

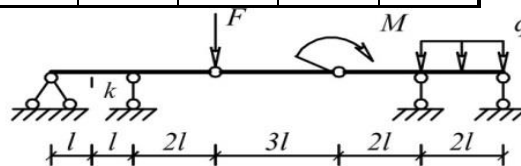
1.2.Jadvaldan hisoblash uchun dastlabki ma'lumotlar.

1.2-jadval

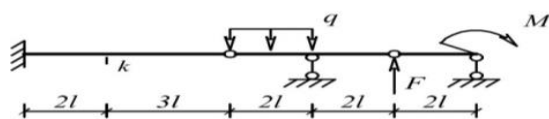
Variant raqami	1	2	3	4	5	6	7
Kattalik							
l, m	2	3	4	2	2	4	3
M, kNm	6	5	4	6	8	10	7
F, kN	4	5	3	6	7	2	8
$q, kN/m$	2	1	3	4	2	1	3



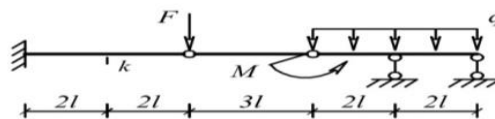
1.2.1-rasm



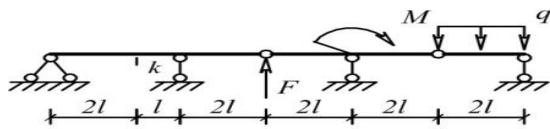
1.2.2-rasm



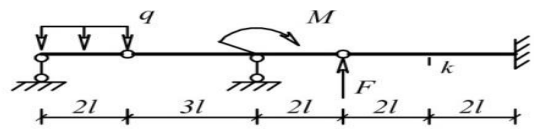
1.2.3-rasm



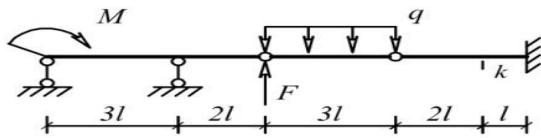
1.2.4-rasm



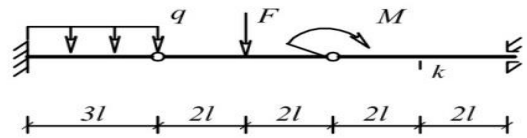
1.2.5-rasm



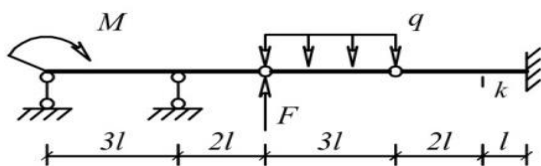
1.2.6-rasm



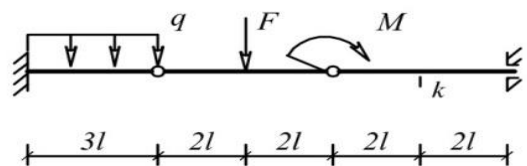
1.2.7-rasm



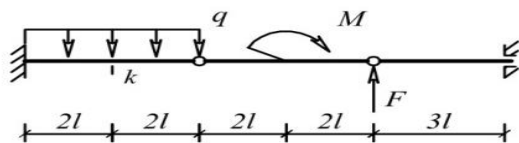
1.2.8-rasm



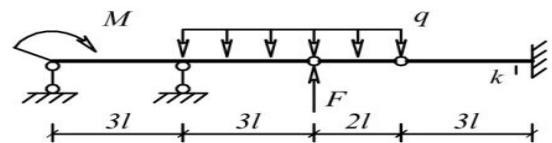
1.2.9-rasm



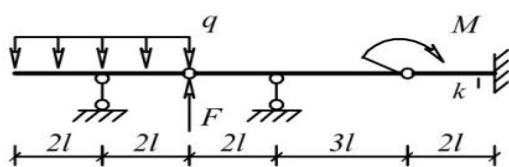
1.2.10-rasm



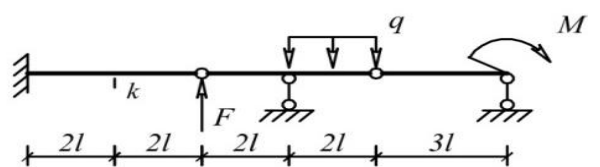
1.2.11-rasm



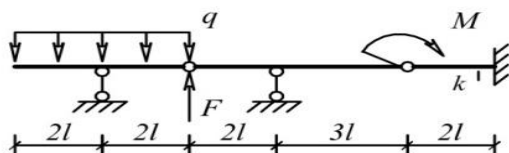
1.2.12-rasm



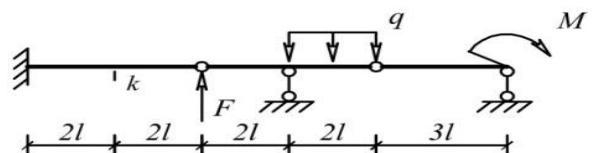
1.2.13-rasm



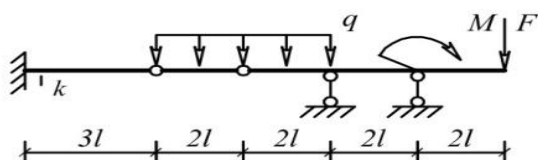
1.2.14-rasm



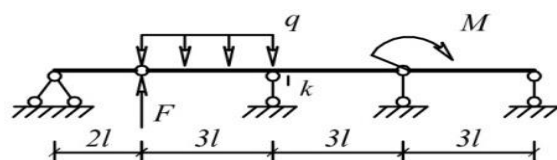
1.2.15-rasm



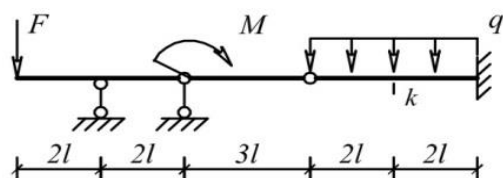
1.2.16-rasm



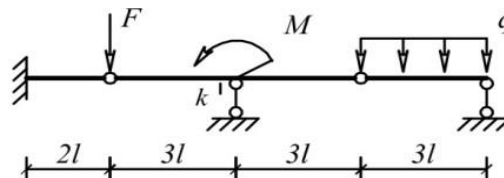
1.2.17-rasm



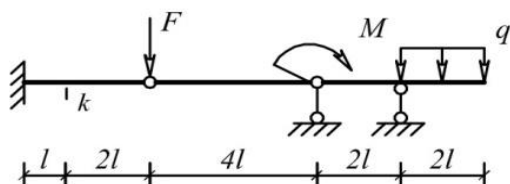
1.2.18-rasm



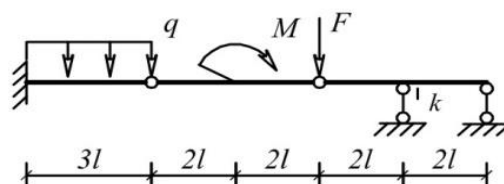
1.2.19-rasm



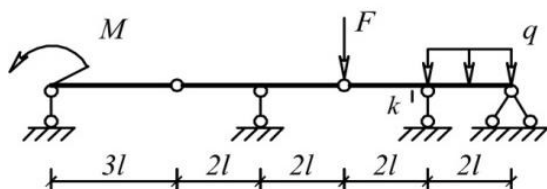
1.2.20-rasm



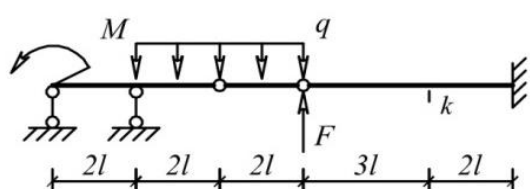
1.2.21-rasm



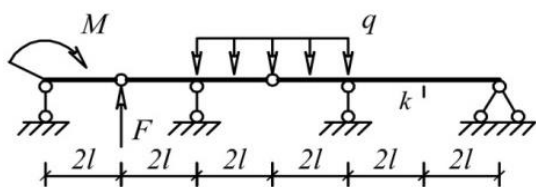
1.2.22-rasm



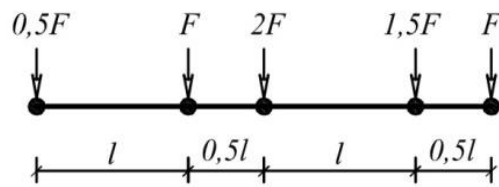
1.2.23-rasm



1.2.24-rasm



1.2.25-rasm



1.2.26-rasm

Topshiriqni bajarish uchun namuna

Berilganlari: balka sxemasi. 1.2.25-rasm; $l=2$ m; $M=4\text{kN}\cdot\text{m}$; $F=2$ kN; $q=2$ kN/m.

a) Sistemani kinematik tahlil qilish

1) Sistemaning erkinlik darajasi

$$W = 3D - (2III + C) = 3 \cdot 3 - (2 \cdot 2 + 5) = 0$$

2) Ko'p pog'onali balkaning geometrik o'zgarmasligi 1.2.27-rasmda keltirilgan «qavat» sxemasini tahlil qilish natijasida kelib chiqadi. Ushbu sxemadagi barcha disklar kerakli miqdordagi to'g'ri o'rnatilgan ulanishlarga ega. Shuning uchun ko'p oraliqli balka statik aniq sistemadir.

1.2.28–rasmda disklarning muvozanatini ta'minlovchi reaksiya kuchlari ko'rsatilgan. A-1 disk uchun muvozanat tenglamasidan reaksiya kuchlari:

$$x_1 = 0; y_A = -1 \text{ kN}; y_1 = 1 \text{ kN}.$$

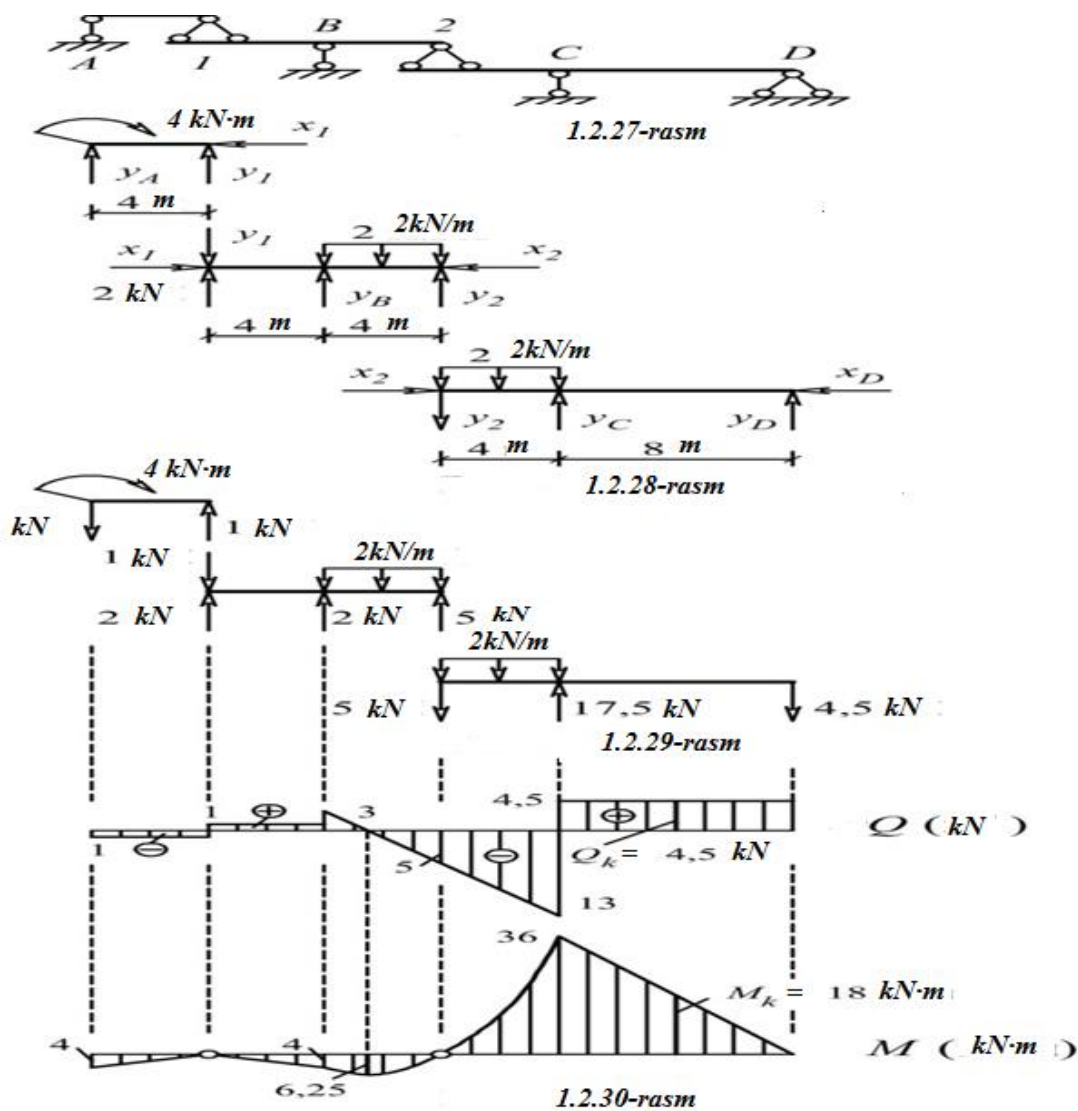
1-2 disk uchun muvozanat tenglamasidan reaksiya kuchlari:

$$x_2 = 0; y_B = 2 \text{ kN}; y_2 = 5 \text{ kN}.$$

2-D disk uchun muvozanat tenglamasidan reaksiya kuchlari:

$$x_D = 0; y_C = 17,5 \text{ kN}; y_D = -4,5 \text{ kN}.$$

Reaksiya kuchlarining yo'nalishi va qiymati to'g'riligi 1.2.29.-rasmda ko'rsatilgan.



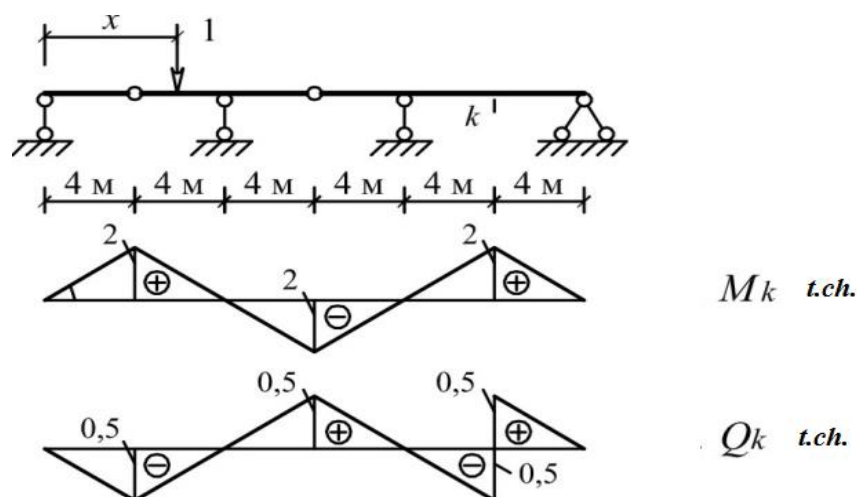
d) k kesimidagi ichki kuch omillarining ta'sir chiziqlari

d) Ta'sir chiziqlari bo'ylab k kesimida ichki kuch omillarini aniqlash

$$M_k = 4 \cdot 0,5 + (-2) \cdot 2 + 2 \cdot (-8) = -18 \text{ kNm}$$

$$Q_k = 4 \cdot (-0,5/4) + (-2) \cdot (-0,5) + 2 \cdot 2 = 4,5 \text{ kN ga teng}$$

Harakatlarning belgilari va mohiyati epyuralardagi harakatlarning mohiyati va belgilariga to'g'ri keldi.



1.2.31-rasm.

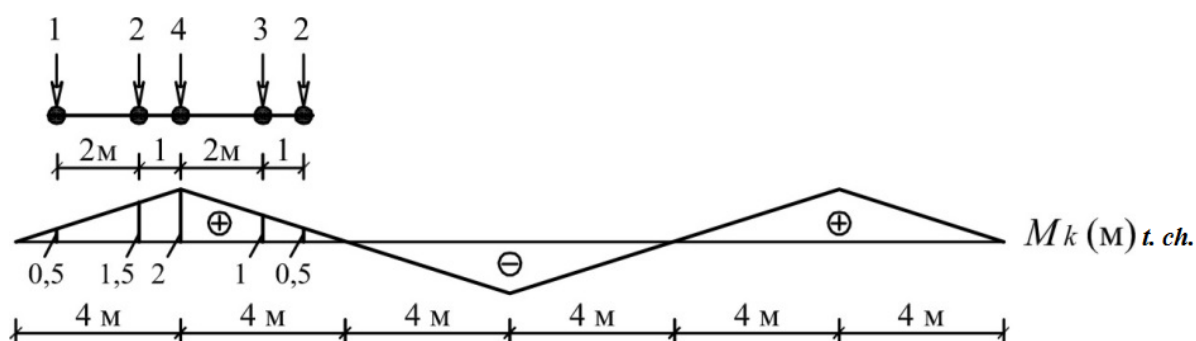
f) 1.2.26- rasmda ko'rsatilgan ulangan yuklarning harakatlanuvchi sistemasi orqali k kesimida eguvchi momentning ta'sir chizig'ining noqulay yuklanishini aniqlash.

1) 1.2.32-rasmda k kesimida maksimal (eng katta plyus belgisi) eguvchi momenti bo'lgan yuk sistemasining holati ko'rsatilgan. Kritik yuk 4 kN kuchdir, chunki bu yuk yuqoridan o'tib ketganda M_k hosilasining belgisi "+" dan "-" ga o'zgaradi:

$$\Leftarrow dM_k/dx = (1 + 2 + 4) \cdot 0,5 + (3 + 2) \cdot (-0,5) > 0$$

$$\Rightarrow dM_k/dx = (1 + 2) \cdot 0,5 + (3 + 2 + 4) \cdot (-0,5) < 0$$

$$\max M_k = 1 \cdot 0,5 + 2 \cdot 1,5 + 4 \cdot 2 + 3 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5 = 15,5 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$



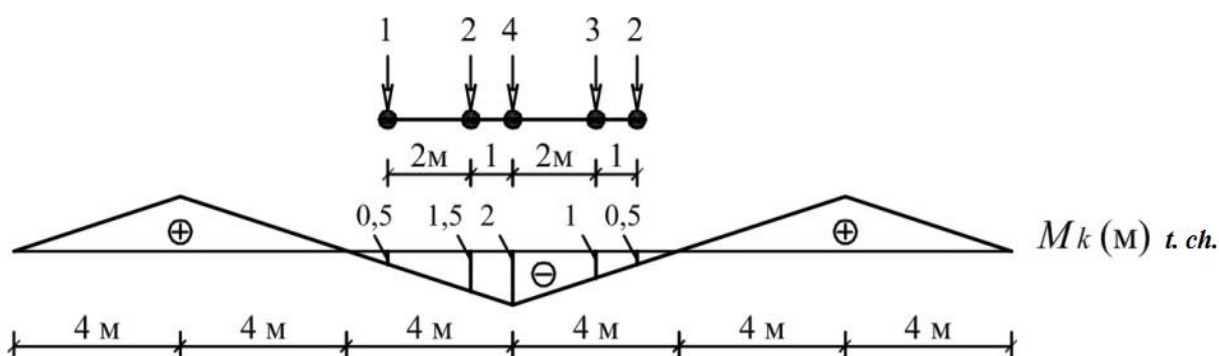
1.2.32-rasm

2) 1.2.33-rasmda k kesimida eng kam (manfiy belgisi bilan eng katta) eguvchi momenti bo'lgan yuk sistemasining holati ko'rsatilgan. Kritik yuk 4 kN dir, chunki yuk yuqoridan o'tib ketganda, M_k hosilasining belgisi “-” dan “+” ga o'zgaradi:

$$\Leftarrow dM_k/dx = (1+2+4) \cdot (-0,5) + (3+2) \cdot 0,5 < 0$$

$$\Rightarrow dM_k/dx = (1+2) \cdot (-0,5) + (3+2+4) \cdot 0,5 > 0$$

$$\min M_k = 1 \cdot (-0,5) + 2 \cdot (-1,5) + 4 \cdot (-2) + 3 \cdot (-1) + 2 \cdot (-0,5) = -15,5 \text{ kNm}$$



1.2.33-rasm

Topshiriqlarni bajarish bo'yicha tushuntirishlar

1) Sterjenli sistema statik aniq, agar uning erkinlik darajasi W nolga teng bo'lsa va u geometrik jihatdan o'zgarmas bo'ladi. Geometrik jihatdan o'zgarmagan sistemalarda yuklardan ko'chish uning elementlarining faqat deformatsiyasi natijasidir. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar uchun geometrik o'zgarmaslikni tahlili deb ataladigan konstruksiya yordamida bajarish osonroq bo'ladi. Alohida balkalarni o'rnatish ketma-ketligining “qavat” sxemasi ko'rsatilgan. Bunday sxemaning har bir “qavatida” uchta ulanish bo'lishi kerak (1.2.27-rasmga qarang).

2) Ko'p oraliqli statik aniq balkaning tayanchlarida reaksiyalarni aniqlashda har qanday ko'p diskli statik aniq sistema har qanday tashqi yuklarga ega bo'lgan alohida disklarning to'plami sifatida taqdim etilishi va ularning tarkibidagi

muvozanatni ta'minlaydigan bog'lanish reaksiyalaridan foydalanish tavsiya etiladi. Statik aniq sistemalar nazariyasida, statikaning mustaqil tenglamalari soni, bog'lanishlardagi reaksiyalar soniga, shu jumladan, Nyuton qonuniga muvofiq "ta'sir aks ta'sirga teng", ya'ni qo'shni disklarga qo'llaniladigan bo'g'inlardagi o'zaro ta'sir kuchlari isbotlangan, teng va aksincha yo'naltirilgan.

Izoh: To'plangan tashqi kuchlar qo'shni disklarning har qanday qismiga qo'llanilishi mumkin.

Ichki kuch omillarini alohida disklarga joylashtirganingizdan so'ng, ular to'planib, ko'p oraliqli balka uchun uchastkalarni hosil qiladi (1.2.30-rasmga qarang).

3) Ko'p oraliqli balkalarda zo'riqishlarning ta'sir chizig'ini qurishda, statik-kinematik usuldan foydalanish eng oson, uning ta'rifi 1.1-bandda bayon qilingan. Statik aniq sistemalardagi kuchlarning ta'sir chiziqlari ko'pburchak poligonal rasmga ega bo'lganligi sababli, muvozanat shartlaridan osonlikcha aniqlanadigan ushbu ta'sir chizig'ining ordinatalaridan birini topish kifoya. Masalan, **k** uchastkaning ustiga yuk birligi o'rnatilganda ordinata aniqlanadi. Yukning ushbu pozitsiyasi bilan ikkilamchi zo'riqishlar ishlamaydi (1.2.27-rasmga qarang), ularni tashlab yuborish mumkin va kesib, asosiy balkaning **k** kesmasidagi eguvchi momenti va ko'ndalang kuchi muvozanat qonunlaridan aniqlanishi mumkin.

4) Ta'sir yo'nalishlari bo'yicha harakatlarni aniqlash qoidalarini va ta'sir formulalari 1.1-bandda keltirilgan.

5) Bir-biriga bog'langan yuklarning maqbul sistemasidan **S** kuchining maksimal va minimal qiymatlarini aniqlash ushbu yuklar sistemasining noqulay yuklanish chizig'ini topishni talab qiladi. Ta'sir chiziqlari nazariyasida, noqulay yuklanishda yukning (kritik) ta'sir chizig'i vertikalalaridan yuqorisida bo'lishi kerakligi isbotlangan: agar **maxS** talab qilinsa, o'qning tepasida va **minS** qidirilsa o'qda (ta'sir chizig'i bo'lmasligi kerak) bo'ladi.

Yuk va eng yuqori cho‘qqiga chiqish juda muhim shart - bu cho‘qqi yuk bilan harakatlanayotganda kuch hosilasining belgisini o‘zgartirish, ya’ni, agar **maxS** qidirilsa “+” dan “-” ga, va **minS** bo‘lsa “-” dan “+” gacha. Kuchning hosilasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$dS/dx = \sum (F_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i)$$

Bu yerda F_i – o‘rtacha yuk;

α_i – o‘rtacha yuk F_i ning ta’sir chizig‘iga qo‘yilish burchagi.

Kritik yukni va muhim cho‘qqini topish vazifasi mumkin bo‘lgan variantlarni ko‘rib chiqish yo‘li bilan hal qilinadi. **maksS** va **minS** ni aniqlash ta’sir formulasiga muvofiq amalga oshiriladi:

$$S = \sum (F_i \cdot y_i),$$

Bu yerda F_i – o‘rtacha yuk;

y_i – o‘rtacha yuk ta’sirida noqulay yuklangan holatdagi

S zo‘riqish ta’sir chizig‘ining ordinatasi.

1.2. 3-HGI. Yassi ramalarni hisoblash.

Topshiriqlar bayoni

1.3.1 - 1.3.25 Rasmda ko‘rsatilgan ramalardan biri uchun quyidagilar talab qilinadi:

-kinematik tahlilni o‘tkazish;

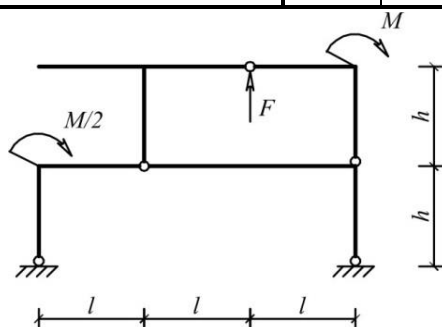
-tayanchlardagi reaksiyalarni, shu jumladan, bo‘g‘inlardagi o‘zaro ta’sir kuchlarini aniqlash;

-ichki kuch omillari epyuralarini qurish.

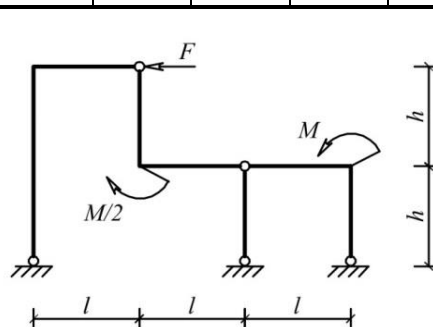
Hisoblash uchun dastlabki ma'lumotlar 1.3-jadvaldan olinishi kerak.

1.3-jadval

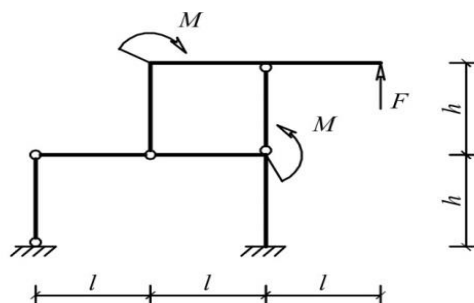
Variant tartibi Kattaliklar	1	2	3	4	5	6	7
l, m	3	3	2	3	4	4	2
h, m	2	3	3	4	3	4	4
F, kN	3	4	5	5	4	5	6
M, kNm	5	4	6	4	6	5	8



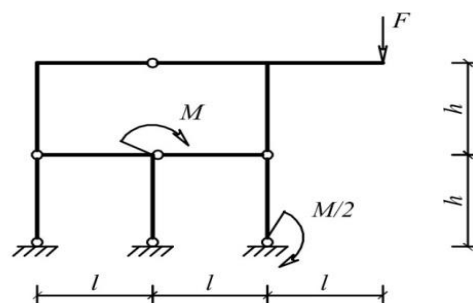
1.3.1-rasm



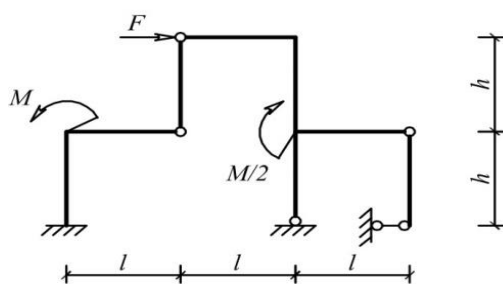
1.3.2-rasm



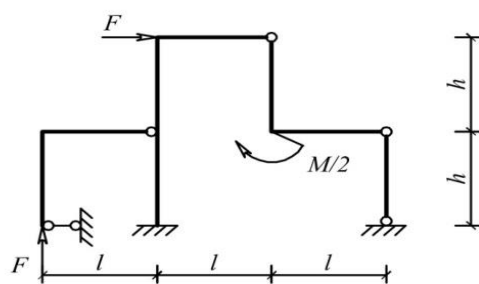
1.3.3-rasm



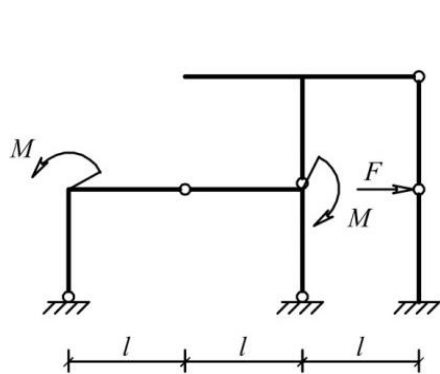
1.3.4-rasm



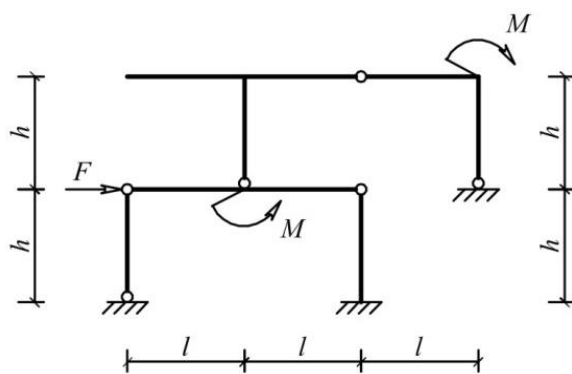
1.3.5-rasm



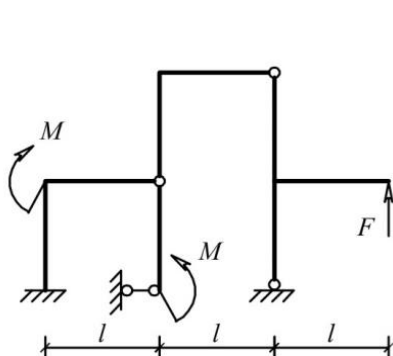
1.3.6-rasm



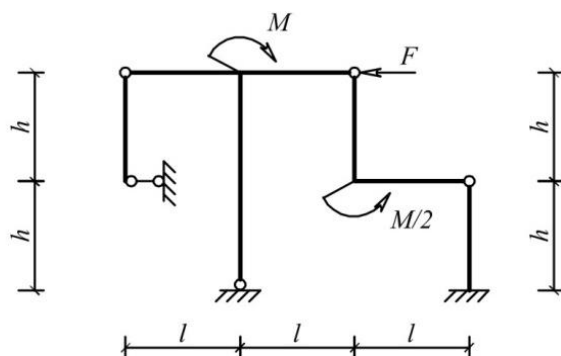
1.3.7-rasm



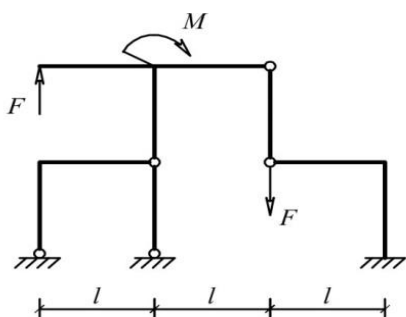
1.3.8-rasm



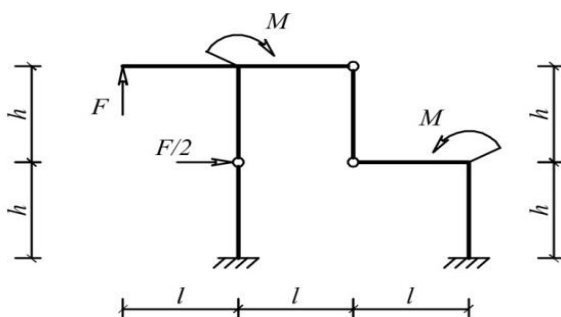
1.3.9-rasm



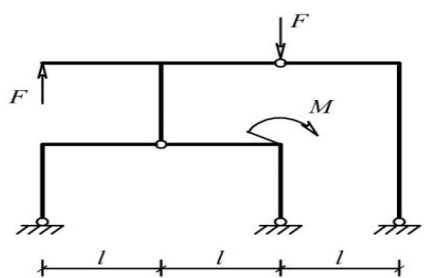
1.3.10-rasm



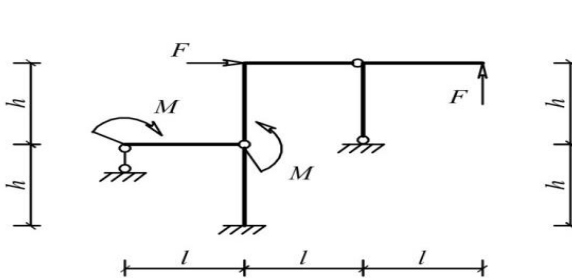
1.3.11-rasm



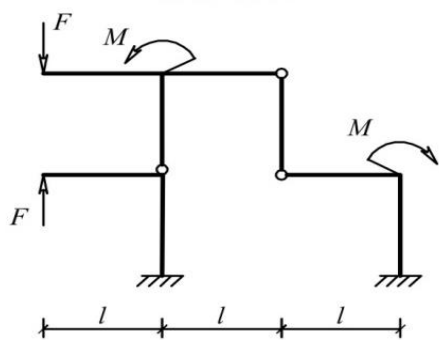
1.3.12-rasm



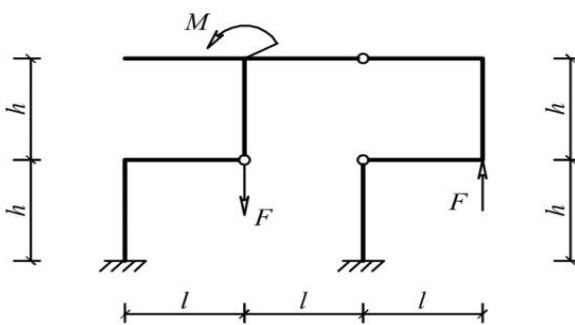
1.3.13-rasm



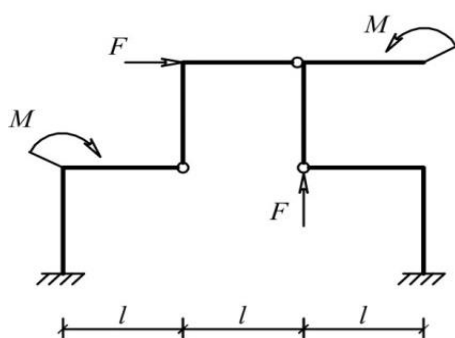
1.3.14-rasm



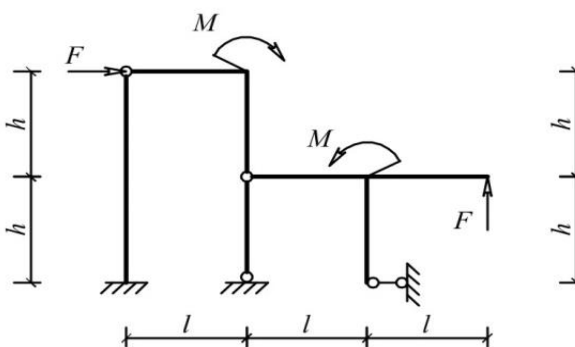
1.3.15-rasm



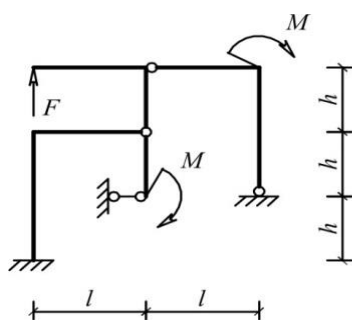
1.3.16-rasm



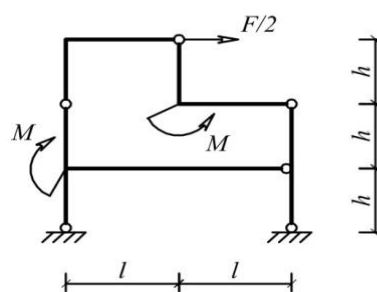
1.3.17-rasm



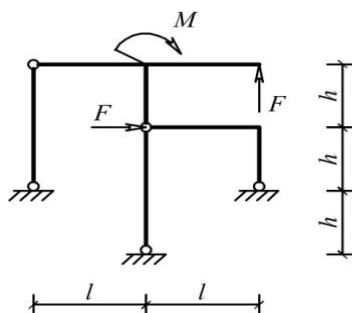
1.3.18-rasm



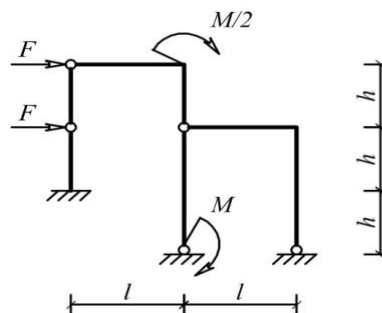
1.3.19-rasm



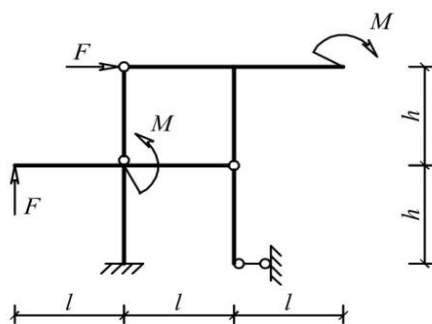
1.3.20-rasm



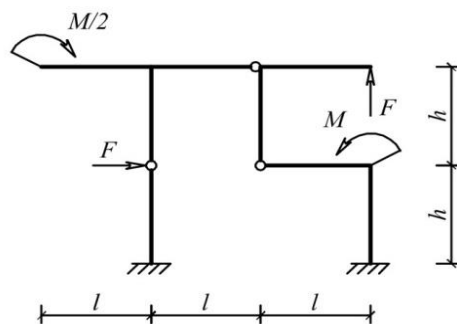
1.3.21-rasm



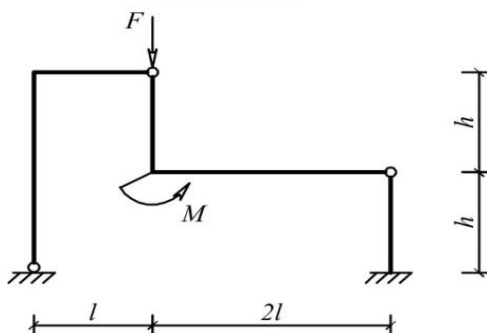
1.3.22-rasm



1.3.23-rasm

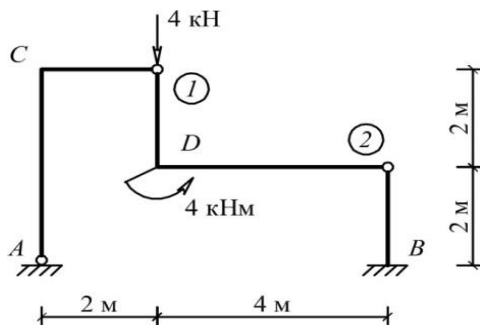


1.3.24-rasm



1.3.25-rasm

Topshiriqni yechish uchun namuna:



1.3.26-rasm

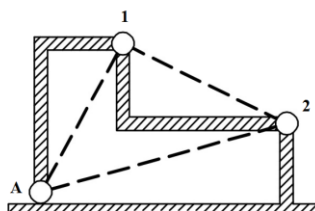
Berilganlari: 1.3.26-rasm; $l=2$ m; $h=2$ m; $M=4$ kN·m; $F=4$ kN.

a) Ramani kinematik tahlil qilish:

1) Sistemaning erkinlik darajasi

$$W = 3D - (2III + C) = 3 \cdot 3 - (2 \cdot 2 + 5) = 0$$

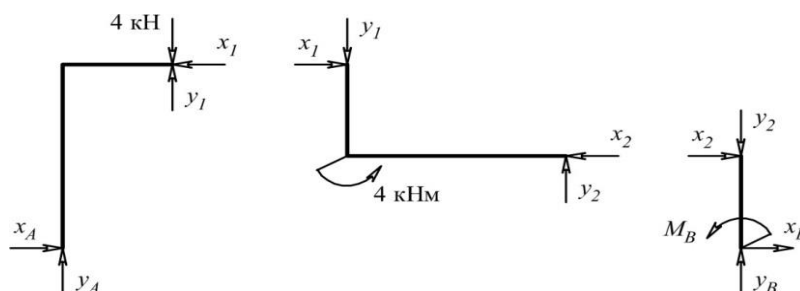
2) rama o'zgarmas rasmda (1.3.27-rasm), bitta to'g'ri chiziqda yotmagan A, 1 va 2 sharnirlar bilan bog'langan uchta diskdan iborat. Shuning uchun rama tuzilishining geometrik o'zgarmasligi ta'minlanadi.



1.3.27-rasm

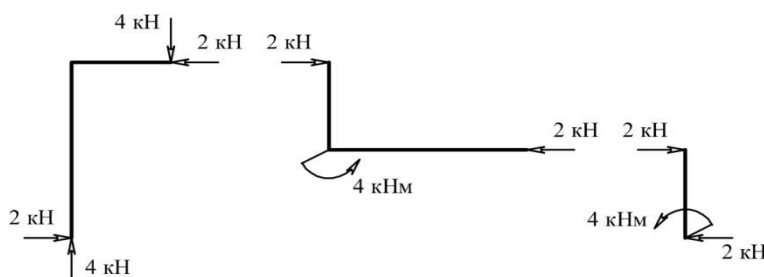
b) Tayanchlardagi reaksiyalar.

Rama disklarining muvozanatini ta'minlovchi kuchlar 1.3.28-rasmda keltirilgan.



1.3.28-rasm

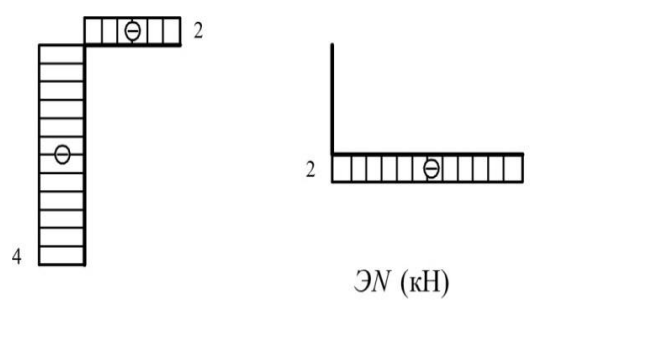
9 ta muvozanat tenglamasidan topilgan X_A , Y_A , X_B , Y_B , M_B , X_1 , Y_1 , X_2 , Y_2 reaksiyalarning yo'nalishi va kattaligi (har bir disk uchun uchta) 1.3.29-rasmda keltirilgan.



1.3.29-rasm

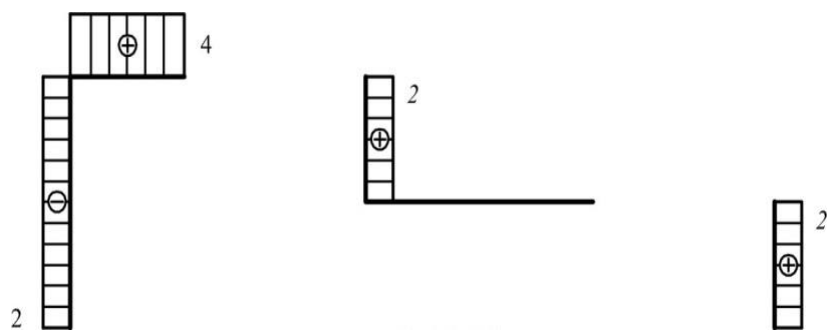
c) Ramaning disklaridagi ichki kuch omillarining uchastkalari

Bo'ylama kuchlarning epyuralari (kN)



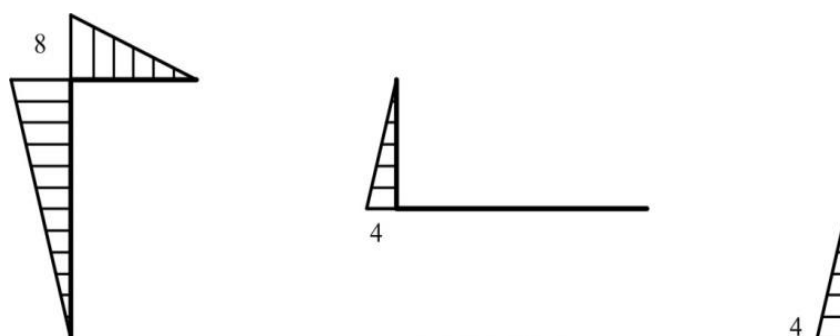
1.3.30-rasm

Kesuvchi kuchining epyuralari (kN)



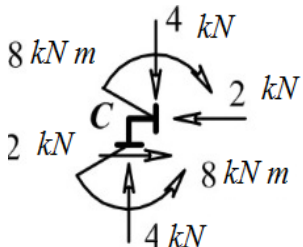
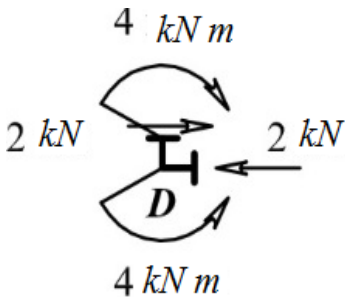
1.3.31-rasm

Eguvchi momentlarining epyuralari (kN·m)



1.3.32-rasm

d) C va D bikir tugunlarning muvozanatini tekshirish

<u>C tugun</u>	<u>D tugun</u>
 1.3.33-rasm	 1.3.34-rasm
$\Sigma X = 0; \Sigma Y = 0; \Sigma M_C = 0.$	$\Sigma X = 0; \Sigma Y = 0; \Sigma M_D = 0.$

Topshiriqlarni bajarish bo'yicha tushuntirishlar

1) Kinematik tahlil, ko'rib chiqilayotgan rama tuzilishi statik jihatdan aniqlanganligini isbotlash uchun amalga oshiriladi, ya'ni u ortiqcha bog'lanishlarga ega emas va uning geometrik o'zgarmasligi ta'minlanadi. Geometrik o'zgarmaslikni tahlil qilish quyidagilarni topishni o'z ichiga oladi, ular o'z ichiga:

a) bitta oddiy chiziqda yotmaydigan uchta oddiy sharnir orqali bog'langan uchta disk (1.3.27-rasmga qarang);

b) bir nuqtada uchta oddiy parallel va kesishmaydigan sharnirlar orqali ulangan ikkita disk.

Shu bilan birga, er o'zgarmas va sobit disk sifatida qabul qilinadi.

2) Statik aniq ramaning bog'lanishlaridagi reaksiyalarni aniqlashda har qanday ko'p diskli statik aniq sistemaning tashqi yuklarga ega bo'lgan alohida disklar to'plami va ularni sistemadagi muvozanatni ta'minlaydigan bog'lanish reaksiyalari to'plami sifatida taqdim etilishi mumkin bo'lgan umumiy yondashuvdan foydalanish tavsiya etiladi. Statik aniq sistemalar nazariyasida, statikaning mustaqil tenglamalari soni, bog'lanishlardagi reaksiyalar soniga, shu jumladan Nyuton qonuniga muvofiq "ta'sir aks ta'sirga teng", ya'ni qo'shni diskarga qo'llaniladigan bo'g'inlardagi o'zaro ta'sir kuchlari tengligi isbotlangan va aksincha yo'naltirilgan³.

³ А.П. Мельчаков, И.С. Никольский СБОРНИК ЗАДАЧ ПО СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ (с примерами и пояснениями) стр.17

Izoh: To'plangan tashqi kuchlar qo'shni disklarning har qanday qismida qo'llanilishi mumkin.

3) Disklardagi ichki kuch omillarini aniqlash kesish usuli bilan amalga oshiriladi, ularning mohiyati quyidagicha:

a) diskni ikkita qismga shunday bo'lingki, bunda kesimda izlanayotgan ichki kuch omillari hosil bo'lsin;

b) diskning bir qismini (har qanday) chiqarib tashlang va uning harakati bo'ylama N , ko'ndalang Q va eguvchi moment M kuchlari bilan almashtiriladi;

c) diskning ko'rib chiqilayotgan qismi uchun uchta mustaqil muvozanat tenglamalari tuziladi, ulardan ichki kuch omillarining kattaligi va yo'nalishlari aniqlanadi.

4) Tuzilgan sxemalardan biki tugunlarning muvozanatini tekshirish uchun tugunlarga iloji boricha yaqinroq qismlarda ichki kuch omillari chiqariladi va kuchning yo'nalishini hisobga olgan holda tugunlarga qo'llaniladi. Muvozanat shartlarining bajarilishi tekshiriladi, uni hisoblashda tugunga bevosita qo'llaniladigan tashqi to'plangan kuchlar yoki momentlarni e'tiborga olish kerak.

1.3. 4-HGI. Statik aniq fermalarni hisoblash.

Topshiriqlar bayoni

1.4.1 - 1.4.25 - rasmda ko'rsatilgan sterjenli fermalardan biri uchun quyidagilar talab qilinadi:

a) Statik aniq fermaning tugunlari to'plangan kuch ta'sirida bo'lsa, berilgan sterjenlaridagi zo'riqlashlarni analitik usulda hisoblash.

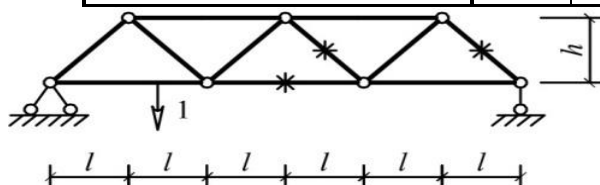
b) statik aniq fermaning to'g'ri chiziqli belbog'i bo'ylab harakatlangan yukdan hosil bo'lgan zo'riqlashlarning ta'sir chiziqlarini qurish;

v) Zo'riqlashlarning ta'sir chizig'i yordamida olingan qiymatini analitik ravishda olingan qiymatlari bilan taqqoslang.

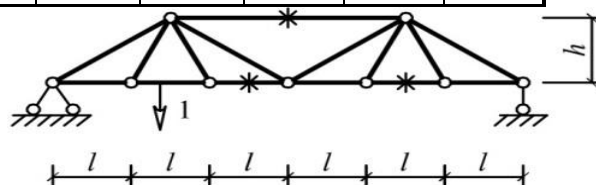
1.4. - Jadvaldan hisoblash uchun dastlabki ma'lumotlar.

1.4-jadval

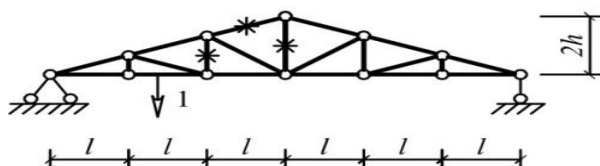
Tartib raqami Kattaliklar	1	2	3	4	5	6	7
$l, \text{ m}$	2	1	1,5	1,5	1	2	2,5
$h, \text{ m}$	2	1,5	0,75	1,75	2	3	3
$F, \text{ kN}$	5	7	9	10	8	6	4



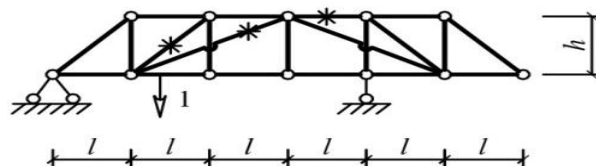
1.4.1-rasm



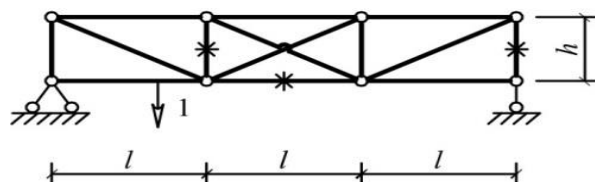
1.4.2-rasm



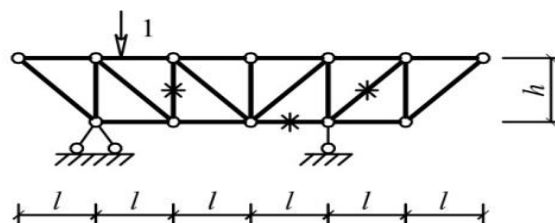
1.4.3-rasm



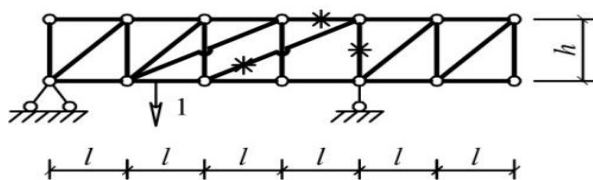
1.4.4-rasm



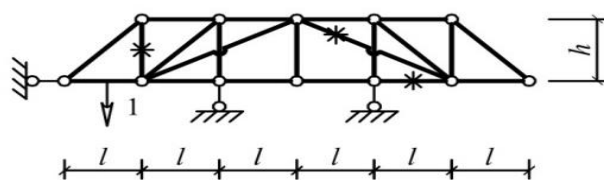
1.4.5-rasm



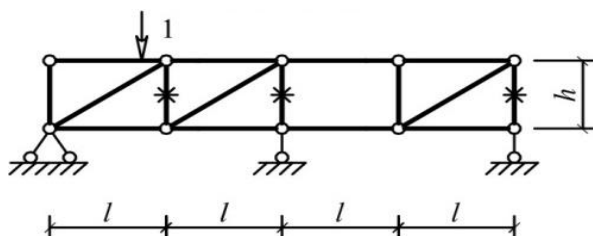
1.4.6-rasm



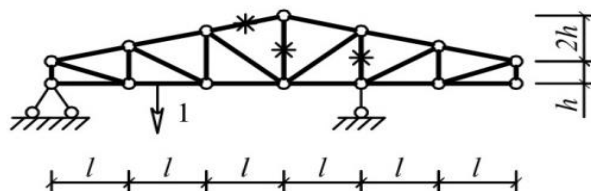
1.4.7-rasm



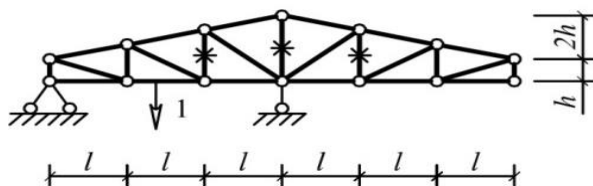
1.4.8-rasm



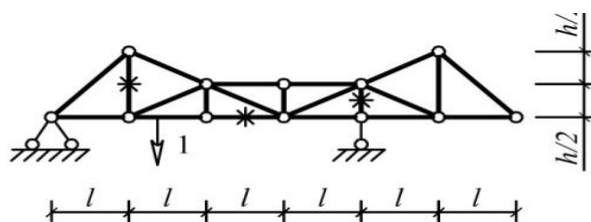
1.4.9-rasm



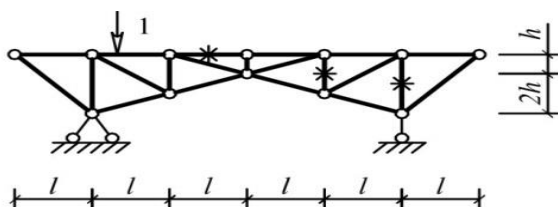
1.4.10-rasm



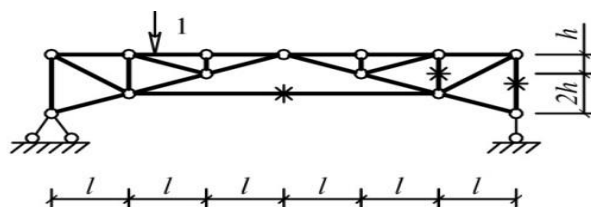
1.4.11-rasm



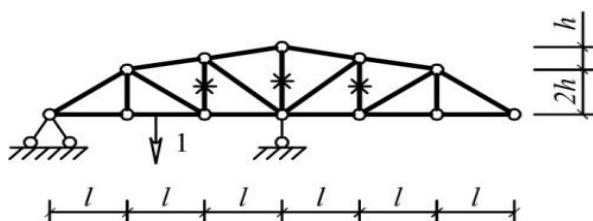
1.4.12-rasm



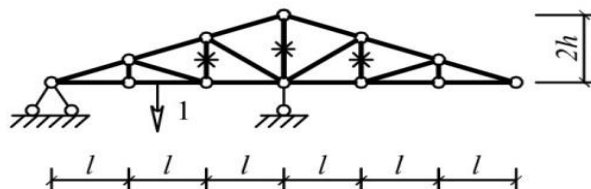
1.4.13-rasm



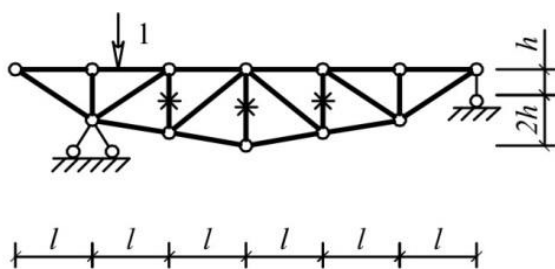
1.4.14-rasm



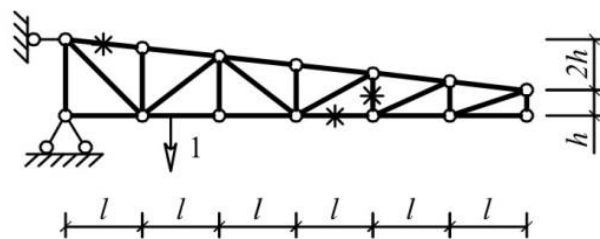
1.4.15-rasm



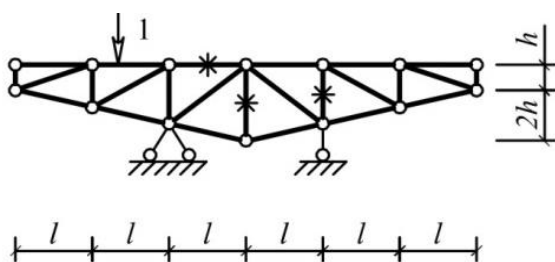
1.4.16-rasm



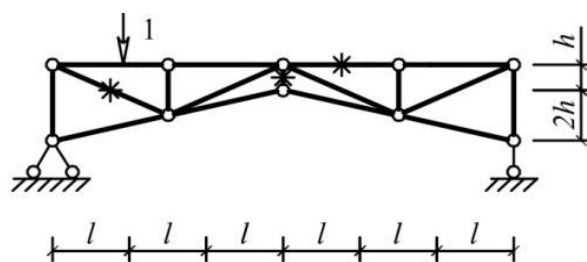
1.4.17-rasm



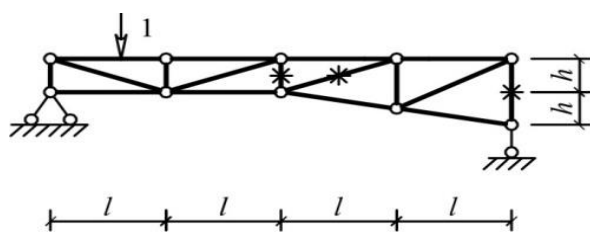
1.4.18-rasm



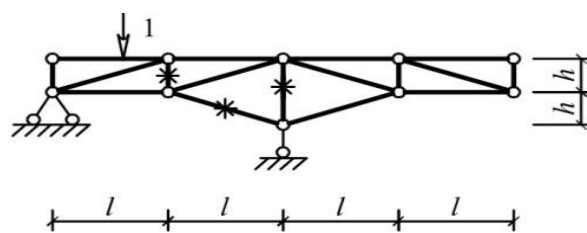
1.4.19-rasm



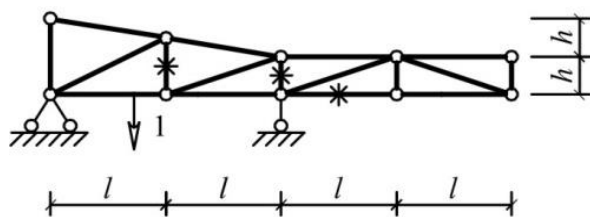
1.4.20-rasm



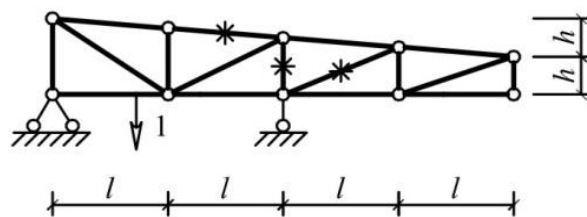
1.4.21-rasm



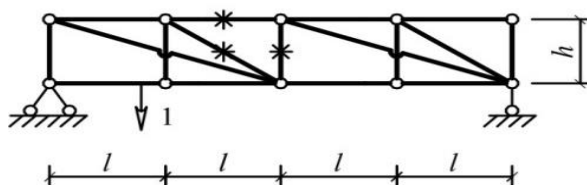
1.4.22-rasm



1.4.23-rasm

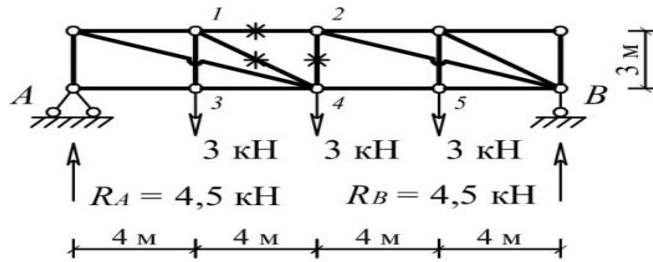


1.4.24-rasm



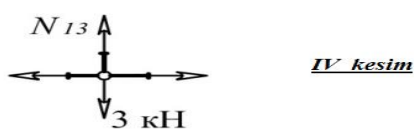
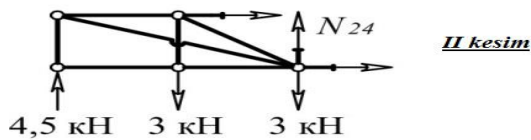
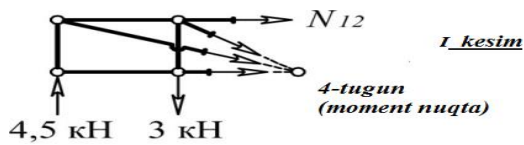
1.4.25-rasm

Topshiriqni bajarish uchun namuna



1.4.25-rasm

Dastlabki ma'lumotlar: 1.4.25 - rasm; $l = 4$ m; $h = 3$ m; $F = 3$ kN.



1.4.26-rasm

a) Belgilangan sterjenlardagi zo'riqlashlarni tashqi qo'zg'almas yukdan analitik usulda hisoblash.

$$N_{12} \cdot 3 + 4,5 \cdot 8 - 3 \cdot 4 = 0 \Rightarrow$$

$$N_{12} = -8 \text{ kN}$$

$$\Sigma Y = 0$$

$$N_{24} + 4,5 - 3 - 3 = 0 \Rightarrow N_{24} = 1,5 \text{ kN}$$

$$\Sigma Y = 0 ; -N_{14} \cdot \cos \alpha - N_{13} = 0 \Rightarrow$$

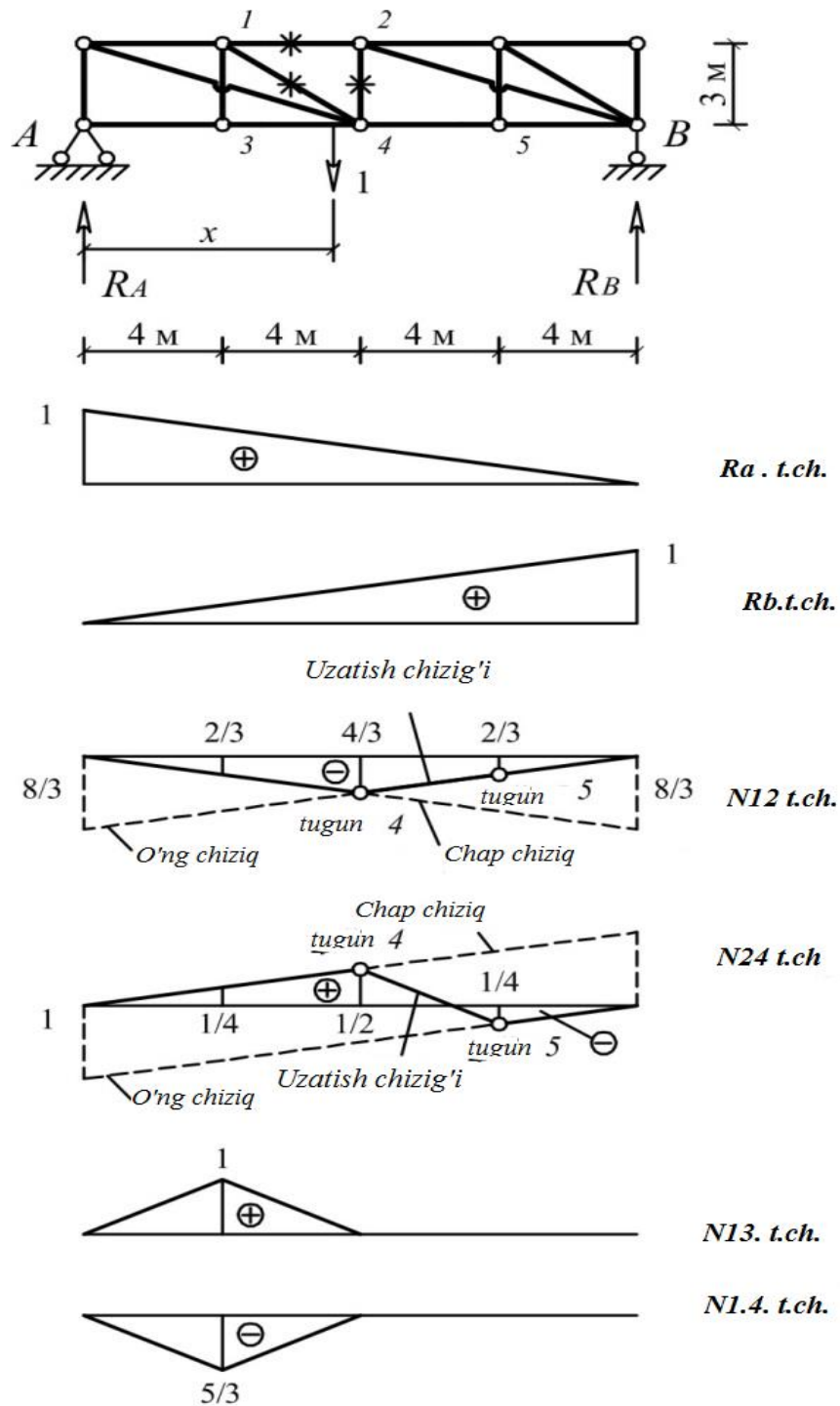
$$N_{14} = -N_{13} / \cos \alpha$$

$$N_{14} = -N_{13} / \cos \alpha = -3 / (3/5) = -5 \text{ kN.}$$

$$\Sigma M_4 = 0$$

$$\Sigma Y = 0; N_{13} - 3 = 0 \Rightarrow N_{13} = 3 \text{ kN}$$

b) Sxemada ko'rsatilgan ferma uchun kuchlarning ta'sir chiziqlari



1.4.27-rasm.

v) Belgilangan sterjenlardagi zo'riqish kuchlarini $F = 3 \text{ kN}$ bilan aniqlash.

$$N_{12} = (3) \cdot (-2/3) + (3) \cdot (-4/3) + (3) \cdot (-2/3) = -8 \text{ kN ga teng}$$

$$N_{24} = (3) \cdot (1/4) + (3) \cdot (1/2) + (3) \cdot (-1/4) = 1,5 \text{ kN ga teng}$$

$$N_{13} = (3) \cdot (1) = 3 \text{ kN ga teng}$$

$$N_{14} = (3) \cdot (-5/3) = -5 \text{ kN ga teng}$$

Topshiriqlarni bajarish bo'yicha tushuntirishlar

1) Ruxsat etilgan yukdan zo'riqish kuchlarni topishning analitik usuli aniqlangan kuchni o'z ichiga olgan fermaning kesilgan qismining muvozanatini ko'rib chiqishni talab qiladi.

2) Ko'pchilik holatda statik aniq ferma tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlarini qurish qolgan sterjenlarida zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini qurish uchun asos bo'lib, reaksiyalarining ta'sir chiziqlari qiymati va ordinatasi ko'rinib turadi. Vazifa, qoida tariqasida, ichki kuch va tayanch reaksiyalari o'rtasida muvozanat qonunlari orqali bog'lanish va reaksiyalar ta'sir chiziqlarini keyinchalik masshtabga olish bilan bog'liqdir. Ushbu misolda, yuk ko'tarish I kesimning o'ng tomonida bo'lganida, 1-2 sterjenda zo'riqish kuchining R_A reaksiya kuchiga o'zaro bog'liqligi, fermaning chap kesilgan qismi uchun 4- (tugun)ga nisbatan momentlari nolga teng ekanligi aniqlanadi. Natijada, o'ng qismining tenglamasi olinadi va chap tomon, ma'lum bo'lganidek, bir xil vertikal chiziqda yotgan nuqtada o'ng tomonni kesish nuqtasi 4-(tugun) bilan kesishadi. Sterjendagi zo'riqish kuchi uchun ta'sir chizig'ining 2-4 ustuni parallel bo'ladi, chunki muvozanat tenglamasi o'ng proyeksiyalash usuli bilan aniqlanadi. Kuchning ta'sir chizig'ini 1-4 sterjeni uchun qurishda biz 1 tugunning muvozanatidan 1-3 sterjendagi zo'riqish kuchi bilan bog'lanishni qo'lladik va 1-3 sterjendagi zo'riqish kuchning ta'sir chizig'ini, agar biz 3 tugunning muvozanatini ko'rib chiqsak, tuzish oson.

1.5. 5 – HGI. Arkasimon sistemalarni hisoblash

Topshiriqlar bayoni

1.5.1 - 1.5.24-rasmlarda ko'rsatilgan sterjenli sistemalaridan biri uchun quyidagilar talab qilinadi:

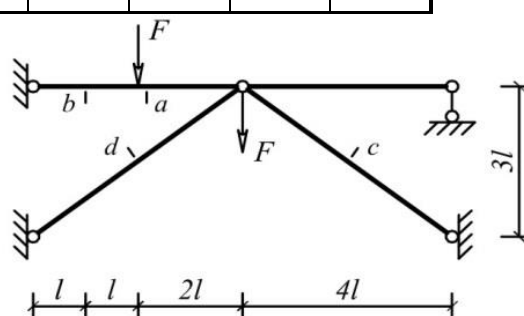
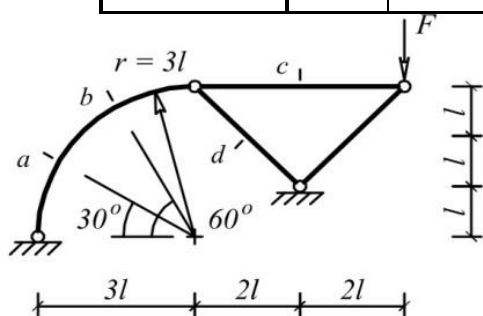
Kinematik tahlilni o'tkazish;

Sxemada ko'rsatilgan qismlardagi ichki kuch omillarini aniqlash.

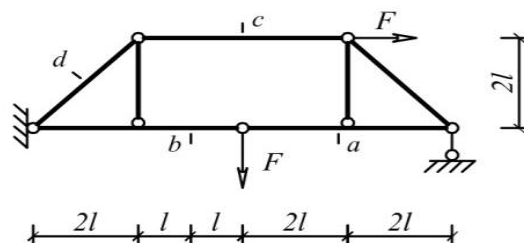
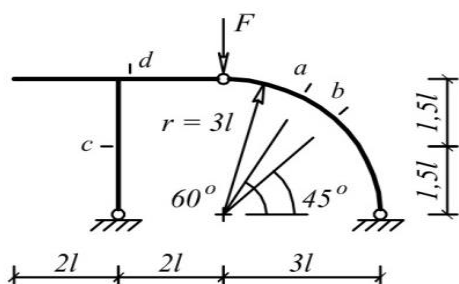
1.5-Jadvaldan hisoblash uchun ma'lumotlar olinadi.

1.5-jadval

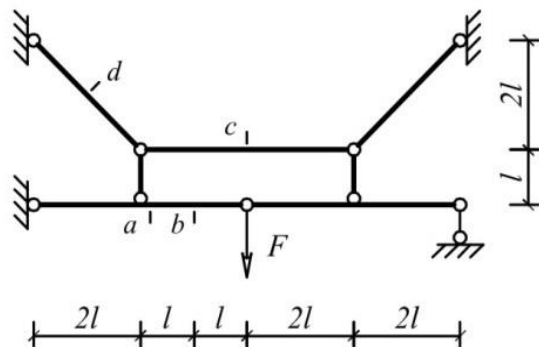
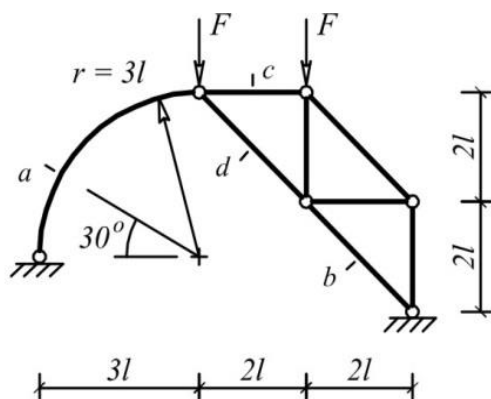
Tartib raqami	1	2	3	4	5	6	7
l, m	2	1,5	2	1,75	2	3	3
F, kN	10	6	7	4	9	8	5



1.5.1-rasm(a,c). 1.5.2-rasm(b,d) 1.5.3-rasm(a,c). 1.5.4-rasm(b,d)

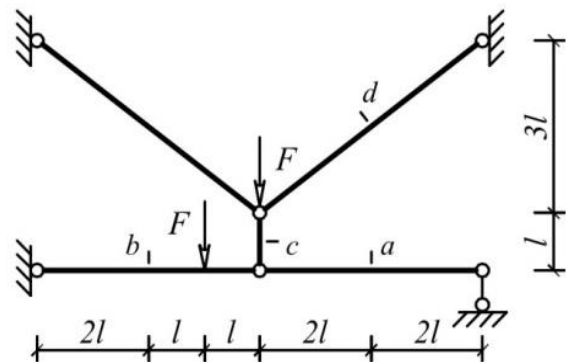
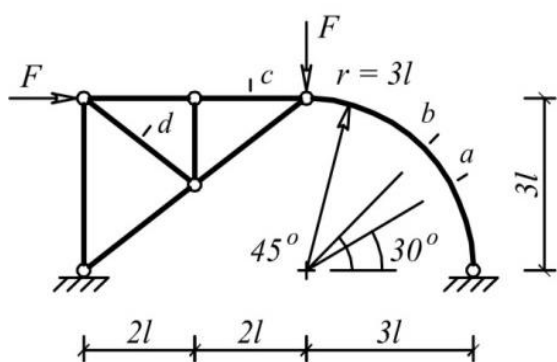


1.5.5-rasm(a,c). 1.5.6-rasm(b,d) 1.5.7-rasm(a,c). 1.5.8-rasm(b,d)



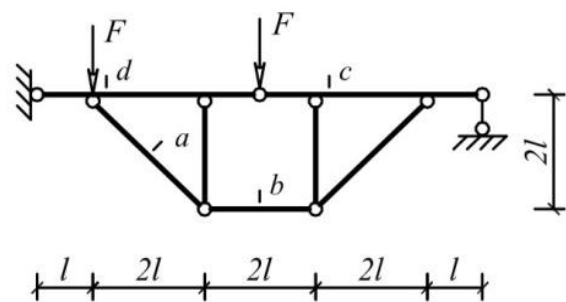
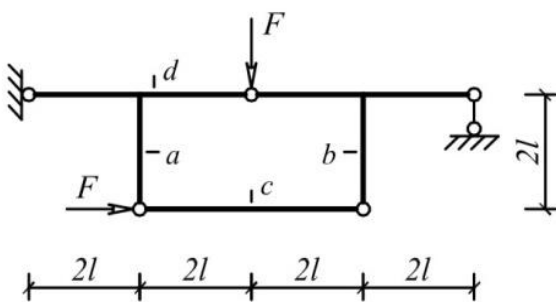
1.5.9-rasm(a,c). 1.5.10-rasm(b,d)

1.5.11-rasm(a,c). 1.5.12-rasm(b,d)



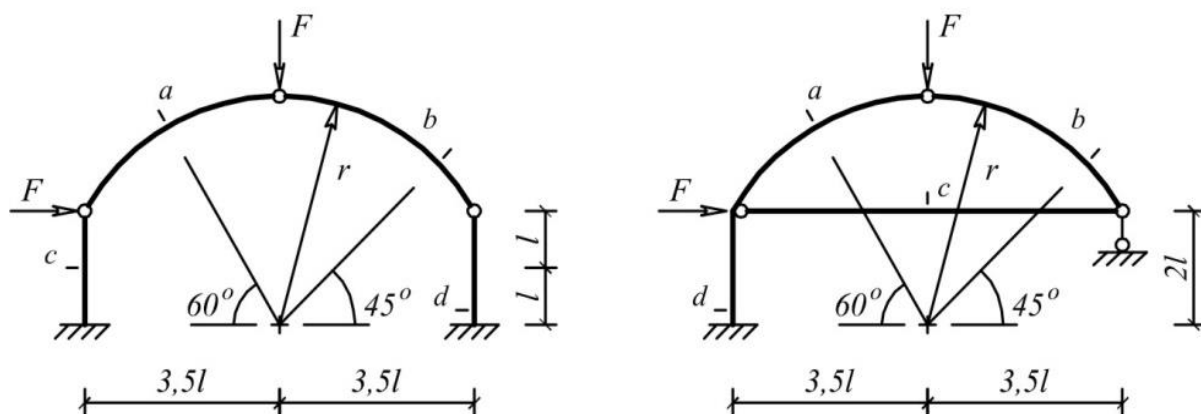
1.5.13-rasm(a,c). 1.5.14-rasm(b,d)

1.5.15-rasm(a,c). 1.5.16-rasm(b,d)



1.5.17-rasm(a,c). 1.5.18-rasm(b,d)

1.5.19-rasm(a,c). 1.5.20-rasm(b,d)



1.5.21-rasm(a,c). 1.5.22-rasm(b,d) 1.5.23-rasm(a,c). 1.5.24-rasm(b,d)

Topshiriqni bajarish uchun namuna

Ushbu qism murakkablikdagi sterjenli sistemalari statikasidagi muammolarni echishga qodir ekanliklarini isbotlashni istagan talabalar uchun mo'ljallangan. Shuning uchun, echimning namunasi bu erda berilmaydi.

Topshiriqlarni bajarish bo'yicha tushuntirishlar

1) Vertikal yukga ega bo'lgan arkali sistemalarda reaksiyalar (bo'shliqlar) gorizontal ulanishlarda (tortqi, tayanch va boshqalar) paydo bo'ladi. Bog'lanishlarda reaksiyalarni toping.

2) Qiyinchiliklar nafaqat bog'lanishlardagi reaksiyalarni aniqlashda, balki ko'rib chiqilayotgan qurilish sxemaning statik jihatdan aniqlanishini isbotlashda ham, ya'ni kinematik ravishda o'zgarmagan, bunda erkinlik darajasi nolga teng. Ushbu qiyinchiliklarni engib o'ting.

II BOB. STERJENLI SISTEMALARDA KO'CHISH

2.1. 6-HGI. Yuklamadan ko'chishni hisoblash

Topshiriqlar bayoni

2.1.1 - 2.1.25- rasmlarda ko'rsatilgan ramalardan biri uchun m kesimining chiziqli ko'chishi va n qismning burilish burchagini aniqlash kerak. Ko'chishlarni

hisoblash siqilib-cho‘zilgan sterjenlar va elastik bog‘lanishlar (prujinalar) muvofiqligini hisobga olgan holda amalga oshiriladi. Hisoblash uchun qabul qilingan:

Egilgan sterjenlarning bikirligi EI doimiy va barcha rama elementlari uchun bir xil;

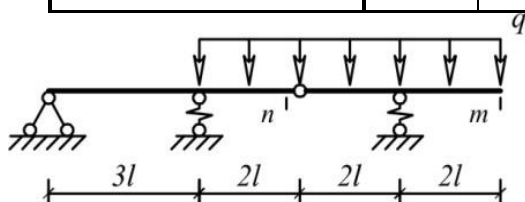
Siqilgan cho‘zilgan sterjenlarning bikirligi $EA = EI / l^2$;

Prujinaning salqiligi P^3 / EI .

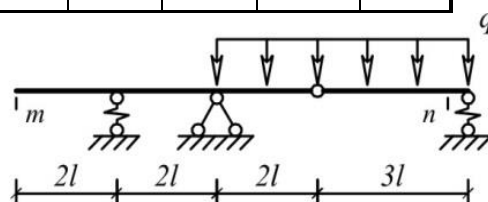
2.1- Jadvaldan hisoblash uchun dastlabki ma’lumotlar.

2.1-jadval

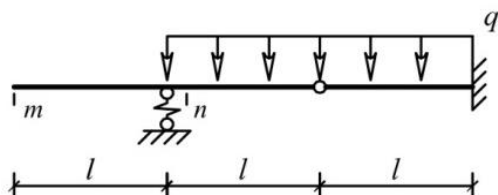
Tartib raqami Kattaliklar	1	2	3	4	5	6	7
	1	2	3	4	5	6	7
q , kN/m	2	3	4	3,5	2,5	1,5	1
l , m	3,5	2,5	1,5	1	2	3	4
h , m	4	3	1	1,5	2,5	3,5	2



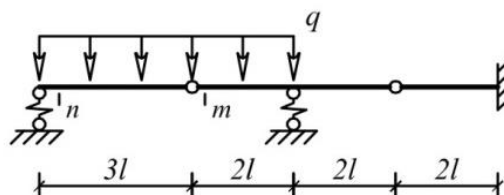
2.1.1-rasm



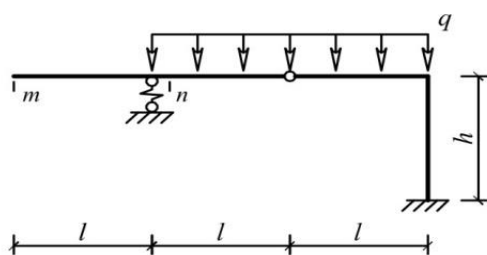
2.1.2-rasm



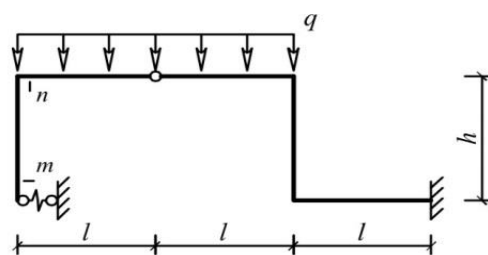
2.1.3-rasm



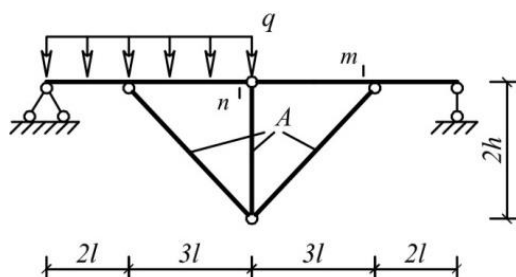
2.1.4-rasm



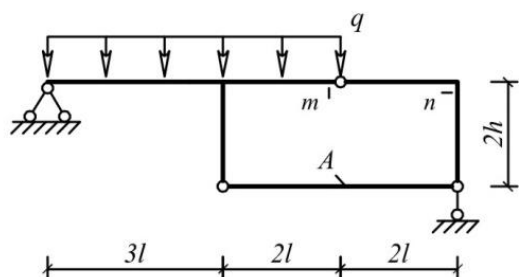
2.1.5-rasm



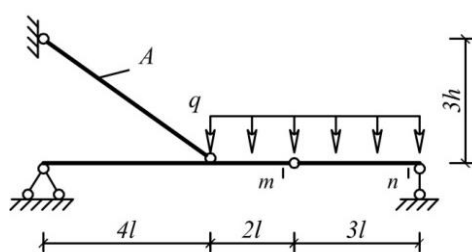
2.1.6-rasm



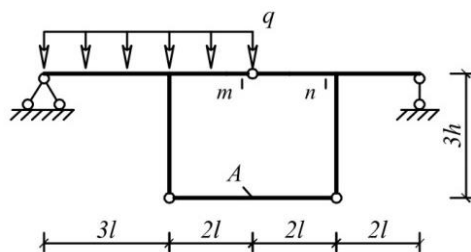
2.1.7-rasm



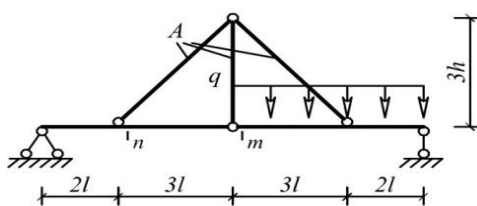
2.1.8-rasm



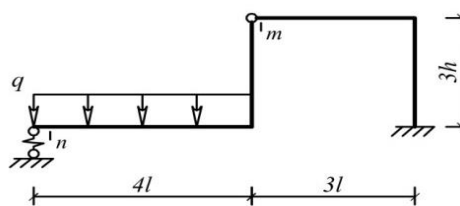
2.1.9-rasm



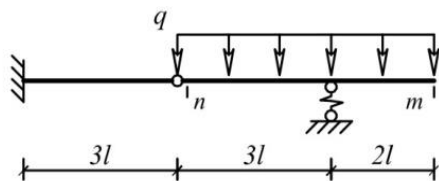
2.1.10-rasm



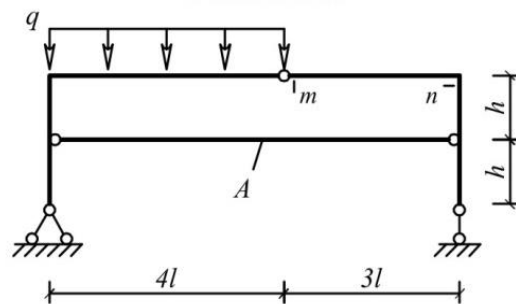
2.1.11-rasm



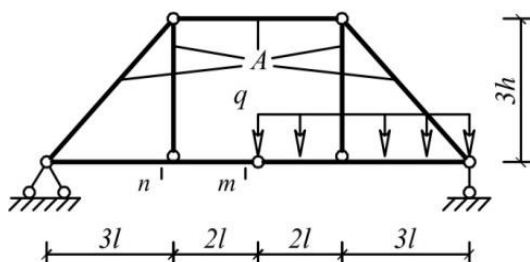
2.1.12-rasm



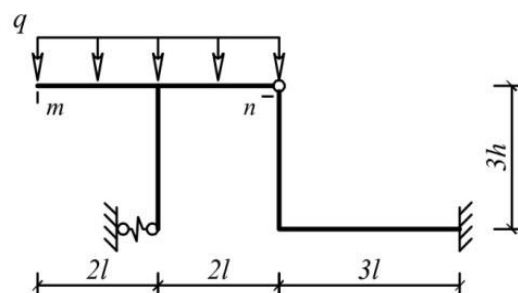
2.1.13-rasm



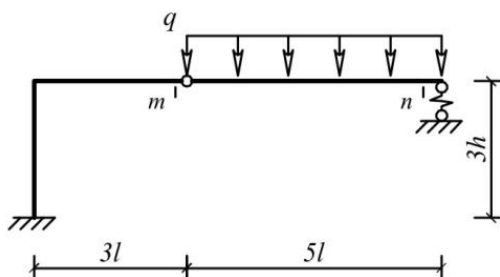
2.1.14-rasm



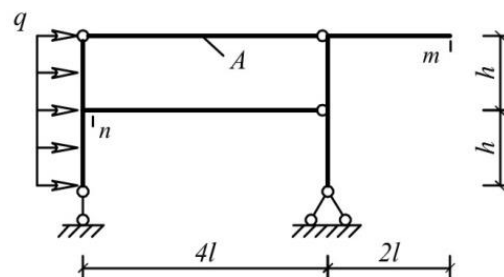
2.1.15-rasm



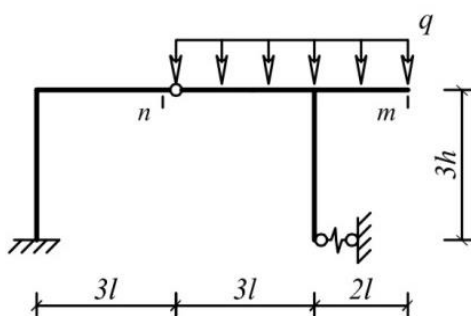
2.1.16-rasm



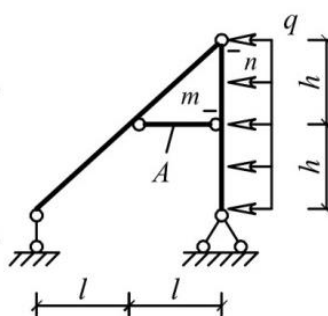
2.1.17-rasm



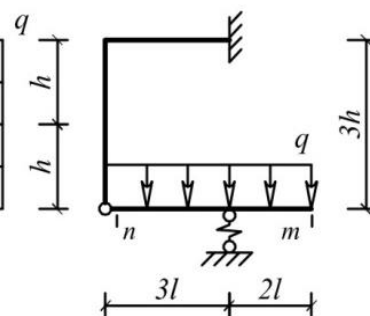
2.1.18-rasm



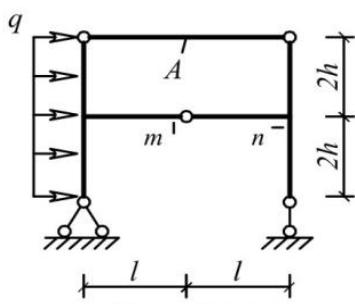
2.1.19-rasm



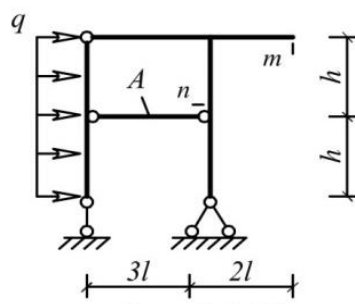
2.1.20-rasm



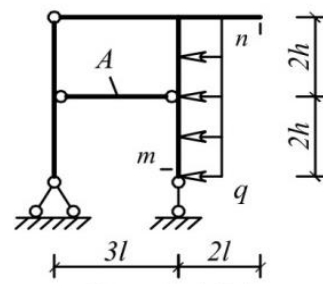
2.1.21-rasm



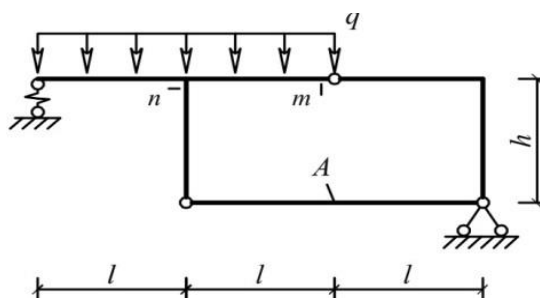
2.1.22-rasm



2.1.23-rasm



2.1.24-rasm

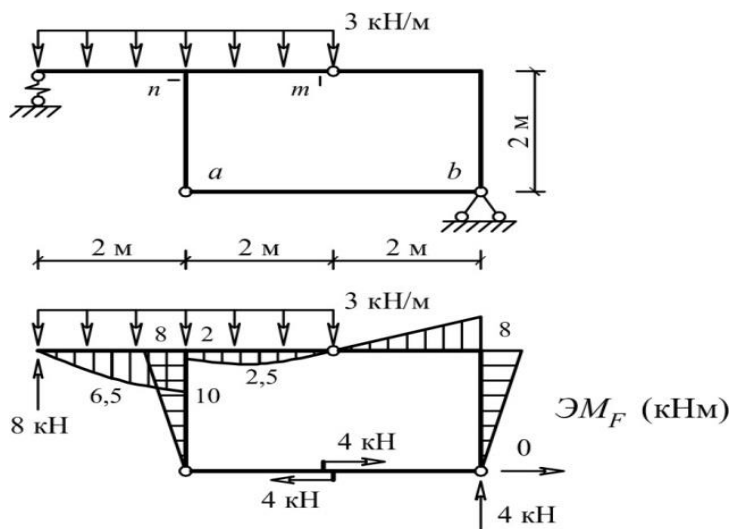


2.1.25-rasm

Topshiriqni bajarish uchun namuna

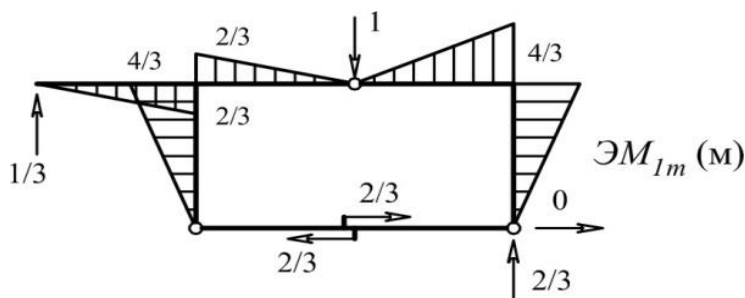
Dastlabki ma'lumotlar: 2.1.25-rasm; $l = 2 \text{ m}$; $h = 2 \text{ m}$; $q = 3 \text{ kN / m}$.

a) ramaning hisob sxemasi, eguvchi momentlarining epyurasi qurilsin va tashqi yukda turgan **ab** qismi uchun bo'ylama kuchning qiymati topilsin.



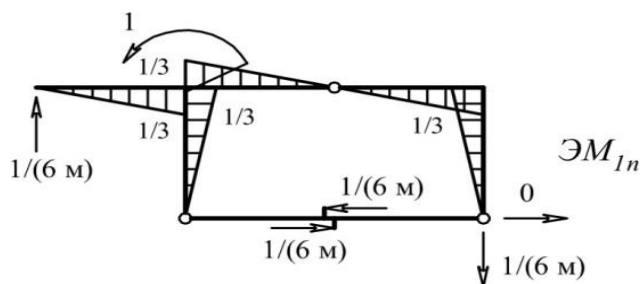
2.1.26-rasm

b) **ab** qismining **m** kesimida birlik kuchdan hosil bo'ladigan egilish momentlari epyurasi qurilsin va bo'yлама kuchning qiymatlari topilsin.



2.1.27-rasm

c) **ab** qismining **n** kesimida birlik momentdan hosil bo'lgan egilish momentlari epyurasi qurilsin va bo'yлама kuchning qiymatlari topilsin.



2.1.28-rasm

d) **(Δm)** **m** kesimining chiziqli ko'chishi va **(φn)** **n** burchakli ko'chishi Mor formulasi bilan topilgan

$$\Delta(\varphi) = \sum \int \frac{\overline{M}_1 \cdot M_F}{EI} dx + \left(\frac{L}{EA} \cdot \overline{N}_1 \cdot N_F \right)_{ab} + \frac{L^3}{EJ} \cdot \overline{R}_1 \cdot R_F \quad 4$$

Bu yerda $\overline{M}_1, M_F$ - mos ravishda birlik kuch va berilgan yuklardan momentlar epyurasi;

$\overline{N}_1, N_F$ - **ab** elementdagi mos ravishda birlik kuch va berilgan yukdan bo'yлама kuch ;

$\overline{R}_1, R_F$ — o'ng prujinadagi reaksiya, mos ravishda birlik kuch va berilgan yukdan.

$$\Delta_m = \frac{1}{EJ} \left[\frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} \cdot 3 \right] + \frac{2}{6EJ} \left[(0 - 4 \cdot 2,5 \cdot \frac{1}{3} - 2 \cdot \frac{2}{3}) + \right. \\ \left. + (0 + 4 \cdot 6,5 \cdot \frac{1}{3} + 10 \cdot \frac{2}{3}) \right] + \frac{4}{EA} \cdot 4 \cdot \frac{2}{3} + \frac{2^3}{EI} \cdot 8 \cdot \frac{1}{3} = \frac{88,89}{EJ} \text{ (m)}.$$

$$\varphi_n = -\frac{1}{EJ} \left[\frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot 3 \right] + \frac{2}{6EJ} \left[(0 - 4 \cdot 2,5 \cdot \frac{1}{6} - 2 \cdot \frac{1}{3}) + \right. \\ \left. + (0 + 4 \cdot 6,5 \cdot \frac{1}{6} + 10 \cdot \frac{1}{3}) \right] - \frac{4}{EA} \cdot 4 \cdot \frac{1}{6} + \frac{2^3}{EI} \cdot 8 \cdot \frac{1}{6} = \frac{17,89}{EJ} \text{ (rad)}.$$

Topshiriqlarni bajarish bo'yicha tushuntirishlar

1) Eguvchi moment epyuralarini chizish paytida, siqilgan cho'zilgan sterjenda bo'ylama kuch avval aniqlanganligiga asos bo'lgan usul ishlatilgan. Buning uchun sharnir va **ab** elementi bo'ylab ramadan kesilgan qism bilan kesilgan qismdagi sharnirga nisbatan eguvchi momentining ifodasi yozildi va bu moment nolga teng.

2) **Mor** formulasida birinchi ifoda rama sterjenlarining egilishi ko'chish miqdoriga ta'sirini hisobga oladi. Eguvchi momentlarining egri epyurasi bo'lgan kesimlar uchun ushbu ifodani **Simpson** formulasi yordamida hisoblash tavsiya etiladi, ya'ni:

$$\int_L \frac{\overline{M}_1 \cdot M_F}{EI} dx = \frac{L}{6EJ} \left[(\overline{M}_1 \cdot M_F)_h + 4(\overline{M}_1 \cdot M_F)_c + (\overline{M}_1 \cdot M_F)_k \right]$$

bu yerda $(\overline{M}_1 \cdot M_F)_h, (\overline{M}_1 \cdot M_F)_c, (\overline{M}_1 \cdot M_F)_k$, mos ravishda kesimning boshi-da, o'rtasida va oxirida egilish momentlarining qiymatlari yig'indisi.

Epyurasi to'g'ri chiziqli bo'lgan joylarda, **Vereshchagin** qoidasiga ko'ra, M_F integralini hisoblash osonroq, ya'ni:

$$\int_L \frac{\overline{M}_1 \cdot M_F}{EI} dx = \frac{\omega y}{EJ},$$

Bu yerda ω - M_F epyurasining yuzasi

y - M_F epyurasining og'irligi markazi ostida
(yuqorida) $\overline{M}_1$ epyurasidagi ordinatasi.

3) Mor formulasining ikkinchi ifodasi, siqilgan cho'zilgan rama sterjenlarining egiluvchanligi o'zgaruvchanligi kattaligiga ta'sirni hisobga oladi.

Ushbu ifoda $\overline{N}_1$ va $N_F = \text{const}$ bo'lgan hol uchun Mor integrali $\int_L \frac{\overline{N}_1 \cdot N_F}{EA} dx$ ko'rinishda yoziladi.

4) Mor formulasidagi uchinchi ifoda egiluvchan bog'lanishlar (o'ng prujinalar) moslashuvchanligi qidirilayotgan joy almashinuvi kattaligiga ta'sirni hisobga oladi. Agar biz $\overline{N}_1$ ni R_1 , N_F ni R_F ga almashtirsak va EA ni o'ng prujinaning bikirligi EI / L^2 bilan almashtirsak, u oldingi paragrafga o'xshash tarzda Mor integralining yechimi shaklida keltiriladi.

2.2. 7-HGI. Haroratning o'zgarishi hisobiga ko'chishlarni hisoblash

Topshiriqlar bayoni

2.2.1 - 2.2.25 Rasmda ko'rsatilgan ramalardan biri uchun, **m** kesimning chiziqli ko'chishini va **n** kesimning burilish burchagini aniqlash kerak.

Ko'chishlarni hisoblashda quyidagilar qabul qilinadi:

Hamma sterjenlar uchun ko'ndalang kesim balandligi $h_c = 0,1l$;

Ko'ndalang kesim og'irlik markazi holati balandligining o'rtasida;

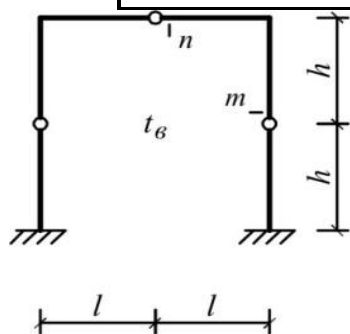
Sistema hamma sterjenlarning chiziqli kengayishi bir xil va $\alpha = 10^{-5} \text{ l/gradusga teng}$;

Temperatura harorati parametrlari $t = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (tashqi harorat t_n rama epyuralarida ko'rsatilmagan).

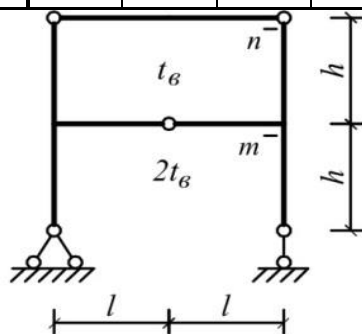
2.2-Jadvaldan olinadigan dastlabki ma'lumotlar.

2.2-jadval

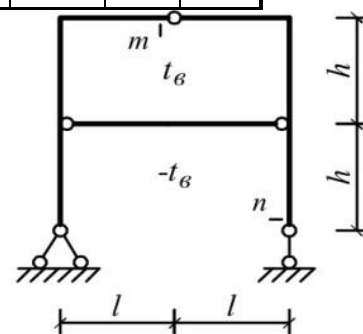
Tartib raqami Kattaliklar	1	2	3	4	5	6	7
Tashqi harorat, t_n	t	$-t$	$2t$	$-2t$	$4t$	$3t$	$-3t$
Ichki harorat, t_{θ}	$-2t$	$-3t$	$4t$	$4t$	$-4t$	$-t$	t
$l, \text{ M}$	2	3	4	3	2	4	2,5
$h, \text{ M}$	2,5	4	3	2	3	4	2



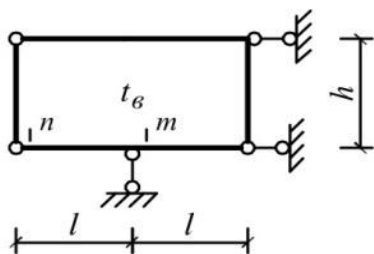
2.2.1-rasm



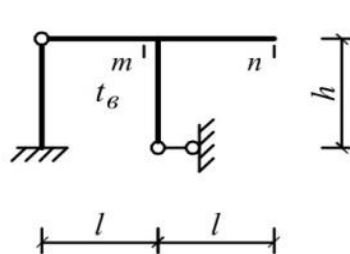
2.2.2-rasm



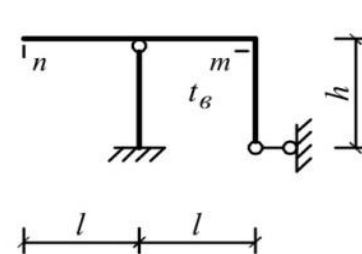
2.2.3-rasm



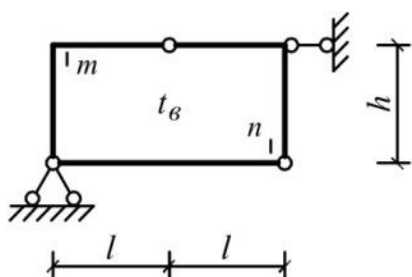
2.2.4-rasm



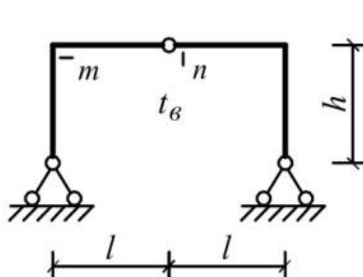
2.2.5-rasm



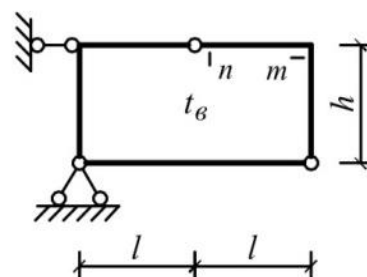
2.2.6-rasm



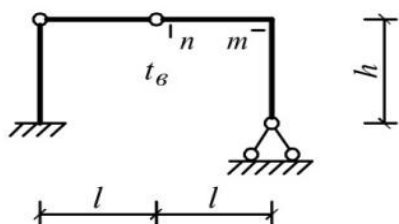
2.2.7-rasm



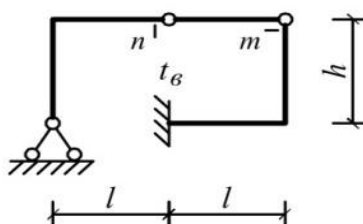
2.2.8-rasm



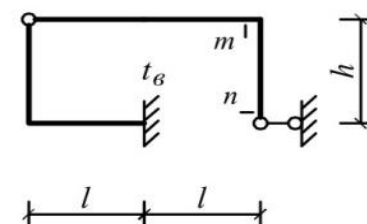
2.2.9-rasm



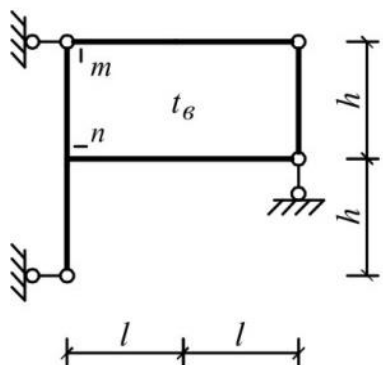
2.2.10-rasm



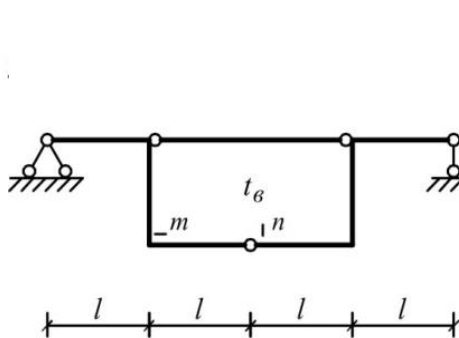
2.2.11-rasm



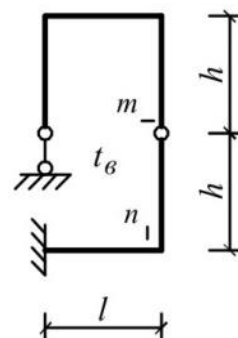
2.2.12-rasm



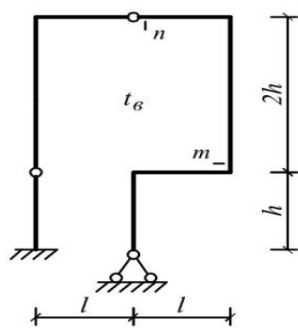
2.2.13-rasm



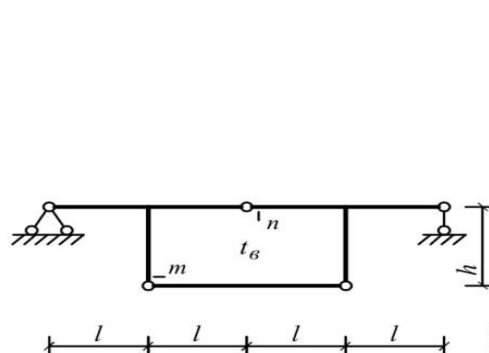
2.2.14-rasm



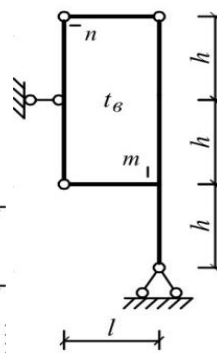
2.2.15-rasm



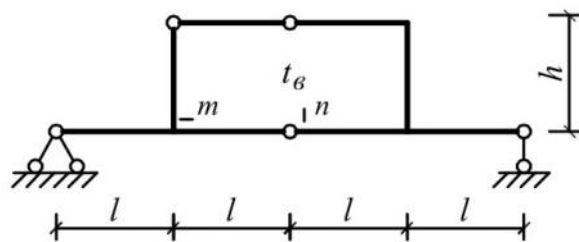
2.2.16-rasm



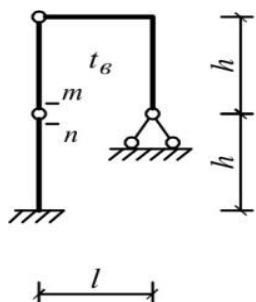
2.2.17-rasm



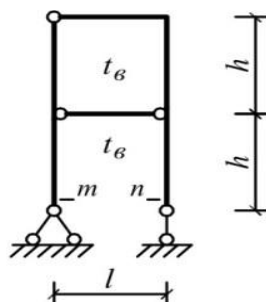
2.2.18-rasm



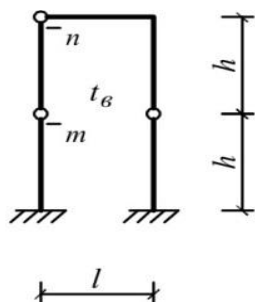
2.2.19-rasm



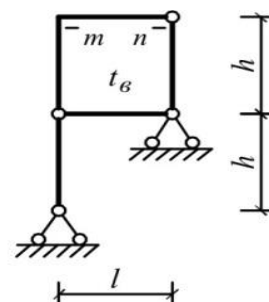
2.2.20-rasm



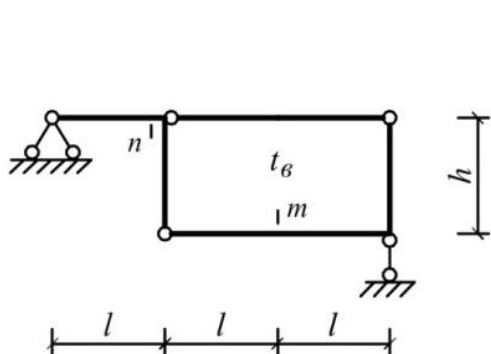
2.2.21-rasm



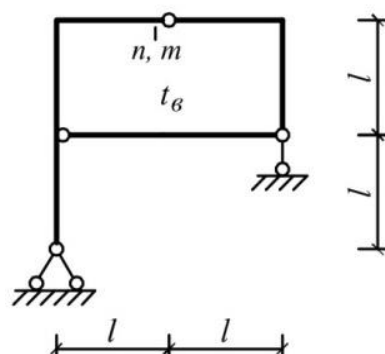
2.2.22-rasm



2.2.23-rasm



2.2.24-rasm

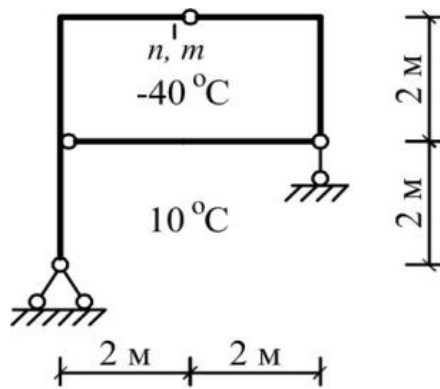


2.2.25-rasm

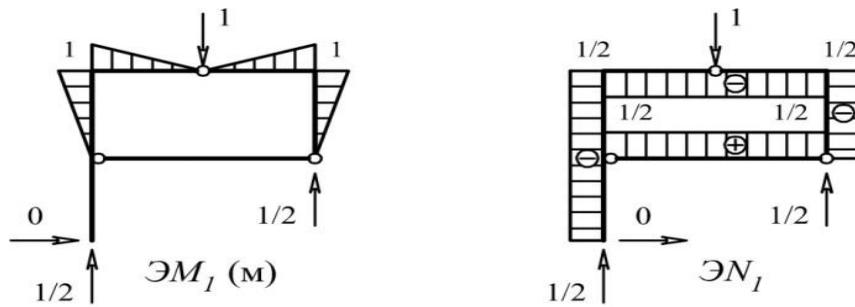
Topshiriqni bajarish uchun namuna

Berilganlari: Ramaning sxemasi 2.2.25-rasmda; $l = 2 \text{ m}$; $h = 2 \text{ m}$; $t_H = t$; $t_B = -4t$; $l = 2 \text{ m}$; $t = 10^\circ \text{C}$.

- a) Ramaning m kesimida birlik kuchidan eguvchi moment va bo'ylama kuchlar epyuralari (m kesimning vertikal ko'chishini aniqlash uchun)

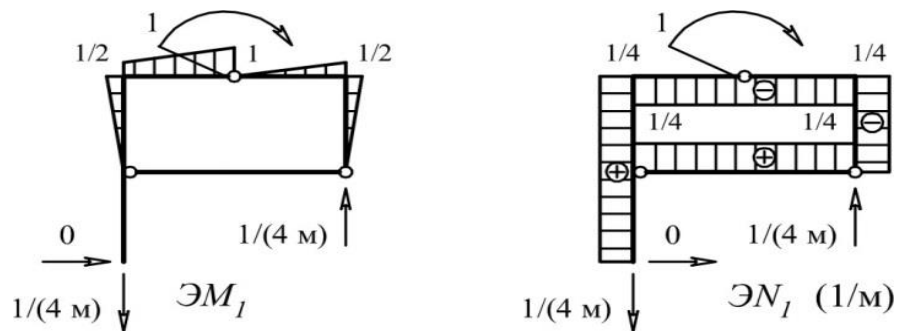


2.2.26-rasm



2.2.27-rasm

b) Ramaning n kesimida birlik momentdan hosil bo'lgan eguvchi moment va bo'ylama kuchlarning epyuralari (n kesimning burilish burchagini aniqlash uchun)



2.2.28-rasm

c) Mor formulasi bilan topilgan m kesimning chiziqli (Δm) ko'chishi va n -burchakning (φn) ko'chishi

$$\Delta(\varphi) = \sum \alpha t' \omega_{N_1} + \sum \frac{\alpha t''}{h} \omega_{M_1},$$

Bu yerda α - chiziqli kengayish koeffitsienti;

$t' = (t_n + t_s)/2$ - sterjen o'qidagi harorat;

$t'' = |t_n - t_s|$;

ω_{N1}, ω_{M1} – sterjendagi N_1 va M_1 epyura yuzasi.

$$\Delta_m = \alpha(-15^\circ C) \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot 6i\right) + 4 \cdot \frac{\alpha \cdot 50^\circ C}{0,2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 = 645\alpha \quad (m)$$

$$= 645 \cdot 10^{-5} m = 6,45 \text{ mm},$$

$$\varphi_n = \alpha(-15^\circ C) \cdot \left(2 \cdot \frac{1}{4}\right) + \frac{\alpha \cdot 50^\circ C}{0,2} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4 + \frac{1}{2} \cdot 2\right) =$$

$$= 442,5\alpha \text{ (rad)} = 0,004425 \text{ rad}.$$

Topshiriqlarni bajarish bo'yicha tushuntirishlar

1) Mor formulasida birinchi ifoda rama sterjenlarining harorat cho'zilishi (qisqarishi) izlanayotgan joyning kattaligiga ta'sir qiladi va ikkinchi ifoda sterjenlilarning harorat o'zgarishiga ta'sirini hisobga oladi.

2) Mor formulasining birinchi ifodasining belgisi sterjen o'qidagi harorat belgisi (t') va bo'ylama kuch epyurasining belgisiga qarab o'rnatiladi; ikkinchi ifodaning belgisi harorat o'zgarish yo'nalishiga va birlik kuchi tufayli kelib chiqqan o'zgarishning egriligiga bog'liq. Agar biron bir kesimda bu egri chiziqlar bir-biriga to'g'ri kelsa, ikkinchi davrning belgisi ijobiy, aks holda salbiy qabul qilinadi.

2.3. 8-HGI. Kinematik harakatlardan ko‘chishni hisoblash

Topshiriqlar bayoni

2.3.1 - 2.3.25-rasmda ko‘rsatilgan ramalardan biri uchun talab qilinadi:

n kesimning chiziqli va burchakli ko‘chishini va m va k kesimlarning o‘zaro burilish burchagini aniqlang;

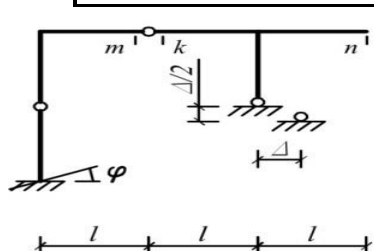
Kinematik harakatlardan rama geometriyasining o‘zgarishini tasvirlang;

Ko‘chishlarni hisoblashda quyidagini oling: $\Delta=10^{-2}l$, $\varphi = \Delta/l$.

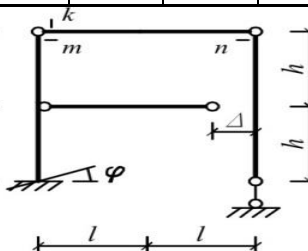
2.3-Jadvaldan olinadigan qiymatlari.

2.3-jadval

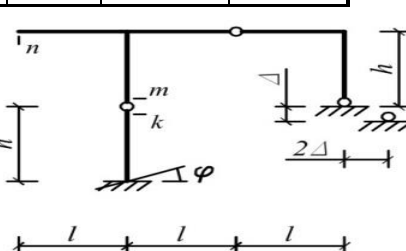
Tartib raqami Kattaliklar	1	2	3	4	5	6	7
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,25	2,75	1,75
l, M	1,5	2,0	2,5	3,0	3,25	2,75	1,75
h, M	2,5	4	3	2	3	4	2



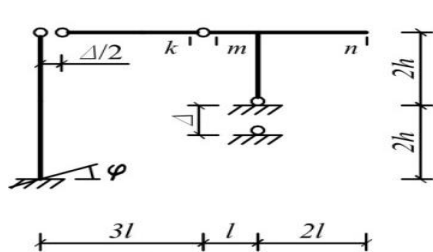
2.3.1-rasm



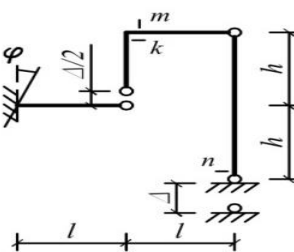
2.3.2-rasm



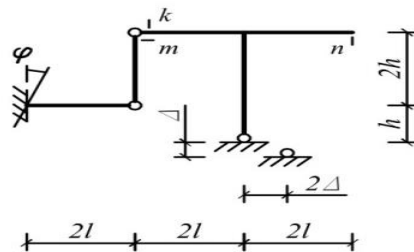
2.3.3-rasm



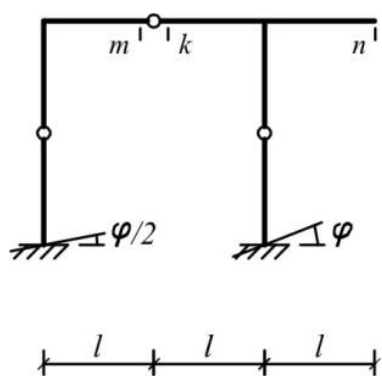
2.3.4-rasm



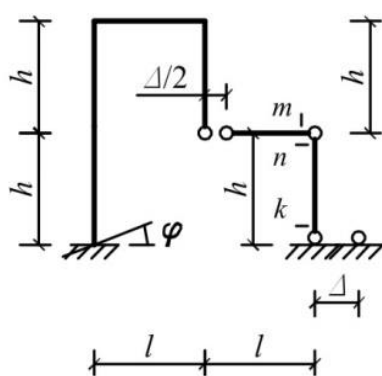
2.3.5-rasm



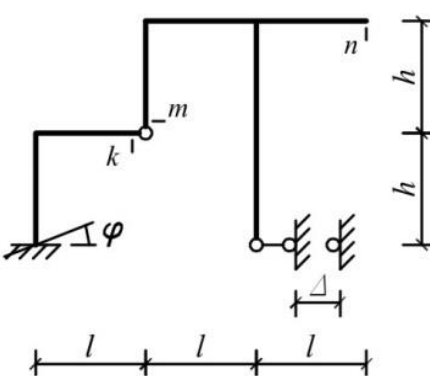
2.3.6-rasm



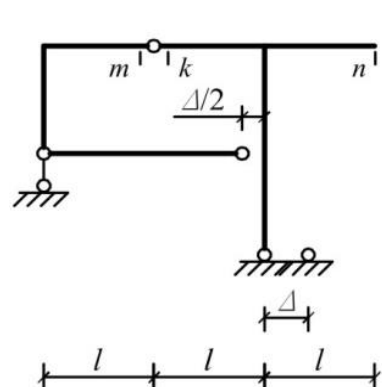
2.3.7-rasm



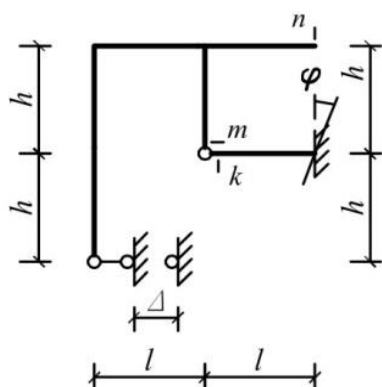
2.3.8-rasm



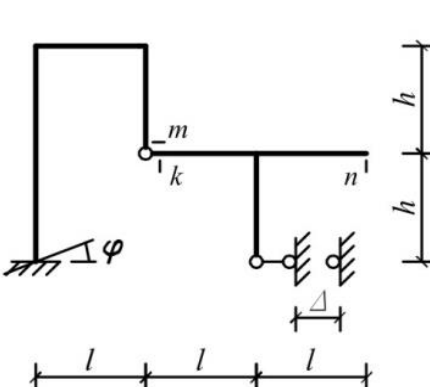
2.3.9-rasm



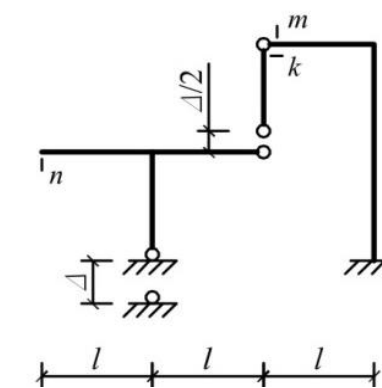
2.3.10-rasm



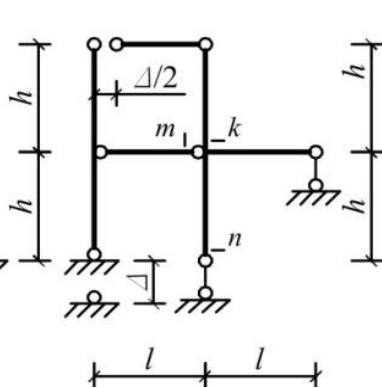
2.3.11-rasm



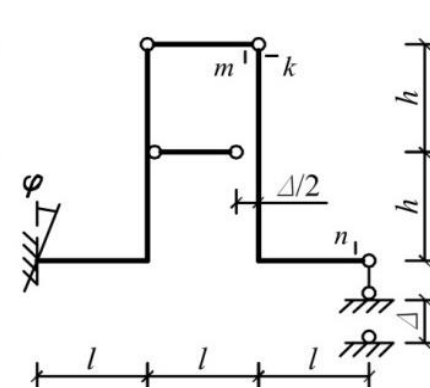
2.3.12-rasm



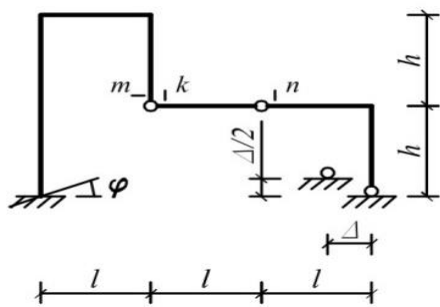
2.3.13-rasm



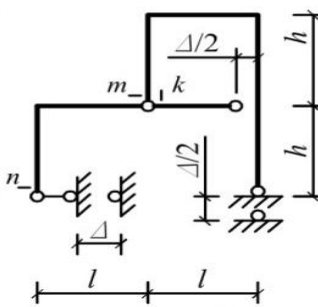
2.3.14-rasm



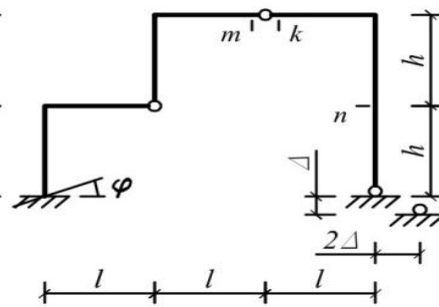
2.3.15-rasm



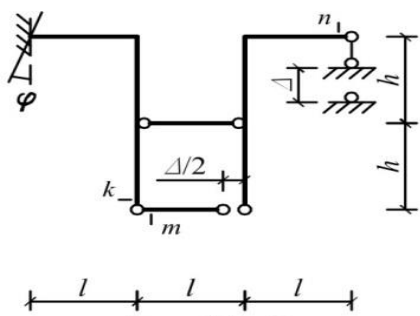
2.3.16-rasm



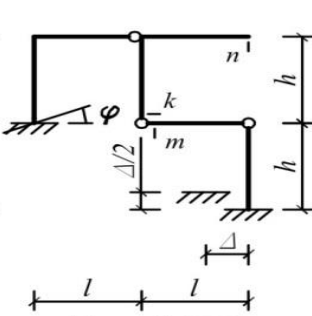
2.3.17-rasm



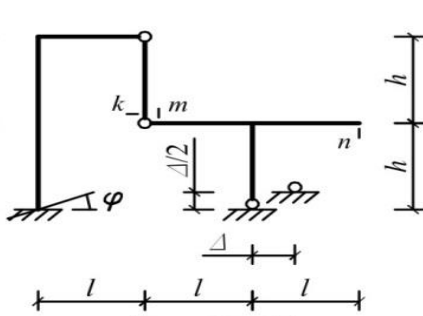
2.3.18-rasm



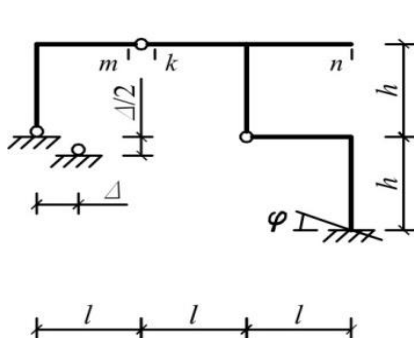
2.3.19-rasm



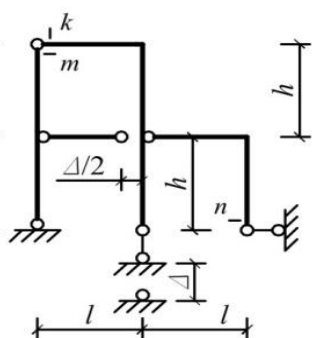
2.3.20-rasm



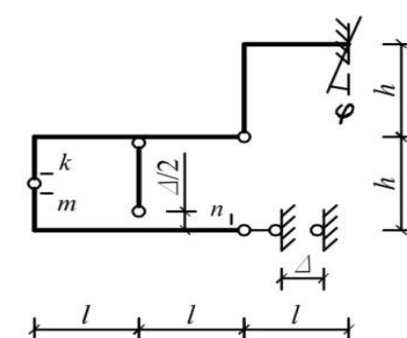
2.3.21-rasm



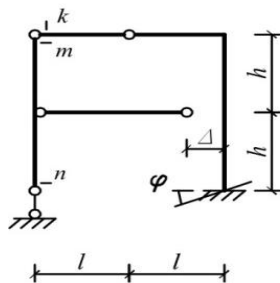
2.3.22-rasm



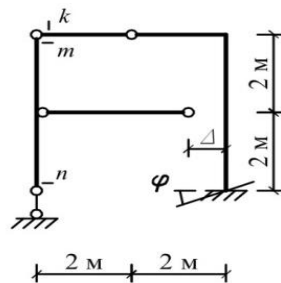
2.3.23-rasm



2.3.24-rasm



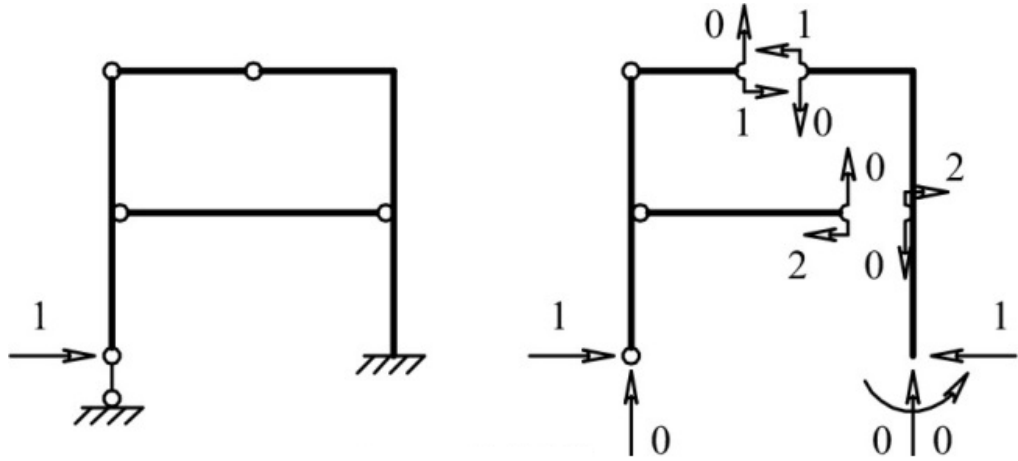
2.3.25-rasm



2.3.26-rasm

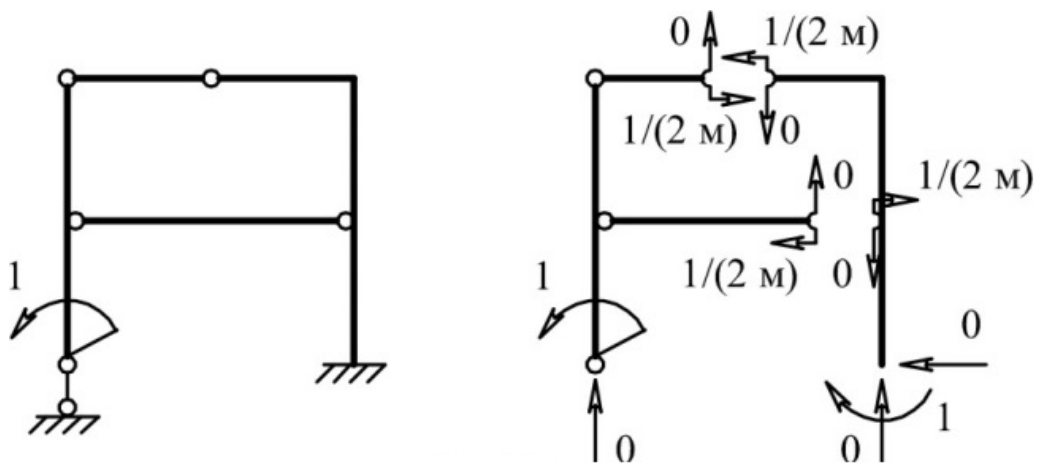
Berilganlari: 2.3.25-rasm; $l=2$ m; $h=2$ m; $\Delta=2$ cm; $\varphi=10^{-2}$ rad .

a) n kesimning chiziqli o'zgarishini aniqlash uchun yagona holat va bog'lanishlardagi reaksiyalar



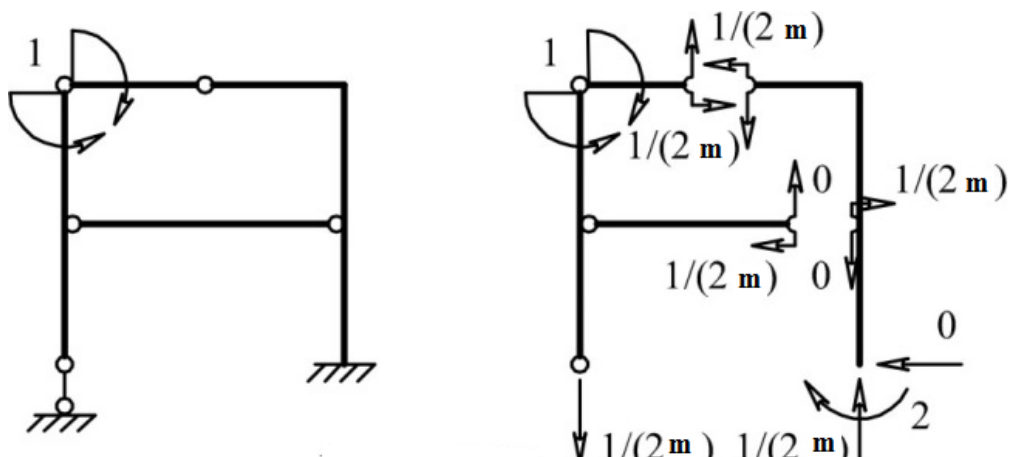
2.3.27-rasm

b) n kesimning burchakli ko'chishini aniqlash uchun yagona holat va bog'lanishlardagi reaksiyalar



2.3.28-rasm

c) m va k kesimlarning o'zaro burilish burchagini aniqlash uchun yagona holat va bog'lanishlardagi reaksiyalar



2.3.29-rasm

d) Aralashtirish va taxminiy bog‘lanishlardan hosil qilingan kesimlardagi chiziqli va burchakli ko‘chishi Mor formulasi bo‘yicha quyidagicha topiladi:

$$\Delta(\varphi) = -\sum R_{j1} \cdot S_j ,$$

Bu yerda R_{j1} - mos keladigan bitta holatda j – bog‘lanishidagi reaksiya;

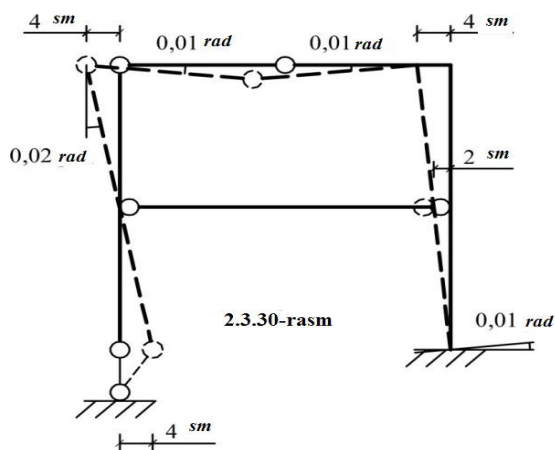
S_j - j -chi bog‘lanishning ko‘chishi (taxminiy bog‘lanishdagi).

$$\Delta_n = -[-2 \cdot 2] = 4 \text{ sm},$$

$$\varphi_n = -[-1 \cdot 0,01 - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0,01] = 0,02 \text{ rad} ,$$

$$\varphi_{mk} = -[-2 \cdot 0,01 - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0,01] = 0,03 \text{ rad} .$$

e) bog‘lanishlarning aniqlangan ko‘chishlarini hisobga olgan holda rama geometriyasi



Topshiriqlarni bajarish bo'yicha tushuntirishlar

1) $R_{ji} \cdot S_j$ ta'sirining belgisi qoida bilan aniqlanadi: agar reaksiya yo'nalishi bog'lanishning berilgan ko'chish yo'nalishiga to'g'ri kelsa, ta'sirning belgisi ijobiy bo'ladi; aks holda salbiy.

2) Elementni ishlab chiqarishda berilgan ushbu noaniqlik uchun yuqoridagi belgilar qoidasi saqlanib qolinadi, ammo bu holda reaksiyaning o'рни elementning ushbu noaniqlik tomon yo'naltirilgan kesimidagi rolda o'ynaydi.

III BOB. QURILISH MEXANIKASINING ASOSIY TEOREMALARI

3.1. Haqiqiy va mumkin bo'lgan ish tushunchasi

Xuddi shu kuch tufayli yuzaga kelgan ko'chishga to'g'ri keladigan bir kuchning ishi haqiqiy ish deb ataladi.

$P_1, P_2, \dots, P_n$ kuchlar sistemasining ta'siri ostida elastik sistemani ko'rib chiqaylik, bu uning tarkibidagi $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ nuqtalarining ko'chishiga va deformatsiyasiga olib keladi (1.1-rasm). Ushbu ko'chishlar yuklarning ta'sir chizig'idagi mos keladigan nuqtalari haqiqiy ko'chishlarining proeksiyalaridir.

Biz berilgan barcha kuchlar statik ravishda qo'llaniladi, ya'ni ularning qiymatlari noldan maksimal qiymatlarga shu qadar sekin o'sadiki, ular sistema nuqtalarining tezlashishiga va shuning uchun inersiya kuchlarining kuchayishiga olib kelmaydi deb hisoblaymiz. Ideal egiluvchanlik sharoitida ushbu kuchlar

sistemasining ishlashi yuklarni qo'llash tartibiga bog'liq emas va faqat ularning yakuniy qiymatlari bilan aniqlanadi. Biz barcha P_n yuklari bitta parametrغا mutanosib ravishda o'zgaradi va ular orasidagi nisbat o'zgarmaydi deb taxmin qilamiz. Keyin mos keladigan ko'chish bo'yicha haqiqiy ish Klayperon teoremasi bilan aniqlanishi mumkin:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n P_i \Delta_i . \quad (1.1)$$

Turli xil kuchlar yoki boshqa omillar tufayli yuzaga kelgan mos keladigan ko'chishdagi kuchning ishlashi mumkin yoki virtual ish deb ataladi.

Mumkin bo'lgan ishlar quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$A' = \sum_{i=1}^n P_i \Delta_{i n} , \quad (1.2)$$

Bu erda $\Delta_{i n}$ - "n" kuchidan kelib chiqadigan "i" kuchini qo'llash nuqtasining ko'chishi .

3.2. Ishlarning o'zaro bog'liqlik teoremasi (Betti teoremasi)

Mukammal elastik va chiziqli deformatsiyalangan sistemani ko'rib chiqamiz. Birinchidan, sistemani P_1 kuchi bilan yuklaymiz, birinchi kuchning qo'llanish nuqtasi Δ_{11} ni o'zgartiradi va haqiqiy ish bajariladi $A_{11}^{(1)} = \frac{1}{2} P_1 \Delta_{11}$ (1.2-rasm, a). Keyin biz sistemani P_2 ikkinchi kuch bilan yuklaymiz. Birinchi kuchni qo'llash nuqtasi ikkinchi kuch tufayli yuzaga kelgan Δ_{12} ko'chishini oladi va mumkin bo'lgan $A_{12}^{(1)} = P_1 \Delta_{12}$ ish bajariladi. Ikkinchi kuchning qo'llanish nuqtasi ikkinchi kuch tufayli yuzaga kelgan Δ_{22} ko'chishni oladi, haqiqiy $A_{22}^{(1)} = \frac{1}{2} P_2 \Delta_{22}$ ish bajariladi. Yuklash tartibini o'zgartiramiz. Birinchidan, sistemani ikkinchi kuch

bilan yuklaymiz, ishni hisoblaymiz, keyin birinchi kuch bilan. Olingan ish "(2)" ko'rsatkichi bilan aniqlanadi (1.2 b-rasm). Ikkinchi kuchning ikkinchi kuchni qo'llash nuqtasini ko'chishi bo'yicha ikkinchi kuchi natijasida kelib chiqqan haqiqiy ishi: $A_{21}^{(2)} = P_2 \Delta_{21}$

Ikkinchi kuchning birinchi kuch sabab bo'lgan ikkinchi kuchni qo'llash nuqtasi ko'chishida mumkin bo'lgan ishi. Birinchi kuch sabab bo'lgan birinchi kuchni qo'llash nuqtasini ko'chishga keltirishda birinchi kuchning haqiqiy ishi $A_{11}^{(2)} = \frac{1}{2} P_1 \Delta_{11}$. Ideal egiluvchanlik sharoitida tashqi kuchlarning ishlashi faqat boshlang'ich va yakuniy xolatiga bog'liq, yukni qo'llash tartibining ko'chishi tashqi kuchlarning ishini o'zgartirmaydi, shuning uchun biz quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$A_{11}^{(1)} + A_{12}^{(1)} + A_{22}^{(1)} = A_{11}^{(2)} + A_{21}^{(2)} + A_{22}^{(2)}$$

$$\frac{1}{2} P_1 \Delta_{11} + P_1 \Delta_{12} + \frac{1}{2} P_2 \Delta_{22} = \frac{1}{2} P_1 \Delta_{11} + P_2 \Delta_{21} + \frac{1}{2} P_2 \Delta_{22}$$

$$P_2 \Delta_{12} = P_1 \Delta_{21}$$

Bir guruh kuchlarga xulosa chiqarib, biz mumkin bo'lgan ishlarning o'zaro bog'liqligi to'g'risida Betti teoremasini olamiz:

$$A'_{ij} = A'_{ji},$$

ya'ni birinchi guruh kuchlarining ikkinchi guruh kuchlari tomonidan ko'chishga keltirilishi mumkin bo'lgan ishi ikkinchi kuchlar guruhining ko'chishlari bo'yicha ikkinchi guruh kuchlarining birinchi guruhi tomonidan olib borilgan ko'chishlarga tengdir.

3.3. O‘zaro ko‘chishlarning bir-biriga bog‘liqligi haqidagi teorema

(Maksvell teoremasi)

Bir kuch birinchi guruhda harakat qilsin - P_i , ikkinchisida - bitta kuch P_j , keyin Betti teoremasiga ko‘ra:

$$A'_{ij} = A'_{ji} ,$$

$$P_i \Delta_{ij} = P_j \Delta_{ji} .$$

Tenglik tamoyilidan foydalansak:

$$\Delta_{ij} = \delta_{ij} \cdot P_j ,$$

$$\Delta_{ji} = \delta_{ji} \cdot P_i ,$$

Bu erda $\delta_{ij} P_i$ kuchini uning yo‘nalishi bo‘yicha $P_j = 1$ kuchining ta’siridan o‘ziga xos ko‘chishi.

δ_{ji} esa P_j kuchini uning yo‘nalishi bo‘yicha $P_i = 1$ kuchining ta’siridan o‘ziga xos joy ko‘chishi, keyin Betti teoremasidan

$$\delta_{ij} P_j P_i = \delta_{ji} P_j P_i .$$

Qisqartirilgandan keyin ega bo‘lamiz

$$\delta_{ij} = \delta_{ji} .$$

Maksvell teoremasi: P_i kuchini uning yo‘nalishi bo‘yicha $P_j = 1$ kuchidan o‘ziga xos ko‘chishi P_i kuchini qo‘llash nuqtasi $P_i = 1$ kuchining ta’siridan uning yo‘nalishi bo‘yicha aniq ko‘chishiga tengdir.

3.4. Solishtirma reaksiyalarning o'zaro bog'liqligi teoremasi (birinchi Releya teoremasi)

Ikki holatda elastik sistemani ko'rib chiqamiz. Birinchi holda, kinematik harakat - bu burchakning birlik aylanish burchagi i (1.3-rasm a), ikkinchi holatda bog'lanishning birlik chiziqli ko'chishi j (1.3-rasm, b). Birinchi kuchlarning xolatini birinchi guruh kuchlari uchun, ikkinchi xolat kuchlarini ikkinchi guruh uchun olamiz. Keyin Betti teoremasiga asoslanib:

$$r_{ii} \cdot 0 + r_{ji} \cdot 1 = r_{ij} \cdot 1 + r_{jj} \cdot 0,$$

$$r_{ji} = r_{ij}.$$

Biz aniq reaksiyalarning o'zaro bog'liqligi to'g'risida teoremani oldik:

" j " bog'lanish birligining ko'chishi dan kelib chiqadigan " i " bog'lanishsining o'ziga xos reaksiyasi " i " bog'lanishsining birligidan ko'chish natijasida kelib chiqqan " j " bog'lanishining o'ziga xos reaksiyasiga tengdir.

3.5. Solishtirma reaksiyalar va solishtirma ko'chishlarning o'zaro bog'liqlik teoremasi (ikkinchi Releya teoremasi)

Statik va kinematik harakatlarga ega bo'lgan elastik sistemani ko'rib chiqamiz. Birinchi holatda kinematik harakat bu " i " bog'lanishining burilish burchagi (1.4 a-rasm), ikkinchi holatda, $P_j = 1$ birlik kuchi statik ta'sirdir. Betti teoremasi bo'yicha.

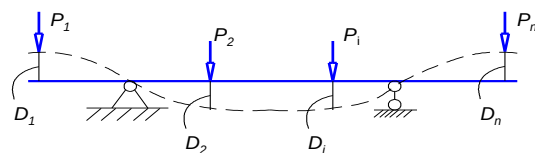
$$A_{ki} = A_{ik}$$

$$r_{ii} \cdot 0 + r_{ki} \cdot 0 = r_{ij} \cdot 1 + P_j \cdot \delta_{ji} + r_{kj} \cdot 0.$$

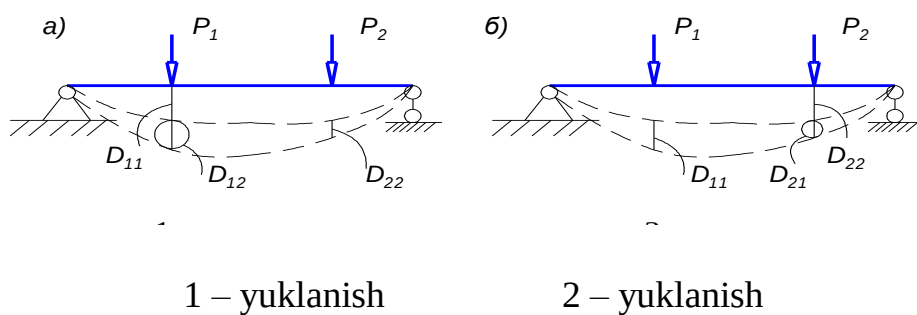
Solishtirma reaksiyalar va solishtirma ko'chishlarning o'zaro bog'liqligi to'g'risida teoremani olamiz:

$$r_{ij} = -\delta_{ji}.$$

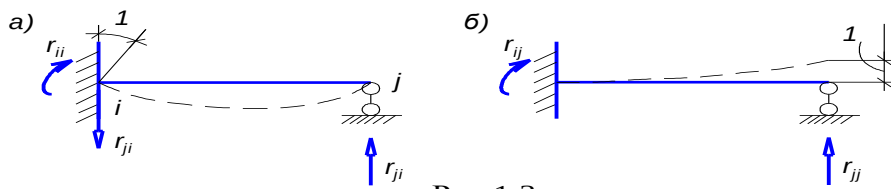
Birlik kuchi $P_j = 1$ tufayli yuzaga kelgan o'ziga xos bog'lanish reaksiyasi "i" birligi solishtirma ko'chishlar natijasida yuzaga kelgan P_j kuchini qo'llash nuqtasining aniq joyiga qarama-qarshi belgi bilan tengdir.



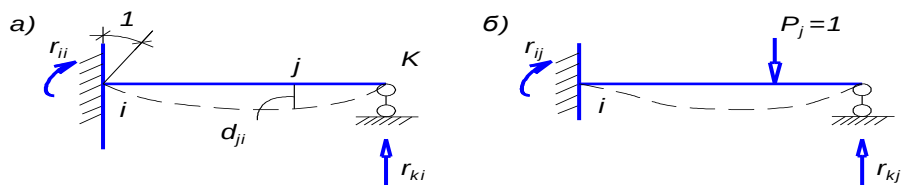
1.1. - rasm



1.2. - rasm



1.3. – rasm



1.4. – rasm

IV BOB. STATIK NOANIQLIK SISTEMALARNI KUCH USULIDA HISOBLASH

4.1. Statik noaniqlik darajasini aniqlash

Statik noaniqlik darajasi yoki ortiqcha bog‘lanishlar soni Π quyidagi munosabatlar bilan aniqlanadi:

- sterjenli sistemalar uchun

$$\Pi = C_0 + 2III - 3D \text{ yoki} \quad (2.1)$$

$$\Pi = C_0 + 2III + 3\mathcal{K} - 3C, \quad (2.2)$$

- sharnirli-sterjenli sistemalar uchun

$$\Pi = C_0 + C - 2Y, \quad (2.3)$$

bu yerda D - disklar soni, C - sterjenlar soni, C_0 - tayanch sterjenlar soni, Y - sharnirli tugunlar soni, $\mathcal{K}$ - oddiy bikir tugunlar soni, III - oddiy sharnirlar soni. Agar bikir tugun va sharnir ikkita diskni yoki ikkita sterjenni bog‘lab qo‘ysa, oddiy sistema deb nomlanadi. Agar bikir tugun yoki sharnir m diskni yoki sterjenlarni bog‘lab qo‘ysa, u $(m - 1)$ oddiy sharnirli yoki bikir tugun ayrilganiga, ya’ni $III = m - 1$ va $\mathcal{K} = m - 1$ ga teng.

Amalda ortiqcha bog‘lanishlarni aniqlash qulay. Har bir sharnirsiz yopiq K konturni hisobga olgan holda uch marta statik ravishda noaniqligi yetishmaydigan bog‘lanishlar sonidan sharnirli yopiq bo‘lgunga qadar yoki umumiy oddiy sharnirlarning sonigacha, ya’ni.

$$\Pi = 3K - III. \quad (2.4)$$

Biz sistemalar uchun statik noaniqlik darajasini hisoblaymiz (2.1-rasm).

a) sxemasi uchun (2.1) dan foydalanib, $D = 3$, $C_0 = 8$, $III = 2$ va $\Pi = 8 + 2 \times 2 - 3 \times 3 = 3$; (2.2) dan foydalanib $\mathcal{K} = 5$, $C = 8$ va $\Pi = 8 + 2 \times 2 + 3 \times 5 - 3 \times 8 = 3$; va (2.4) $K = 2$, $III = 3$ va $\Pi = 3 \times 2 - 3 = 3$. b) sxemasi uchun (2.1) ga binoan $D = 3$, $C_0 = 8$, $III = 2$ va $\Pi = 8 + 2 \times 2 - 3 \times 3 = 3$; (2.2)ga muvofiq $\mathcal{K} = 3$, $C = 6$ va $\Pi = 8 + 2 \times 2 + 3 \times 3 - 3 \times 6 = 3$; (2.4)ga ko‘ra $K = 2$, $III = 3$ va $\Pi = 3 \times 2 - 3 = 3$. Xuddi shu b), r), d), e) sxemalar uchun $\Pi = 4$, $\Pi = 4$, $\Pi = 6$ va $\Pi = 4$ navbati bilan topiladi.

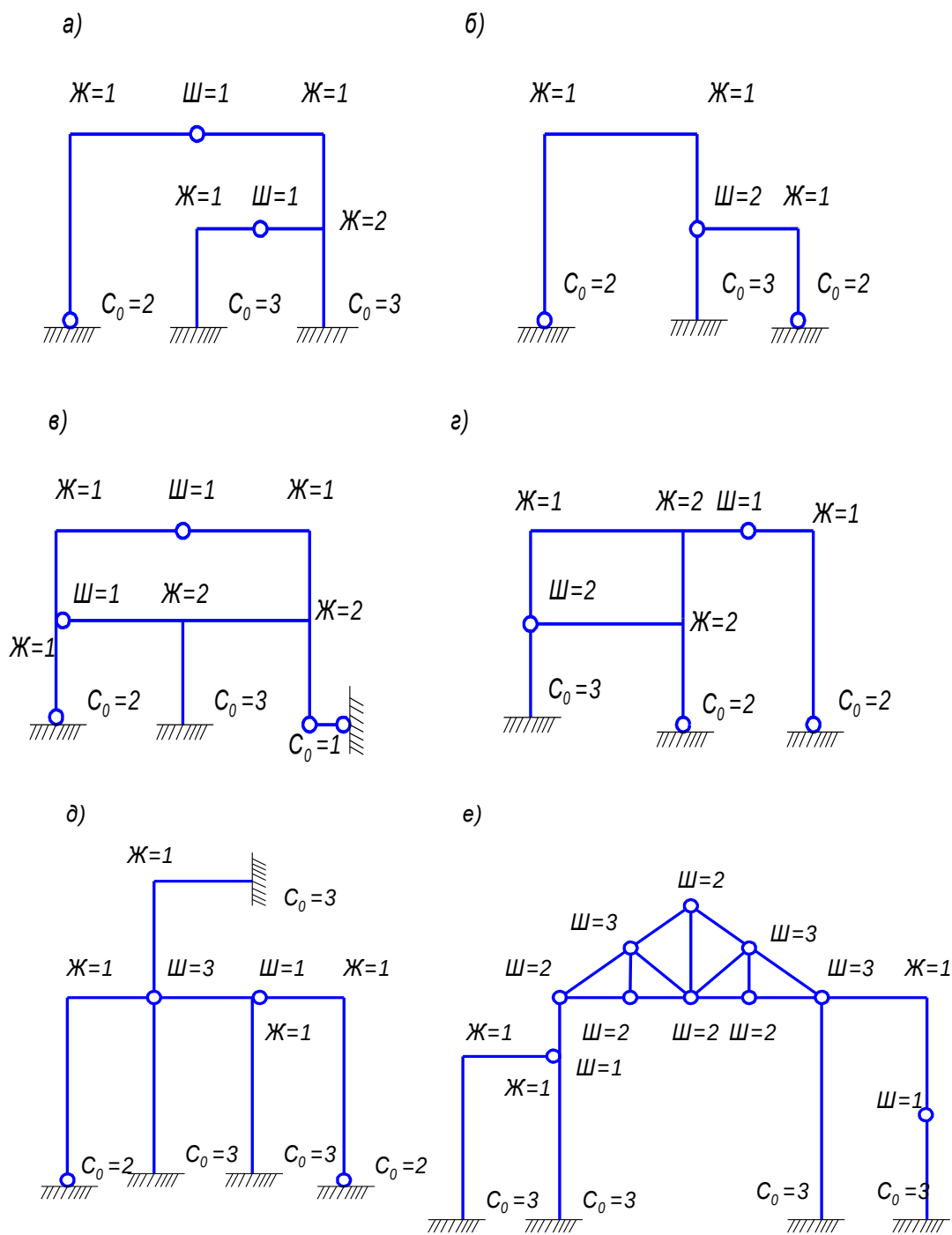


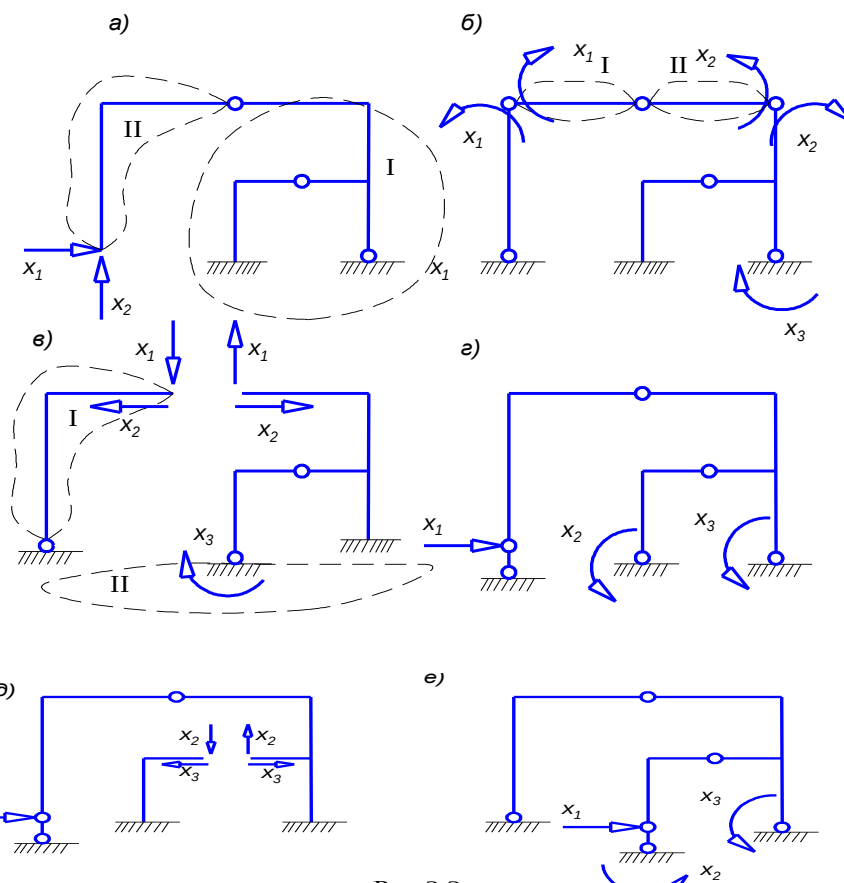
Рис. 2.1

2.1. – rasm.

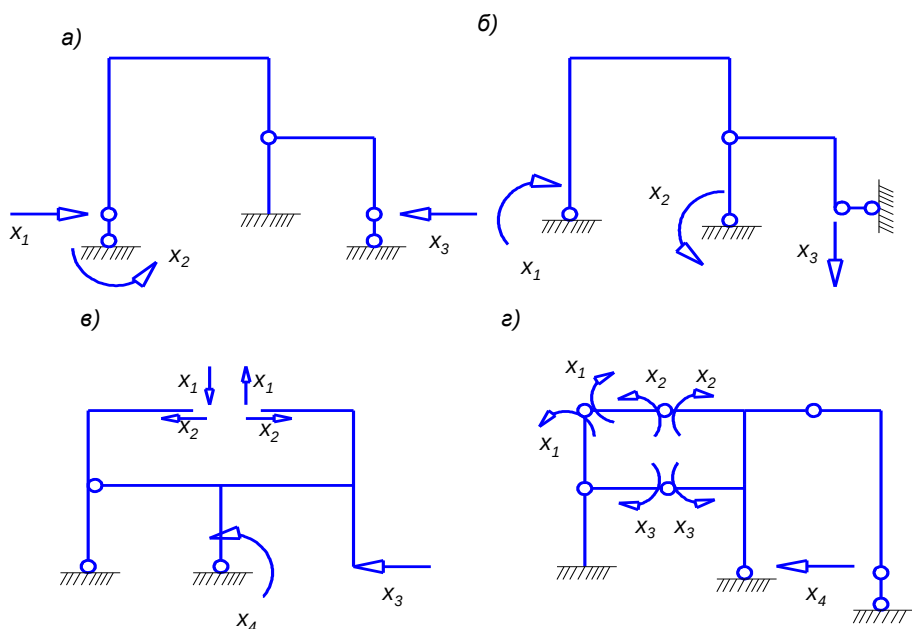
4.2. Kuchlar usulining asosiy sistemasi

Asosiy sistema sistemadan keraksiz ulanishlarni yo‘q qilish orqali olinadi. Barcha keraksiz bog‘lanishlarni olib tashlash, statik jihatdan aniqlanadigan asosiy sistemani shakllantirishga olib keladi. Har qanday ulanish turlarini ortiqcha deb hisoblash mumkin bo‘lganligi sababli, bir nechta tubdan farq qiladigan bazaviy sistemalarni tanlash mumkin. Biroq, asosiy sistemani tanlashda zarur ulanishlarni yo‘q qilish mumkin emas, ya’ni asosiy sistema sifatida u yoki bu darajada hech bo‘lmaganda ko‘chuvchanlik darajasi bo‘lgan mexanizm yoki sistemani qabul qilish mumkin emas. Shuning uchun kuchlar usulining asosiy sistemasi o‘zgarmasligi kerak.

Berilgan rama uchun (2.1-rasm, a) quyidagi asosiy sistemalarni ko‘rib chiqamiz (2.2-rasm). Asosiy sistemalarning kinematik tahlili shuni ko‘rsatadiki, birinchisi (2.2-rasm, a) o‘zgaruvchan, chunki II disk I diskka ikkita ulanish orqali biriktirilgan bo‘lsa, ikkinchisi darhol o‘zgaruvchan, chunki I, II kesishuv panelining sterjenlari bir-biriga va uchta tokchalarga ulangan. bitta to‘g‘ri chiziqli joylashgan sharnirlar, uchinchisi (2.2-rasm, b) - o‘zgaruvchan, chunki I disk II diskka ikkita ulanish bilan biriktirilgan. Shuning uchun sistemalardan (2.2-rasm, a, b, v) asosiy sistema sifatida foydalanib bo‘lmaydi. Rasmda 2.2 r), d), e) geometrik jihatdan o‘zgarmagan asosiy sistemalarning mumkin bo‘lgan variantlari ko‘rsatilgan. Berilgan ramalarning asosiy sistemalari (2.1-rasm, b), r), d), e) rasmda keltirilgan. 2.3. Nosimmetrik sistemalar uchun asosiy sistema nosimmetrik tanlanishi kerak. Yo‘q qilingan bog‘lanishlarning asosiy sistemadagi ta’siri noma’lum kuchlar yoki kuch usulining asosiy noma’lumlari deb nomlangan $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$, kuchlari bilan almashtiriladi. Ko‘ndalang va bo‘ylama kuchlarni qabul qiladigan chiziqli tayanch bog‘lanishlari yoki bog‘lanishlarni yo‘q qilishda noma’lum X_i kuch yoki kuch rasmda olinadi. Hozirgi bog‘lanishni olib tashlashda noma’lum X_i moment bo‘ladi. Ularning tahliliga asoslanib, har xil asosiy sistemalardan birini hisoblash uchun olish kerak bunda epyuralarning sodda rasmi tufayli ham ularning ortogonalligi tufayli ham eng katta soddalashtirish mumkin



2.2.-rasm



sistemasida yo'qligini bildiradi. $X_j = 1$ dan noma'lum δ_{ij} uchun ko'effitsientlar Mor-Maksvell formulasidan foydalanib, asosan egilish (ramalar, balkalar) ustida ishlaydigan m ismli sterjenlar uchun aniqlanadi.

$$\delta_{ij} = \sum_{\nu=1}^n \int_0^{\ell} \frac{\overline{M}_i^0 \overline{M}_j^0}{EJ} dS. \quad (2.6)$$

$Ji j$ ko'chishlari har doim ijobiy bo'lgan qiymati $i, \delta_{ii}, \delta_{jj}, (i = j)$ asosiy o'ziga xos ko'chishlarga bo'linadi va ayri $\delta_{ij} (i \neq j)$ tasodifiy qiymatlarini olishi mumkin. Maksvell teoremasi tomonidan yon tomonga ko'chish o'zaro ta'sir xususiyatiga ega bo'lganligi sababli teng kuchlilik $\delta_{ij} = \delta_{ji}$, matrisa usulining (2.5) kanonik tenglamalarining ko'effitsienti har doim asosiy diagonalga nisbatan simmetrik bo'ladi.

Δ_{iK} erkin a'zolari asosiy sistemadagi yukning Δ_{ip} dan tushishini, harorat rejimining ko'chishi Δ_{it} , kinematik harakatlar Δ_{iC} ni ifodalaydi va quyidagicha ifodalanadi.

$$\Delta_{iK} = \Delta_{ip} + \Delta_{it} + \Delta_{iC}. \quad (2.7)$$

Δ_{ip} atamasi asosiy sistemadagi kuch faktori X_i yuki yo'nalishi bo'yicha ko'chishni anglatadi. Mor-Maksvell formulasidan foydalanib, asosan egilishga ishlaydigan sistemalar uchun aniqlanadi:

$$\Delta_{ip} = \sum_{i=1}^n \int_0^{\ell} \frac{\overline{M}_i^0 M_p^0}{EJ} dS, \quad (2.8)$$

$\overline{M}_i^0$ asosiy sistemadagi noma'lum bo'lgan $X_i = 1$ birlik kuch harakatidagi egilish nuqtasi; M_p^0 - asosiy sistemada berilgan yukning harakatidan egilish nuqtasi.

Statik aniq asosiy sistemaning kesimlaridagi zo‘riqishlarini hisoblash va ushbu ta’sirlardan kelib chiqadigan epyuralarni qurish tugunlarni va oddiy qismlarni kesish orqali statik usulda amalga oshiriladi. Agar $\overline{M}_i^0$, $\overline{M}_j^0$, M_p^0 ning epyuralaridan birining ordinatalari bir tekisda o‘zgarsa, ko‘chishlarini hisoblash uchun siz quyidagi δ_{ij} va Δ_{ip} qoidani qo‘llashingiz mumkin:

$$\delta_{ij} = \sum_{j=1}^m \frac{\omega_i y_j}{EJ_j}; \Delta_{ip} = \sum_{j=1}^n \frac{\omega_j y_j}{EJ_j}. \quad (2.9)$$

Δ_{it} (2.7) atamasi o‘rganilayotgan yo‘nalish bo‘yicha i nuqtaning asosiy sistemasidagi harorat rejimining o‘zgarishi quyidagi formula bo‘yicha aniqlangan ko‘chishini anglatadi:

$$\Delta_{it} = \sum_{i=1}^T \alpha t_0 \omega_{\overline{N}_i^0} + \sum_{i=1}^T \alpha \frac{\Delta t}{h} \omega_{\overline{M}_i^0}, \quad (2.10)$$

Uchastkaning uzunligi va materialning bir xilligi bo‘yicha doimiy harorat o‘zgarishiga bog‘liq. Bu erda: α - materialning chiziqli kengayish koeffitsienti; $t_0 = (t_1 + t_2)/2$ - sterjen o‘qi bo‘ylab haroratning ko‘tarilishi; t_1 - tashqi tolalarning harorat o‘sishi; t_2 - bu ichki tolalarning harorat o‘sishi; $\Delta t = t_1 - t_2$ - harorat farqi; h - bu egilish tekisligidagi qismning balandligi; $\omega_{\overline{N}_i^0}$ va $\omega_{\overline{M}_i^0}$ - haroratni bitta kuch koeffitsienti o‘zgarganda ($P_i = 1$ yoki $M_i = 1$) normal kuchlar epyularining maydoni va sterjen eguvchi momentlari; T - harorat rejimi o‘zgaradigan sterjenlar soni. (2.10) dagi har bir narsa, agar $P_i = 1$ yoki $M_i = 1$ kuch koeffitsienti natijasida yuzaga kelgan deformatsiyalar va harorat rejimining o‘zgarishi bir biriga to‘g‘ri kelsa, ijobiy deb hisoblanadi va agar ushbu deformatsiyalar bir-biriga mos kelmasa salbiy.

(2.7) dagi Δ_{iC} atamasi o'rganilayotgan yo'nalish bo'yicha i nuqtaning asosiy sistemasida kinematik harakatdan formula bo'yicha aniqlanadigan o'zgarishini anglatadi:

$$\Delta_{iC} = - \sum r_{Ci} C_i, \quad (2.11)$$

bu erda r_{Ci} - bu $P_i = 1$ yoki $M_i = 1$ kuch omillaridan kinematik harakat olgan bog'lanishdagi reaksiya; C_i - kinematik ta'sirning kattaligi.

Ishlarning yig'indisi olingan ko'chish yoki cho'kishning hamma bog'lanishlari uchun qo'llaniladi. Agar uning yo'nalishi kinematik harakatning yo'nalishiga to'g'ri kelsa, r_{Ci} reaksiyasi ijobiy hisoblanadi, agar u mos kelmasa salbiy bo'ladi.

4.4. Berilgan sistemadagi zo'riqishlar epyuralarini qurish.

Kanonik tenglamalar sistemasini yechish orqali $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$ asosiy noma'lumlarning haqiqiy qiymatlarini aniqlaymiz. Mavjud sistemadagi kuchlanishlar kuchlar mustaqilligi prinsipiga muvofiq berilgan yukdagi M_p eguvchi momentlari, M_p^0 asosiy sistemadagi berilgan yukning va noaniq haqiqiy noma'lum qiymatlarining eguvchi momentlarining yig'indisi sifatida hisoblanishi mumkin:

$$M_p = M_p^0 + \sum_{j=1}^n \bar{M}_j^0 X_j. \quad (2.12)$$

Xuddi shunday, eguvchi momentlarining epyurasi M_t harorat rejimining o'zgarishi hisobiga quriladi:

$$M_t = M_t^0 + \bar{M}_1^0 X_1 + \dots + \bar{M}_n^0 X_n \quad (2.13)$$

va M_C ning kinematik harakatlari

$$M_C = M_C^0 + \bar{M}_1^0 X_1 + \dots + \bar{M}_n^0 X_n. \quad (2.14)$$

Bu erda M_t^0 va M_C^0 sistemada aniqlangan asosiy sistema uchun nolga teng

keladigan harorat va kinematik harakatlar tufayli kelib chiqqan asosiy sistemaning eguvchi momentlari.

Eguvchi moment epyuralari tugunlar muvozanati va kinematik tekshirish shartlariga javob berishi kerak:

yukdan hisoblashda

$$\Delta_{Sp} = \sum_{p=1}^m \int_0^{\ell} \frac{M_p \bar{M}_S^0}{EJ} dS = 0; \quad (2.15)$$

harorat o'zgarganda hisoblashda

$$\Delta_{St} = \sum \alpha t_0 \omega_{\bar{N}_S^0} + \sum \alpha \Delta t / H \omega_{\bar{N}_S^0} + \sum \int_0^{\ell} \frac{\bar{M}_S^0 M_t}{EJ} dS = 0; \quad (2.16)$$

kinematik harakatlardan hisoblashda

$$\Delta_{Sc} = - \sum r_{Ci}^0 C_i + \sum \int_0^{\ell} \frac{\bar{M}_S^0 M_c}{EJ} dS = 0. \quad (2.17)$$

Bu yerda $\bar{M}_S^0 = \bar{M}_1^0 + \bar{M}_2^0 + \dots + \bar{M}_n^0$

$\bar{N}_S^0 = \bar{N}_1^0 + \bar{N}_2^0 + \dots + \bar{N}_n^0$ - eguvchi moment va ko'ndalang kuch

asosiy sistemada $X_1=1, X_2=1, \dots, X_n=1$ umumiy harakatlardan.

Berilgan rama uchun kesimlardagi ko'ndalang va bo'ylama Q_p va N_p kuchlarni kuchlar harakati mustaqilligi prinsipi bo'yicha hisoblash mumkin:

$$Q_p = Q_p^0 + \sum_{j=1}^n \bar{Q}_j^0 X_j, \quad (2.18)$$

$$N_p = N_p^0 + \sum_{j=1}^n \bar{N}_j^0 X_j, \quad (2.19)$$

bu erda Q_p^0 , N_p^0 va $\bar{Q}_j^0$, $\bar{N}_j^0$ noma'lum $X_j = 1$ birlik yukning asosiy sistemasidagi ta'siri tufayli yuzaga keladigan ko'ndalang va bo'ylama kuchlarning qiymati.

Ko'ndalang kuchlarning Q_p epyurasini M_p eguvchi momentlarining taniqli epyurasidan ham qurish mumkin. Buning uchun sistemadan kesilgan barcha sterjenlarning muvozanatini ko'rib chiqamiz. Ajratilgan sterjen yoki uning bir qismi mahalliy yuklangan oddiy ikki tayanchli balka ko'rinishida va M_p eguvchi momentning so'nggi qiymati epyurasidan olingan (2.4-rasm). Ko'ndalang kuchlar epyurasining ordinatalari bog'liqlik bilan aniqlanadi:

$$Q_p = Q_p^0 + \frac{M_{\text{o'ng}} - M_{\text{chap}}}{\ell}, \quad (2.20)$$

Q_p^0 sterjen (balka) ustidagi mahalliy yukning ta'siridan ko'ndalang kuchning qiymati; $M_{\text{o'ng}}$ va M_{chap} -lar M_p ning o'ng va chap qiymatlaridir. Agar pastki tolalarning cho'zilishiga olib keladigan bo'lsa, yakuniy momentlari ijobiy deb hisoblanadi va agar ular yuqori kesimida bo'lsa - salbiy. Q_t harorat o'zgarishidan va Q_C kinematik harakatdan kesuvchi kuchning epyuralarining koordinatalari (2.20) ga muvofiq hisoblab chiqilishi mumkin, agar mahalliy ko'chishlardan chiqib ketish kuchlari yo'q bo'lsa.

N_p yukidan bo'ylama kuchlarni chizish, N_t harorat rejimining ko'chishi va N_c ning kinematik ta'siri tugunlarni ketma-ket kesish usuli bilan amalga oshiriladi. Buning uchun kesuvshi kuchlari Q_p , Q_t , Q_C epyurasidan kesilgan tugunlarga ularning belgilariga qarab (2.5-rasm), noma'lum bo'ylama kuchlar, ularni cho'zuvchi kuchlar va tugundagi tashqi yuklarni hisobga olgan holda qo'llaniladi. Ikki sterjenli tugunidan boshlab, muvozanat tenglamalari quyidagi formulada amalga oshiriladi:

$$\Sigma X = 0, \Sigma Y = 0. \quad (2.21)$$

Noma'lum bo'ylama kuchlar aniqlanadi va tegishli N_p , N_t , N_c epyuralari quriladi. Ko'ndalang va bo'ylama kuchlarning tuzilgan epyuralarining to'g'riligini baholash uchun sistemaning kesilgan qismlarining muvozanatini hisobga olgan holda statik tekshirish o'tkaziladi. Sistemani uxtiyoriy usul bilan kesish va olib tashlangan qismning ko'chishlarini M , Q , N kuchlari bilan almashtirish orqali biz muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\Sigma X = 0, \Sigma Y = 0, \Sigma M_A = 0, \quad (2.22)$$

4.5. Statik noaniq ramalarni kuch usuli bilan hisoblashga oid misollar

1-misol. Statik noaniq ramaning hisobini bajaring (2.6-rasm), zo'riqish kuchlarini hisoblang, eguvchi momentlarni, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni ma'lumtashqi yuklardan toping.

Yechish

1. Ramaning statik noaniqlik darajasini aniqlaymiz:

$$\Pi = 3 \cdot K - III = 3 \cdot 2 - 4 = 2$$

2. Asosiy sistemani tanlaymiz (2.7-rasm)

3. Biz kuchlar usulining kanonik tenglamasini tuzamiz (2.5)

$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} = 0 \end{cases}$$

4. Biz asosiy sistemadagi eguvchi moment epyuralarini $X_1 = 1$, $X_2 = 1$ noma'lumlardan va berilgan yukdan quramiz (2.8-2.10-rasm).

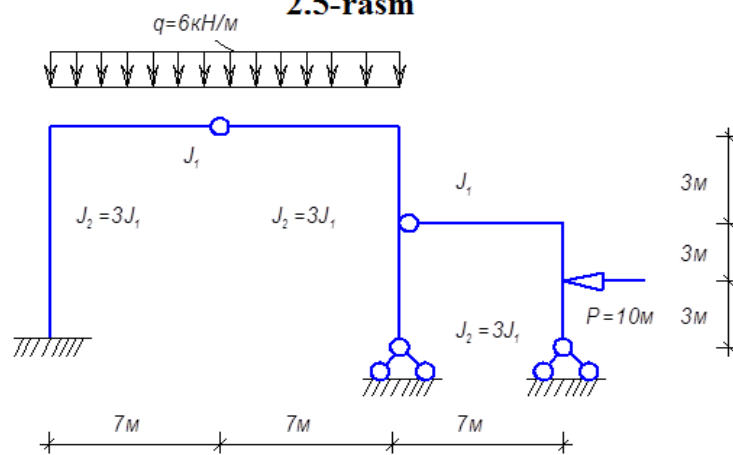
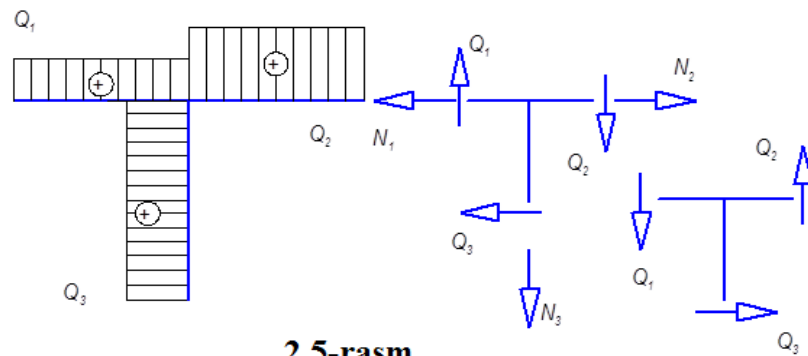
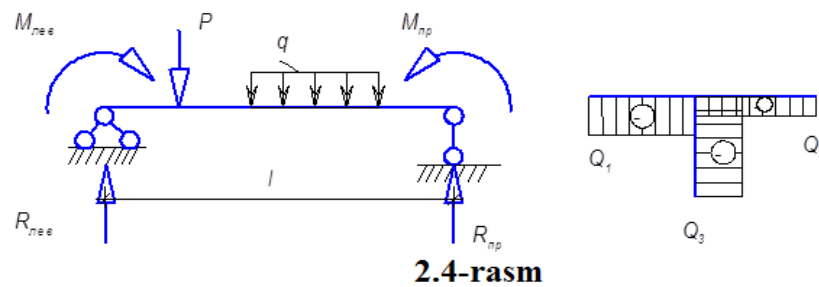
5. Vereshchagin (2.9) qoidasiga muvofiq asosiy sistemadagi ko'chishni aniqlaymiz:

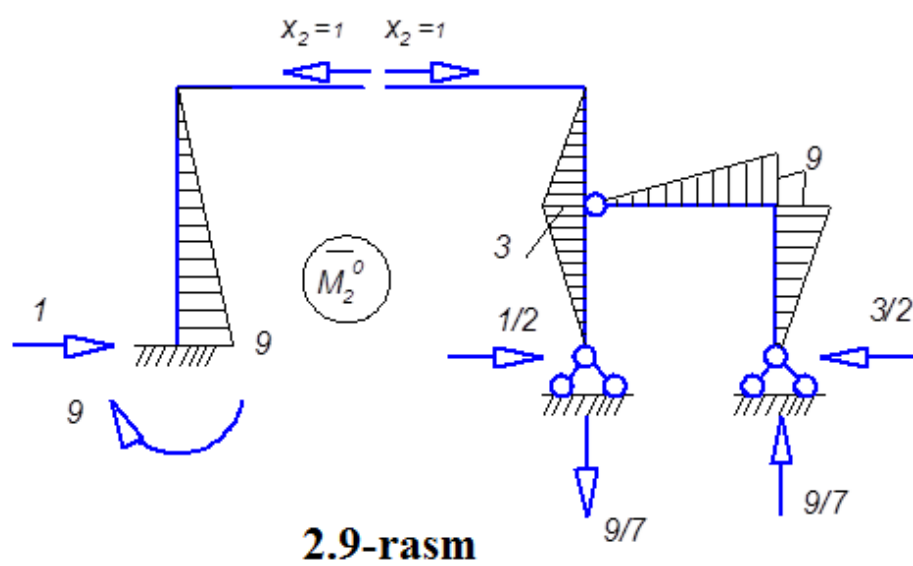
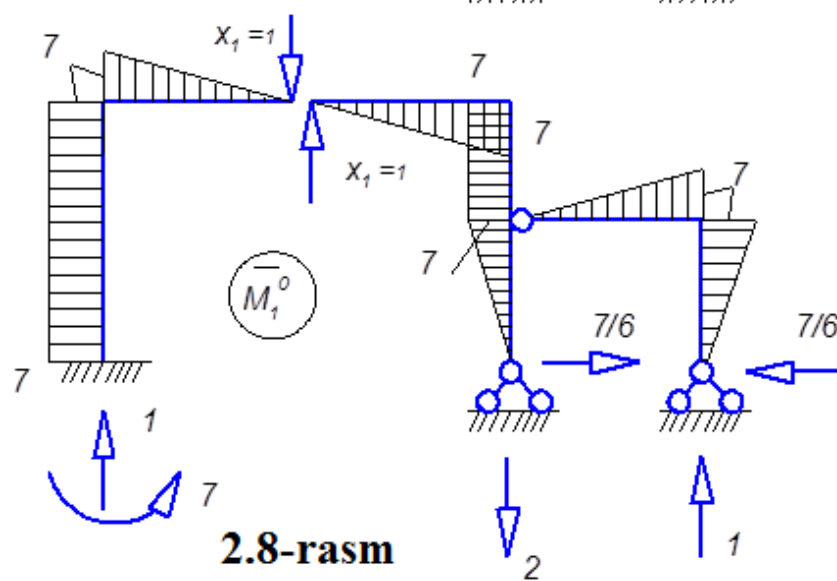
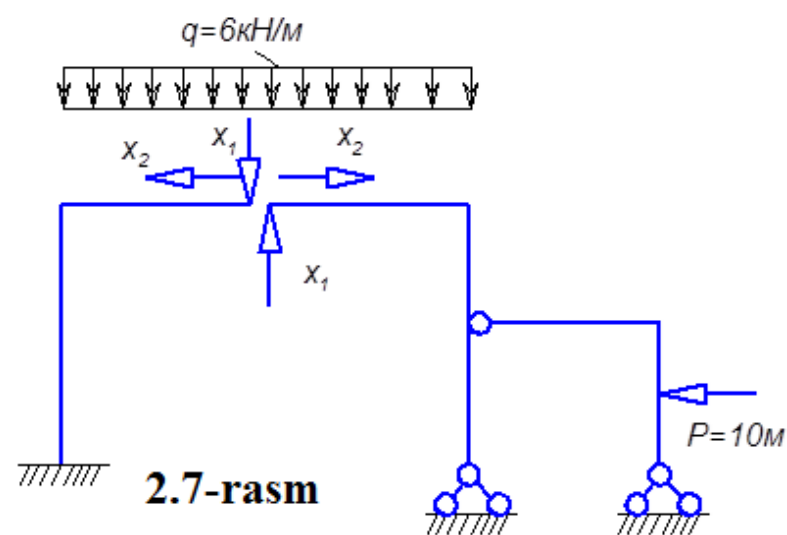
$$\delta_{11} = \sum_{V=1}^{m=7} \int_0^{\ell} \frac{(\bar{M}_1^0)^2}{EJ} dS = 7 \cdot 9 \cdot 7 / 3EJ_1 + 2 \cdot 1/2 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 2/3 \cdot 7 / EJ_1 +$$

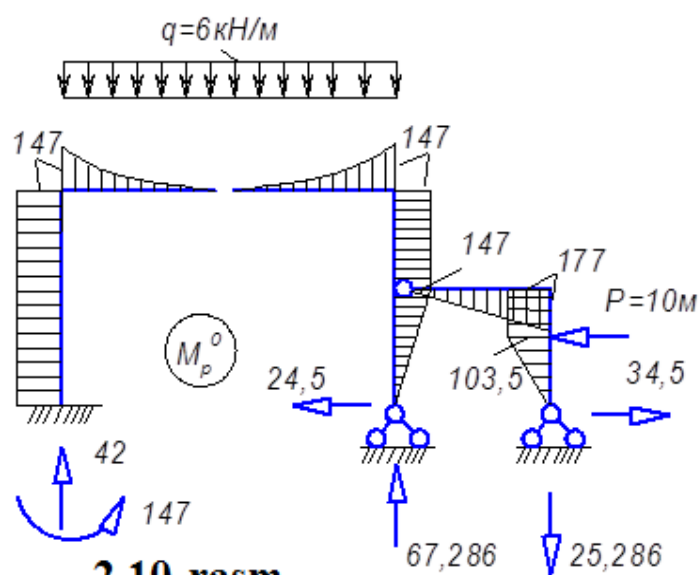
$$7 \cdot 3 \cdot 7 / 3EJ_1 + 2 \cdot 1/2 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 2/3 \cdot 7 / 3EJ_1 + 1/2 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 2/3 \cdot 7 / EJ_1 = 604,333/EJ_1 \text{ (м/кН)};$$

$$\delta_{22} = \sum_{V=1}^{m=7} \int_0^{\ell} \frac{(\bar{M}_2^0)^2}{EJ} dS = 1/2 \cdot 9 \cdot 9 \cdot 2/3 \cdot 9 / 3EJ_1 + 1/2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2/3 \cdot 3 / 3EJ_1 +$$

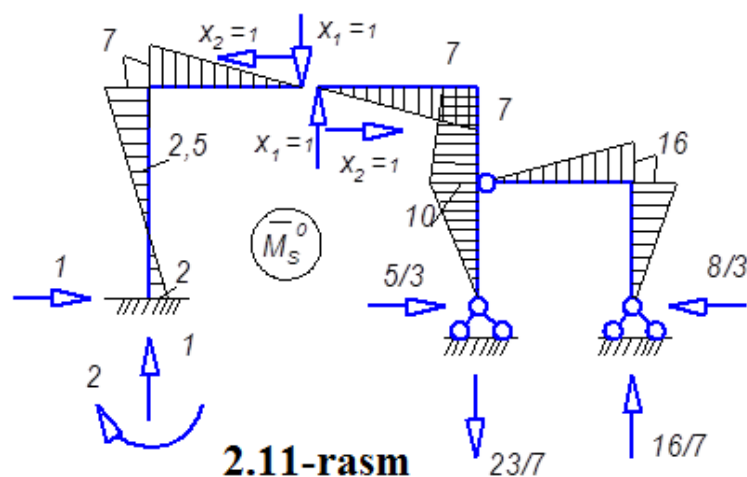
$$1/2 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 2/3 \cdot 3 / 3EJ_1 + 1/2 \cdot 7 \cdot 9 \cdot 2/3 \cdot 9 / EJ_1 + 1/2 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 2/3 \cdot 9 / 3EJ_1 = 333/EJ_1 \text{ (м/кН)};$$



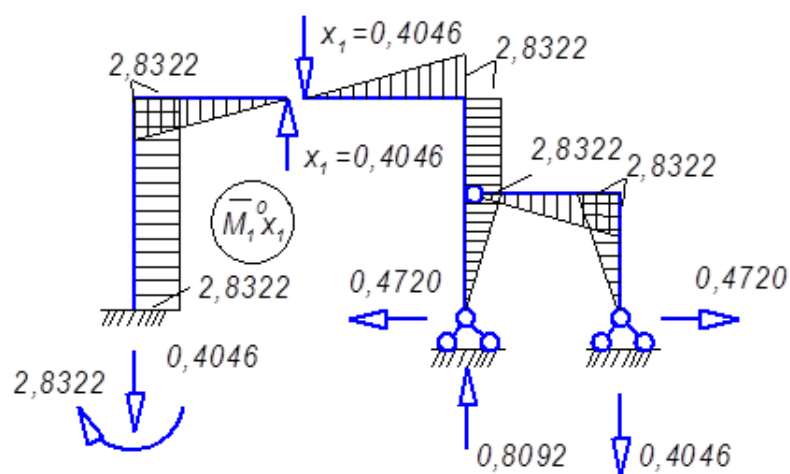




2.10-rasm



2.11-rasm



2.12-rasm

$$\delta_{21} = \delta_{12} = \sum_{\nu=1}^{m=7} \int_0^{\ell} \frac{\overline{M}_1^0 \overline{M}_2^0}{EJ} dS = - 1/2 \cdot 9 \cdot 9 \cdot 7/3EJ_1 + 1/2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 7/3EJ_1 +$$

$$1/2 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 2/3 \cdot 7/3EJ_1 + 1/2 \cdot 9 \cdot 7 \cdot 2/3 \cdot 7/EJ_1 + 1/2 \cdot 9 \cdot 6 \cdot 2/3 \cdot 7/3EJ_1 = 119/EJ_1 \text{ (m/kN)};$$

$$\Delta_{1p} = \sum_{\nu=1}^{m=7} \int_0^{\ell} \frac{\overline{M}_1^0 M_p^0}{EJ} dS = 147 \cdot 9 \cdot 7/3EJ_1 + 1/3 \cdot 7 \cdot 147 \cdot 3/4 \cdot 7/EJ_1 -$$

$$1/3 \cdot 7 \cdot 147 \cdot 3/4 \cdot 7/EJ_1 - 147 \cdot 3 \cdot 7/3EJ_1 - 1/2 \cdot 147 \cdot 6 \cdot 2/3 \cdot 7/3EJ_1 - 1/2 \cdot 177 \cdot 7 \cdot 2/3 \cdot 7/EJ_1 -$$

$$- 1/2 \cdot 177 \cdot 3 \cdot (2/3 \cdot 7 - 1/3 \cdot 3,5)/3EJ_1 - 1/2 \cdot 103,5 \cdot 5 \cdot 3 \cdot (2/3 \cdot 3,5 + 1/3 \cdot 7)/3EJ_1 -$$

$$1/2 \cdot 103,5 \cdot 3 \cdot 2/3 \cdot 3,5/3EJ_1 = - 2397,5/EJ_1 \text{ (m)};$$

$$\Delta_{2p} = \sum_{\nu=1}^{m=7} \int_0^{\ell} \frac{\overline{M}_2^0 M_p^0}{EJ} dS = - 147 \cdot 9 \cdot 1/2 \cdot 9/3EJ_1 - 147 \cdot 3 \cdot 1/2 \cdot 3/3EJ_1 -$$

$$1/2 \cdot 147 \cdot 6 \cdot 2/3 \cdot 3/3EJ_1 - 1/2 \cdot 177 \cdot 7 \cdot 2/3 \cdot 9/EJ_1 - 1/2 \cdot 177 \cdot 3 \cdot (2/3 \cdot 9 + 1/3 \cdot 4,5)/3EJ_1 -$$

$$1/2 \cdot 103,5 \cdot 3 \cdot (2/3 \cdot 4,5 + 1/3 \cdot 9)/3EJ_1 - 1/2 \cdot 103,5 \cdot 3 \cdot 2/3 \cdot 4,5/3EJ_1 = - 7345,5/EJ_1 \text{ (m)}.$$

6. Biz kanonik tenglamalar sistemasini echamiz va ortiqcha noma'lumlarning haqiqiy qiymatlarini aniqlaymiz

$$\begin{cases} 604,333X_1 / EJ_1 + 119X_2 / EJ_1 - 2397,5 / EJ_1 = 0 \\ 119X_1 / EJ_1 + 333X_2 / EJ_1 - 7345,5 / EJ_1 = 0 \end{cases}$$

$$X_1 = - 0,4046 \text{ kN}; \quad X_2 = 22,2032 \text{ kN}.$$

7. Asosiy sistemada eguvchi moment epyuralarini noma'lumlarning hisoblangan qiymatlaridan quramiz (2.12, 2.13-rasm).

8. Biz eguvchi momentlari M_p ning epyurasini ramada berilgan (2.12) yuklanish bo'yicha quramiz (2.14-rasm).

9. Eguvchi momentlari $\overline{M}_S^0 = \overline{M}_1^0 + \overline{M}_2^0$ ning umumiy epyurasini quramiz (2.11-rasm).

10. (2.15) uchastkasida M_p ning epyurasi qurilishi to'g'riligi uchun kinematik tekshirishni amalga oshiramiz:

$$\begin{aligned}\Delta_{Sp} &= \sum_{V=1}^{m=7} \int_0^{\ell} \frac{\overline{M}_S^0 M_p}{EJ} dS = 1/2 \cdot 9 \cdot 55,661 \cdot (2/3 \cdot 2 - 1/3 \cdot 7) / 3EJ_1 + \\ &+ 1/2 \cdot 9 \cdot 144,1678 \cdot (2/3 \cdot 7 - 1/3 \cdot 2) / 3EJ_1 - 2/3 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 2/3 \cdot 1/2 \cdot 7 / EJ_1 + \\ &+ 1/2 \cdot 144,1678 \cdot 7 \cdot 2/3 \cdot 7 / EJ_1 + 2/3 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 2/8 \cdot 1/2 \cdot 7 / EJ_1 - 7 \cdot 149,8328 \cdot 2/3 \cdot 7 / EJ_1 - \\ &1/2 \cdot 149,8322 \cdot 3 \cdot (2/3 \cdot 7 + 1/3 \cdot 10) / 3EJ_1 - 1/2 \cdot 83,2226 \cdot 3 \cdot (2/3 \cdot 10 + 1/3 \cdot 7) / 3EJ_1 - \\ &1/2 \cdot 6 \cdot 83,2226 \cdot 2/3 \cdot 10 / 3EJ_1 + 1/2 \cdot 19,9966 \cdot 7 \cdot 2/3 \cdot 16 / EJ_1 + 1/2 \cdot 19,9966 \cdot 3 \cdot (2/3 \cdot 16 + \\ &+ 1/3 \cdot 8) / 3EJ_1 - 1/2 \cdot 3 \cdot 5,0017 \cdot (2/3 \cdot 8 + 1/3 \cdot 16) / 3EJ_1 - 1/2 \cdot 3 \cdot 5,0017 \cdot 2/3 \cdot 8 / 3EJ_1 = \\ &= (4099,5978 - 4099,412) / EJ_1 = 0,1099 / EJ_1 < 0,1 \% .\end{aligned}$$

11. Ramaning har bir sterjenidagi qo'ndalang kuchni aniqlaymiz (2.20) (2.15-2.18-rasm):

1 – 2 Sterjen

$$\begin{aligned}M_{o'ng} &= -144,1678 \text{ kNm}; M_{chap} = 55,6610 \text{ kNm}; Q_{12}^0 = Q_{21}^0 = 0; Q_{12} = Q_{21} = 0 \\ &+ (-144,1678 - 55,661) / 9 = -28,2032 \text{ (kN)};\end{aligned}$$

2 – 3 Sterjen

$$\begin{aligned}M_{o'ng} &= 0; M_{chap} = -144,1678 \text{ kNm}; Q_{23}^0 = 6 \cdot 7 / 2 = 21; Q_{32}^0 = -6 \cdot 7 / 2 = -21; \\ Q_{23} &= 21 + (0 - (-144,1678)) / 7 = 41,5955 \text{ kN}; Q_{32} = -21 + (0 - 9 - 141,1678) / 7 \\ &= -0,4046 \text{ (kN)};\end{aligned}$$

3 – 4 Sterjen

$$\begin{aligned}M_{o'ng} &= -149,8322 \text{ kNm}; M_{chap} = 0; Q_{34}^0 = 6 \cdot 7 / 2 = 21; Q_{43}^0 = -6 \cdot 7 / 2 = -21; Q_{34} = \\ &= 21 + (-149,8322 - 0) / 7 = -0,4046 \text{ kN}; Q_{43} = -21 + (-149,8322 - 0) / 7 = - \\ &-42,4046 \text{ (kN)};\end{aligned}$$

4 – 5 Sterjen

$$M_{o'ng} = 149,8322 \text{ kNm}; M_{chap} = 83,2226 \text{ kNm}; Q_{45}^0 = Q_{54}^0 = 0; Q_{45} = Q_{54} = 0 + \\ + (149,8322 - 83,2226)/3 = 22,2032 \text{ (kN)};$$

5 – 6 Sterjen

$$M_{o'ng} = 83,2226 \text{ kNm}; M_{chap} = 0; Q_{56}^0 = Q_{65}^0 = 0; Q_{56} = Q_{65} = 0 + (83,2226 - 0)/6 = \\ = 13,8704 \text{ (kN)};$$

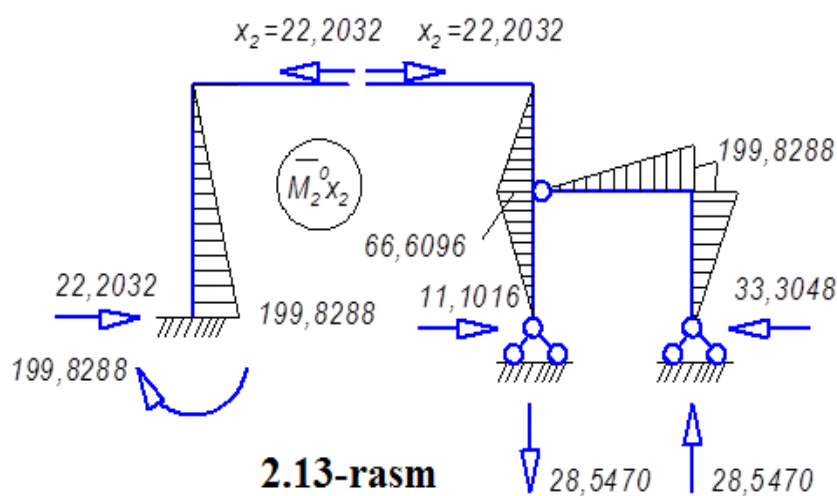
7 – 8 Sterjen

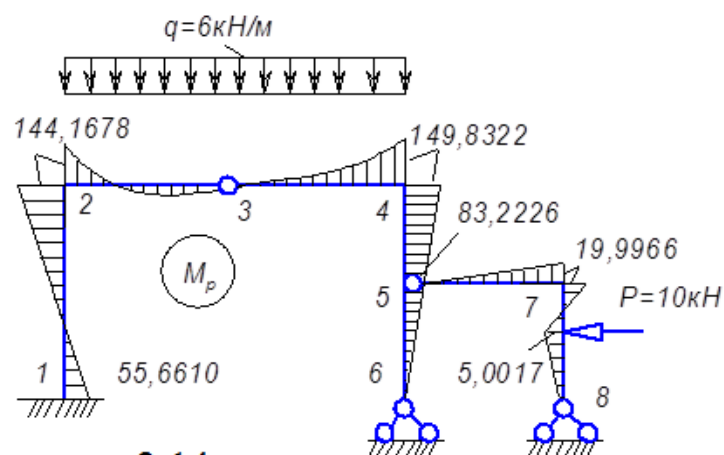
$$M_{o'ng} = 19,9966 \text{ kNm}; M_{chap} = 0; Q_{87}^0 = -10/2 = -5 \text{ kN}; Q_{78}^0 = 10/2 = 5 \text{ kN}; Q_{87} = \\ -5 + (19,9966 - 0)/6 = -1,6672 \text{ kN}; Q_{78} = 5 + (19,9966 - 0)/6 = 8,3328 \text{ (kN)};$$

5 – 7 Sterjen

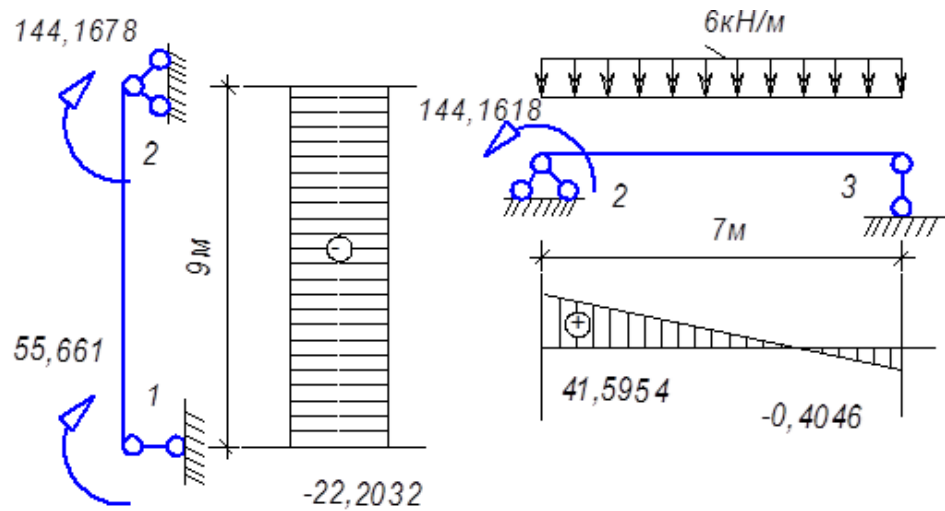
$$M_{o'ng} = -19,9966 \text{ kNm}; M_{chap} = 0; Q_{57}^0 = Q_{75}^0 = 0; Q_{57} = Q_{75} = 0 + (-19,9966 - \\ - 0)/7 = -2,8566 \text{ (kN)}.$$

12. Berilgan ramada yuklanishlardan hosil bo'lgan ko'ndalang kuchlari Q_p ning epyurasini quramiz (2.19-rasm).

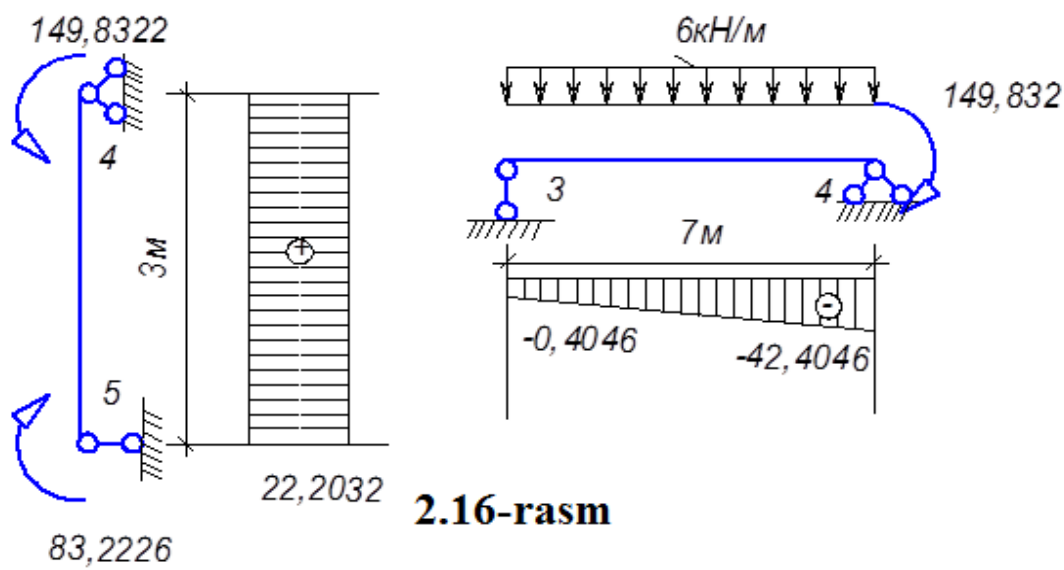




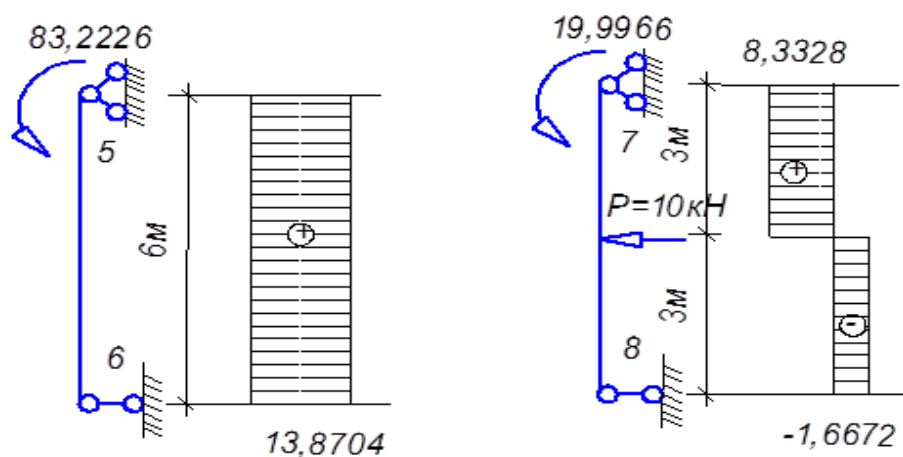
2.14-rasm



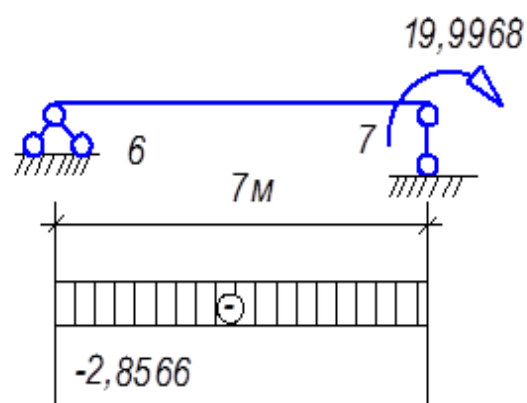
2.15-rasm



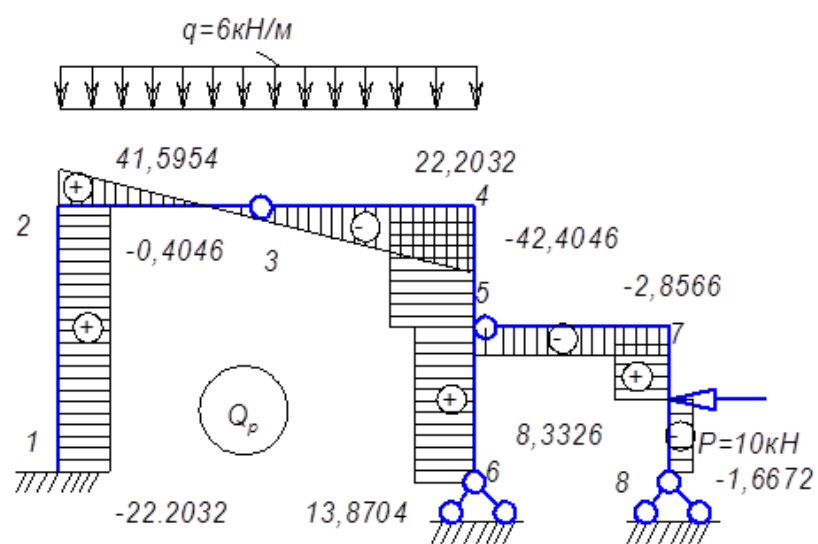
2.16-rasm



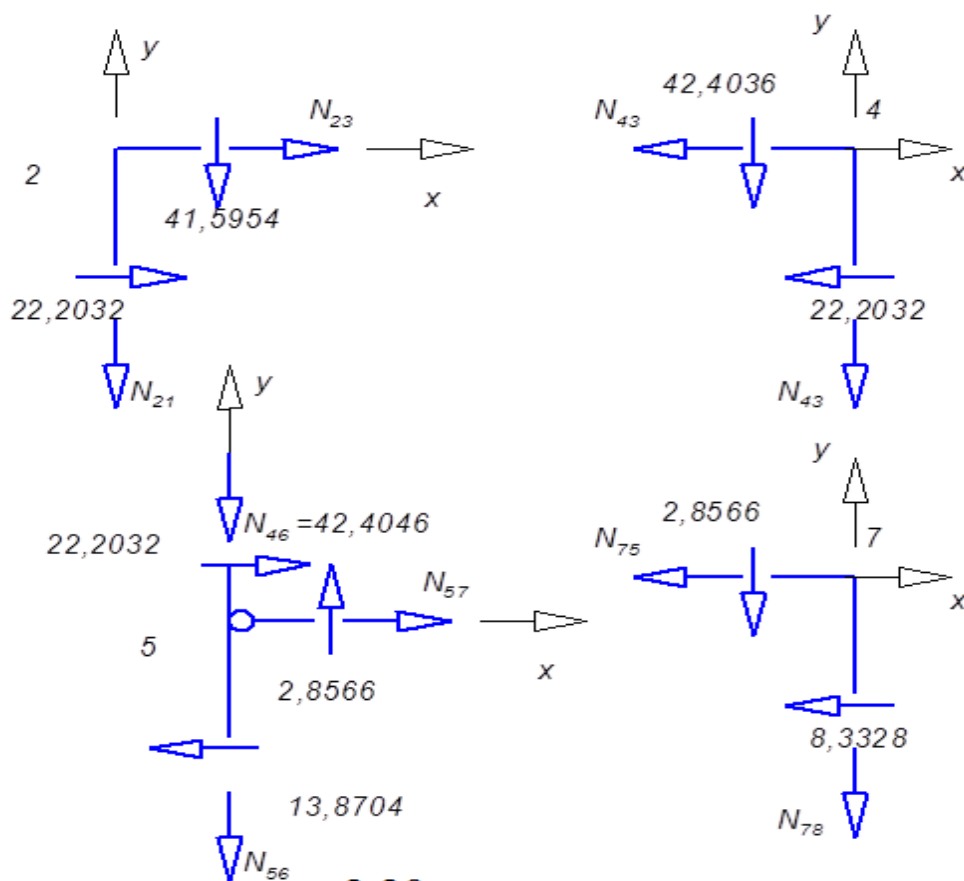
2.17-rasm



2.18-rasm



2.19-rasm



2.20-rasm

13. Ramaning sterjenlaridagi bo'ylama kuchlarni aniqlaymiz (2.20-rasm)

2 - tugun

$$\Sigma X = 0; N_{23} + 22,2032 = 0; N_{23} = -22,2032 \text{ kN (siqilish)}$$

$$\Sigma Y = 0; -N_{21} - 41,5954 = 0; N_{21} = -41,5654 \text{ kN (siqilish);}$$

4 - tugun

$$\Sigma X = 0; -N_{43} - 22,2032 = 0; N_{43} = -22,2032 \text{ kN (siqilish)}$$

$$\Sigma Y = 0; -N_{45} - 42,4046 = 0; N_{45} = -42,4046 \text{ kN (siqilish);}$$

5 - tugun

$$\Sigma X = 0; N_{57} + 22,2032 - 13,8704 = 0; N_{57} = -8,3328 \text{ kN (siqilish)}$$

$$\Sigma Y = 0; -N_{56} - 42,4046 + 2,8566 = 0; N_{56} = -39,5480 \text{ kN (siqilish);}$$

7 - tugun

$$\Sigma X = 0; -N_{75} - 8,3328 = 0; N_{75} = -8,3328 \text{ kN (siqilish)}$$

$$\Sigma Y = 0; -N_{78} - 2,8566 = 0; N_{78} = -2,8566 \text{ kN (siqilish)}.$$

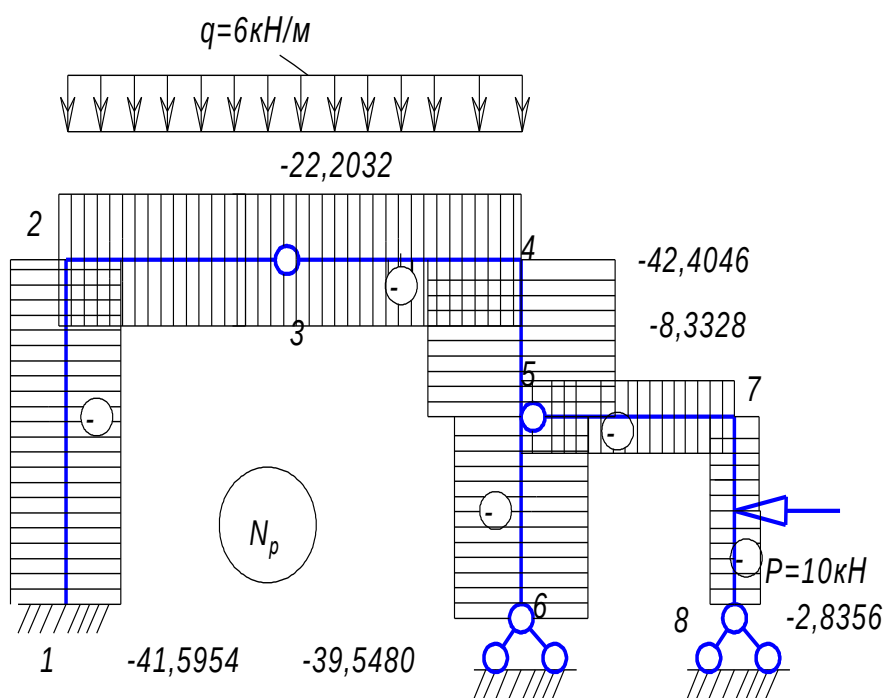
14. Berilgan ramada N_p bo'ylama kuchlari epyurasini tashqi yuklar ta'siriga quramiz. (2.21-rasm).

15. Biz ramaning kesilgan qismining muvozanatini hisobga olgan holda hisoblashning statik tekshiruvini o'tkazamiz (2.22).

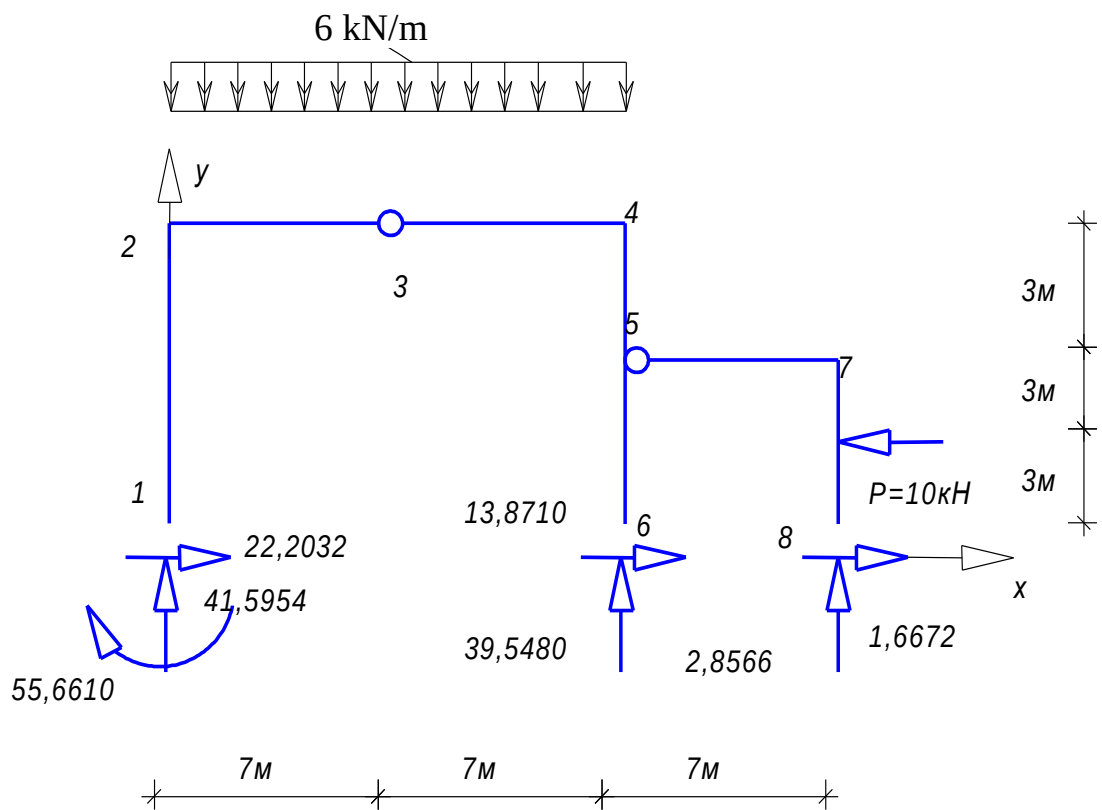
$$\Sigma X = 0; 22,2032 - 13,8710 + 1,6672 - 10 = 0;$$

$$\Sigma Y = 0; -6 \cdot 14 + 41,5954 + 39,548 + 2,8566 = 0;$$

$$\Sigma M_1 = 0; 55,6610 + 6 \cdot 14 \cdot 7 - 39,548 \cdot 14 - 2,8566 \cdot 21 - 10 \cdot 3 = 0.$$



2.21-rasm.



2.22-rasm

2-misol. Statik noaniq ramani harakatlanuvchi yuk ta'siriga hisoblang (2.23-rasm).

Yechish

1. Ramaning statik noaniqlik darajasini aniqlaymiz:

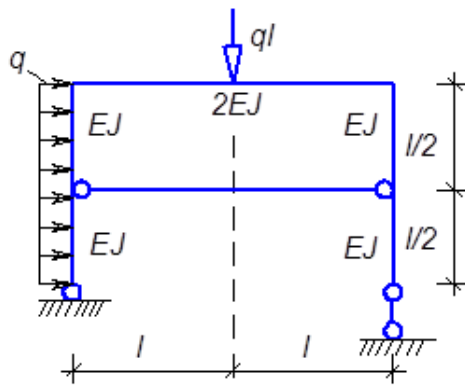
$$\Pi = 3 \cdot 2 - 5 = 1.$$

2. Biz asosiy sistemani tanlaymiz (2.24-rasm).

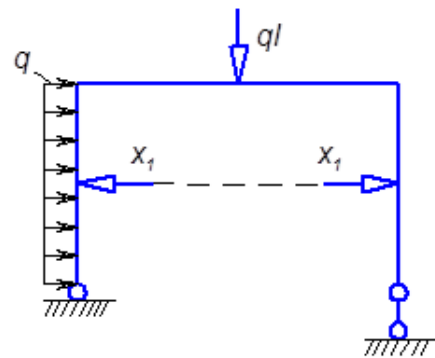
3. Kuchlar usulining kanonik tenglamasini tuzamiz:

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0.$$

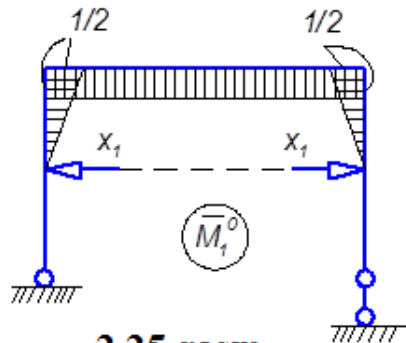
4. Asosiy sistemadagi eguvchi moment epyuralarini $X_1 = 1$ dan (2.25-rasm) va yukdan (2.26-rasm) joylashtiramiz.



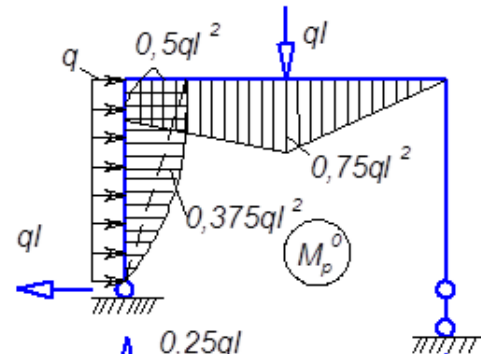
2.23-rasm



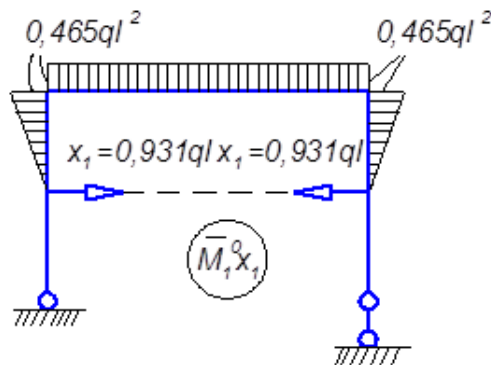
2.24-rasm



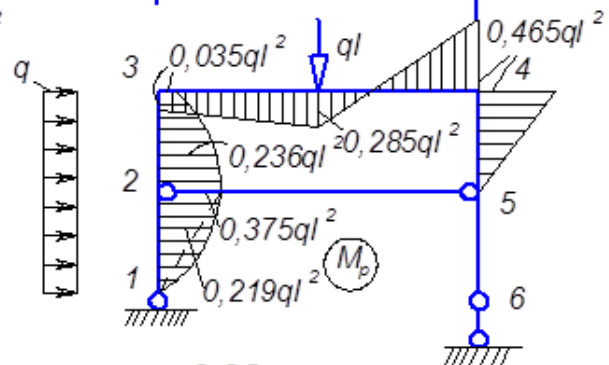
2.25-rasm



2.26-rasm



2.27-rasm



2.28-rasm

5. Ko'chishni aniqlaymiz:

$$\delta_{11} = 1/2 \cdot l/2 \cdot l/2 \cdot 2/3 \cdot l/2 \cdot 1/EJ \cdot 2 + l/2 \cdot 2l \cdot l/2 \cdot 1/2EJ = l^3/3EJ = 0,333l^3/3EJ;$$

$$\Delta_{1p} = 1/2 \cdot l/2 \cdot l/2 (2/3 \cdot 0,5ql^2 + 1/3 \cdot 0,375 \cdot ql^2) 1/EJ + 2/3 \cdot ql^2 / 32 \cdot l/2 \cdot 1/2 \cdot l/2 \cdot 1/EJ + (0,5 + 0,75) ql^2 / 2 \cdot l \cdot l/2 \cdot 1/2EJ + 1/2 \cdot 0,75 ql^2 \cdot l \cdot l/2 \cdot 1/2EJ = 0,31 ql^4/EJ.$$

6. Kanonik tenglamani yechib , $333l^3X_1 + 0,31ql^4 = 0$, biz $X_1 = -0,931ql$ ni olamiz.

7. Asosiy sistemadagi eguvchi momentlari ni $X_1 = - 0.931 \text{ } q\ell$ dan ajratamiz (2.27-rasm).

8. Berilgan rama uchun yuklanishdan hosil bo'lgan eguvchi momentlari M_p ni epyurasini quramiz (2.28-rasm).

9. M_p ni epyurasini to'g'ri qurilganligini kinematik tahlil qilamiz.

$$\begin{aligned} \Delta_{1p} = & 1/2 \cdot \ell/2 \cdot \ell/2 (1/3 \cdot 0,375 q \ell^2 + 2/3 \cdot 0,035 \cdot q \ell^2) 1/EJ + 2/3 \cdot q \ell^2 / 32 \cdot \ell/2 \cdot 1/2 \cdot \ell/2 \cdot 1/EJ \\ & - (-0,035 + 0,465) q \ell^2 / 2 \cdot 2 \ell \cdot \ell/2 \cdot 1/2 EJ + 1/2 \cdot 0,5 q \ell^2 \cdot 2 \ell \cdot \ell/2 \cdot 1/2 EJ - 1/2 \cdot 0,465 \\ & q \ell^2 \cdot \ell/2 \cdot 2/3 \cdot \ell/2 \cdot 1/EJ = (0,14615 - 0,14625) q \ell^4 / EJ = - 0,0001 q \ell^4 / EJ \text{ (xatolik } \\ & 0,07 \%). \end{aligned}$$

10. Ramaning sterjenlaridagi ko'ndalang kuchlarni aniqlaymiz (2.29-rasm)

$$\begin{aligned} Q_{12} &= \frac{q\ell}{2 \cdot 2} + \frac{0,375 q \ell^2 - 0}{0,5\ell} = q\ell; \\ Q_{21} &= - \frac{q\ell}{2 \cdot 2} + \frac{0,375 q \ell^2 - 0}{0,5\ell} = 0,5 q\ell; \\ Q_{23} &= \frac{q\ell}{2 \cdot 2} + \frac{0,035 q \ell^2 - 0,375 q \ell^2}{0,5\ell} = - 0,43 q\ell; \\ Q_{32} &= - \frac{q\ell}{2 \cdot 2} + \frac{0,035 q \ell^2 - 0,375 q \ell^2}{0,5\ell} = - 0,93 q\ell; \\ Q_{45} &= Q_{54} = 0 + \frac{0,465 q \ell^2 - 0}{0,5\ell} = 0,93 q\ell; \\ Q_{34} &= \frac{q\ell}{2} + \frac{-0,465 q \ell^2 - 0,035 q \ell^2}{2\ell} = 0,25 q\ell; \\ Q_{43} &= - \frac{q\ell}{2} + \frac{-0,465 q \ell^2 - 0,035 q \ell^2}{2\ell} = - 0,75 q\ell. \end{aligned}$$

11. Ma'lum bir yuklamadan ramada ko'ndalang kuchlarning epyurasini quramiz (2.30-rasm).

12. Ramaning sterjenlaridagi bo'ylama kuchlarni aniqlaymiz (2.31-rasm).

3 - tugun: $\Sigma X = 0$; $N_{34} + 0,93 q \ell = 0$; $N_{34} = - 0,93 q \ell$ (siqilish);

$\Sigma Y = 0$; $- N_{32} - 0,25 q \ell = 0$; $N_{32} = - 0,25 q \ell$ (siqilish);

4 - tugun: $\Sigma X = 0$; $- N_{43} - 0,93 q \ell = 0$; $N_{43} = - 0,93 q \ell$ (siqilish);

$\Sigma Y = 0$; $- N_{45} - 0,75 q \ell = 0$; $N_{45} = - 0,75 q \ell$ (siqilish).

2 - tugun: $\Sigma X = 0$; $N_{25} - 0,43 q \ell - 0,5 q \ell = 0$; $N_{25} = 0,93 q \ell$ (cho'zilish),

$\Sigma Y = 0$; $- N_{21} - 0,25 q \ell = 0$; $N_{21} = - 0,25 q \ell$ (siqilish).

13. Berilgan rama uchun yuklamadan bo'ylama kuchlar epyurasini quramiz (2.32-rasm).

14. Biz ramaning kesilgan qismining muvozanatini hisobga olgan holda hisoblashning statik tekshiruvini o'tkazamiz (2.33-rasm):

$\Sigma X = 0$; $0,43 q \ell + 0,5 q \ell - 0,93 q \ell = 0$.

$\Sigma Y = 0$; $0,25 q \ell - q \ell + 0,75 q \ell = 0$.

$\Sigma M_2 = 0$; $q \ell / 2 \cdot \ell / 4 + q \ell \cdot \ell - 0,75 q \ell \cdot 2 \ell + 0,375 q \ell = 0$.

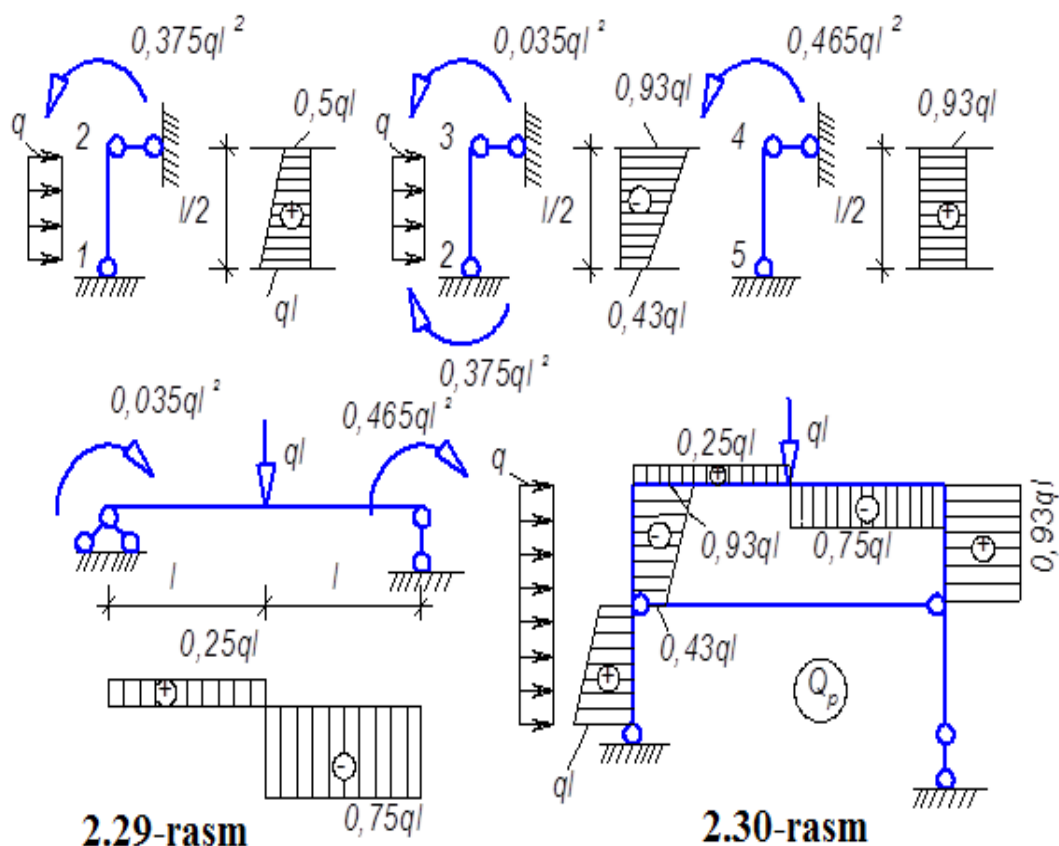
3-misol. (2.34-rasm)dagi statik noaniq ramani hisoblang va temperatura o'zgarishi hisobiga hosil bo'ladigan eguvchi moment epyurasini quring, agar $\alpha = 10^{-5}$, $EJ = 6 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$ bo'lsa.

Yechish

1. Statik noaniqlik darajasini aniqlaymiz: $\Pi = 3 \cdot 2 - 5 = 1$

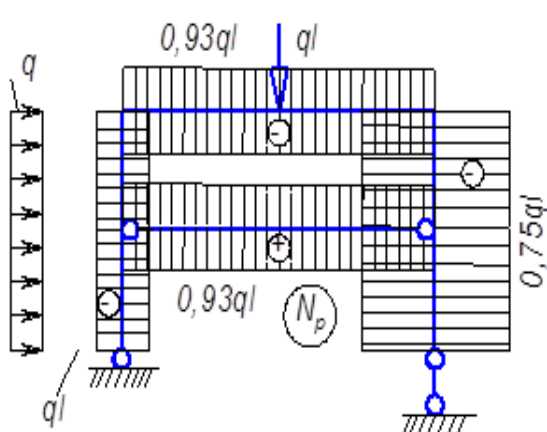
2. Biz asosiy sistemani tanlaymiz (2.35-rasm).

3.Kuchlar usulining (2.5) kanonik tenglamasini tuzamiz.

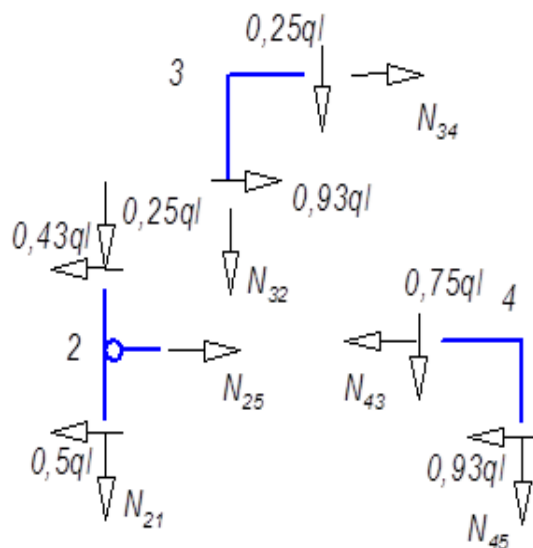


2.29-rasm

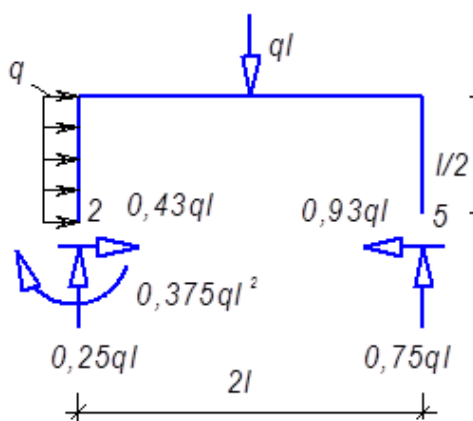
2.30-rasm



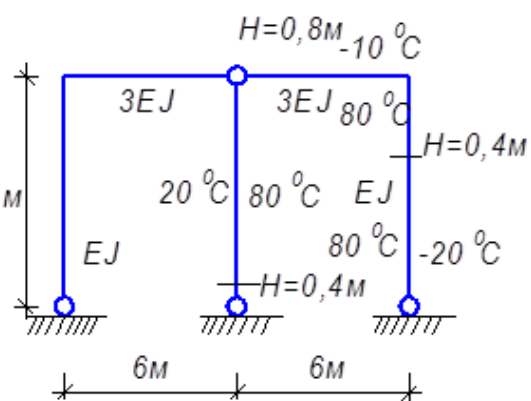
2.32-rasm



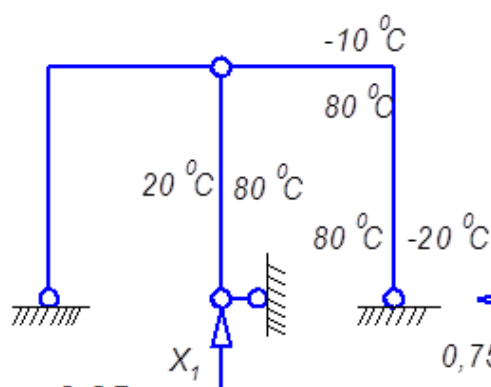
2.31-rasm



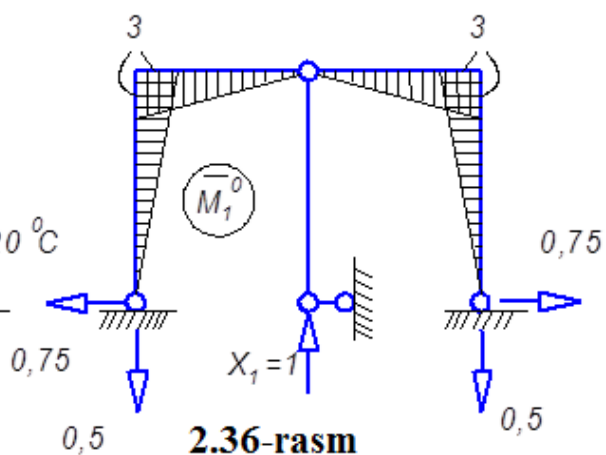
2.33-rasm



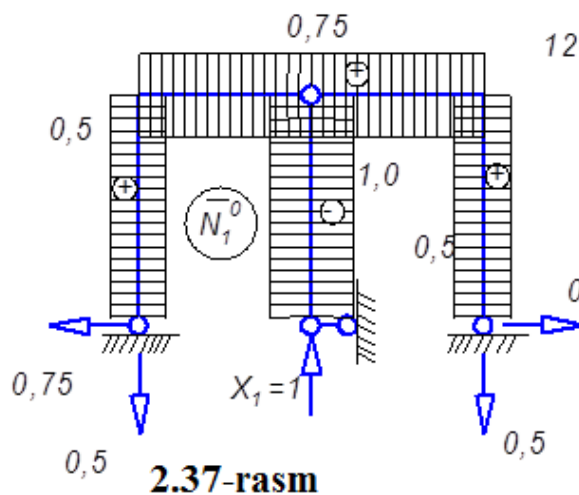
2.34-rasm



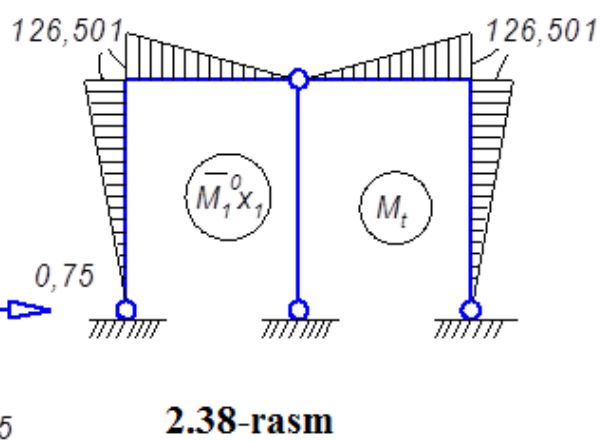
2.35-rasm



2.36-rasm



2.37-rasm



2.38-rasm

4. Biz $X_1 = 1$ dan asosiy sistemaga eguvchi moment va bo'ylama kuchlarning epyurasini quramiz (2.36, 2.37-rasm).

5. Asosiy sistemadagi δ_{11} va Δ_{1t} ko'chishini aniqlaymiz (2.9, 2.10):

$$\delta_{11} = 1/2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 2/3 \cdot 3 \cdot 1/EJ \cdot 2 + 1/2 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 2/3 \cdot 6 \cdot 1/3 EJ \cdot 2 = 36/EJ;$$

$$\Delta_{1t} = -\alpha \cdot 50 \cdot 1 \cdot 4 + \alpha \cdot 35 \cdot 0,75 \cdot 6 + \alpha \cdot 30 \cdot 0,5 \cdot 4 + \alpha \cdot 90/0,8 \cdot 1/2 \cdot 3 \cdot 6 + \\ + \alpha \cdot 100/0,4 \cdot 1/2 \cdot 3 \cdot 4 = 2530\alpha.$$

6. Kanonik tenglamani yechib

$$36/EJ \cdot X_1 + 2530 \cdot \alpha = 0, \text{ yoki } 36 X_1 + 2530 \cdot 10^{-5} \cdot 6 \cdot 10^4 = 0,$$

$$\text{yoki } 36 X_1 + 1518 = 0, \text{ ega bo'lamiz } X_1 = - 42,167 \text{ kN}.$$

7. Asosiy sistemada topilgan $X_1 = - 42,167 \text{ kN}$ qiymatidan eguvchi momentlari (2.13) chizmasini quramiz. Asosiy sistema statik jihatdan aniqlanadigan deb qabul qilinganligi sababli $M_t = \overline{M}_1^0 X_1$.

8. Eguvchi momentlari epyurasi qurilishining to'g'riligini kinematik tekshirishni amalga oshiramiz (2.16).

$$\Delta_{1t} = 2530 \cdot 10^{-5} - 1/2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 2/3 \cdot 126,501 \cdot 1/(6 \cdot 10^4) \cdot 2 - 1/2 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 2/3 \cdot 126,501 \cdot 1/ \\ /(3 \cdot 6 \cdot 10^4) \cdot 2 = 2530 \cdot 10^{-5} - 2530,02 \cdot 10^{-5} = - 0,02 \cdot 10^{-5} \text{ (xatolik } 0,0008 \text{ \%)}.$$

4-misol. Statik noaniq rama (2.39-rasm) hisobini bajaring va agar egilgan bo'lsa, kinematik harakatdan (tayanchlarning cho'kishi) eguvchi momentlarini joylashtiring. $EJ = 6 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$.

Yechish

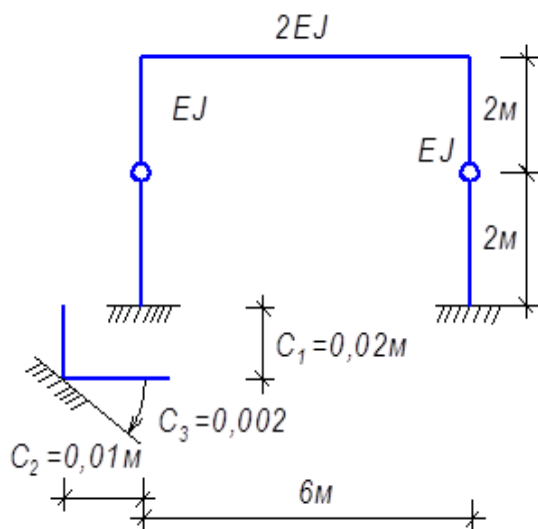
1. Biz statik noaniqlik darajasini aniqlaymiz: $\Pi = 3 \cdot 1 - 2 = 1$.

2. Asosiy sistemani tanlaymiz (2.40-rasm).

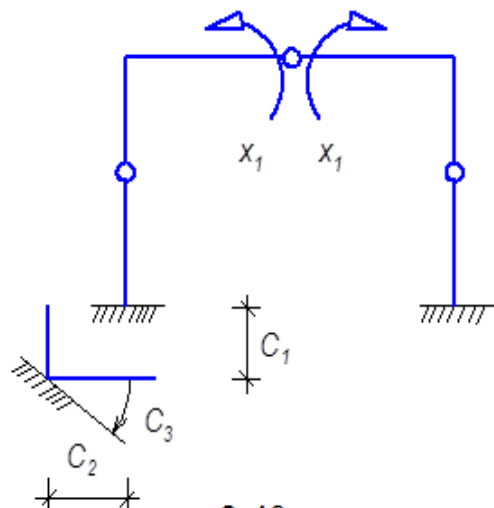
3. Kuchlar usulining (2.5) kanonik tenglamasini tuzamiz.

4. Asosiy sistemada biz $X_1 = 1$ dan egilish momentlarining epyurasini tuzamiz (2.41-rasm).

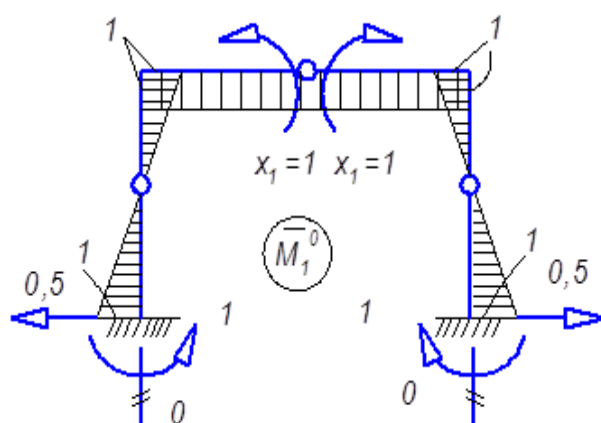
5. Asosiy sistemadagi δ_{11} va Δ_{1C} ko'chishlarni aniqlaymiz (2.39, 2.41):



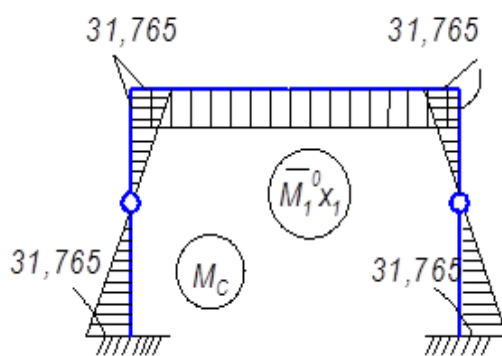
2.39-rasm



2.40-rasm



2.41-rasm



2.42-rasm

$$\delta_{11} = 1/2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2/3 \cdot 1 \cdot 1/EJ \cdot 4 + 1 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 1/2EJ = 17/3EJ;$$

$$\Delta_{1C} = - (0,5 \cdot 0,01 + 0 \cdot 0,02 - 1 \cdot 0,002) = - 0,003.$$

6. Kanonik tenglamani yechib

$17 X_1 - 0,003 \cdot 3 EJ = 0$, yoki $17 X_1 - 540 = 0$, bundan $X_1 = 31,765 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ni olamiz.

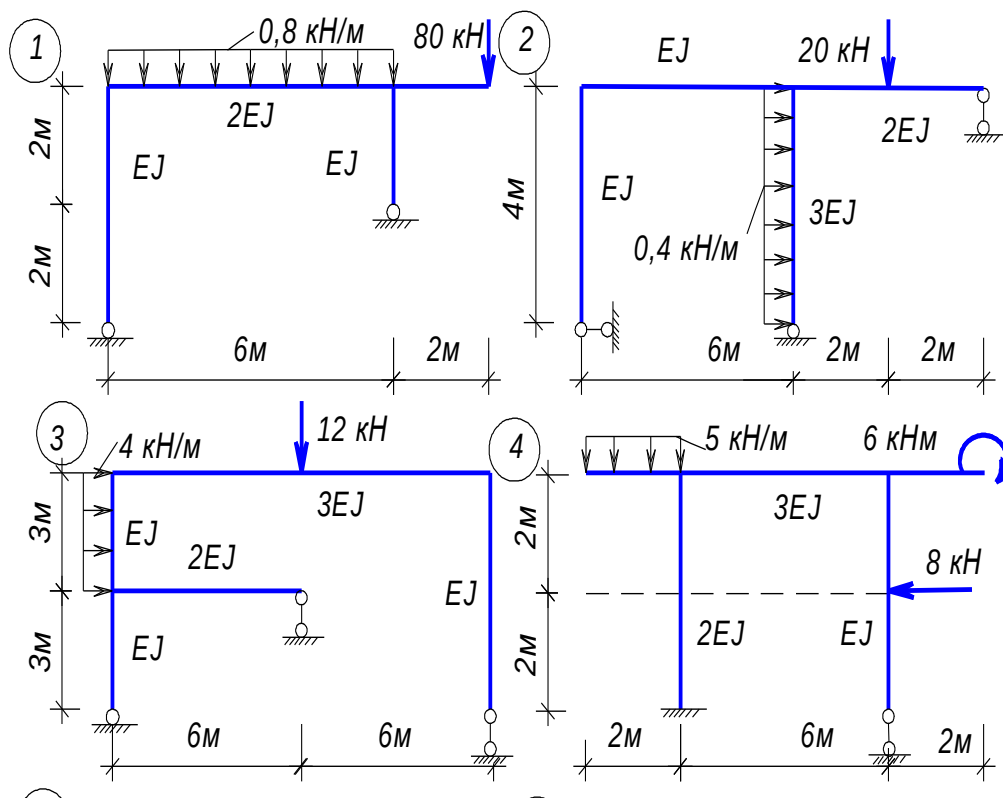
7. $X_1 = 31,765 \text{ kN}\cdot\text{m}$ topilgan qiymatdan egilish momentlari epyurasini quramiz (2.41) (2.42-rasm). Asosiy sistema statik jihatdan aniqlanadigan tarzda qabul qilinganligi sababli $M_C = \overline{M}_1^0 \cdot X_1$.

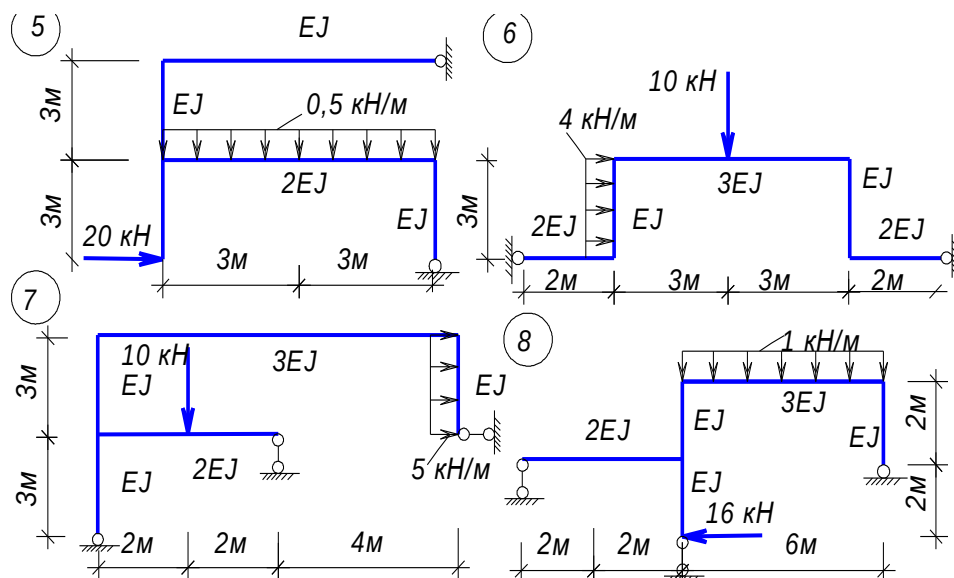
8. Eguvchi momentlari epyurasi tuzilishining to'g'riligini kinematik tekshirishni amalga oshiramiz (2.42):

$$\Delta_{1C} = -0,003 + 1/2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2/3 \cdot 31,765 \cdot 1/(6 \cdot 10^4) \cdot 4 + 1 \cdot 6 \cdot 31,765 \cdot 1/(2 \cdot 6 \cdot 10^4) = -0,003 + 0,00300003 = 0,00000003 \text{ (xatolik } 0,001 \text{ \%)}.$$

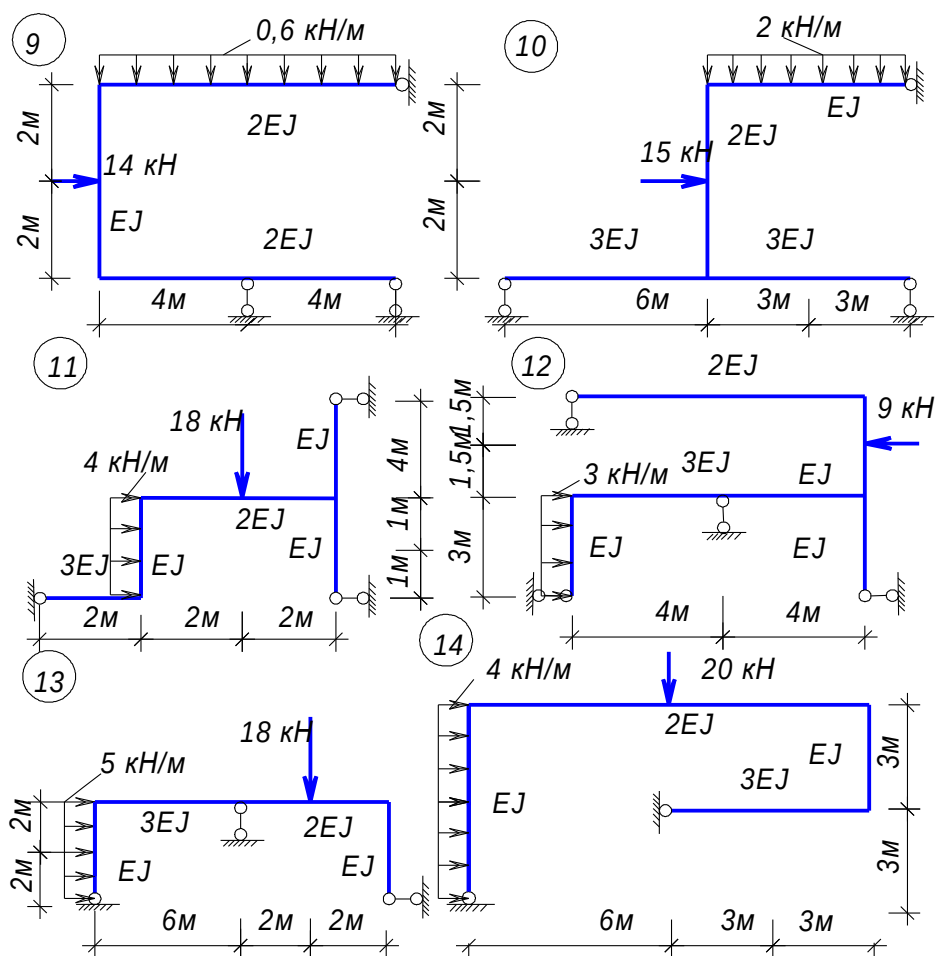
4.6. 9 – XGI. Hisob-grafik ish uchun vazifa "Yagona statik noaniq ramani kuch usuli bilan hisoblash"

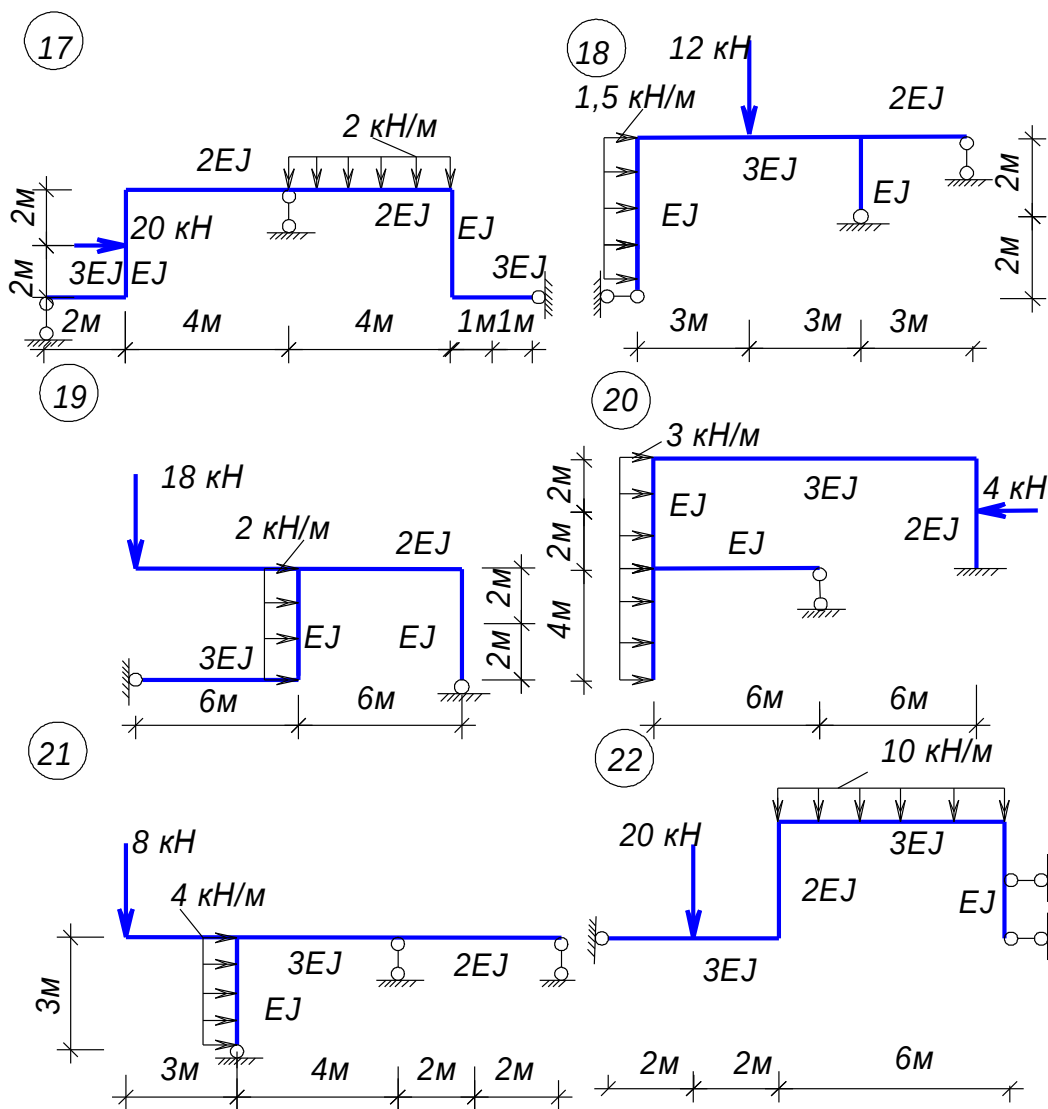
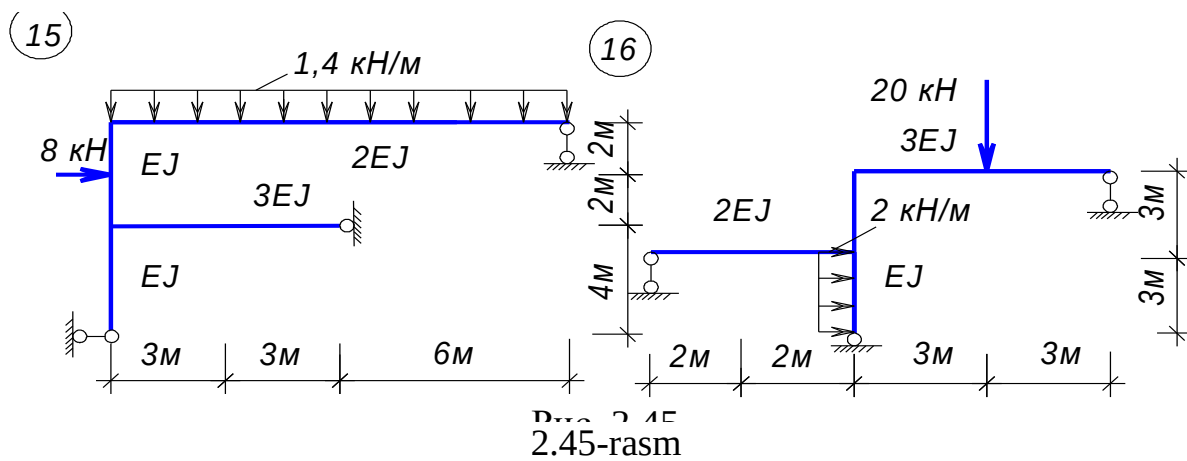
Ishda berilgan yuklardan M_p , ko'ndalang kuch Q_p va bo'ylama N_p kuchlarining egilish momentlarining epyuralarini shifr raqamiga muvofiq tuzish va ushbu epyuralarning qurilishining to'g'riligini tekshirish kerak. Vazifa shifri o'quv varag'idagi seriya raqamiga muvofiq tanlanadi (2.44 - 2.46-rasm).

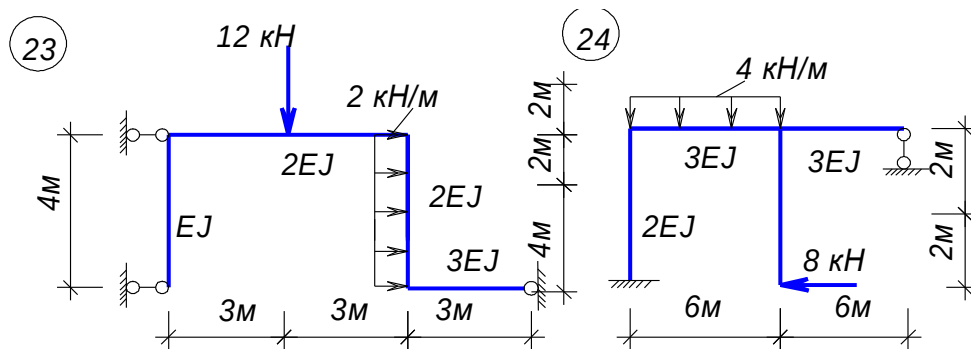




2.44-rasm







2.46-rasm

V BOB. KO‘CHISH USULIDA STATIK NOANIQ RAMALARNI HISOBLASH

Ko‘chish usuli statik noaniq sistemalarni hisoblash usullaridan biridir. Ushbu usul bilan sterjenli sistemalarini hisoblashda quyidagi shartlar kiritiladi:

- 1) ko‘ndalang deformatsiyalar bilan taqqoslaganda mayda sterjenlarning bo‘ylama deformatsiyalari ta’sirini e’tiborsiz qoldirish;
- 2) rama deformatsiyalanganda, bitta va bir xil bikir qismga ulashgan barcha sterjenlar bir xil burchak ostida aylanishini hisobga olish.

5.1. Ko‘chish usulining asosiy sistemasini tanlash

Ko‘chish usuli asosiy sistemasining statik jihatdan noaniq qismiga qo‘shimcha burchak va chiziqli bog‘lanishlarni kiritish orqali olinadi.

Kiritilgan burchak cheklovlari faqat burchak o‘rnini bosishni oldini oladi va chiziqli bo‘lganlarga xalaqit bermaydi. Bunday bog‘lanishda reaksiya moment bo‘ladi. *Burchakli bog‘lanishlari* ularning soni va joylashishini aniqlaydigan ma’lum sistemaning barcha bikir erkin tugunlariga kiritiladi. Chiziqli cheklovlar faqat tugunlarning chiziqli ko‘chishiga to‘sqinlik qiladi va sistemaning statik noaniq qismining barcha tugunlari *chiziqli bog‘lanishga* ega bo‘lmaydigan tarzda kiritiladi. Bog‘lanishlarning umumiy soni berilgan sistemaga kiritilgan burchakli

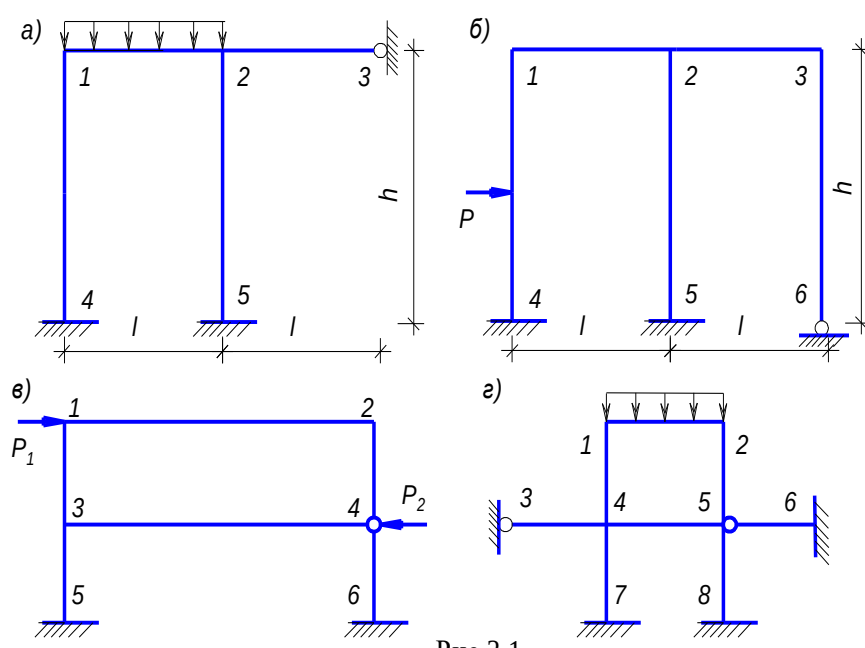
va chiziqli bog‘lanishlar yig‘indisiga teng:

$$n = n_{\text{bur}} + n_{\text{chiz}}.$$

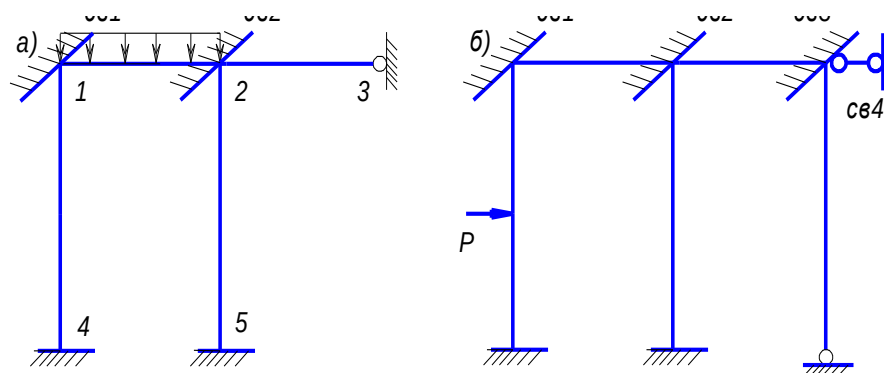
5.2.1. Ko‘chish usulining asosiy sistemalarini tanlashga misollar.

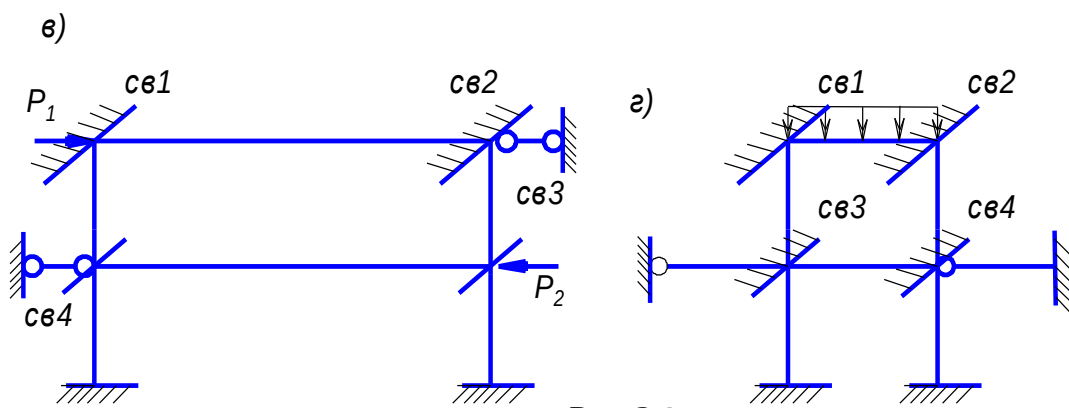
Ushbu statik noaniq sistemalar uchun (3.1-rasm) asosiy sistemalar 3.2-rasmda keltirilgan.

Asosiy sistemani tugunlarga bo‘lish orqali biz asosiy sistemaning elementlararo sxemasini olamiz.



3.1-rasm





3.2-rasm

Odatda, bu joyni o'zgartirish usulining statik noaniq tipik elementlaridan iborat (standart jadvalga qarang), ammo u shuningdek aniqlanishi mumkin bo'lgan elementlarni ham o'z ichiga olishi mumkin. Asosiy sistemalarning elementlariga asoslangan sxemalari 3.3-rasmida keltirilgan.

5.2.2. Asosiy sistemaning kuchlanishdan deformatsiyalangan holati

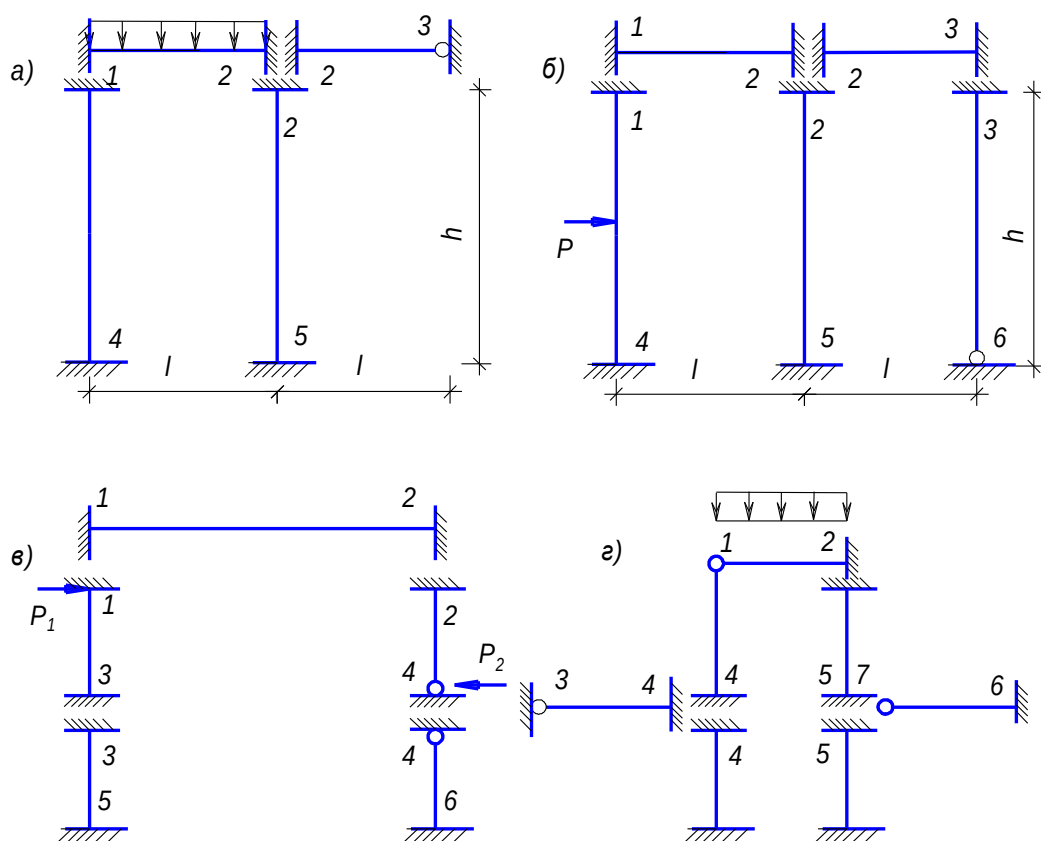
Tashqi ta'sir tufayli berilgan ramaning deformatsiyasi uning alohida elementlarining deformatsiyalaridan iborat. Ko'chishlarning mustaqillik prinsipidan foydalangan holda individual tipik elementlarning deformatsiyalarini oddiy elementlarga bo'lish mumkin.

Masalan, ikkita bikir tugunga ega bo'lgan odatiy element uchun, umumiy deformatsiyasi quyidagilardan iborat bo'ladi: 1) chap tomondagi tugunning aylanishidan elementning deformatsiyasi; 2) o'ng tugunni aylantirish natijasida deformatsiya; 3) chap va o'ng tugunlarning sterjen o'qiga perpendikulyar bo'lgan yo'nalishda bir-biridan ko'chishi; 4) ushbu sterjen qo'llaniladigan tashqi yukdan deformatsiya.

Agar yuqorida ko'rsatilgan elementar ta'sirlardan odatdagi elementlarning kuchlanish holatlari barcha standart sterjenlar uchun aniqlangan bo'lsa, sistemaning bunday deformatsiyalari hisoblashni osonlashtiradi.

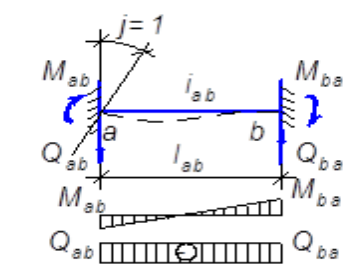
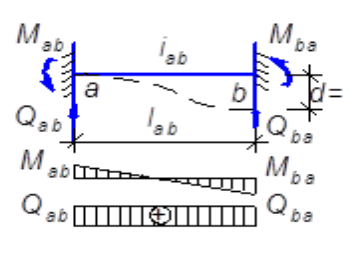
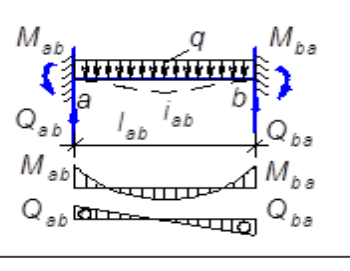
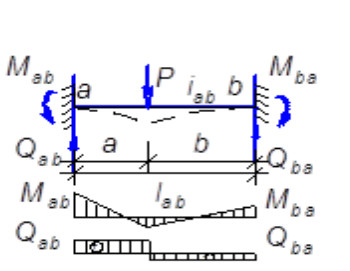
Qo'lda hisoblash paytida individual tipik elementlarning deformatsiyaga qarshi holati to'g'risidagi ma'lumotlar 3.1. Jadvalda berilgan. 3.1-jadvalda va ushbu usulda hisob-kitoblarda quyidagi qoidalar qabul qilinadi:

- elementni soat yo'nalishi bo'yicha aylantirsa, reaktiv momentlar va ko'ndalang kuchlari ijobiy bo'ladi;
- tugundagi ko'chish soat yo'nalishi bo'yicha aylantirilsa, burilish joylari ijobiy bo'ladi;
- chiziqli ko'chish, agar uni amalga oshirish paytida, aylanish soat yo'nalishi bo'yicha sodir bo'lsa, ijobiy deb hisoblanadi. EI - sterjen egilish bikirligi.

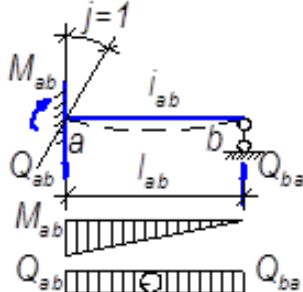
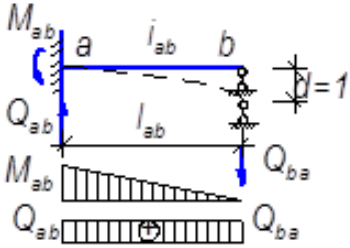
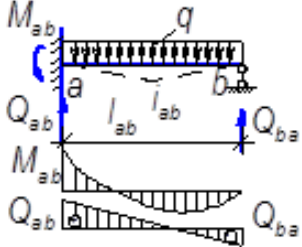
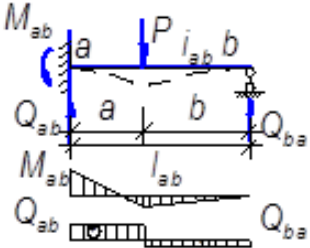


3.3-rasm

3.1-jadval

Zo'riqishlarning ko'rinishi	Chegaraviy zo'riqishlar			
	M_{ab}	M_{ba}	Q_{ab}	Q_{ba}
Ikki nomonlama qotirilgan sterjenli element				
	$4 i_{ab}$	$2 i_{ab}$	$-\frac{6 i_{ab}}{l_{ab}}$	$-\frac{6 i_{ab}}{l_{ab}}$
	$-\frac{6 i_{ab}}{l_{ab}}$	$-\frac{6 i_{ab}}{l_{ab}}$	$\frac{12 i_{ab}}{l_{ab}^2}$	$\frac{12 i_{ab}}{l_{ab}^2}$
	$-\frac{q l_{ab}^2}{12}$	$\frac{q l_{ab}^2}{12}$	$\frac{q l_{ab}}{2}$	$-\frac{q l_{ab}}{2}$
	$-\frac{P a b^2}{l_{ab}^2}$ $-\frac{P l_{ab}^2}{8}$ $\alpha = l_{ab}/2$	$\frac{P a^2 b}{l_{ab}^2}$ $\frac{P l_{ab}}{8}$ $\alpha = l_{ab}/2$	$\frac{P b^2}{l_{ab}^2} (1 + 2 \frac{a}{l_{ab}})$ $\frac{P}{2}$ $\alpha = l_{ab}/2$	$\frac{P a^2}{l_{ab}^2} (1 + 2 \frac{b}{l_{ab}})$ $-\frac{P}{2}$ $\alpha = l_{ab}/2$

3.1-jadvalning davomi

Zo'riqishlarning ko'rinishi	Chegaraviy zo'riqishlar			
	M_{ab}	M_{ba}	Q_{ab}	Q_{ba}
Bir tomoni qistirib maxkamlangan ikkinchi tomoni sharnirli sterjen				
	$3 i_{ab}$	0	$\frac{-3 i_{ab}}{l_{ab}}$	$\frac{-3 i_{ab}}{l_{ab}}$
	$\frac{-3 i_{ab}}{l_{ab}}$	0	$\frac{3 i_{ab}}{l_{ab}^2}$	$\frac{3 i_{ab}}{l_{ab}^2}$
	$\frac{-q l_{ab}^2}{8}$	0	$\frac{5 q l_{ab}}{8}$	$\frac{-3 q l_{ab}}{8}$
	$\frac{-P b}{2} x$ $x \left(1 - \frac{b^2}{l_{ab}^2} \right)$ $b = l_{ab}/2$ $\frac{-3 P l_{ab}}{16}$	0	$\frac{P b}{2 l_{ab}} x$ $x \left(3 - \frac{b^2}{l_{ab}^2} \right)$ $a = l_{ab}/2$ $\frac{11 P}{16}$	$\frac{P a^2}{2 l_{ab}^2} x$ $x \left(3 - \frac{a^2}{l_{ab}^2} \right)$ $a = l_{ab}/2$ $\frac{-5 P}{16}$

5.3. Ko‘chish usulining kanonik tenglamalari

Ko‘chish usulining asosiy sistemasi (3.5-rasm) 1 va 2-sonli qo‘shimcha bog‘lanishlarning kiritilishi va ushbu bog‘lanishlarda reaksiyalarning paydo bo‘lishi tufayli o‘rnatilgan(3.4-rasm)dan farq qiladi. Biz berilgan va asosiy sistemalarning kuchlanish holatini bir-biriga muvofiqlashtiramiz. Buning uchun:

1) asosiy sistemada biz ularga hozircha Z_1 va Z_2 noma'lum bo'lgan ko'chishlarni mos keladigan yangi kiritilgan bog'lanishlar bilan tugunlarni beramiz;

2) Z_1, Z_2 va tashqi ta'sirlar natijasida yuzaga kelgan ushbu bog'lanishlardagi reaksiyalar nolga teng bo'lishini talab qilamiz, chunki bunday bog'lanishlar berilgan doirada yo'q. Bunday shartlar asosiy sistemaning har bir joriy qilinadigan bog'lanishiga o'rnatiladi. Natijada, bizning alohida holatimizda ikkita noma'lum ko'chish bilan ikkita tenglama sistemasini olamiz.

$$r_{11} \cdot z_1 + r_{12} \cdot z_2 + R_{1P}^0 = 0,$$

$$r_{21} \cdot z_1 + r_{22} \cdot z_2 + R_{2P}^0 = 0.$$

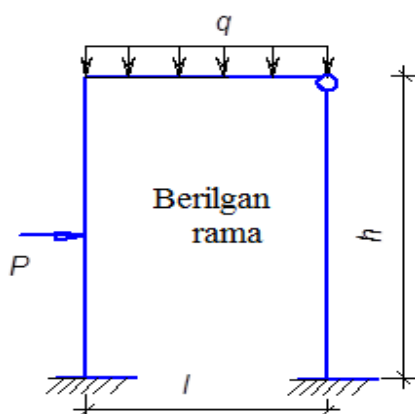
Umumiy holda n ta noma'lum bo'lgan sistema uchun biz n ta tenglamalar sistemasiga ega bo'lamiz:

$$\sum_{j=1}^n r_{ij} Z_j + R_{iP}^0 = 0,$$

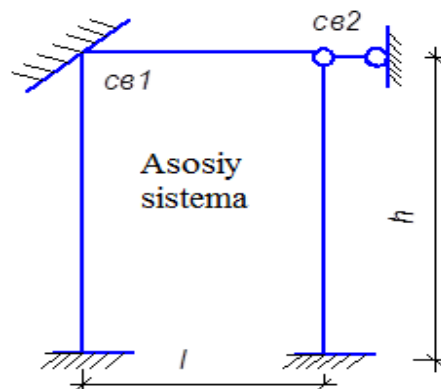
bu erda $i = (1, 2, \dots, n)$. Bu erda i bog'lanishdagi o'ziga xos reaksiya j bog'lanishining bittaga ko'chishi bilan izohlanadi. Birgalikda bu reaksiyalar kanonik tenglamalardagi noma'lumlar uchun koeffitsientlarni aniqlaydi. R_{iP}^0 - berilgan yukdan i ga bog'liq reaksiya.

Birgalikda bu reaksiyalar kanonik tenglamalarning erkin shartlarini aniqlaydi. Z_j - noma'lum ko'chishlar ($j = 1, 2, \dots, n$).

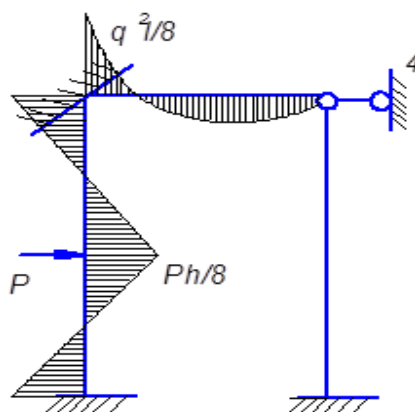
Kanonik tenglamalar statik ma'noga ega, chunki ular asosiy sistemaning yangi kiritilgan bog'lanishlarida reaksiyalari nolga tengligini ifodalaydi.



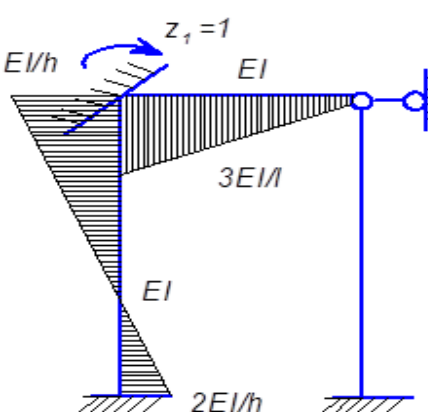
3.4-rasm



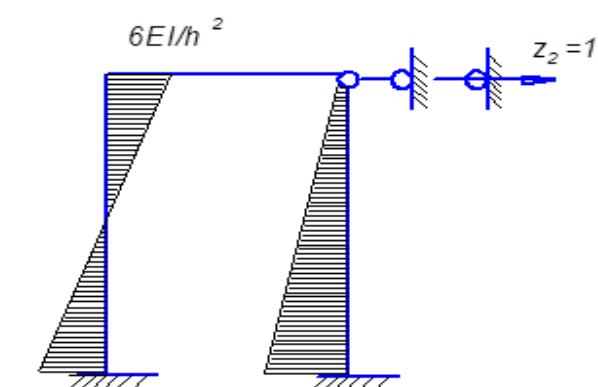
3.5-rasm



3.6-rasm. M_p^0 ning epyurasi



3.7-rasm M_1^0 ning epyurasi



3.8-rasm. M_2^0 ning epyurasi

5.4. Erkin a'zolarining kanonik tenglamalari va koeffitsientlarni aniqlash

Berilgan yukning o'ziga xos r_{ij} reaksiyalari va reaksiyalari statik usulda yoki ko'paytiriladigan epyuralar yordamida aniqlanishi mumkin.

Statik usulni ko'rib chiqamiz. Ushbu usul statikaning muvozanat tenglamalariga asoslanadi. Reaksiyalarni aniqlash asosiy sistemadagi egilish momentlarining epyuralarini qurishdan va berilgan yuklamadan boshlanadi (3.6-3.8-rasm). Har bir holda, umumiy epyura 3.1-Jadvaldagi ma'lumotlarga muvofiq tipik sistema sterjenlari uchun tuzilgan epyuralarning yig'indisini anglatadi.

Burchak bog'lanishlaridagi reaksiyalar kesilgan sistema tugunining muvozanat holatidan reaksiya aniqlanadigan bog'lanish bilan aniqlanadi. Muvozanat tenglamasi $\Sigma M^{\text{tugun}} = 0$ ko'rinishiga ega.

Chiziqli bog'lanishlardagi reaksiyalar chiziqli (kuch) bog'lanishni o'z ichiga olgan asosiy sistemaning kesilgan qismining muvozanat holatidan aniqlanadi. Bunday holda, kesishish ushbu ulanishning X_1 o'qiga parallel bo'ladi va muvozanat tenglamasi $\Sigma X_1^{\text{kes.qism}} = 0$. Uning o'qi ulanish o'qiga to'g'ri keladi.

5.5. Noma'lum ko'chishlarni aniqlash

Berilgan rama uchun burchak va chiziqli ko'chishlar bir xil ravishda aniqlanadi, kanonik tenglamalar sistemasini yechish kerak, bunda tenglamalar soni har doim noma'lumlar soniga teng bo'ladi.

5.6. Berilgan rama uchun berilgan yukdan eguvchi moment epyuralarini qurish

Berilgan ramadagi eguvchi momentlarining epyurasini harakatlar mustaqilligi prinsipi yordamida quyidagi formula bo'yicha qurish mumkin:

$M_p = M_p^0 + \sum_{i=1}^n \overline{M}_i^0 \cdot Z_i$, ya'ni formulaga kiritilgan epyuralarni xulosa qilib,

bu erda $-M_p^0$ - asosiy sistemadagi berilgan yukdan egilish momentlari epyurasi ; $\overline{M}_i^0 \cdot Z_i$ bu asosiy sistemadagi noma'lum Z_i - dan topilgan eguvchi momentlari epyurasi bo'lib, har bir noma'lum Z_i uchun quriladi.

5.7. Ramalarni hisoblashga doir misollar

1-misol. Berilgan rama uchun eguvchi moment epyurasini quring (3.9-rasm).

Yechish

1. Berilgan ramaga ko'chish usulining asosiy sistemasini tanlaymiz (3.10-rasm). Buning uchun biz berilgan sistemaga **ikkita ulanishni** kiritamiz: 2-sonli tugunga burchakli ulanish va gorizontaal yo'nalishda 1-tugunga chiziqli ulanish. Bunday holda, asosiy tizimning 1-tuguni, boshqa barcha tugunlar kabi (2,3,4,5,6), o'zgarmas holga keladi.

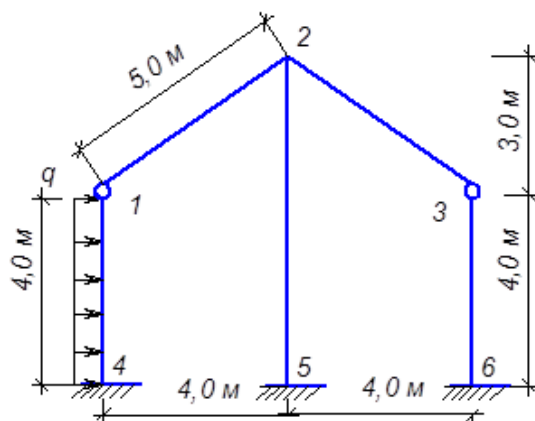
2. Ikki munosabat kiritilgan holda bizning misolimiz uchun kanonik tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$r_{11} \cdot z_1 + r_{12} \cdot z_2 + R_{1P}^0 = 0,$$

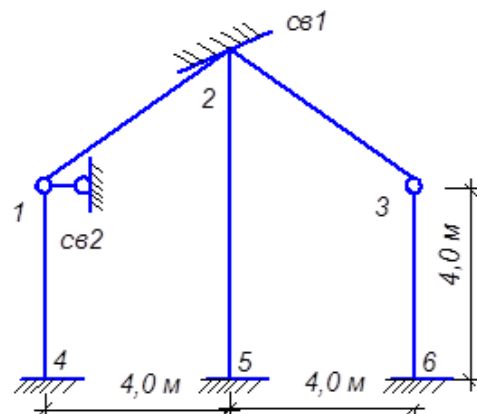
$$r_{21} \cdot z_1 + r_{22} \cdot z_2 + R_{2P}^0 = 0.$$

3. Tenglamadagi reaksiyalarni aniqlash uchun bitta noma'lum $Z_1 = 1$ va $Z_2 = 1$ va berilgan yuklardan eguvchi momentlarning epyuralarini quramiz.

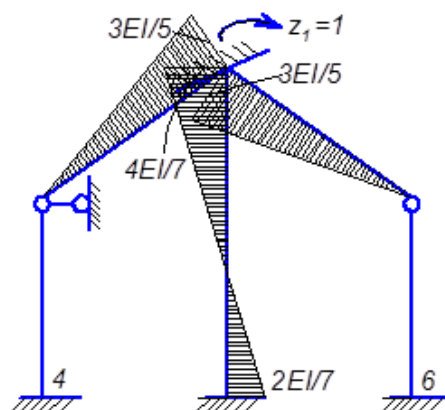
$\overline{M}_1^0$ $Z_1 = 1$ dan olingan epyura (3.11-rasm) 3.1-jadval 1-qator yordamida qurilgan. (1-2) va (2-3) element uchun 5-qator qo'llaniladi.



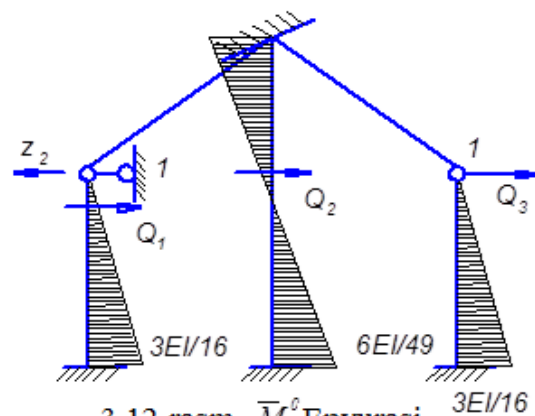
3.9-rasm. Berilgan rama



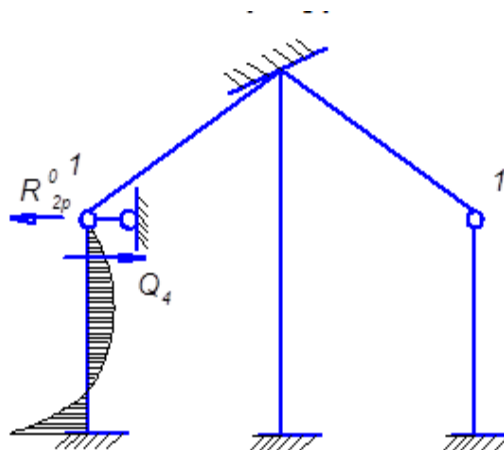
3.10-rasm. Asosiy sistema



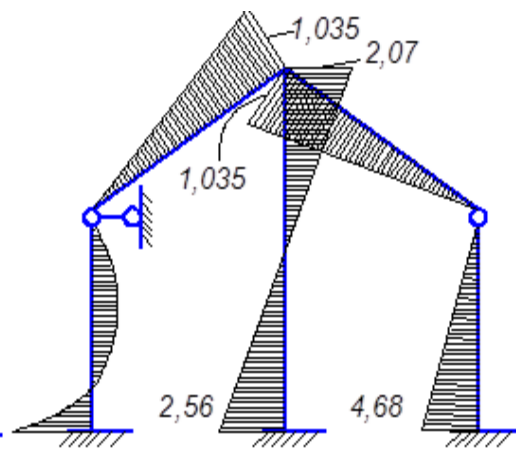
3.11-rasm. $\bar{M}_1^0$ Epyurasi



3.12-rasm. $\bar{M}_2^0$ Epyurasi



3.13-rasm. M_p^0 Epyurasi



3.14-rasm. M_p Epyurasi

$\bar{M}_2^0$ $Z_2 = 1$ dan olingan epyura (3.12-rasm) 3.1-jadval yordamida qurilgan. (1-4) va (3-6) ustunlar uchun - 6-qator, (2-5) –ustun uchun 2-qator qo'llaniladi.

M_p^0 berilgan yukdan olingan epyura. (1-4) element uchun 7-qator.

Epyuradagi “1” ulanishidagi tugunni kesib, $\overline{M}_2^0$ uning muvozanatini ko‘rib chiqib, r_{12} reaksiyani topamiz:

$$r_{12} = r_{21} = -6EI/h^2 = 0,122 EI.$$

$\overline{M}_1^0$ epyuradagi “1” ulanishidagi tugunni kesib, analitik usul bilan r_{11} reaksiyani topamiz:

$$r_{11} = \frac{3EI}{5} + \frac{4EI}{7} + \frac{3EI}{5} + \frac{62EI}{35} = 1,77143EI$$

r_{22} reaksiyani aniqlash uchun biz epyurada 1-1 bo‘limini kesamiz (3.12-rasm) va kesilgan ustunlarda ko‘ndalang kuchlarni topamiz:

$$r_{22} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = \frac{3EI}{64} + \frac{12EI}{343} + \frac{3EI}{64} = 0,12874EI .$$

M_p^0 epyuraga binoan berilgan yukdan reaksiya bo‘lmaydi, ya’ni: $R_{1p}^0 = 0$

Chiziqli ulanishdagi reaksiyani aniqlash uchun biz 1-4 elementni epyurada, 1 nuqtaga cheksiz, chiziqli ulanishning o‘qiga parallel ravishda kesamiz va ushbu bo‘limda 3.1- jadvalga muvofiq ko‘ndalang kuchni topamiz. Bikir va sharnir tayanchiga ega odatdagi sterjen uchun ko‘chish usullari(sharnirli tayanchining ustki kesimida):

$$R_{2p}^0 = Q = \frac{3}{8} q\ell = 3$$

4. Topilgan reaksiya qiymatlarini kanonik tenglamalar sistemasiga qo‘yamiz va sistemani yechish orqali biz noma’lum ko‘chishlarni topamiz:

$$1,77143 \cdot Z_1 + 0,12245 \cdot Z_2 + 0 = 0,$$

$$0,12245 \cdot Z_1 + 0,12874 \cdot Z_2 + 3 = 0,$$

Bundan $Z_1 = 1724,16/EI$; $Z_2 = -24,942/EI$

5. Biz uchastkaning barcha $\overline{M}_1^0$ epyurasining ordinatalarini Z_1 ga va $\overline{M}_2^0$ epyurasining ordinatalarini Z_2 ga ko'paytiramiz va ularni M_p^0 epyuraga qo'shamiz, biz berilgan ramadagi M_p epyurasini berilgan yukdan olamiz (3.14-rasm).

VI BOB. STERJENLI SISTEMALARNI CHEKLI ELEMENTLAR USULIDA HISOBLASH⁵

Chekli element usuli bikir deformatsiyalanadigan inshootning qurilish mexanikasi muammolarini hal qilishda eng keng tarqalgan usullaridan biridir. Uning mohiyati shundaki, berilgan sistema chekli o'lchamlarning alohida elementlariga bo'linishidir. Sterjenli sistemalari uchun chekli elementlar sterjen yoki sterjen qismlari bo'lishi mumkin; ikki o'lchovli joylar uchun - to'g'ri burchakli yoki uchburchakli chekli elementlar; uch o'lchovli joylar uchun - tetraedr yoki parallelepipedlar(4.1-rasm) bo'ladi. Turidan qat'iy nazar, har bir element ma'lum bir hisob sxemasining barcha fizik va geometrik xususiyatlarini saqlab qoladi.

Chekli elementlarning ko'rinishi tashqi ta'sir ostida ularning kuchlanish holatini va qo'shni elementlarning o'zaro ta'sir kuchini o'rganish uchun qulay bo'lishi kerak. Chekli elementlar ushbu sistemaga muvozanat sharoitlaridan, ushbu elementlarni bog'laydigan tugun nuqtalarida deformatsiyalar va ko'chishlardan teng ravishda birlashtiriladi. Tugunlardagi elementlarning konstruksiyasi chekli elementlarning kuchlanish holatini xarakterlovchi qo'shimcha shartlar asosida amalga oshiriladi.

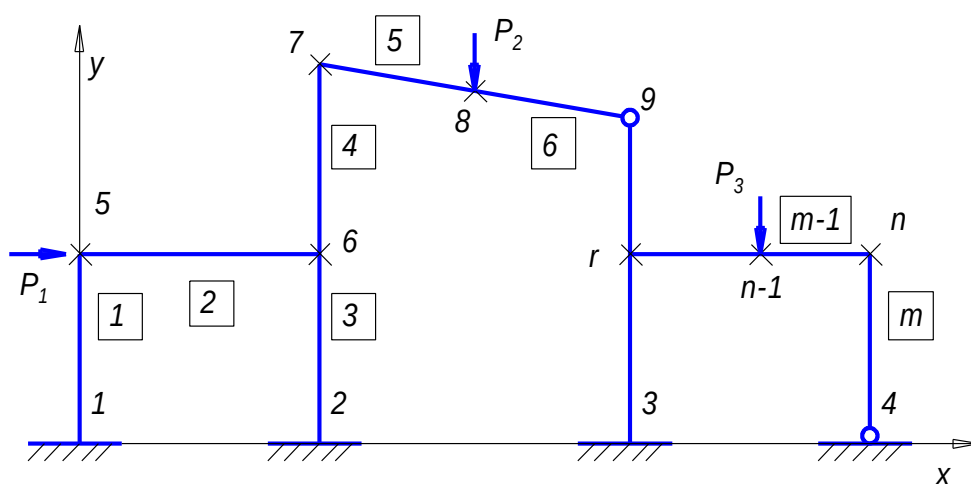
Shunday qilib, chekli element usulida tugun nuqtalarini tanlab, har qanday

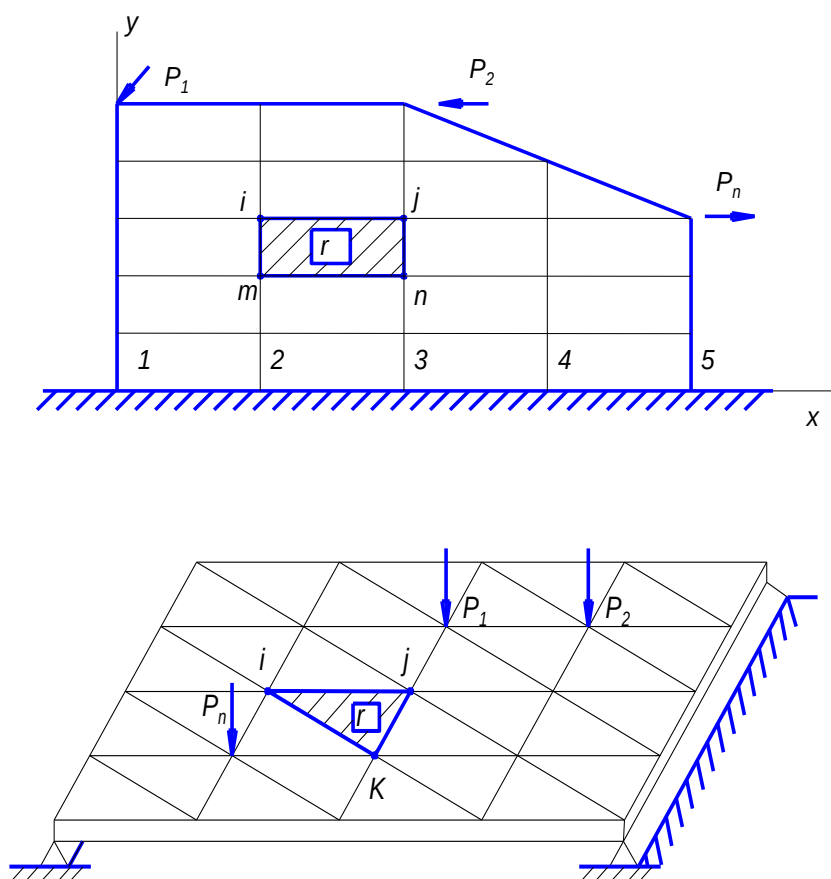
⁵ Q.S.Abdurashidov, B.A.Hobilov, N.J.To'ychiyev, A.G'.Rahimboyev "Qurilish mexanikasi" – 249 - bet.

berilgan sistema tugunlardagi kuchlar va ko'chishlar tahlil qilinadigan chekli darajadagi erkinlik darajasiga ega asosiy sistema bilan almashtiriladi. Bu nafaqat sterjen sistemalarini, balki plitalar, qobiqlar, massivlarni ham hisoblashlarni amalga oshirishga imkon beradi.

Yechim agar noma'lum kuchlar ulanish joylaridagi chekli elementlarning o'zaro ta'sir kuchlari bo'lsa yoki elementlarni bog'laydigan tugunlarning ko'chishi noma'lum bo'lib qabul qilinadigan bo'lsa, kuchlar usuli bilan qabul qilinishi mumkin. Kuchlar usulida noma'lum kuchlar tugunlardagi chekli elementlarning ko'chishlari teng bo'lishini ta'minlashi kerak va ko'chish usulida noma'lum ko'chishlar tugunlarning muvozanat sharoitlarini qondirishi kerak. Ko'chish usuli ko'rinishidagi chekli element usuli boshqalarga nisbatan qulayroq, shuning uchun u eng ko'p qo'llaniladi. Chekli element usuli asosan uzluksiz sistemalar, plitalar, qobiqlar, massivlar va ulardan tashkil topgan sistemalarni hisoblash uchun ishlatilgan bo'lsa ham, sterjenli sistemalariga qo'llanilishi mumkin.

Ushbu qo'llanmada faqat sterjenli va sharnirli-sterjenli sistemalarni hisoblash uchun chekli element usuli ko'rib chiqilgan. Bu erda sterjenli chekli elementning bikirlik matritsasi va chekli element usuli bilan muammolarni echish misollari ko'rib chiqilgan.





4.1-rasm

6.1. Sterjenning chekli elementining bikirlik matritsasi

Tugun yukida tugunlar bilan bogʻlangan doimiy kesma uzunlikdagi m toʻgʻri chiziqli sterjenlardan tashkil topgan ramani (4.2-rasm) koʻrib chiqamiz. Yuklarning ijobiy yoʻnalishlari vektorlar bilan tavsiflanadi va $\vec{P}_i = \{P_i^x P_i^y m_i\}^T$ va $\vec{P}_j = \{P_j^x P_j^y m_j\}^T$. T indeks - bu transpozitsiyaning ishlashini anglatadi.

Biz ikkita koordinata sistemasini joriy qilamiz: umumiy XOY va mahalliy $\beta H \eta$. Umumiy sistemadagi tugunlarning raqamlanishi i, j mahalliy sonda - n, k boʻladi. Deformatsiyaga qadar koordinatalari x_i, y_i, x_j, y_j boʻlgan l uzunlikdagi ij sterjen(4.3-rasm)ni koʻrib chiqamiz. Deformatsiyadan keyin koordinatalari x_i, y_i, x_j, y_j oʻsishini oladi. Biz umumiy koordinata sistemasida sterjen uchlarining koʻchish vektorini tuzamiz:

$$\vec{Z} = \left\{ \vec{Z}_i \vec{Z}_j \right\}^T = \left\{ x_i y_i \varphi_i x_j y_j \varphi_j \right\}^T, \quad (4.1)$$

bu erda $x_i, y_i, \varphi_i, x_j, y_j, \varphi_j$ - umumiy koordinatalar sistemasidagi sterjenli tugunlarining chiziqli va burchak ko'chishlari. Mahalliy koordinata sistemasidagi sterjen uchlarining ko'chish vektori quyidagicha bo'ladi:

$$\bar{z}^* = \{\bar{z}_H^* \bar{z}_k^*\}^T = \left\{ u_H v_H \varphi_H u_k v_k \varphi_k \right\}^T, \quad (4.2)$$

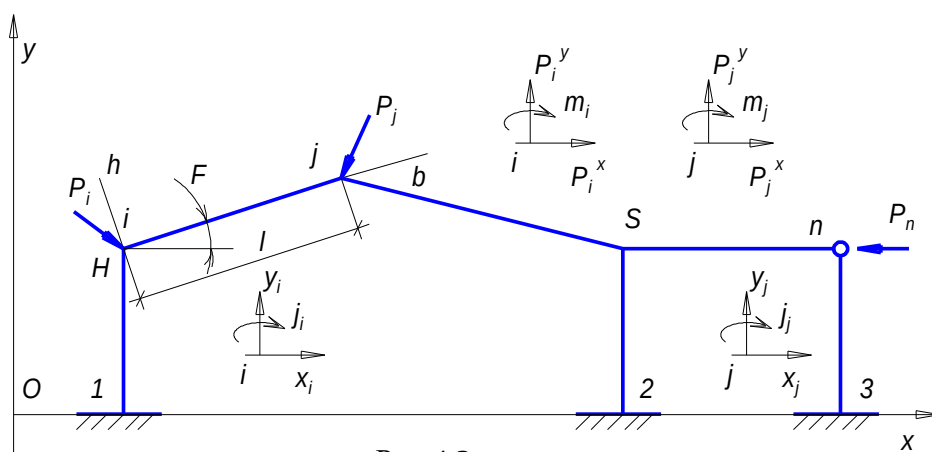
Bu yerda $u_H, v_H, \varphi_H, u_k, v_k, \varphi_k$ mahalliy koordinatalar sistemasida chiziqli va burchak ko'chishlari. Biz $\bar{z}$ va $\bar{z}^*$ vektorlar orasidagi munosabatni tuzamiz. Buning uchun koordinata o'qiga Δ_i (4.3-rasm) ko'chish proyeksiyasini keltiramiz:

$$u_H = x_i \cos \phi + y_i \sin \phi,$$

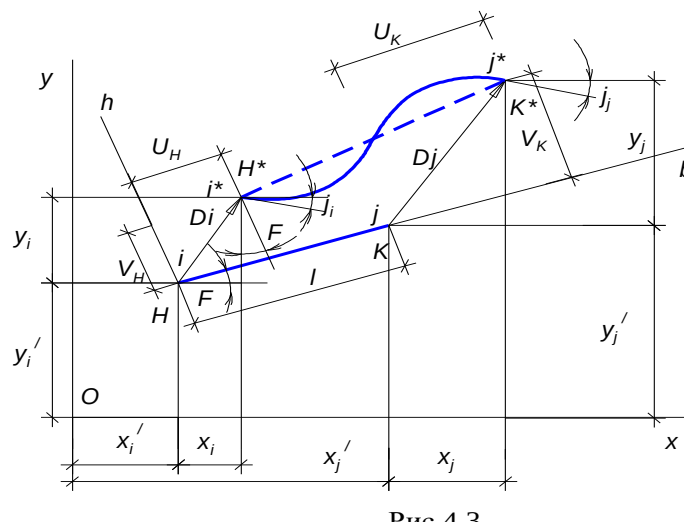
$$v_H = -x_i \sin \phi + y_i \cos \phi.$$

Ushbu bog'liqliklar va burchak ko'chishlarining tengliklaridan foydalanib $\varphi_i = \varphi_H, \varphi_j = \varphi_k$, biz quyidagilarga erishamiz:

$$\bar{z}_H^* = \left\{ u_H v_H \varphi_H \right\}^T = [\tilde{C}] \bar{z}_i,$$



4.2-rasm



4.3-rasm

Bu yerda
$$[\tilde{C}] = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Umumiy koordinatalar sistemasida **i, j** tugunlarining koordinatalari bilan hosil qilingan (4.3-rasm):

$$\ell = \sqrt{(x'_j - x'_i)^2 + (y'_j - y'_i)^2};$$

$$\cos \phi = \frac{x'_j - x'_i}{\ell}, \sin \phi = \frac{y'_j - y'_i}{\ell}.$$

ij sterjen uchun biz quyidagilarni olamiz:

$$\bar{z}^* = [\tilde{C}] \bar{z}, \text{ bu yerda } [\tilde{C}] = \begin{bmatrix} [\tilde{C}] & [0] \\ [0] & [\tilde{C}] \end{bmatrix}. \quad (4.3)$$

(4.3) ning ikkala tomonini $[C]^T$ ko'paytirish va identifikatsiya matritsasi $[E]$ $= [C]^T [C]$ ni hisobga olib, biz quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\vec{z} = [C]^T \vec{z}^*. \quad (4.4)$$

(4.3) va (4.4) iboralar mahalliy koordinata sistemasidagi sterjen tugunlarining umumiy sistemadagi va aksincha ko'chishlarini aniqlashga imkon beradi.

Xuddi shunday, biz mahalliy va umumiy koordinata sistemalarida sterjen uchlarida tugundagi kuchlar ifodalarini tuzamiz:

$$\vec{P}^* = \left\{ P_H^\beta P_H^\eta m_H P_k^\beta P_k^\eta m_k \right\}^T ;$$

$$\vec{P} = \left\{ P_i^x P_i^y m_i P_j^x P_j^y m_j \right\}^T$$

(4.3) va (4.4) ga o'xshash o'zaro bog'liqlik, ya'ni.

$$\vec{P}^* = [C] \vec{P}; \vec{P} = [C]^T \vec{P}^* \quad . \quad (4.5)$$

Tugundagi yuklamada NK sterjenning muvozanat tenglamasini mahalliy koordinata sistemasida tuzamiz:

$$[\vec{R}_z^*] \vec{z}^* = \vec{P}^* \quad . \quad (4.6)$$

Bu tenglik ko'chish usulining kanonik tenglamalaridan olinadi, bunda tugundagi yuklarning vektori ko'chish usulining munosabatlaridagi tugundagi reaksiyalar vektoriga teng bo'ladi, ya'ni. $\vec{R}_p^*, \dots, \vec{P}^* = - \vec{R}_p^*$.

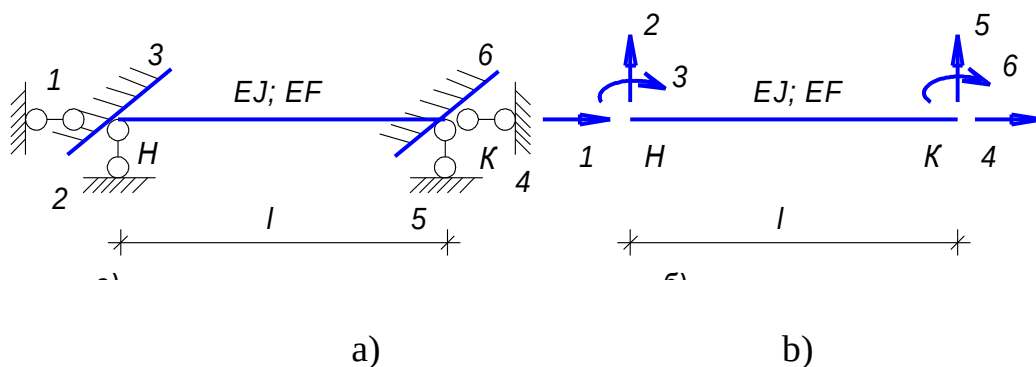
$$\text{Matritsa } [\vec{R}_z^*] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{16} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{61} & r_{62} & \dots & r_{66} \end{bmatrix} \quad \text{reaksiyalar matritsasi yoki sterjen}$$

bikirligining matritsasini $[K^*] = [\vec{R}_z^*]$ bilan ifodalaymiz. Uning har bir elementi boshqa bog'lanishning bir ko'chishi bilan bog'lanishlardan biriga yo'naltirilgan

reaksiyadir. Ko‘rib chiqilgan *HC* sterjeni uchun bu 4.4-rasm, a) ko‘chishning tegishli ijobiy yo‘nalishlari uchun 4.4, b)-rasmda ko‘rsatilgan yo‘nalishlarni olamiz.

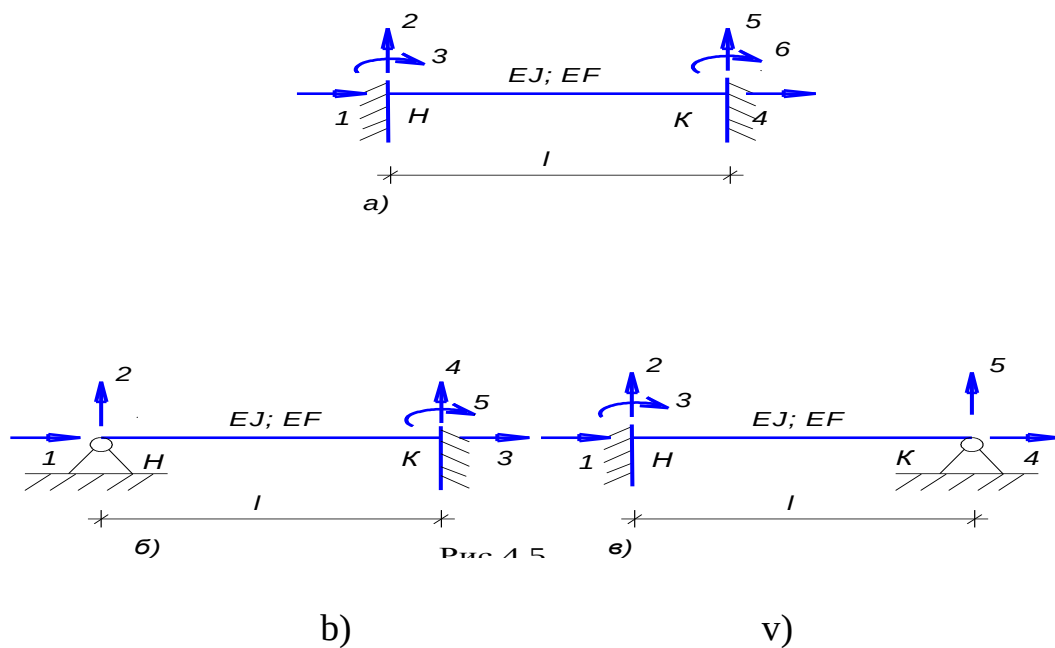
Ko‘chish usulining so‘nggi reaksiya kuchlari qiymatlari yordamida va sterjen bo‘ylama deformatsiyasini hisobga olgan holda, bunday chekli elementning bikirlik matritsasi $[K^*]$ ni tuzamiz (4.5-rasm, a), ya’ni:

$$[K^*] = \begin{bmatrix} \frac{EF}{\ell} & 0 & 0 & -\frac{EF}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{\ell^3} & -\frac{6EI}{\ell^2} & 0 & -\frac{12EI}{\ell^3} & -\frac{6EI}{\ell^2} \\ 0 & -\frac{6EI}{\ell^2} & \frac{4EI}{\ell} & 0 & \frac{6EI}{\ell^2} & \frac{2EI}{\ell} \\ -\frac{EF}{\ell} & 0 & 0 & \frac{EF}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{\ell^3} & \frac{6EI}{\ell^2} & 0 & \frac{12EI}{\ell^3} & \frac{6EI}{\ell^2} \\ 0 & -\frac{6EI}{\ell^2} & \frac{2EI}{\ell} & 0 & \frac{6EI}{\ell^2} & \frac{4EI}{\ell} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$



4.4-rasm

Matritsa $[K^*]$ elementning bikirlik koeffitsientlari « ℓ »dan iborat. Har bir bikirlik koeffitsienti yoʻnalishlarning birida (1, 2, 3) yoki (4, 5, 6) "H" yoki "K" tugunlarida, yoʻnalishlarning birida koʻchish birga teng boʻlganda paydo boʻladigan kuchdir va boshqa barcha koʻchishlari nolga teng.



4.5-rasm

Xuddi shunday, biz boshqa turdagi sterjenli chekli elementlar uchun bikirlik matritsasi $[K^*]$ ni tuzamiz:

chap sharnir va oʻng tomonga qistirib mahkamlangan tayanch uchun (4.5-rasm, 6);

$$[K^*] = \begin{bmatrix} \frac{EF}{\ell} & 0 & -\frac{EF}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI}{\ell^3} & 0 & -\frac{3EI}{\ell^3} & -\frac{3EI}{\ell^2} \\ -\frac{EF}{\ell} & 0 & \frac{EF}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3EI}{\ell^3} & 0 & \frac{3EI}{\ell^3} & \frac{3EI}{\ell^2} \\ 0 & -\frac{3EI}{\ell^2} & 0 & \frac{3EI}{\ell^2} & \frac{3EI}{\ell} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

o'ng sharnir va chapga qistirib mahkamlangan tayanch uchun (4.5-rasm, b).

$$[K^*] = \begin{bmatrix} \frac{EF}{\ell} & 0 & 0 & -\frac{EF}{\ell} & 0 \\ 0 & \frac{3EI}{\ell^3} & -\frac{3EI}{\ell^2} & 0 & -\frac{3EI}{\ell^3} \\ 0 & -\frac{3EI}{\ell^2} & \frac{3EI}{\ell} & 0 & \frac{3EI}{\ell^2} \\ -\frac{EF}{\ell} & 0 & 0 & \frac{EF}{\ell} & 0 \\ 0 & -\frac{3EI}{\ell^3} & \frac{3EI}{\ell^2} & 0 & \frac{3EI}{\ell^3} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Olingan ifodalarni hisobga olgan holda (4.6) ga o'xshab, mahalliy koordinata sistemasidagi sterjen chekli elementning egilishi uchun asosiy tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$[K^*] \bar{z}^* = \bar{P}^*. \quad (4.10)$$

(4.10) tenglamaning ikkala tomonini $[C]^T$ ko'paytirish va (4.3), (4.4), (4.5) ifodalarni ishlatib, $[C]^T [K^*] [C] \bar{z} = [C]^T [C] \bar{P}$.ni olamiz.

Identifikatsiya matritsasini hisobga olsak, umumiy koordinata sistemasida sterjen chekli elementning egilishi tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$[K] \bar{z} = \bar{P}, \quad (4.11)$$

bu erda $[K] = [C]^T [K^*] [C]$ umumiy koordinatalar sistemasidagi sterjenli chekli elementning bikirlik matritsasi.

Olingan ifodalar ko'p oraliqli statik noaniq balkalarni hisoblash uchun ham ishlatilishi mumkin. Tutqichning o'qiga perpendikulyar bo'lgan yuk ostida balkali chekli elementlarda bo'ylama kuchlar va mos keladigan deformatsiyalar va ko'chishlar bo'lmaydi. Shu sababli, sterjen chekli elementning egilishi umumiy holati uchun olingan asosiy ifodalar sezilarli darajada soddalashtirilgan. Xususan, umumiy $\bar{z}$ (4.1) va mahalliy $\bar{z}^*$ (4.2) koordinatali sistemalarda (4.3-rasm) balkali chekli element uchlarining ko'chish vektorlari quyidagicha bo'ladi:

$$\bar{z} = \left\{ y_i \varphi_i y_j \varphi_j \right\}^T; \quad \bar{z}^* = \left\{ v_H \varphi_H v_k \varphi_k \right\}^T \quad (4.12)$$

"H" boshlang'ich tugunining turli koordinatalar sistemasidagi ushbu vektorlar orasidagi bog'liqlik quyidagicha bo'ladi:

$$\bar{z}_H^* = \left\{ v_H \varphi_H \right\}^T = [\tilde{C}] \bar{z}_i,$$

bu erda $[\tilde{C}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ikkinchi darajali identifikatsiya matritsasi. **ij** butun

sterjen uchun (4.3), (4.4) ga o'xshash ravishda biz quyidagilarni olamiz:

$$\bar{z}^* = [E] \bar{z} = \bar{z}, \quad \bar{z} = [E]^T \bar{z}^* = \bar{z}^*, \quad (4.13)$$

Bu erda $[E]$ to'rtinchi tartibli birlik kvadrat matritsasi.

Balka chekli elementlarining bikirlik matritsalarini umumiy bikirlik matritsalaridan (4.7), (4.8), (4.9) sterjenlarning bo'ylama deformatsiyalari ta'sirini hisobga olmasdan olish mumkin:

- uchlari bikir qistirib mahkamlangan tayanchlari uchun

$$[K^*] = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{\ell^3} & -\frac{6EI}{\ell^2} & -\frac{12EI}{\ell^3} & -\frac{6EI}{\ell^2} \\ -\frac{6EI}{\ell^2} & \frac{4EI}{\ell} & \frac{6EI}{\ell^2} & \frac{2EI}{\ell} \\ -\frac{12EI}{\ell^3} & \frac{6EI}{\ell^2} & \frac{12EI}{\ell^3} & \frac{6EI}{\ell^2} \\ -\frac{6EI}{\ell^2} & \frac{2EI}{\ell} & \frac{6EI}{\ell^2} & \frac{4EI}{\ell} \end{bmatrix} ; \quad (4.7')$$

- boshlang'ich kesimida sharnir bo'lgan sterjen uchun

$$[K^*] = \begin{bmatrix} \frac{3EI}{\ell^3} & -\frac{3EI}{\ell^3} & -\frac{3EI}{\ell^2} \\ -\frac{3EI}{\ell^3} & \frac{3EI}{\ell^3} & \frac{3EI}{\ell^2} \\ -\frac{3EI}{\ell^2} & \frac{3EI}{\ell^2} & \frac{3EI}{\ell} \end{bmatrix} ; \quad (4.8')$$

- yakuniy kesimda sharnir bo'lgan sterjen uchun

$$[K^*] = \begin{bmatrix} \frac{3EI}{\ell^3} & -\frac{3EI}{\ell^2} & -\frac{3EI}{\ell^3} \\ -\frac{3EI}{\ell^2} & \frac{3EI}{\ell} & \frac{3EI}{\ell^2} \\ -\frac{3EI}{\ell^3} & \frac{3EI}{\ell^2} & \frac{3EI}{\ell^3} \end{bmatrix} . \quad (4.9')$$

Sharnirli sistemalarda chekli element faqat bo'ylama deformatsiyalarni boshdan kechiradigan sharnirli sterjendir. Shuning uchun sterjenning ko'chish vektori mahalliy koordinata sistemasida ($\eta H\beta$) bo'ladi (4.3-rasm):

$$\vec{z}^* = \{u_H u_k\}^T, \quad (4.13)$$

bu erda u_H va u_k - mahalliy koordinatalar sistemasidagi H, K tugunlarning chiziqli ko'chishlari.

Umumiy koordinatalar sistemasida (XOY) sterjen uchlarining ko'chish vektori (4.3-rasm).

$$\vec{z} = \{\bar{z}_i \bar{z}_j\}^T = \{x_i y_i x_j y_j\}^T, \quad (4.14)$$

umumiy koordinatalar sistemasidagi **ij** to'la tugunlarining gorizonta va vertikal ko'chishlari x_i, y_i, x_j, y_j . Turli koordinatali sistemalardagi tugunlarning ko'chishlari o'rtasidagi bog'liqlikni tuzaylik:

$$u_H = x_i \cos \phi + y_i \sin \phi,$$

$$u_k = x_j \cos \phi + y_j \sin \phi,$$

hamda $\vec{z}$ va $\vec{z}^*$ (4.3), (4.4) ga o'xshash bo'lgan vektorlar

$$\vec{z}^* = [C] \vec{z}; \quad \vec{z} = [C]^T \vec{z}^*,$$

$$\text{Bu yerda } [C] = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \phi & \sin \phi \end{bmatrix}. \quad (4.15)$$

$\vec{z}^*$ va $\vec{z}$ vektorlarda ko'chishlar sonining kamayishi va sterjen egilishining umumiy holati bilan solishtirganda asosiy munosabatlardagi matrisalar va vektorlar tartibining sezilarli pasayishiga olib keladi va echimni soddalashtiradi.

Xususan, mahalliy koordinatalar sistemasidagi matritsa $[K^*]$ quyidagicha bo‘ladi:

$$[K^*] = \frac{EF}{\ell} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4.16)$$

umumiy koordinatalar sistemasida $[K] = [C]^T [K^*] [C]$ u (4.15) hisobga olgan holda quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$[K] = \frac{EF}{\ell} \begin{bmatrix} \cos^2 \phi & \cos \phi \sin \phi & -\cos^2 \phi & -\sin \phi \cos \phi \\ \sin \phi \cos \phi & \sin^2 \phi & -\sin \phi \cos \phi & -\sin^2 \phi \\ -\cos^2 \phi & -\sin \phi \cos \phi & \cos^2 \phi & \sin \phi \cos \phi \\ -\sin \phi \cos \phi & -\sin^2 \phi & \sin \phi \cos \phi & \sin^2 \phi \end{bmatrix}. \quad (4.17)$$

Tugundagi yuk vektori:

$$\vec{P}^* = \left\{ P_H^\beta P_H^\eta m_H P_k^\beta P_k^\eta m_k \right\}^T. \quad (4.18)$$

Mahalliy koordinatalar sistemasida (4.6) tenglama uchun har xil tayanch sharoitida chekli elementlardagi mahalliy oraliq yuklarining ta’siri ostida oxirgi kuchlarga tenglik sharti bilan ifodalanishi mumkin. Yakuniy kuchlarning qabul qilingan ijobiy yo‘nalishiga muvofiq (4.2-rasm), vektor

$\vec{P}^* = \left\{ P_H^\beta P_H^\eta m_H P_k^\beta P_k^\eta m_k \right\}^T$ sterjen chekli elementi butun uzunligi bo‘ylab q intensivlik bilan bir tekis taqsimlangan yuk ta’siri qistirib mahkamlangan tayanchlarida bo‘ladi (4.5-rasm, a).

$$\vec{P}^* = \left\{ 0 - \frac{q\ell}{2} \frac{q\ell^2}{12} 0 - \frac{q\ell}{2} - \frac{q\ell^2}{12} \right\}^T, \quad (4.19)$$

Harakatdagi markazlashgan P kuch oraliq chekli elementning o'rtasida bo'ladi:

$$\vec{P}^* = \left\{ 0 - \frac{P}{2} \frac{P\ell}{8} 0 - \frac{P}{2} - \frac{P\ell}{8} \right\}^T. \quad (4.20)$$

Chap va o'ng sharnirli sterjenli chekli elementi uchun q butun uzunligi bo'ylab bir tekis taqsimlangan kuchi ta'sirida qistirib mahkamlangan tayanchlar uchun(4.5-rasm, b).

$$\vec{P}^* = \left\{ 0 - \frac{3q\ell}{8} 0 - \frac{5q\ell}{8} - \frac{q\ell^2}{8} \right\}^T, \quad (4.21)$$

Markazlashgan kuch P ta'siri oraliq chekli elementning o'rtasida

$$\vec{P}^* = \left\{ 0 - \frac{5P}{16} 0 - \frac{11P}{16} - \frac{3P\ell}{16} \right\}^T. \quad (4.22)$$

Xuddi shunday, chapdagi sterjenli chekli element biki mahkamlangan tayanchda va o'ngga o'rnatilgan sharnirli sterjenli chekli elementi butun uzunligi uchun(4.5-rasm,v) kuchlanish yuki q ning ta'siri:

$$\vec{P}^* = \left\{ 0 - \frac{5q\ell}{8} \frac{q\ell^2}{8} 0 - \frac{3q\ell}{8} \right\}^T, \quad (4.23)$$

To'plangan kuch P ning harakati belbog'ning o'rtasida bo'lganda

$$\vec{P}^* = \left\{ 0 - \frac{11P}{16} \frac{3P\ell}{16} 0 - \frac{5P}{16} \right\}^T. \quad (4.24)$$

Chekli elementning tugundagi yuklarining vektori $\vec{P} = \left\{ P_i^x P_i^y m_i P_j^x P_j^y m_j \right\}^T$ umumiy koordinata sistemasida $\vec{P}^*$ vektordan (4.5) ga muvofiq hosil bo'lishi mumkin, ya'ni $\vec{P} = [C]^T \vec{P}^*$.

6.2. Sterjenli sistemaning bikirlik matritsasi

Butun sistema uchun umumiy koordinata sistemasida tugundagi tashqi kuchlar vektorini hosil qilamiz:

$$\vec{P} = \left\{ \vec{P}_1^T \dots \vec{P}_i^T \dots \vec{P}_n^T \right\}, \quad (4.25)$$

Bu yerda $\vec{P}_i = \left\{ P_i^x P_i^y m_i \right\}^T$, $\vec{P}_i = \left\{ P_i^y m_i \right\}^T$ va $\vec{P}_i = \left\{ P_i^x P_i^y \right\}^T$

ramalar, balkalar va fermalar uchun mos keladigan umumiy koordinatalar sistemasida i tugunidagi tashqi kuchlarning vektorlaridir. Biz umumiy koordinatalar sistemasidagi barcha tugunlarning tugundagi ko'chish vektorini hosil qilamiz (4.2-rasm):

$$\vec{Z} = \left\{ \vec{Z}_1^T \dots \vec{Z}_i^T \dots \vec{Z}_n^T \right\}, \quad (4.26)$$

bu yerda $\vec{Z}_i = \left\{ x_i y_i \phi_i \right\}^T$, $\vec{Z}_i = \left\{ y_i \phi_i \right\}^T$ va $\vec{Z}_i = \left\{ x_i y_i \right\}^T$ umumiy koordinatalar sistemasida mos ravishda rama, balka va fermalar uchun i tugundagi joy ko'chishining vektorlari.

Biz rama (balka) yoki fermaning (4.11) i tugunining muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$\vec{P}_i = [k_{i1}] \vec{Z}_1 + \dots + [k_{ij}] \vec{Z}_j + \dots + [k_{is}] \vec{Z}_s + \dots + [k_{in}] \vec{Z}_n \quad (4.27)$$

Umumiy koordinatalar sistemasida i tuguniga mos keladigan chekli elementlarning bikirlik matritsalarini.

Xuddi shunday, biz n tugunlari uchun muvozanat shartlarini tuzamiz

$$\begin{bmatrix} \vec{P}_1 \\ \vdots \\ \vec{P}_i \\ \vdots \\ \vec{P}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [k_{11}] & \dots & [k_{1j}] & \dots & [k_{1n}] \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ [k_{i1}] & \dots & [k_{ij}] & \dots & [k_{in}] \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ [k_{n1}] & \dots & [k_{nj}] & \dots & [k_{nn}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{Z}_1 \\ \vdots \\ \vec{Z}_j \\ \vdots \\ \vec{Z}_n \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

yoki

$$\vec{P} = [R] \vec{Z}, \quad (4.29)$$

$[R]$ umumiy koordinatalar sistemasidagi butun sistemaning bixirlik matritsasi. Matritsalarini hosil qilish uchun biz i sterjen bir-biriga yaqinlashadigan barcha elementlarni tanlaymiz (4.3-rasm). (4.11) dagi muvozanat holati rama, to'sin va ferma uchun quyidagicha bo'ladi:

$$\vec{P}_\ell = [k_\ell] \vec{z}_\ell, \quad (4.30)$$

Bu yerda $\vec{P}_\ell$ va $\vec{z}_\ell$ umumiy koordinatalar sistemasidagi tugundagi yuk va tugundagi ko'chish.

Shunda (4.6) quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{bmatrix} \vec{P}_{\ell i} \\ \vec{P}_{\ell j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [k_{\ell ii}] \\ [k_{\ell ji}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [k_{\ell ij}] \\ [k_{\ell jj}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{z}_i \\ \vec{z}_j \end{bmatrix}. \quad (4.31)$$

Ushbu tenglikdan i tugunidagi ko'rilayotgan I elementiga ta'sir etuvchi kuchlar vektorini tuzamiz:

$$\vec{P}_{\ell i} = [k_{\ell ii}] \vec{z}_i + [k_{\ell ij}] \vec{z}_j. \quad (4.32)$$

i tugunidagi barcha stenjenlarning o'zaro bog'lanishlarni ko'rib chiqamiz. Tugunning muvozanat holatidan $\vec{P}_i = \sum \vec{P}_{\ell i}$ yig'indisi i tugunidagi barcha sterjenlargacha bo'lgan joyda olamiz. (4.31) ni ushbu shart bilan almashtirsak, biz quyidagilarni qo'lga kiritamiz:

$$\vec{P}_i = \sum [k_{\ell ii}] \vec{z}_i + \sum [k_{\ell ij}] \vec{z}_j. \quad (4.33)$$

Olingan ifodani (4.26) bilan taqqoslasak, (4.32) i tugun bilan sterjen bog‘lanmagan tugunlar kirmaydi. Shuning uchun tegishli matritsa osti $[k_{is}]$ lar nolga teng. Agar sterjendagi i tuguni bitta j tuguni bilan bog‘langan bo‘lsa, unda $\bar{z}_j$ matritsalar yig‘indisi $[k_{\ell ij}]$ ga teng bo‘ladi, ya’ni $[k_{\ell j}] = \Sigma [k_{\ell ij}]$. Diagonal matritsa osti qiymati bo‘lgan $[R] [k_{ij}] = \Sigma [k_{iij}]$ i tugunidagi barcha elementlar yig‘iladigan joyga tengdir. (4.28) tenglamani yechib, umumiy koordinata sistemasida tugundagi ko‘chish vektori $\bar{z}$ ni (4.25) aniqlaymiz.

Har bir chekli element l uchun mahalliy koordinatalar sistemasidagi reaktiv kuchlarni (4.3) o‘xshashligi bilan ifodalaymiz:

$$\bar{r}_\ell^* = [C_\ell] \bar{r}_\ell = [C_\ell] [k_\ell] \bar{z}_\ell, \quad (4.34)$$

Bu yerda $\bar{r}_i^* = \left\{ r_H^\beta r_H^\eta r_H^m r_k^\beta r_k^\eta r_k^m \right\}_i^T$,

$$\bar{r}_i = \left\{ r_H^\eta r_H^m r_k^\eta r_k^m \right\}_i^T \text{ va } \bar{r}_i^* = \left\{ r_H^\beta r_k^\beta \right\}_i^T$$

- l elementning chekli reaktiv kuchlarining vektorlari, mos ravishda, mahalliy

koordinatalar sistemasida; $\bar{z}_i = \left\{ x_i y_i \varphi_i x_j y_j \varphi_j \right\}_i^T$,

$$\bar{z}_i = \left\{ y_i \varphi_i y_j \varphi_j \right\}_i^T \text{ yoki } \bar{z}_i = \left\{ x_i y_i x_j y_j \right\}_i^T$$

umumiy koordinatalar sistemasida mos ravishda rama, balka va ferma uchun l element tugunlarining ko‘chish vektorlari. Mahalliy belbog‘ yukidan kelib chiqqan tashqi tugundagi yukning (4.18) ta’sirini hisobga olgan holda, ramalar va balkalar uchun mahalliy koordinata sistemasidagi so‘nggi reaksiya kuchlari quyidagicha ifodalanadi:

$$\bar{r}_\ell' = \bar{r}_\ell^* - \bar{P}_\ell^*. \quad (4.35)$$

6.3. Chekli element usulida sterjenli sistemalarni hisoblashga oid misollar

1-misol. Ramani chekli element usuli bilan hisoblang (4.6-rasm) va eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuch epyuralarini quring.

Yechish:

1. Berilgan ramada I va II chekli elementlarni tanlaymiz (4.6-rasm).

2. $[C]$ (4.3), $[K^*]$ (4.7), (4.9) matritsalarini tuzamiz va $\vec{P}^*$ (4.18), (4.23) vektorlarni mahalliy koordinatalar sistemasida hosil qilamiz:

$$[C_I] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \vec{P}_I^* = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$[K_I^*] = 10^6 \begin{bmatrix} 500 & 0 & 0 & -500 & 0 & 0 \\ 0 & 0,9 & -0,9 & 0 & -0,9 & -0,9 \\ 0 & 0,9 & 1,2 & 0 & 0,9 & 0,6 \\ -500 & 0 & 0 & 500 & 0 & 0 \\ 0 & -0,9 & 0,9 & 0 & 0,9 & 0,9 \\ 0 & -0,9 & 0,6 & 0 & 0,9 & 1,2 \end{bmatrix};$$

$$[C_{II}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \vec{P}_{II}^* = \begin{bmatrix} 0 \\ -15 \\ 9 \\ 0 \\ -9 \end{bmatrix};$$

$$[K_{II}^*] = 10^6 \begin{bmatrix} 1000 & 0 & 0 & -1000 & 0 \\ 0 & 0,2 & -0,6 & 0 & -0,2 \\ 0 & -0,6 & 1,8 & 0 & 0,6 \\ -1000 & 0 & 0 & 1000 & 0 \\ 0 & -0,2 & 0,6 & 0 & 0,2 \end{bmatrix}.$$

3. Matritsa $[K]$ ni (4.11) va vektor $\vec{P}$ ni (4.5) umumiy koordinatalar sistemasiga qo'shamiz:

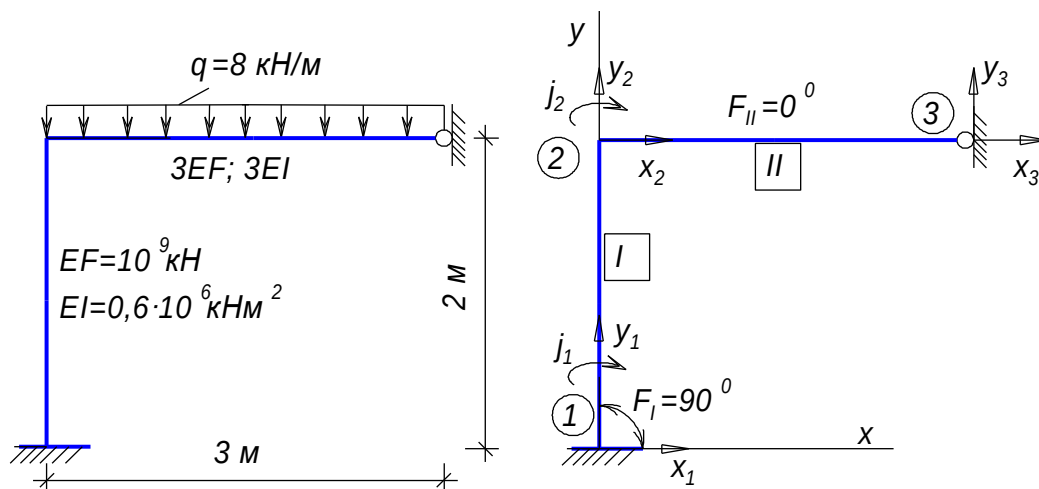
$$[K_I] = 10^6 \begin{bmatrix} 0,9 & 0 & 0,9 & 0,9 & 0 & 0,9 \\ 0 & 500 & 0 & 0 & -500 & 0 \\ 0,9 & 0 & 1,2 & -0,9 & 0 & 0,6 \\ -0,9 & 0 & -0,9 & 0,9 & 0 & -0,9 \\ 0 & -500 & 0 & 0 & 500 & 0 \\ 0,9 & 0 & 0,6 & -0,9 & 0 & 1,2 \end{bmatrix}; \vec{P}_I = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$[K_{II}] = 10^6 \begin{bmatrix} 1000 & 0 & 0 & -1000 & 0 \\ 0 & 0,2 & -0,6 & 0 & -0,2 \\ 0 & -0,6 & 1,8 & 0 & 0,6 \\ -1000 & 0 & 0 & 1000 & 0 \\ 0 & -0,2 & 0,6 & 0 & 0,2 \end{bmatrix}; \vec{P}_{II} = \begin{bmatrix} 0 \\ -15 \\ 9 \\ 0 \\ -9 \end{bmatrix}.$$

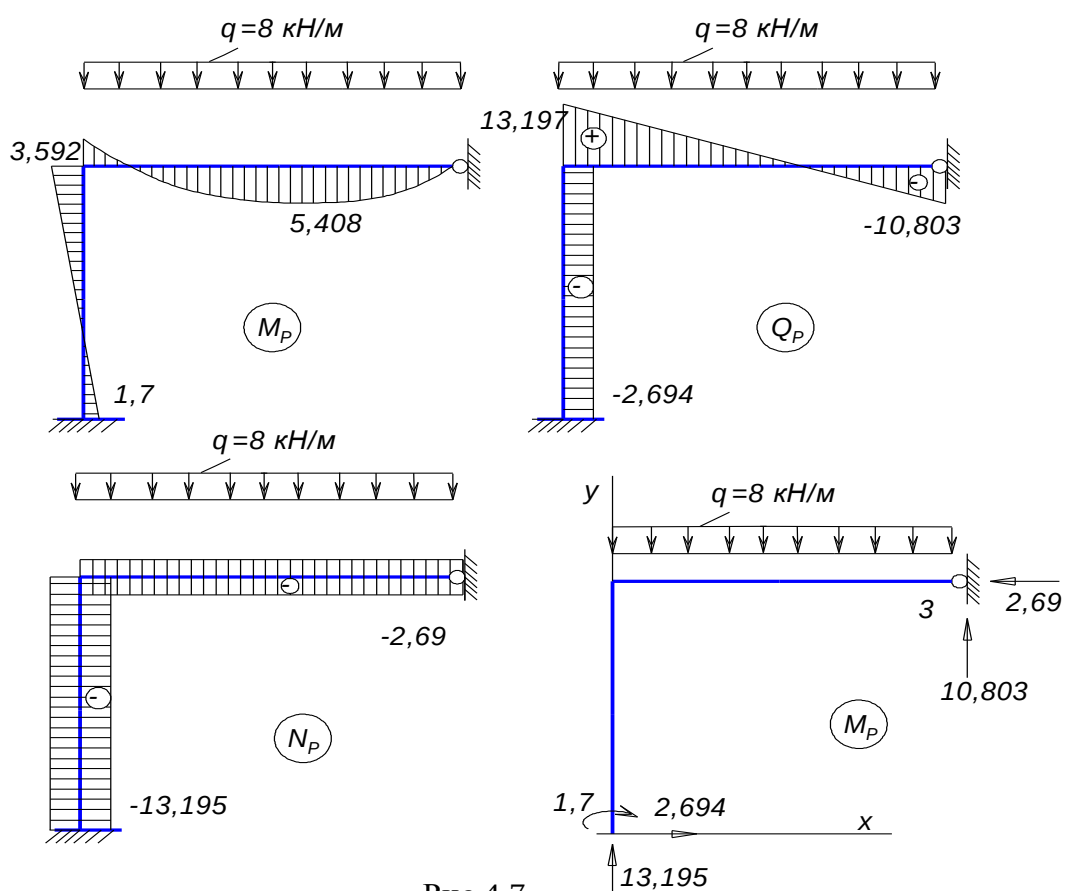
4. Biz butun sistemaning bikirlik matritsasi $[R]$ ni (4.28) va umumiy koordinatalar sistemasidagi tugundagi tashqi kuchlar vektori $\vec{P}$ ni tuzamiz:

$$[R] = 10^6 \begin{bmatrix} 0,9 & 0 & 0,9 & -0,9 & 0 & 0,9 & 0 & 0 \\ 0 & 500 & 0 & 0 & -500 & 0 & 0 & 0 \\ 0,9 & 0 & 1,2 & -0,9 & 0 & 0,6 & 0 & 0 \\ -0,9 & 0 & -0,9 & 1000,9 & 0 & -0,9 & -1000 & 0 \\ 0 & -500 & 0 & 0 & 500,2 & -0,6 & 0 & -0,2 \\ -0,9 & 0 & 0,6 & -0,9 & -0,6 & 3,0 & 0 & 0,6 \\ 0 & 0 & 0 & -1000 & 0 & 0 & 1000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,2 & 0,6 & 0 & 0,2 \end{bmatrix}$$

$$\vec{P} = \{0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -15 \quad 9 \quad 0 \quad -9\}^T.$$



4.6-rasm



4.7-rasm

5. Tayanch yoʻnalishlarining soni va turini hisobga olgan holda, $[R]$ matritsa va $\vec{P}$ vektorning tartibini kamaytiramiz. 1- va 3-tugunlarda tayanch bogʻlanishlari yoʻnalishi boʻyicha koʻchishlar mavjud emas, yaʼni. $x_1 = y_1 = \varphi_1 = x_3 = y_3 = 0$. Shuning uchun bu koʻchishlarga mos keladigan matritsa osti qiymatlari matritsada hisobga olinmaydi. Tenglamalar sistemasi quyidagi koʻrinishda boʻladi.

$$10^6 \begin{bmatrix} 1000,9 & 0 & -0,9 \\ 0 & 500,2 & -0,6 \\ -0,9 & -0,6 & 3,0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_3 \\ \varphi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -15 \\ 9 \end{bmatrix}.$$

6. Tenglamalar sistemasini yechamiz: $x_2 = 0,002694 \cdot 10^{-6}$; $y_2 = -0,002639 \cdot 10^{-6}$; $\varphi_2 = -2,9955 \cdot 10^{-6}$.

Umumiy koordinatalar sistemasida rama tugunlarining tugundagi koʻchish vektorini olamiz (4.2).

$$\begin{aligned} \vec{Z} &= \{x_1 y_1 \varphi_1 x_2 y_2 \varphi_2 x_3 y_3\}^T = \\ &= \{0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0,002694 \cdot 10^{-6} \cdot -0,002639 \cdot 10^{-6} \cdot -2,9955 \cdot 10^{-6} \cdot 0 \cdot 0\}^T. \end{aligned}$$

7. Mahalliy koordinatalar sistemasidagi $\vec{r}^*$ (4.10) va $\vec{r}'$ (4.11) natijaviy reaktiv kuchlarni aniqlaymiz:

$$\vec{r}_I^* = \begin{bmatrix} 13,195 \\ -2,694 \\ 1,795 \\ -13,195 \\ 2,694 \\ 3,592 \end{bmatrix}; \vec{r}_{II}^* = \begin{bmatrix} 2,694 \\ -1,803 \\ 5,408 \\ -2,694 \\ 1,803 \end{bmatrix}; \vec{r}_I' = \vec{r}_I^*; \vec{r}_{II}' = \begin{bmatrix} 2,694 \\ 10,197 \\ -3,592 \\ -2,694 \\ 10,803 \end{bmatrix}.$$

8. Berilgan ramada egilish momentlari M_p , koʻndalang Q_p va boʻylama N_p kuchlarining epyuralarini quramiz (4.7-rasm).

9. Statik tekshiruv o'tkazamiz (4.7-rasm)

$$\Sigma x = 0; 2,694 - 2,694 = 0,$$

$$\Sigma y = 0; 13,195 - 8,3 + 10,803 = 0,$$

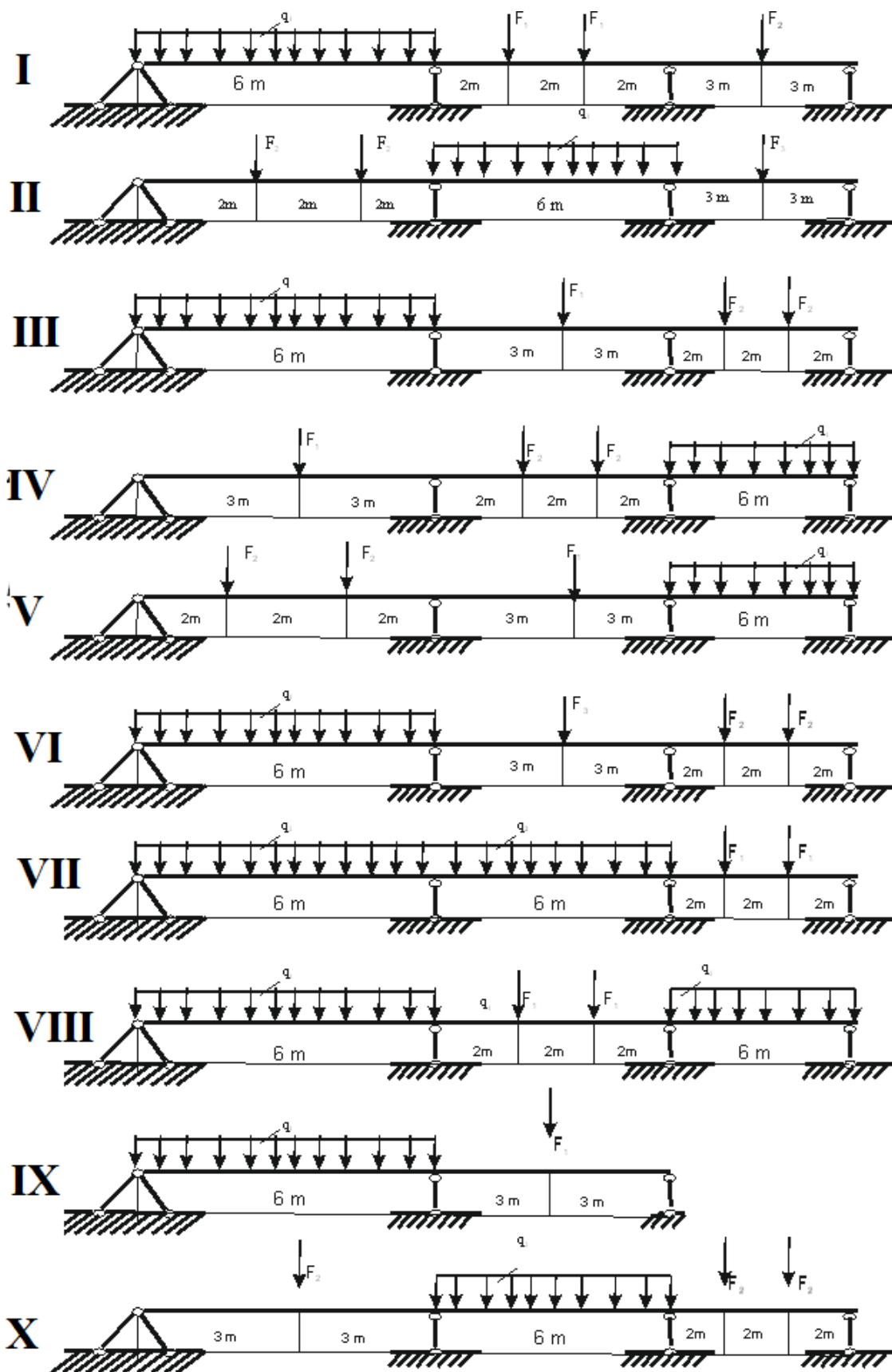
$$\Sigma M_3 = 0; 1,7 + 13,195 - 2,694 \cdot 2 - 8 \cdot 3 \cdot 1,5 = 0.$$

6.4. 10 – XGI. Uzliksiz balkalarning hisobi.

Masala sharti:

Berilgan uzliksiz balka uchun “Uch moment tenglamasi” yordamida M va Q epyuralari qurilsin.

№	Rasm sxemasi №	F ₁	F ₂	F ₃	q ₁	q ₂
		kN			kN/m	
1	I	50	60	-	12	-
2	II	-	40	50	20	-
3	III	100	40	-	12	-
4	IV	50	40	-	12	-
5	V	40	80	-	10	-
6	VI	-	40	100	10	-
7	VII	25	-	-	10	16
8	VIII	50	-	-	10	14
9	IX	90	-	-	12	-
10	X	60	40	-	-	22



2-misol. $EJ = 2 \cdot 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ doimiy bikirlikdagi butun balkani hisoblang (4.11-rasm) va berilgan yuklardan bukilishlar epyurasini eguvchi momentlar va ko‘ndalang kuchlar epyuralarini quring.

Yechish

1. Berilgan balkani $n = 7$ tugunga $n - 1 = 6$ bo‘lgan bir xil $l = 1,5 \text{ m}$ uzunlikdagi chekli elementlarga ajratamiz (4.11-rasm).

2. Biz mahalliy va umumiy koordinata sistemalarida (4,7) balkaning chekli elementlarining bikirlik matritsalarini tuzamiz (4.11/):

$$[k^*] = [k] = 10^6 \cdot \begin{bmatrix} 7,111 & -5,333 & -7,111 & -5,333 \\ -5,333 & 5,333 & 5,333 & 2,667 \\ -7,111 & 5,333 & 7,111 & 5,333 \\ -5,333 & 2,667 & 5,333 & 5,333 \end{bmatrix}.$$

3. Biz tugundagi $\vec{P}^*$ yuk vektorlarini (4.19) mahalliy va umumiy P (4.5) koordinatalar sistemalarida tuzamiz:

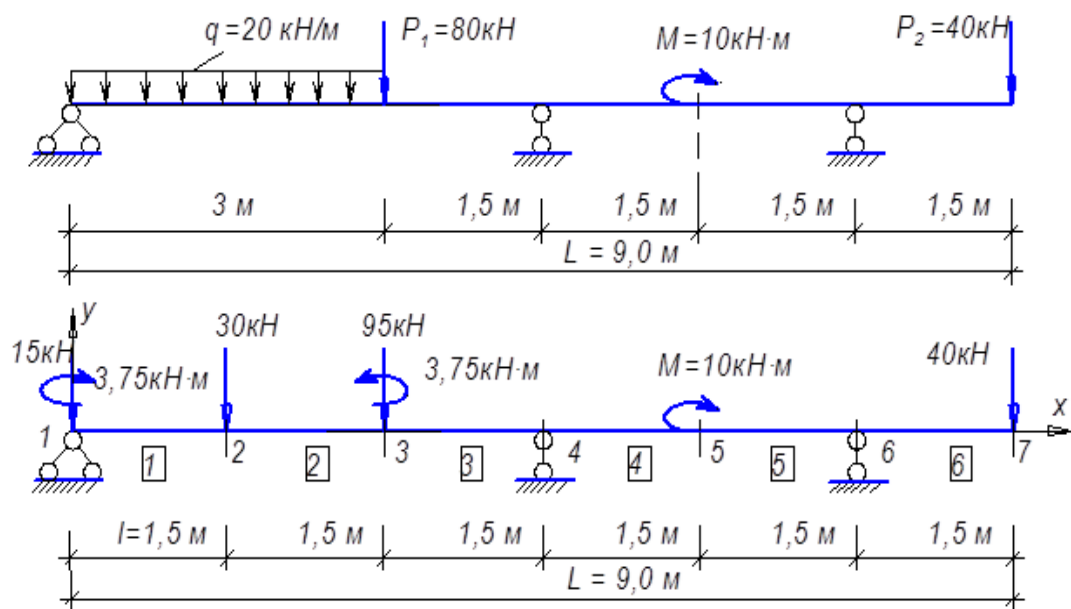
$$\vec{P}_I^* = \vec{P}_I = \left\{ -\frac{q\ell}{2} + \frac{q\ell^2}{12} \quad -\frac{q\ell}{2} - \frac{q\ell^2}{12} \right\}^T = \{-15 \quad +3,75 \quad -15 \quad -3,75\}^T.$$

$$\text{Xuddi shunday } \vec{P}_{II}^* = \vec{P}_{II} = \{-15 \quad +3,75 \quad -15 \quad -3,75\}^T.$$

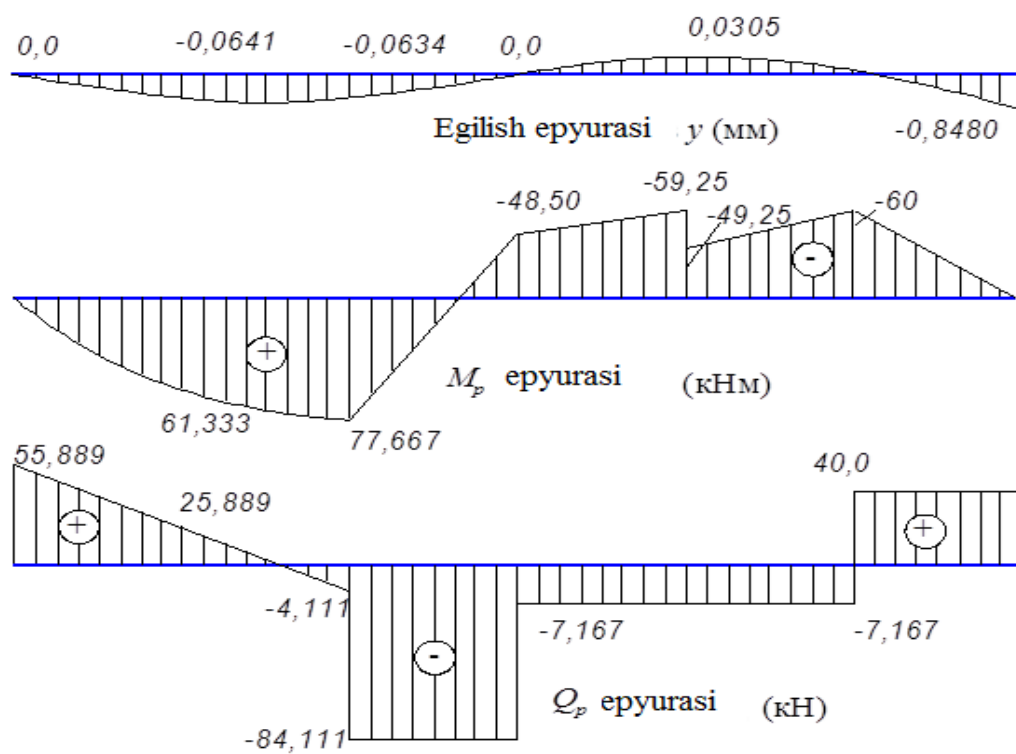
4. Butun sistemaning bikirlik matritsasini $[R]$ (4.27) va umumiy koordinatalar sistemasida tugunda tashqi kuchlar vektori $\vec{P}$ ni (4.24) hosil qilamiz (4.1-jadval). 1-, 4- va 6- tugunlarda vertikal ko‘chishlar yo‘qligini hisobga olsak, biz matritsa $[R]$ tartibini kamaytiramiz, $\vec{P}_I$ va $\vec{Z}$ vektorlar (4.2-jadval) dan.

5. (4.28) tenglamalar sistemasini yechamiz va balkaning tugundagi ko‘chish vektorini umumiy koordinata sistemasida olamiz (4.25):

$$\bar{z} = 10^{-5} \{ 0 \quad 5,1813 \quad -6,4109 \quad 2,600 \quad -6,3438 \quad -2,8938 \quad 0 \quad -3,9875 \\ 3,0516 \quad 0,05313 \quad 0 \quad 4,150 \quad -8,475 \quad 6,400 \}^T$$



4.11-rasm



4.12-rasm

$$[R] = 10^6 \times$$

	7,111	-5,333	-7,111	-5,333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-5,333	5,333	5,333	2,667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-7,111	5,333	14,222	0	-7,111	-5,333	0	0	0	0	0	0	0	0
	-5,333	2,667	0	10,666	5,333	2,667	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	-7,111	5,333	14,222	0	-7,111	-5,333	0	0	0	0	0	0
	0	0	-5,333	2,667	0	10,666	5,333	2,667	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	-7,111	5,333	14,222	0	-7,111	-5,333	0	0	0	0
×	0	0	0	0	-5,333	2,667	0	10,666	5,333	2,667	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	-7,111	5,333	14,222	0	-7,111	-5,333	0	0
	0	0	0	0	0	0	-5,333	2,667	0	10,666	5,333	2,667	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	-7,111	5,333	14,222	0	-7,111	-5,333	0
	0	0	0	0	0	0	0	-5,333	2,667	0	10,666	5,333	2,667	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7,111	5,333	7,111	5,333	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5,333	2,667	5,333	5,333	0

$$\vec{P} = \{-15 \quad 3,75 \quad -30 \quad 0 \quad -95 \quad -3,75 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 10 \quad 0 \quad 0 \quad -40 \quad 0\}^T$$

4.2-jadval

	5,333	5,333	2,667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5,333	14,222	0	-7,111	-5,333	0	0	0	0	0	0	0	0
	2,667	0	10,666	5,333	2,667	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	-7,111	5,333	14,222	0	-5,333	0	0	0	0	0	0	0
	0	-5,333	2,667	0	10,666	2,667	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	-5,333	2,667	10,666	5,333	2,667	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	5,333	14,222	0	-5,333	0	0	0	0
[R]=10 ⁶ ×	0	0	0	0	0	2,667	0	10,666	2,667	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	-5,333	2,667	10,666	5,333	2,667	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	-5,333	7,111	5,333	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	2,667	5,333	5,333	0	0

$$\vec{z} = \{\varphi_1 \quad y_2 \quad \varphi_2 \quad y_3 \quad \varphi_3 \quad \varphi_4 \quad y_5 \quad \varphi_5 \quad \varphi_6 \quad y_7 \quad \varphi_7\}^T, \vec{P} =$$

$$\{3,75 \quad 0 \quad -95 \quad -3,75 \quad 0 \quad 0 \quad 10 \quad 0 \quad -40 \quad 0\}^T$$

6. Har bir chekli element uchun natijaviy reaktiv kuchlarni (4.34) aniqlaymiz:

$$\vec{z}_I' = \begin{bmatrix} 55,889 \\ 0 \\ -25,889 \\ -61,333 \end{bmatrix}; \vec{r}_{II}' = \begin{bmatrix} 25,889 \\ 61,333 \\ 4,111 \\ -77,667 \end{bmatrix}; \vec{r}_{III}' = \begin{bmatrix} -84,111 \\ 77,667 \\ 84,111 \\ 48,50 \end{bmatrix};$$

$$\vec{r}_{IV}' = \begin{bmatrix} -7,167 \\ -48,50 \\ 7,167 \\ 59,25 \end{bmatrix}; \vec{r}_V' = \begin{bmatrix} -7,167 \\ -49,25 \\ 7,167 \\ 60,0 \end{bmatrix}; \vec{r}_{VI}' = \begin{bmatrix} 40,0 \\ -60,0 \\ -40,0 \\ 0,0 \end{bmatrix}.$$

7. Berilgan balkadan yuk bo'yicha egilish epyurasi y ni eguvchi momentlari M_p va Q_p ko'ndalang kuchlari yordamida quramiz (4.12-rasm).

8. Tekshiruv o'tkazamiz: $\Sigma Y = 0$; $55,889 - 20 \cdot 3 - 80 + 76,944 + 47,167 - 40 = 0$

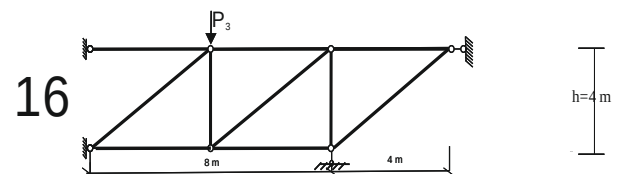
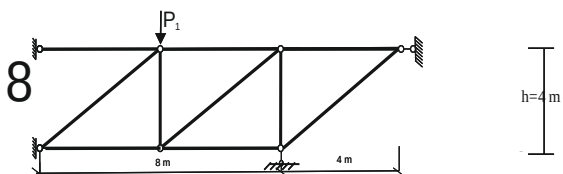
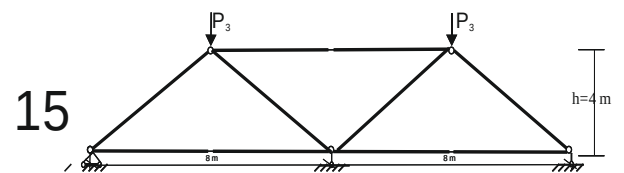
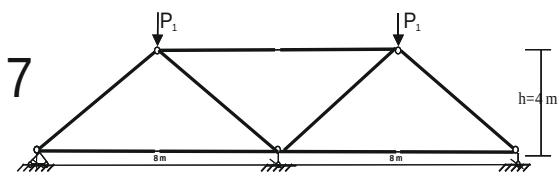
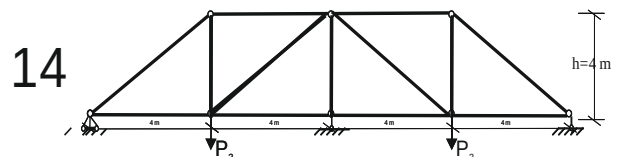
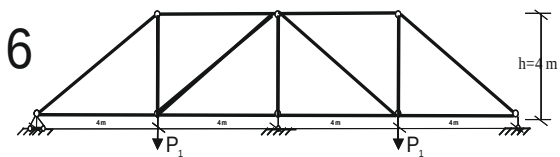
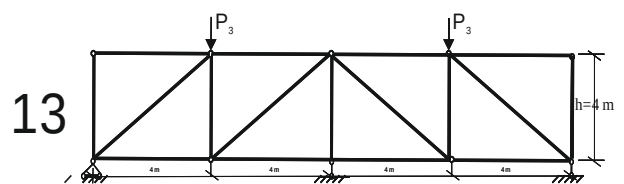
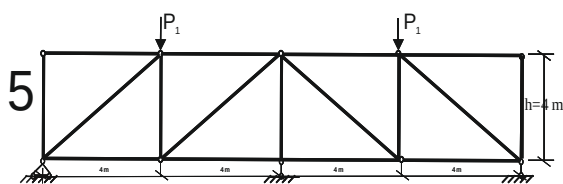
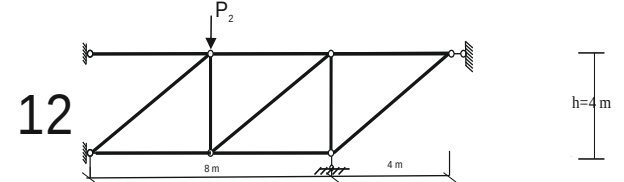
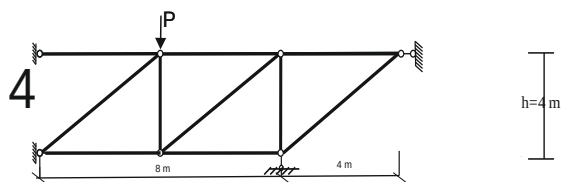
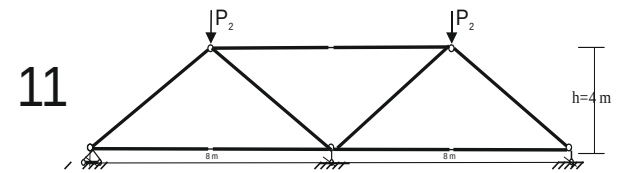
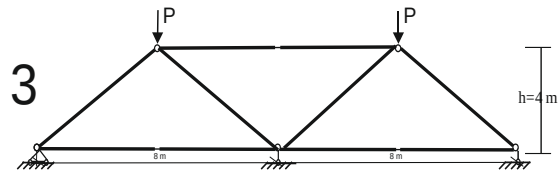
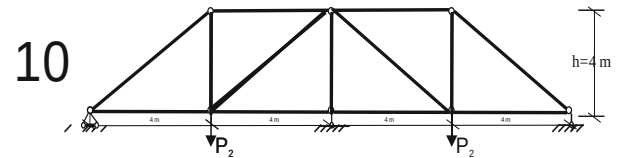
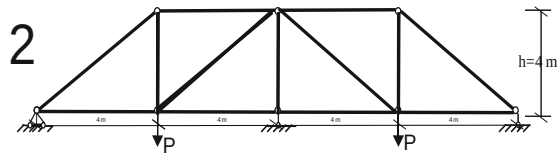
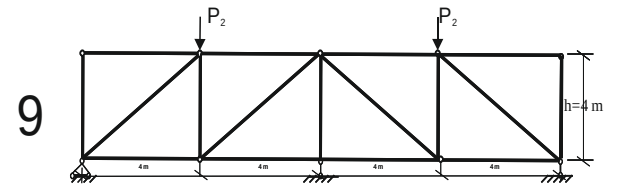
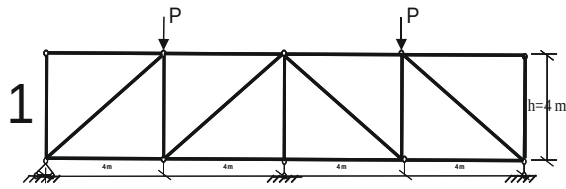
$\Sigma M_5 = 0$; $55,889 \cdot 6 - 20 \cdot 3 \cdot 4,5 - 80 \cdot 3 + 76,944 \cdot 1,5 + 10 - 47,167 \cdot 1,5 + 40 \cdot 3 = 0$.

6.5. 11 – XGI. Statik noaniq fermalarning hisobi.

Masala sharti:

Berilgan statik noaniq ferma zo'riqlishlari aniqlansin.

№	Rasm sxemasi №	P	P ₁	P ₂	P ₃	d
		kN				
1	1	50			12	4
2	2	40			20	4
3	3	100			12	4
4	4	50			12	4
5	5		60		10	4
6	6		40			4
7	7		40			4
8	8		40			4
9	9			25		4
10	10			50		4
11	11			90		4
12	12			60		4
13	13				10	4
14	14				10	4
15	15				10	4
16	16				12	4



3-misol. Chekli elementlar usuli yordamida fermaning hisob-kitobini bajaring (4.8-rasm) va uning sterjenlaridagi bo‘ylama kuchlarni aniqlang.

Yechish

1. Ushbu fermada I, II, III, IV, V, VI, VII yakuniy elementlarni tanlaymiz (4.9-rasm).

2. Biz umumiy koordinatalar sistemasida matritsalar $[K]$ (4.17) va vektorlarni $\vec{P}$ (4.24) hosil qilamiz:

$$[K_I] = \frac{2 \cdot 10^7}{8} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; [K_{II}] = \frac{2 \cdot 10^7}{8} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$[K_{III}] = \frac{10^7}{5} \begin{bmatrix} 0,64 & 0,48 & -0,64 & -0,48 \\ 0,48 & 0,36 & -0,48 & -0,36 \\ -0,64 & -0,48 & 0,64 & 0,48 \\ -0,48 & -0,36 & 0,48 & 0,36 \end{bmatrix};$$

$$[K_{IV}] = \frac{10^7}{5} \begin{bmatrix} 0,64 & -0,48 & -0,64 & 0,48 \\ -0,48 & 0,36 & 0,48 & -0,36 \\ -0,64 & 0,48 & 0,64 & -0,48 \\ 0,48 & -0,36 & -0,48 & 0,36 \end{bmatrix};$$

$$[K_V] = \frac{10^7}{5} \begin{bmatrix} 0,64 & 0,48 & -0,64 & -0,48 \\ 0,48 & 0,36 & -0,48 & -0,36 \\ -0,64 & -0,48 & 0,64 & 0,48 \\ -0,48 & -0,36 & 0,48 & 0,36 \end{bmatrix};$$

$$[K_{VI}] = \frac{10^7}{5} \begin{bmatrix} 0,64 & -0,48 & -0,64 & 0,48 \\ -0,48 & 0,36 & 0,48 & -0,36 \\ -0,64 & 0,48 & 0,64 & -0,48 \\ 0,48 & -0,36 & -0,48 & 0,36 \end{bmatrix};$$

$$\vec{P} = \{0 \cdot \quad 0 \cdot \quad 0 \cdot \quad 0 \cdot \quad 0 \cdot \quad 0 \cdot \quad 10 \quad -20 \cdot \quad 0 \quad -40\}^T.$$

$$[K_{VII}] = \frac{2 \cdot 10^7}{8} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

3. Biz butun sistemaning bikirlik matritsasi $[R]$ ni tuzamiz (4.27):

$$[R] = \frac{10^7}{5} \times \begin{bmatrix} 1,89 & 0,48 & -1,25 & 0 & 0 & 0 & -0,64 & -0,48 & 0 & 0 \\ 0,48 & 0,36 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,48 & -0,36 & 0 & 0 \\ -1,25 & 0 & 3,78 & 0 & -1,25 & 0 & -0,64 & 0,48 & -0,64 & -0,48 \\ 0 & 0 & 0 & 0,72 & 0 & 0 & 0,48 & -0,36 & -0,48 & -0,36 \\ 0 & 0 & -1,25 & 0 & 1,89 & -0,48 & 0 & 0 & -0,64 & 0,48 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,48 & 0,36 & 0 & 0 & 0,48 & -0,36 \\ -0,64 & -0,48 & -0,64 & 0,48 & 0 & 0 & 2,53 & 0 & -1,25 & 0 \\ -0,48 & -0,36 & 0,48 & -0,36 & 0 & 0 & 0 & 0,72 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,64 & -0,48 & -0,64 & 0,48 & -1,25 & 0 & 2,53 & 0 \\ 0 & 0 & -0,48 & -0,36 & 0,48 & -0,36 & 0 & 0 & 0 & 0,72 \end{bmatrix}.$$

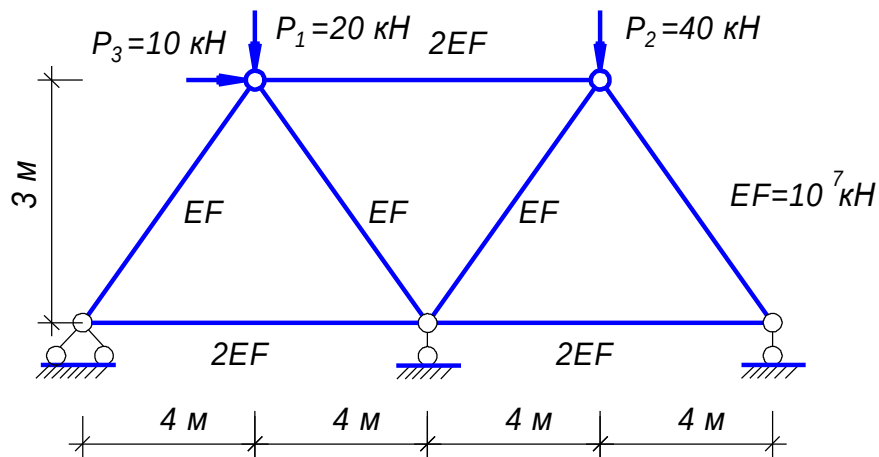
4. Matritsa $[R]$ ning va vektor $\vec{P}$ ning tartibini kamaytiramiz.

1-, 2-, 3- tugunlarida tayanch bog‘lanishlari yo‘nalishi bo‘yicha ko‘chish mavjud emas, ya’ni $x_1 = y_1 = y_2 = y_3 = 0$. Shuning uchun matritsa va vektorda submatritsalar va ushbu ko‘chishlarga mos keladigan elementlar hisobga olinmaydi. Matritsa va vektor quyidagi ko‘rinishga o‘tkaziladi:

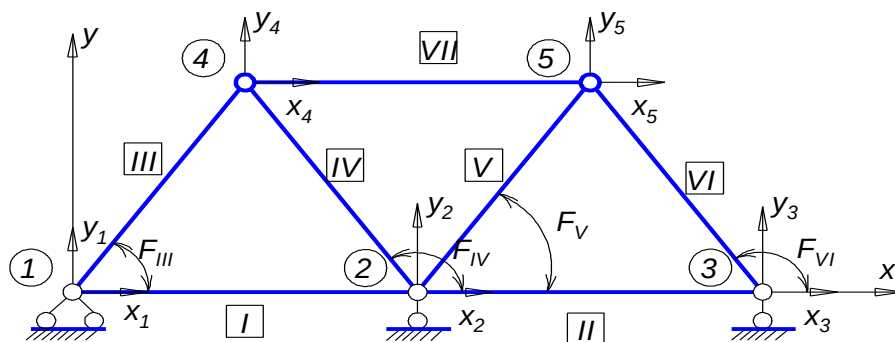
$$[R] = \frac{10^7}{5} \begin{bmatrix} 3,78 & -1,25 & -0,64 & 0,48 & -0,64 & -0,48 \\ -1,25 & 1,89 & 0 & 0 & -0,64 & 0,48 \\ -0,64 & 0 & 2,53 & 0 & -1,25 & 0 \\ 0,48 & 0 & 0 & 0,72 & 0 & 0 \\ -0,64 & -0,64 & -1,25 & 0 & 2,53 & 0 \\ -0,48 & 0,48 & 0 & 0 & 0 & 0,72 \end{bmatrix};$$

$$\bar{P} = \{0 \quad 0 \quad 10 \quad -20 \quad 0 \quad -40\}^T.$$

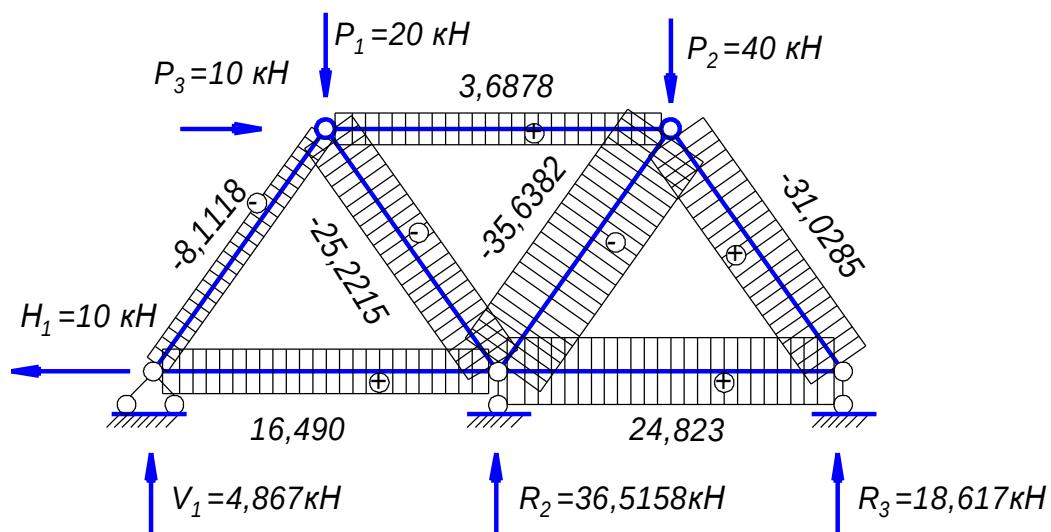
5. (4.28) tenglamalar sistemasini yechamiz:



4.8-rasm



4.9-rasm



4.10-rasm

$$x_2 = 0,65958 \cdot 10^{-5}; x_3 = 1,65249 \cdot 10^{-5}; x_4 = 0,86447 \cdot 10^{-5};$$

$$y_4 = -1,828607 \cdot 10^{-5}; x_5 = 1,01198 \cdot 10^{-5}; y_5 = -3,43972 \cdot 10^{-5}.$$

Ferma tugunlarining tugundagi ko'chish vektorini umumiy koordinata sistemasida olamiz (4.25):

$$\begin{aligned} \bar{z} &= \{x_1 \quad y_1 \quad x_2 \quad y_2 \quad x_3 \quad y_3 \quad x_4 \quad y_4 \quad x_5 \quad y_5\}^T = \\ &= \left\{0 \quad 0 \quad 0,65958 \cdot 10^{-5} \quad 0 \quad 1,65249 \cdot 10^{-5} \quad 0 \quad 0,86447 \cdot 10^{-5} \quad -1,828607 \cdot 10^{-5} \quad 1,01198 \cdot 10^{-5} \quad -3,43972 \cdot 10^{-5}\right\}^T. \end{aligned}$$

6. Mahalliy koordinatalar sistemasidagi reaktiv kuchlarni aniqlaymiz (4.33):

$$\begin{aligned} \vec{r}_I^* &= \begin{bmatrix} -16,490 \\ 16,490 \end{bmatrix}; \vec{r}_{II}^* = \begin{bmatrix} -24,823 \\ 24,823 \end{bmatrix}; \vec{r}_{III}^* = \begin{bmatrix} 8,1118 \\ -8,1118 \end{bmatrix}; \vec{r}_{IV}^* = \begin{bmatrix} 25,2215 \\ -25,2215 \end{bmatrix}; \\ \vec{r}_V^* &= \begin{bmatrix} 35,6382 \\ -35,6382 \end{bmatrix}; \vec{r}_{VI}^* = \begin{bmatrix} 31,0285 \\ -31,0285 \end{bmatrix}; \vec{r}_{VII}^* = \begin{bmatrix} -3,6878 \\ 3,6878 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

7. Berilgan fermada N_r bo'ylama kuchlar chizig'ini tuzing (4.10-rasm).

8. Biz tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz va statik tekshiruv o'tkazamiz (4.10-rasm:)

$$\text{tugun 1. } \Sigma y = 0; V_1 - N_{III} \cdot \sin \phi_{III} = 0; V_1 = 4,8671 \text{ kN};$$

$$\Sigma x = 0; -H_1 + 16,49 - N_{IV} \cos \phi_{II} = 0; H_1 = 10 \text{ kN};$$

$$\text{tugun 2. } \Sigma y = 0; R_2 - (N_{IV} + N_V) \cdot \sin \phi_{IV} = 0; R_2 = 36,5158 \text{ kN};$$

$$\text{tugun 3. } \Sigma y = 0; R_3 - N_{VI} \cdot \sin \phi_{VI} = 0; R_3 = 18,6171 \text{ kN}$$

$$\Sigma x = 0; -10 + 10 = 0;$$

$$\Sigma y = 0; 4,8671 + 36,5158 + 18,6171 - 40 - 20 = 0.$$

Qurilish mexanikasi fanidan nazorat test savollari

1. Inshootlarning mustahkamligi, ustuvorligi va bikirligini hisoblash prinsiplari va usullari haqidagi fan ... deb ataladi. Nuqtalar o'rniga kerakli so'zni qo'ying?

- A. qurilish mexanikasi
- B. materiallar qarshiligi
- C. inshootlar dinamikasi
- D. inshootlar zilzilabardoshligi

2. Qurilish mexanikasi fani nimani o'rganadi?

- A. inshootlarni hisoblash usullarini ishlab chiqish
- B. inshootlarni loyihasini ishlab chiqish
- C. inshootlarni hisoblash sxemalarini ishlab chiqish
- D. inshootlarni rasmlarini ishlab chiqish

3. Qurilish mexanikasining asosiy vazifalaridan biri-bu:

- A. inshootlarda hosil bo'ladigan zo'riqishlar va deformatsiyalarni aniqlash
- B. inshootlarda hosil bo'ladigan jarayonlarni aniqlash
- C. inshoot elementlarining ko'ndalang kesimlarini tanlash
- D. inshoot elementlarining hisobiy sxemalarini tanlash

4. ... deganda inshootlarning berilgan yukni yemirilmasdan ko'tarish qobiliyati tushuniladi. Nuqtalar o'rniga kerakli so'zni qo'ying?

- A. mustahkamlik
- B. ustuvorlik
- C. bikirlik
- D. barqarorlik

5. Eksplauatatsiya jarayonida inshootda me'yoridan ortiq deformatsiyalarning hosil bo'lishiga qarshilik ko'rsatish xususiyati nima deb ataladi?

- A. bikirlik

- B. mustahkamlik
- C. ustuvorlik
- D. chidamlilik

6. Inshootlarni mustahkamlikka hisoblashdan maqsad nima?

- A. inshootlarni tashqi yuklar ta'siriga chidamli bo'lishini ta'minlash
- B. inshootlarni zilzilaga chidamliligini ta'minlash
- C. tebranishlarga chidamli bo'lishini ta'minlash
- D. inshootlarni muvozonat holatini saqlash

7. Inshootning berilgan yuklar ta'sirida dastlabki muvozanat holatini saqlash qobiliyati deganda nima tushuniladi?

- A. ustuvorlik
- B. bikirlik
- C. mustahkamlik
- D. zo'riqish

8. Tayanchlar qanday turlarga ajratiladi?

- A. sharnirli qo'zg'aluvchan, sharnirli qo'zg'almas va bikir mahkamlangan
- B. sharnirli qo'zg'aluvchan
- C. sharnirli qo'zg'almas
- D. bikir

9. Tayanchlar qanday klassifikatsiyalanadi?

- A. kinematik bog'lanishlar soniga qarab
- B. dinamik bog'lanishlar soniga qarab
- C. statik bog'lanishlar soniga qarab
- D. optik bog'lanishlar soniga qarab

10. Sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchda nechta reaksiya kuchi hosil bo'ladi?

- A. bitta
- B. ikkita

- C. uchta
- D. to'rtta

11. Sharnirli qo'zg'almas tayanchda nechta reaksiya kuchi hosil bo'ladi?

- A. ikkita
- B. uchta
- C. to'rtta
- D. bitta

12. Bikir mahkamlangan tayanchda nechta reaksiya kuchi hosil bo'ladi?

- A. uchta
- B. to'rtta
- C. bitta
- D. ikkita

13. Qurilish mexanikasi hisoblarida nechta turdagi tayanchlardan foydalaniladi?

- A. uchta
- B. ikkita
- C. bitta
- D. to'rtta

14. Yuklar deb nimaga aytiladi?

- A. inshootga ta'sir etadigan tashqi kuchlar
- B. inshootga ta'sir etadigan ichki kuchlar
- C. inshootga ta'sir etadigan birlik ko'chishlar
- D. inshootda hosil bo'ladigan zo'riqishlar

15. Yuklar ta'sir xarakteriga ko'ra qanday turlarga ajratiladi?

- A. statik va dinamik
- B. garmonik va dinamik
- C. yoyilgan va to'plangan
- D. doimiy va muvaqqat

16. Yuklar qo'yilish usuliga ko'ra qanday turlarga ajratiladi?

- A. yoyilgan va to'plangan
- B. doimiy va muvaqqat
- C. garmonik va dinamik
- D. statik va dinamik

17. To'plangan yuklar deb qanday yuklarga aytiladi?

- A. inshoot kichik sirtiga yoki nuqtasiga to'plangan yuklar
- B. inshootning butun sirtiga ta'sir etuvchi yuklar
- C. inshootning uzunlik birligiga to'g'ri kelgan yuklar
- D. inshootning birlik yuzasiga ta'sir etuvchi yuklar

18. Yoyilgan yuklar deb qanday yuklarga aytiladi?

- A. inshootning sirti yoki uzunligi bo'ylab tarqalgan yuklar
- B. inshootning kichik sirtiga ta'sir etuvchi yuklar
- C. inshootning uzunlik birligiga to'g'ri kelgan yuklar
- D. inshootning kichik qismiga to'plangan yuklar

19. Vazifasiga ko'ra yuklar qanday turlarga ajratiladi?

- A. doimiy, muvaqqat va qo'zg'aluvchan
- B. yoyilgan va to'plangan
- C. statik va dinamik
- D. sirt va hajmiy

20. Tashqi kuchlar qanday klassifikatsiyalanadi?

- A. sirtqi va hajmiy kuchlar
- B. to'plangan va yoyilgan kuchlar
- C. hajmiy kuchlar va yoyilgan kuchlar
- D. to'plangan va hajmiy kuchlar

21. Intensivlik deganda nima tushuniladi?

- A. uzunlik birligiga to'g'ri kelgan yuk miqdori
- B. inshootning kichik sirtiga ta'sir etuvchi yuklar miqdori

C. inshootning birlik yuzasiga ta'sir etuvchi yuklar miqdori

D. kuchlarning teng ta'sir etuvchisi miqdori

22. Inshoot hisoblash sxemasi qanday xususiyatlarga bog'liq holda tanlanadi?

A. inshoot materialining ishlash xususiyati va bog'lanishiga qarab

B. inshoot materialiga qarab

C. inshoot bog'lanishiga qarab

D. mexanik xususiyatiga qarab

23. Inshootlar va ularning hisoblash sxemalari elementlarning geometrik rasmi bo'yicha qanday klassifikatsiyalanadi?

A. elementlar o'lchamlari bo'yicha

B. elementlar mustahkamligi bo'yicha

C. elementlar bikirligi bo'yicha

D. elementlar ustuvorligi bo'yicha

24. Qanday kuchlar yuklar deb ataladi?

A. tashqi kuchlar

B. statik kuchlar

C. dinamik kuchlar

D. ichki kuchlar

25. Kuch birligi nima?

A. H

B. kg

C. joule

D. erg

26. Plastina deb nimaga aytiladi?

A. bir o'lchami qolgan ikki o'lchamiga nisbatan ancha kichik bo'lgan element

B. barcha o'lchamlari bir tartibda bo'lgan elementlar

C. inshootning soddalashtirilgan elementlar

D. ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunlik o'lchamiga nisbatan ancha kichik bo'lgan element

27. Massiv deb nimaga aytiladi?

- A. barcha o'lchamlari bir tartibda bo'lgan elementlar
- B. inshootning soddalashtirilgan elementlar
- C. ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunlik o'lchamiga nisbatan ancha kichik bo'lgan element
- D. bir o'lchami qolgan ikki o'lchamiga nisbatan ancha kichik bo'lgan element

28. Inshootlarning soddalashtirilgan tasvirini ifodalovchi sxema – bu

- A. hisoblash sxemasi
- B. yuklash sxemasi
- C. sterjen
- D. plastina

29. Inshootlar nima uchun kinematik analiz qilinadi?

- A. inshootning geometrik o'zgaras yoki o'zgaruvchanligini aniqlash uchun
- B. inshootning erkinlik darajasini aniqlash uchun
- C. inshootning bog'lanishlar sonini aniqlash uchun
- D. inshootning holatini aniqlash uchun

30. Inshootlar tugunlari bog'lanish turiga qarab qanday klassifikatsiyalanadi?

- A. sharnirli va bikir
- B. balkali tizimli
- C. arkali tizimli
- D. massiv tizimli

31. Inshootlar elementlarining ishlash xususiyatiga qarab qanday klassifikatsiyalanadi?

- A. balkasimon, ramali va arkasimon
- B. sterjenli tizimlar
- C. plastinali tizimlar
- D. massiv tizimlar

32. Qanday sistemalar geometrik o'zgaras sistemalar deyiladi?

- A. tashqi kuchlar ta'sirida o'zining rasmi va holatini o'zgartirmaydigan sistema
- B. kuchlar ta'sirida bo'lgan jismning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgarmaydigan jismlar
- C. tashqi kuchlar ta'sirida o'z holatini o'zgartiradigan sistema
- D. ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunlik o'lchamiga qaraganda juda kichik bo'lgan konstruksiya qismlari

33. Qanday sistemalar geometrik o'zgaruvchan sistemalar deyiladi?

- A. geometrik rasmini elementlar deformatsiyasiga bog'liq bo'lmagan holda o'zgarishiga
- B. sharnirli sterjenli uchburchak
- C. berilgan rasmini o'zgartirmaydigan sistemaga
- D. uchburchak rasmlil elementlardan iborat sistemaga

34. Qanday sistemaga oniy o'zgaruvchan sistema deyiladi?

- A. elementlar deformatsiyasiga bog'liq bo'lmagan holda cheksiz ko'chishlarga ega bo'lgan sistema
- B. elementlar geometrik rasmini o'zgarishiga
- C. uchburchak rasmlil elementlardan iborat sistemaga
- D. elementlar holatining o'zgarishiga

35. Qurilishda geometrik o'zgaras sistemalarni qo'llash mumkinmi?

- A. inshoot sifatida qo'llash mumkin emas
- B. vaqtinchalik inshoot sifatida qo'llash mumkin
- C. hisobiy sxema sifatida qo'llash mumkin
- D. sistemaning qo'zg'aluvchanligini aniqlash uchun qo'llash mumkin

36. Alohida elementlarining joylashuv tartibiga qarab inshootlar qanday sistemalarga bo'linadi?

- A. yassi va fazoviy
- B. yassi va qobiqli

C. fazoviy va hajmiy

D. tekis va hajmiy

37. Yassi sistemalar deb qanday sistemalarga aytiladi?

A. barcha sterjenlar bir tekislikda joylashsa

B. barcha sterjenlar murakkab rasmda biriktirilgan bo'lsa

C. barcha sterjenlar bir to'g'ri chiziqda yotsa

D. barcha sterjenlarning o'qi bir nuqtada kesishsa

38. Sistemaning erkinlik darajasi deb nimaga aytiladi?

A. sistemaning holatini belgilovchi geometrik parametrlar soni

B. sistemani tashkil etuvchi elementlar soni

C. sistemaning o'rnini belgilovchi dinamik parametrlar soni

D. sistemani tashkil etuvchi elementlar holatini belgilovchi nuqtalar soni

39. $W = 3D - 2Sh - S_t$ formula yordamida nima aniqlanadi?

A. sistemaning erkinlik darajasi

B. sistemadagi sharnirlar soni

C. sistemadagi tayanchlar soni

D. sistemadagi disklar soni

40. Qistirib mahkamlangan tayanch sistemaning nechta erkinlik darajasini cheklaydi?

A. 3

B. 4

C. 2

D. 1

41. Sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch sistemaning nechta erkinlik darajasini cheklaydi?

A. 1

B. 3

C. 4

D. 0

42. Sharnirli qo'zg'almas tayanch sistemaning nechta erkinlik darajasini cheklaydi?

- A. 2
- B. 1
- C. 0
- D. 4

43. Tekislikda nuqtaning holatini aniqlovchi parametrlar soni nechta?

- A. 2
- B. 3
- C. 1
- D. 4

44. Inshootning bitta diskini erkinlik darajasi nechtaga teng?

- A. 3
- B. 1
- C. 2
- D. 4

45. Qaysi holda sistema geometrik o'zgaras, statik aniq bo'ladi?

- A. $W = 0$
- B. $W > 0$
- C. $W \neq 0$
- D. $W < 0$

46. Qaysi holda sistema geometrik o'zgaruvchan, statik aniq bo'ladi?

- A. $W > 0$
- B. $W < 0$
- C. $W = 0$
- D. $W \leq 0$

47. Qaysi holda sistema geometrik o'zgaras, statik noaniq bo'ladi?

- A. $W < 0$

B. $W = 0$

C. $W > 0$

D. $W \neq 0$

48. Eguvchi moment (M) bilan yoyilgan yuk intensivligi (q) orasida qanday differensial bog'lanish bor?

A. $\frac{d^2 M}{dz^2} = -q$

B. $\frac{d^2 M}{dz^2} = -Q$

C. $\frac{dQ}{dz} = q$

D. $\frac{dM}{dz} = Q$

49. Eguvchi moment (M) va ko'ndalang kuch (Q) orasida qanday differensial bog'lanish bor?

A. $\frac{dM}{dz} = Q$

B. $\frac{d^2 M}{dz^2} = -Q$

C. $\frac{d^2 M}{dz^2} = -q$

D. $\frac{dQ}{dz} = q$

50. Eguvchi moment ifodasidan foydalanib, ko'ndalang kuch ifodasining to'g'risini toping. $M(z)=2z^2+4$

A. $4z$

B. $2-4z$

C. $2z+4$

D. $2-4z$

51. Eguvchi momentning to'g'ri ifodasini ko'rsating, agar $Q(z)=z+1$ bo'lsa:

A. $\frac{z^2}{2} + z$

B. $z^2 + z$

C. $z^2 + 1$

D. $\frac{1}{2}$

52. Birlik kuch inshoot bo‘ylab harakatlenganda uning elementlarida hosil bo‘ladigan zo‘riqish miqdorining o‘zgarishini ifodalovchi grafik shu zo‘riqishning ... deyiladi. Nuqtalar o‘rniga kerakli so‘zni qo‘ying?

A. ta’sir chizig‘i

B. chap to‘g‘ri chizig‘i

C. o‘ng to‘g‘ri chizig‘i

D. Xarakatlanuvchi yuklar grafigi

53. Zo‘riqishlarning ta’sir chiziqlari qaysi usullar yordamida chiziladi?

A. statik va kinematik

B. statik va dinamik

C. dinamik va grafik

D. Oddiy va murakkab

54. Tayanch reaksiyasining ta’sir chizig‘i qanday chiziladi ?

A. tayanch reaksisining qiymatini x masofaga bog‘liq holda aniqlash orqali

B. tayanch reaksiyasining qiymatini aniqlash orqali

C. ko‘ndalang kuchning qiymatini o‘zgaruvchi x ga bog‘liq holda aniqlash orqali

D. eguvchi momentning qiymatini o‘zgaruvchi x ga bog‘liq holda aniqlash orqali

55. Ichki kuchlarning ta’sir chiziqlarini chizishda birlik kuchning necha xil vaziyati ko‘riladi?

A. ikki

B. uch

C. to‘rt

D. bir

56. Oddiy balkaning o'ng tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ini chizishda chap tayanch ostiga necha birlik qo'yiladi?

- A. 0
- B. 1
- C. -1
- D. 2

57. Oddiy balkaning chap tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ini chizishda chap tayanch ostiga necha birlik qo'yiladi?

- A. 1
- B. 2
- C. -1
- D. 0

58. Konsol balkaning tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'i qanday ko'rinishda bo'ladi?

- A. balka o'qiga parallel yo'nalgan
- B. balka o'qiga qiya
- C. balka o'qini kesib o'tadi
- D. balkada ta'sir chizig'i bo'lmaydi

59. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment ta'sir chizig'ini chizishda chap tayanch ostiga necha birlik qo'yiladi?

- A. chap tayanchdan kesimgacha bo'lgan masofa qo'yiladi
- B. o'ng tayanchdan kesimgacha bo'lgan masofa qo'yiladi
- C. balka oralig'iga teng birlik qo'yiladi
- D. 0 birlik qo'yiladi

60. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment ta'sir chizig'ini chizishda o'ng tayanch ostiga necha birlik qo'yiladi?

- A. o'ng tayanchdan kesimgacha bo'lgan masofa qo'yiladi
- B. chap tayanchdan kesimgacha bo'lgan masofa qo'yiladi

C. balka oralig'iga teng birlik qo'yiladi

D. 0 birlik qo'yiladi

61. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimidagi ko'ndalang kuch ta'sir chizig'ini chizishda o'ng tayanch ostiga necha birlik qo'yiladi?

A. -1

B. 1

C. 2

D. 0

62. Oddiy balkaning ixtiyoriy kesimidagi ko'ndalang kuch ta'sir chizig'ini chizishda chap tayanch ostiga necha birlik qo'yiladi?

A. 1

B. 2

C. 0

D. -1

63. $S_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega_i + \sum_{i=1}^n M_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i$ formula yordamida nima aniqlanadi?

A. ta'sir chizig'i orqali zo'riqishlar qiymati

B. ko'chishlarni aniqlash formulasi

C. tayanchlardagi reaksiya kuchlarini aniqlash formulausi

D. xarorat o'zgarganda hosil bo'ladigan zo'riqishni aniqlash formulasi

64. Inshootga faqat to'plangan kuchlar ta'sir etsa, zo'riqishlar ta'sir chizig'i yordamida qaysi formuladan aniqlanadi?

A. $S_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i$

B. $S_i = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega_i$

C. $S_i = \sum_{i=1}^n M_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i$

D. $S_i = \sum_{i=1}^n X_i \cdot y_i$

65. Inshootga faqat yoyilgan kuchlar ta'sir etsa, zo'riqishlar ta'sir chizig'i yordamida qaysi formuladan aniqlanadi?

A. $S_i = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega_i$

B. $S_i = \sum_{i=1}^n M_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i$

C. $S_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i$

D. $S_i = \sum_{i=1}^n X_i \cdot y_i$

66. Inshootga faqat juft kuch(moment)lar ta'sir etsa, zo'riqishlar ta'sir chizig'i yordamida qaysi formuladan aniqlanadi?

A. $S_i = \sum_{i=1}^n M_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i$

B. $S_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i$

C. $S_i = \sum_{i=1}^n X_i \cdot y_i$

D. $S_i = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega_i$

67. Bir necha oddiy balkalarni sharnirlar vositasida geometrik o'zgarmas qilib tutashtirishdan hosil qilingan sistema nima deb ataladi?

- A. ko'p oraliqli statik aniq balkalar
- B. uzluksiz balkalar
- C. ko'p oraliqli statik noaniq balkalar
- D. bir oraliqli sharnirli arkalar

68. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar uzluksiz balkalardan nimasi bilan farq qiladi?

- A. statik aniq alohida balkalardan iborat bo'lib, tayanchlar cho'kishi yoki harorat o'zgarishidan qo'shimcha zo'riqishlar paydo bo'lmaydi

- B. statik noaniq bir oraliqli balkalardan tashkil topib, tayanchlar cho‘kishi yoki harorat o‘zgarishidan qo‘shimcha zo‘riqishlar paydo bo‘lmaydi
- C. statik aniq alohida balkalardan iborat bo‘lib, tayanchlar cho‘kishi yoki harorat o‘zgarishidan qo‘shimcha zo‘riqishlar paydo bo‘ladi
- D. statik noaniq bir oraliqli balkalardan tashkil topib, tayanchlar cho‘kishi yoki harorat o‘zgarishidan qo‘shimcha zo‘riqishlar paydo bo‘ladi

69. Statik aniq sistemalar qaysi usullar yordamida hisoblanadi?

- A. analitik va ta’sir chizig‘i usullari
- B. dinamik va statik usullar
- C. kinematik va ta’sir chizig‘i usullari
- D. analitik va statik usullar

70. Balka deb nimaga aytiladi?

- A. egilishga ishlaydigan brus
- B. cho‘zilishga ishlaydigan brus
- C. siljishga ishlaydigan brus
- D. buralishga ishlaydigan brus

71. Balka uzunligi bo‘ylab yoyilgan yuk bilan yuklangan bo‘lsa, maksimal eguvchi moment nimaga teng?

- A. $\frac{q\ell^2}{8}$
- B. $\frac{q\ell^2}{2}$
- C. $\frac{q\ell^2}{4}$
- D. $\frac{q\ell^2}{12}$

72. Ichki kuchlarni qanday usul asosida aniqlanadi?

- A. kesish usuli
- B. Vereshchagin usuli
- C. Lagranj usuli

D. Juravskiy usuli

73. Qanday sxemaga qavatlar sxemasi deyiladi?

- A. elementlarning o‘zaro bog‘lanishi va ta‘sirini ifodalovchi sxema
- B. inshootlarning soddalashtirilgan ko‘rinishini ifodalovchi sxema
- C. inshootlarni hisoblash uchun tuzilgan sxema
- D. konsolli balkalardan iborat sxema

74. Qavatlar sxemasi bo‘yicha balkaning hisoblash tartibi qanday?

- A. hisoblash ikkinchi darajali (osma) balkadan boshlanadi
- B. hisoblash istalgan balkadan boshlanishi mumkin
- C. avval asosiy balka, keyin ikkinchi darajali balka hisoblanadi
- D. hisoblashni istalgan balkadan boshlash mumkin

75. Qavatlar sxemasi qanday balkalardan tashkil topadi?

- A. asosiy va ikkinchi darajali (osma) balkalar
- B. osma va kran osti balkalar
- C. oddiy va murakkab balkalar
- D. Oddiy va uzlukli balkalar

76. Qanday balka asosiy balka deyiladi?

- A. ikki tayanchga tiralgan konsol balka yoki qistirib mahkamlangan konsol balka
- B. statik aniq geometrik o‘zgarmas sistema
- C. statik aniq balka
- D. geometrik o‘zgaruvchan balka

77. Bog‘lovchi sharnirlar qanday turlarga ajratiladi?

- A. oddiy va murakkab
- B. qo‘zg‘aluvchan va qo‘zg‘almas
- C. yakka va juft
- D. aralash va juft

78. Sharnirlarni yakka tartibda joylashtirish qoidasi qanday?

- A. sharnirlarni ikkinchi oraliqdan boshlab bittadan joylashtiriladi
- B. sharnirlarni birinchi oraliqdan boshlab bittadan joylashtiriladi
- C. sharnirlarni ixtiyoriy oraliqdan boshlab ikkitadan joylashtiriladi
- D. sharnirlarni oxirgi oraliqdan boshlab uchtdan joylashtiriladi

79. Sharnirlarni juft tartibda joylashtirish qoidasi qanday?

- A. juft sharnirlarni ikkinchi oraliqdan boshlab oraliq osha joylashtiriladi
- B. sharnirlarni birinchi oraliqdan boshlab joylashtiriladi
- C. sharnirlarni ixtiyoriy oraliqdan boshlab joylashtiriladi
- D. sharnirlarni oxirgi oraliqdan boshlab joylashtiriladi

80. Statik noaniq balkalarni statik aniq holga keltirish uchun sistemaga kiritiladigan sharnirlar soni qaysi formuladan aniqlanadi?

- A. $Sh = S_t - 3$
- B. $Sh = S_t + 6$
- C. $Sh = S_t - 6$
- D. $Sh = S_t + 3$

81. Sharnirlarni to'g'ri joylashtirish usullari keltirilgan qatorni aniqlang?

- A. yakka, juft va aralash
- B. yakka va juft
- C. yakka va aralash
- D. juft va aralash

82. Sterjenlarni sharnirlar vositasida geometrik o'zgarmas qilib tutashtirilishidan hosil bo'lgan sterjenlar sistemasi nima deb ataladi?

- A. ferma
- B. arka
- C. balka
- D. rama

83. Ferma sterjenlarida tashqi kuchlar ta'sirida qaysi ichki kuchlar hosil bo'ladi?

- A. bo'ylama kuchlar
- B. eguvchi moment
- C. ko'ndalang kuchlar
- D. tayanch reaksiyalari

84. Ferma elementlari asosan qaysi deformatsiya turiga ishlaydi?

- A. cho'zilish yoki siqilish
- B. siljish
- C. egilish
- D. buralish

85. Fermalar tashqi konturining ko'rinishiga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?

- A. uchburchak rasimli, parallel belbog'li va poligonal rasimli
- B. uchburchak, hovon, yarim hovon, qo'sh hovon, shprengelli
- C. balkasimon, konsolli, konsolli balkasimon
- D. tom, ko'prik va kran

86. Fermalar panjaralarining tuzilishiga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?

- A. uchburchak, hovon, yarim hovon, qo'sh hovon, shprengelli
- B. tom, ko'prik va kran
- C. uchburchak rasimli, parallel belbog'li va poligonal rasimli
- D. balkasimon, konsolli, konsolli balkasimon

87. Fermalar tayanch reaksiyalarining yo'nalishiga va ularning joylanishiga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?

- A. balkasimon, konsolli, konsolli balkasimon
- B. uchburchak rasimli, parallel belbog'li va poligonal rasimli
- C. tom, ko'prik va kran
- D. Uchburchak, hovon, yarim hovon, qo'sh hovon, shprengelli

88. Fermalar qo'llanish vazifasiga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?

- A. tom, ko'prik va kran

- B. balkasimon, konsolli, konsolli balkasimon
- C. uchburchak, hovon, yarim hovon, qo'sh hovon, shprengelli
- D. uchburchak rasmlı, parallel belbog'lı va poligonal rasmlı

89. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar asosan qaysi usullar bilan aniqlanadi?

- A. tugun ajratish, kesish, grafik va ta'sir chizig'i
- B. kuch, ko'chish, tugun ajratish
- C. ko'chish, moment nuqta, grafik va ta'sir chizig'i
- D. analitik, ko'chish, tugun ajratish va kinematik

90. Ferma tugunlari orasidagi gorizontal masofa nima deb ataladi?

- A. panel
- B. ustun
- C. oraliq
- D. hovon

91. Fermalarning geometrik o'zgarımslik sharti keltirilgan qatorni toping?

- A. $S \geq 2t - 3$
- B. $S < 2t - 3$
- C. $S \geq 2t + 3$
- D. $S \geq 2t - 6$

92. Agar $S < 2t - 3$ bo'lsa, ferma qanday ataladi?

- A. statik aniq, geometrik o'zgaruvchan
- B. statik aniq, geometrik o'zgarıms
- C. statik noaniq, geometrik o'zgarıms
- D. statik noaniq, geometrik o'zgaruvchan

93. Agar $S = 2t - 3$ bo'lsa, ferma qanday ataladi?

- A. statik aniq, geometrik o'zgarıms
- B. statik noaniq, geometrik o'zgaruvchan
- C. statik aniq, geometrik o'zgaruvchan
- D. statik noaniq, geometrik o'zgarıms

94. Agar $S > 2t - 3$ bo'lsa, ferma qanday ataladi?

- A. statik noaniq, geometrik o'zgaras
- B. statik aniq, geometrik o'zgaruvchan
- C. statik noaniq, geometrik o'zgaruvchan
- D. statik aniq, geometrik o'zgaras

95. Ferma qanday elementlardan tashkil topadi?

- A. yuqori va pastki belbog'lar, tirkak va hovonlardan
- B. Belbog' va tirkaklardan
- C. Tirkak va hovonlardan
- D. Belbog' va hovonlardan

96. Ferma qanday yuklanadi?

- A. tugunlar orqali
- B. belbog'lar orqali
- C. tirkaklar orqali
- D. hovonlar orqali

97. Tugun ajratish usuli orqali ferma qismi uchun nechta muvozanat tenglamalarini tuzish mumkin?

- A. 2
- B. 1
- C. 3
- D. 4

98. Fermadan ajratib olingan tugun uchun nechtdan ortiq muvozanat tenglamalar tuzish mumkin emas?

- A. 2
- B. 1
- C. 3
- D. 5

99. Yuklanmagan tugunda tutashtirilgan ikki sterjenlardagi zo'riqishlar o'zaro qanday munosabatda?

- A. ikkalasi ham nolga teng
- B. bir biriga teng
- C. cheksizlikka teng
- D. juda katta qiymatga teng

100. O‘zaro bitta sharnir va zamin bilan ikkita qo‘zg‘almas sharnirli tayanchlar bilan biriktirilgan ikki egri brusdan iborat goemetrik o‘zgarmas sistema nima deb ataladi?

- A. uch sharnirli arka
- B. ikki sharnirli arka
- C. sharnirsiz arka
- D. arkasimon fermalar

101. Qurilishda arkalarning qanday turlari qo‘llaniladi?

- A. ikki sharnirli, uch sharnirli va sharnirsiz
- B. bir sharnirli, sharnirsiz va murakkab sharnirli
- C. bir sharnirli, ikki sharnirli va murakkab sharnirli
- D. Uch sharnirli, sharnirsiz va murakkab sharnirli

102. Agar uch sharnirli sistemaning o‘qi siniq to‘g‘ri chiziqli sterjenlardan tashkil topsa, u qanday ataladi?

- A. uch sharnirli rama
- B. uch sharnirli arka
- C. sharnirsiz rama
- D. uch sharnirli arkasimon ferma

103. Agar uch sharnirli sistemaning o‘qi fermalardan tashkil topsa, u qanday ataladi?

- A. uch sharnirli arkasimon ferma
- B. sharnirsiz rama
- C. uch sharnirli ark a
- D. uch sharnirli rama

104. Arkalar balkalardan nimasi bilan farq qiladi?

- A. kerki kuchining mavjudligi bilan
- B. dinamik kuchning mavjudligi bilan
- C. vertikal kuchning mavjudligi bilan
- D. o'qining egriligi uchun

105. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi ichki kuchlar qanday usullar yordamida aniqlanadi?

- A. analitik va ta'sir chizig'i
- B. kinematik va kesish
- C. analitik va kinematik
- D. kesish va kuch

106. Uch sharnirli arkada qanday tayanch reaksiyalari hosil bo'ladi?

- A. vertikal va gorizontal
- B. kinematik va dinamik
- C. vertikal va kinematik
- D. statik va gorizontal

107. Agar arkaga faqat vertikal yuklar qo'yilgan bo'lsa, gorizontal tayanch reaksiyalar qanday munosabatda?

- A. biri-biriga teng
- B. bir-biridan farqli
- C. tayanch reaksiyalar hosil bo'lmaydi
- D. tashqi kuchlarning teng ta'sir etuvchisiga teng

108. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment qaysi formuladan aniqlanadi?

- A. $M_k = M_k^o - H \cdot y_k$
- B. $M_k = M_k^o - H \cdot x_k$
- C. $M_k = M_k^o - R_A \cdot y_k$
- D. $M_k = M_k^o - R_B \cdot y_k$

109. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi ko'ndalang kuch qaysi formuladan aniqlanadi?

A. $Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k - H \cdot \sin \varphi_k$

B. $Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k + H \cdot \sin \varphi_k$

C. $Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k - R_A \cdot \sin \varphi_k$

D. $Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k - R_B \cdot \sin \varphi_k$

110. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi bo'ylama qaysi formuladan aniqlanadi?

A. $N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k + H \cdot \cos \varphi_k)$

B. $N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k - H \cdot \cos \varphi_k)$

C. $N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k + R_A \cdot \cos \varphi_k)$

D. $N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k + R_B \cdot \cos \varphi_k)$

111. Arkaning maqbul(ratsional) o'qi deb nimaga aytiladi?

A. eguvchi momentlari nolga teng bo'lgan arka o'qi

B. ko'ndalang kuchlar nolga teng bo'lgan arka o'qi

C. bo'ylama kuchlar nolga teng bo'lgan arka o'qi

D. eguvchi momentlar maksimumga erishadigan arka o'qi

112. Uch sharnirli sistemalarda ta'sir chiziqlari qaysi usulda chiziladi?

A. ta'sir chiziqlarini qo'shish va nol nuqta

B. analitik

C. kinematik

D. statik

113. Uch sharnirli arkaning vertikal tayanch reaksiyalari ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?

A. oddiy balkalardagi kabi

B. konsol balkalardagi kabi

C. ramalardagi kabi

D. murakkab sistemalardagi kabi

114. $S_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega_i$ formula orqali qaysi sistemalardagi zo'riqlarning

qiymatlari ta'sir chiziqlari yordamida aniqlanadi?

A. uch sharnirli sistemalar

B. uch sharnirli balkalar

C. uch sharnirli fermalar

D. uch sharnirli gumbazlar

115. Ko'chish deb nimaga aytiladi?

A. inshootning deformatsiyasi natijasida uning koordinatalarining o'zgarishi

B. inshoot qismlarining boshlang'ich holatdan og'ishi

C. inshootlarning rasm va o'lchamlarining o'zgarishi

D. inshootlarning mumkin bo'lgan deformatsiyasi

116. Deformatsiya deganda nimani tushuniladi?

A. tashqi kuch ta'sirida jismni rasmi va o'lchamlarini o'zgarishi

B. jismni tashqi kuch ta'sirida yemirilishi

C. jismni muvozanat holatini buzilishi

D. jismni qarshilik ko'rsatish qobiliyatining o'zgarishi

117. Ko'chishlar qanday turlarga bo'linadi?

A. chiziqli va burchakli

B. birlik va oraliq

C. oddiy va qiya

D. doimiy va uzoq muddatli

118. Birlik kuchlar ta'sirida hosil bo'ladigan ko'chishlar qaysi harf bilan belgilanadi?

A. δ

B. σ

C. τ

D. Δ

119. Tashqi yuklar ta'sirida hosil bo'ladigan ko'chishlar qaysi harf bilan belgilanadi?

- A. Δ
- B. σ
- C. τ
- D. δ

120. Quyidagi $A = \frac{1}{2} P \Delta$ tenglik nimani ifodalaydi?

- A. Klapeyron teoremasini
- B. Betti teoremasini
- C. Maksvell teoremasini
- D. Mor teoremasini

121. Quyidagi $A_{ik} = P_i \Delta_{ik}$ formula yordamida nima aniqlanadi?

- A. tashqi kuchlarning bajarishi mumkin bo'lgan ishi
- B. tashqi kuchlarni bajargan ishi
- C. ichki kuchlarni bajargan ishi
- D. ichki kuchlarning bajarishi mumkin bo'lgan ishi**

121. Quyidagi $A_{ik} = A_{ki}$ tenglik nimani ifodalaydi?

- A. Betti teoremasini
- B. Klapeyron teoremasini
- C. Mor teoremasini
- D. Maksvell teoremasini

122. Quyidagi $\Delta_{ik} = \Delta_{ki}$ tenglik nimani ifodalaydi?

- A. Maksvell teoremasini
- B. Mor teoremasini
- C. Betti teoremasini
- D. Klapeyron teoremasini

123. Betti teoremasi nima deb ataladi?

- A. ishlarning o‘zaro bog‘lanish teoremasi
- B. tashqi kuchning bajargan ishi
- C. ichki kuchlarning bajarishi mumkin bo‘lgan ishi
- D. ko‘chishlarning o‘zaro bog‘lanish teoremasi

124. Balka va ramalarda ko‘chishlarni aniqlashda Mor integralining qaysi hadidan foydalaniladi?

- A. $\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_p ds}{EI}$
- B. $\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\mu \bar{Q}_i Q_p ds}{GF}$
- C. $\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{N}_i N_p ds}{EF}$
- D. $\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_p ds}{EI} + \sum \int_0^s \frac{\bar{N}_i N_p ds}{EF}$

125. Fermalarda ko‘chishlarni aniqlashda Mor integralining qaysi hadidan foydalaniladi?

- A. $\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_p ds}{EI}$
- B. $\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\mu \bar{Q}_i Q_p ds}{GF}$
- C. $\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{N}_i N_p ds}{EF}$
- D. $\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_p ds}{EI} + \sum \int_0^s \frac{\bar{N}_i N_p ds}{EF}$

126. Mor integralidagi M_p nimani ifodalaydi?

- A. tashqi kuchlardan hosil bo‘lgan eguvchi momentni
- B. birlik kuchlardan hosil bo‘lgan eguvchi momentni
- C. tashqi kuchlardan hosil bo‘lgan ko‘ndalang kuchni
- D. birlik kuchlardan hosil bo‘lgan ko‘chishni

127. $\Delta_{ip} = \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i y_{c_i}}{EI}$ formula nimani ifodalaydi?

- A. ko‘chishlarni aniqlashning Vereshchagin usulini
- B. ko‘chishlarni aniqlashning Mor integralini
- C. ko‘chishlarni aniqlashning statik usulini
- D. ko‘chishlarni aniqlashning dinamik usulini

128. Qanday sistemalarga statik noaniq sistema deyiladi?

- A. bog‘lovchilardagi reaksiya kuchlarini statikaning muvozanat tenglamalari orqali aniqlab bo‘lmaydigan sistemalarga
- B. inshoot va konstruksiyalarning hisobini osonlashtirish uchun ularning soddalashtirilgan sxemasiga
- C. bir-biri bilan bikir va sharnirli birikma orqali bog‘langan elementlardan tuzilgan sistemalarga
- D. bir-biriga bikir kilib biriktirilgan sterjenlardan tashkil topgan sistemalarga

129. Statik noaniq sistemalar shartli ravishda qanday sistemalarga ajratiladi?

- A. tashqi va ichki statik noaniq
- B. ichki va kinematik statik noaniq
- C. tashqi va dinamik statik noaniq
- D. dinamik va statik noaniq

130. Statik aniqmas sistemalar qaysi usullar yordamida hisoblanadi?

- A. kuchlar, ko‘chishlar va aralash
- B. kuchlar, ko‘chishlar va statik
- C. ko‘chishlar, aralash va dinamik
- D. kuchlar, ko‘chishlar va taqribiy

131. Statik aniqmaslik darajasi deb nimaga aytiladi?

- A. statik noaniq sistemadagi ortiqcha bog‘lanishlar soni
- B. har qanday jism tekislikda olgan urnini to‘la aniqlab beruvchi geometrik parametrlar soni
- C. tayanch bog‘lanishlari soni orqali belgilanuvchi ifoda
- D. sharnirli mexanizmning geometrik o‘zgarmas bo‘lishi uchun zarur bo‘lgan sterjenlar soniga

132. Statik noaniq sistemalarning xossalaridan birini ko'rsating?

- A. ortiqcha bog'lanishlar mavjudligi hisobiga sistemaning bikirligining oshishiga erishiladi
- B. ortiqcha bog'lanishlar mavjudligi hisobiga sistemaning bikirligining tejalishiga erishiladi
- C. ortiqcha bog'lanishlar mavjudligi hisobiga sistemaning bikirligining yo'qolishiga erishiladi
- D. ortiqcha bog'lanishlar mavjudligi hisobiga sistemaning bikirligining kamayishiga erishiladi

133. Statik noaniq sistemalar statik aniq sistemalardan nimasi bilan farq qiladi?

- A. ortiqcha bog'lanishlar hisobiga
- B. qo'shimcha kiritilgan bog'lanishlar hisobiga
- C. bog'lanishlar sonining kamligi hisobiga
- D. ular orasida hech qanday farq mavjud emas

134. Statik noaniq sistemalarning xossalaridan biri-bu

- A. tejamliligi
- B. elementlarning ko'pligi
- C. elementlarining o'lchamlari kattaligi
- D. sistema bikirligining kamayishi

135. Kuch usulida sistemalarning statik noaniqlik darajasi qaysi formuladan aniqlanadi?

- A. $n = 3k - Sh$
- B. $n = 3k + Sh$
- C. $n = k - Sh$
- D. $n = k + Sh$

136. Kuchlar usulining noma'lumlari nimalar?

- A. ortiqcha bog'lanishlardagi zo'riqishlar

- B. ortiqcha bog‘lanishlardagi ko‘chishlar
- C. ortiqcha bog‘lanishlardagi parametrlar
- D. inshoot qismlarining burchakli ko‘chishlari

137. Kuch usulida statik aniqmas rama uchun asosiy sistema qanday tanlanadi?

- A. Qo‘shimcha bog‘lanishlar olib tashlanadi
- B. Berilgan rama qisqartiriladi
- C. Qo‘shimcha bog‘lanishlar qo‘yiladi
- D. Ramani kuch usulida hisoblashda bo‘lib bo‘lib olinadi

138. Kuch usulida bir noma'lumli sistema uchun tuzilgan tenglamani toping?

- A. $\delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0$
- B. $r_{11}Z_1 + R_{1p} = 0$
- C. $\delta_{11}X_1 - \Delta_{1p} = 0$
- D. $r_{11}Z_1 - R_{1p} = 0$

139. Ikki noma'lumli sistema uchun kuchlar usulida tuzilgan kanonik tenglama qaysi qatorda keltirilgan?

- A. $\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} = 0 \end{cases}$
- B. $\begin{cases} \delta_{11}X_1 - \delta_{12}X_2 + \Delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}X_1 - \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} = 0 \end{cases}$
- C. $\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 - \Delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 - \Delta_{2p} = 0 \end{cases}$
- D. $\begin{cases} \delta_{11}X_1 - \delta_{12}X_2 + \Delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 - \Delta_{2p} = 0 \end{cases}$

140. Kuchlar usulining kanonik tenglamalaridagi noma'lumlar nimalardan iborat?

- A. zo‘riquvchi kuchlar
- B. ko‘chishlar
- C. deformatsiyalar

D. siljishlar

141. Kuchlar usulining kanonik tenglamalaridagi ko‘chishlar qanday nomlanadi?

- A. birlik koeffitsientlar va ozod hadlar
- B. ichki zo‘riqish kuchlari
- C. tashqi kuchlarning bajargan ishi
- D. ichki kuchlarning bajargan ishi

142. Kuchlar usulining kanonik tenglamasidagi δ_{ii} had nimani ifodalaydi?

- A. birlik kuch yo‘nalishida shu kuchdan hosil bo‘lgan ko‘chish
- B. tashqi kuch yo‘nalishida birlik kuchdan hosil bo‘lgan ko‘chish
- C. birlik kuch yo‘nalishida tashqi kuchdan hosil bo‘lgan ko‘chish
- D. kuchlar ta’sirining mustaqillik prinsipini ifodalaydi

143. Kuchlar usulining kanonik tenglamasidagi Δ_{ip} ozod had nimani ifodalaydi?

- A. birlik kuch yo‘nalishida tashqi kuchdan hosil bo‘lgan ko‘chish
- B. tashqi kuch yo‘nalishida birlik kuchdan hosil bo‘lgan ko‘chish
- C. kuchlar ta’sirining mustaqillik prinsipini ifodalaydi
- D. birlik kuch yo‘nalishida shu kuchdan hosil bo‘lgan ko‘chish

144. Kanonik tenglamaning birlik koeffitsientlari qanday aniqlanadi?

- A. birlik eguvchi moment epyuralarini bir-biriga ko‘paytirish orqali
- B. tashqi yuklar va birlik eguvchi moment epyuralarini bir-biriga ko‘paytirish orqali
- C. tashqi yuklar epyuralarini bir-biriga ko‘paytirish orqali
- D. birlik kuchlar va tashqi kuchlarni bir-biriga ko‘paytirish orqali

145. Kanonik tenglamaning ozod hadlari qanday aniqlanadi?

- A. tashqi yuklar va birlik eguvchi moment epyuralarini bir-biriga ko‘paytirish orqali
- B. tashqi yuklar epyuralarini bir-biriga ko‘paytirish orqali

- C. birlik kuchlar va tashqi kuchlarni bir-biriga ko'paytirish orqali
 D. birlik eguvchi moment epyuralarini bir-biriga ko'paytirish orqali

146. Birlik ko'chishlar qaysi formuladan aniqlanadi?

- A. $\delta_{ik} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_k ds}{EI}$
 B. $\delta_{ik} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_k ds}{EI} + \sum \int_0^s \frac{\mu \bar{Q}_i Q_k ds}{GF}$
 C. $\delta_{ik} = \sum \int_0^s \frac{\mu \bar{Q}_i Q_k ds}{GF}$
 D. $\delta_{ik} = \sum \int_0^s \frac{\bar{N}_i N_k ds}{EF}$

147. Kanonik tenglama tarkibidagi bir xil indeksli ko'chishlar nima deb ataladi?

- A. bosh ko'chishlar
 B. ikkinchi darajali ko'chishlar
 C. uchinchi darajali ko'chishlar
 D. to'rtinchi darajali ko'chishlar

148. Kanonik tenglama tarkibidagi turli indeksli ko'chishlar nima deb ataladi?

- A. ikkinchi darajali ko'chishlar
 B. bosh ko'chishlar
 C. to'rtinchi darajali ko'chishlar
 D. uchinchi darajali ko'chishlar

149. Statik noaniq ramani natijaviy eguvchi moment epyurasi qaysi usullar yordamida tekshiriladi?

- A. statik va deformatsion
 B. kinematik va deformatsion
 C. tugun kesish va moment nuqta usuli
 D. proektsiyalash va kesish usuli

150. Ko‘chishlar usulining noma’lumlari nimalar?

- A. chiziqli va burchakli ko‘chishlar
- B. kinematik bog‘lanishlar soni
- C. ortiqcha bog‘lanishlardagi reaksiyalar
- D. sistemaga kiritilgan ortiqcha bog‘lanishlar

Glossariy

Глосарий

qurilish mexanikasi – inshootlarning mustahkamligi, ustuvorligi va bikirligi haqidagi fandir;

Строительная механика – является предметом изучающий прочности, жесткости и устойчивости конструкций

mustahkamligi – inshootlarning yuk ko‘tarish qobiliyati tushuniladi;

Под прочностью – понимается способность конструкций сопротивляется на внешнюю нагрузки.

ustuvorligi – inshootlarning yuklar ta’sirida o‘zining dastlabki muvozanat holatini saqlab tura olish–olmasligi tiushuniladi;

Под устойчивостью – понимается способности конструкций сохранять или не сохранять первоначальную равновесью состояния.

bikirligi – inshootda me’yoridan ortiqcha ko‘chish, solqilik va og‘ishlar ro’y bermasligi uchun ularning bikirligi tekshiriladi;

Под жесткостью – конструкции понимается перемещения в допустимых пределах.

qurilish mexanikasi fanining vazifasi – tashqi kuchlar ta’sirida konstruksiya elementlarida hosil bo‘ladigan ichki kuchlarni aniqlash.

Основная задача строительной механики – является определения внутренних силовых факторов возникающий под действуем внешних сил. (в

элементах конструкций)

Brus – uzunligi etarlicha katta bo‘lgan va qolgan 2ta o‘lchami kichik bo‘lgan jisim.

Брусом – является тела у которого размера значительно меньше, а третий размер достаточно длинной.

Plastinka – qalinligi boshqa ikki o‘lchamdan ancha kichik bo‘lgan jism.

Пластинкой – называется тела у которого толщина значительно меньше чем двух других размеров

Massiv – uchala o‘lchami ham etarlicha bo‘lgan jism.

Массивом – называется тела у которого все три размеры достаточно длинны

Sirtqi kuchlar turkumi – to‘plangan kuchlar, yoyiladigan kuchlar.

Внешними силами называется – сосредоточенные силы, распределенные силы и моменты пара сил.

Vaqtinchalik kuch – konstruksiyaga vaqtincha ta’sir ko‘rsatadigan kuch.

Временными силами – называется силы действующий в течении ограниченного времени

ichki kuchlar – Tashqi kuchlar ta’siridan brus deformatsiyalanadi va uning kesimlarida (kesilgan bo‘lak zarrachalari bir–biriga ko‘rsatgan ta’sir kuchlari) hosil bo‘ladi, bular ko‘pincha zo‘riqish kuchlari ham deyiladi.

Внутренними силами – называются силы возникающих внутри элементов конструкций под действием внешних сил

Tayanchlar – inshootning poydevor yoki zamin bilan birikkan qismi

Опорами – называется часть конструкций связующий с землей

moment markazi – Jismning aylanma harakati jismga qo‘yilgan kuch momentiga bog‘liq bo‘ladi. Qaysi nuqtaga nisbatan moment olinadigan bo‘lsa, shu nuqta moment markazi bo‘ladi.

Центром момента – называется точка относительно которого берется момент.

kuch elkasi – moment markazidan kuchning ta'sir chizig'iga tushirilgan perpendikulyar kesma deyiladi. Odatda kuch elkasi h bilan belgilanadi.

Плечом момента называется – отрезок спешенной от центра момента к силу перпендикулярно

juft kuch – bir–biriga teskari yunalgan, mikdor jixatdan teng ikkita parallel kuchlar sistemasiga aytiladi.

Парой сил называется – две силы равного значение параллельную но противоположенного направленную.

kuchning nuqtaga nisbatan momenti deb – mos ishora bilan olingan kuch miqdorining kuch elkasiga ko'paytmasiga teng kattalikka aytiladi

Моментом силы называется – произведенная сила и плечо взятое соответствующим знаком.

Sterjenli sistemalar – tugunlarda o'zaro biriktirish yo'li bilan hosil qilingan qurilmalar.

Стержневой системой – называется стержневые конструкции жестко соединение.

Erkinlik darajasi – nuqta yoki sistemaning holatini belgilovchi geometrik parametrlar soni.

Степенном свобода называется – геометрические параметры определяющий местоположений точки или тела.

bog'lanish – jismning harakati yoki holatini cheklovchi sabab;

Связями – называется причина ограничений движения или местоположения тела.

bog'lanishdagi jism – jismning harakati yoki holati biror sabab bilan cheklangan bo'lsa;

Связанной тепловой – называется если тела ограничено в движениях.

bog‘lanish reaksiya kuchi – bog‘lanishning jismga ko‘rsatadigan ta’sirini belgilovchi kuch;

Силами опорной реакции – называется реактивная сила опорной части соприкасающихся тела.

bog‘lanishdan bo‘shatish aksiomasi – bog‘lanishdagi jismlarning harakati qaysi tomondan cheklangan bo‘lsa, reaksiya kuchi shu yo‘nalishga teskari yo‘nalgan bo‘ladi;

Аксиома освобождающий от связи – тела освобождается от связи заменив связь на реактивную силу.

Deformatsiya – jismlarning tashki kuch ta’siridan, geometrik o‘lchamlarini o‘zgartirishi.

Деформацией тела – называется изменения состояния между точками тела под действием внешней силы.

Absalyut bo‘ylama deformatsiya – bo‘ylama uzayish yoki qisqarish.

Абсолютном деформациям тела – называется предельное изменение длины.

Absalyut ko‘ndalang deformatsiya – ko‘ndalang qisqarish yoki kengayish.

Абсолютное поперечной деформации тела – называется поперечное изменения размеров тела под действием внешних сил.

Agar erkinlik darajasi nolga teng bo‘lsa – bunda sistema geometrik o‘zgarmas, statik aniq bo‘ladi;

Если степень статической определимости будет равно нулю – тогда тела будить геометрически неизменяемой и статически определимой.

Agar erkinlik darajasi noldan katta bo‘lsa – bunda sistema geometrik o‘zgaruvchan, statik aniq bo‘ladi.

Если степень статической определимости будет больше нуля – тогда тела будить геометрически неизменяемой и статической неопределимой.

Agar erkinlik darajasi noldan kichkina bo'lsa – bunda sistema geometrik o'zgarimas, statik noaniq va ortiqcha bog'lanishlarga ega bo'ladi.

Если степень статической определимости будет меньше нуля – тогда тела будет геометрически неизменяемой и статическим неопределимой.

Kuchlar ta'sirining mustaqilligi qoidasi – agar inshootga bir necha kuchlar qo'yilgan bo'lsa, ularning birgalikdagi ta'siridan hosil bo'lgan natija har bir kuchning alohida ta'siridan hosil bo'lgan natijalar yig'indisiga teng bo'ladi.

Принцип независимости действия сил – если на тела действует несколько сил то результат действия будет равно на сумму действия отдельных сил.

ta'siri chiziqlari – inshoot bo'ylab birlik kuch harakatlenganda, inshoot qismlarida kuch omillarining o'zgarishini ifodalovchi grafik.

Линией влияния – называется график показывающий изменение внутренних силовых факторов от действия единичной движущей силы

Kuch omillari – deganda hosil bo'ladigan ichki kuchlar (M , Q , N) va tayanch reaksiyalari tushuniladi.

Внутренними силовыми факторами называется – возникающие внутренне усилия под действием внешних сил.

Ta'siri chiziqlarini chizishning statik usuli – Statik usul harakatlanuvchi birlik kuch ($P=1$) ning ixtiyoriy holati uchun muvozonat tenglamalari tuzib, ulradan izlanayotgan zo'riqishning analitik ifodasini tuzishga asoslangan.

Статический метод построение линия влияния – основой на составления уравнению равновесия для произвольного положения единичной движущей силы ($P=1$).

Kinematik usul – ta'sir chiziqlarini qurish mumkin bo'lgan ko'chishlar qoidasiga asoslanadi.

Кинематический способ – построения линия влияния основной принцип возможных перемещения.

A nuqtadagi tayanch reaksiyasini aniqlash – buning uchun B tayanchiga nisbatan statikaning muvozonat tenglamasi tuziladi.

Для определяя опорной реакций в опоре А – нужно саставлять уравнения равновесия относительно шарнира в опоре В.

В nuqtadagi tayanch reaksiyasini aniqlash – buning uchun A tayanchiga nisbatan statikaning muvozonat tenglamasi tuziladi.

Для определения опорной реакции в опоре В – нужно саставлять уравнения равновесия относительно шарнира в опоре А.

Ikki konsolli balka uchun tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlarini qurish – oddiy balka uchun amalga oshirilgan usular yordamida bajariladi.

Линия влияния опорных рекций для двухконсольных балки – получается продолжением линии вилияния опорных реакций простой балки до конца консола.

Zo'riqishlarning ta'sir chizig'i – avvalo, yuk tugunlar orqali uzatilishini e'tiborga olmagan holda asosiy balka uchun quriladi;

Линия влияния усилия в конструкциях – имеющий узловые точки строится сначала без учета узлов для сплошной конструкции.

Kesimning chap va o'ng qismida joylashgan qo'shni tugunlar – tegishli chiziqlarga proeksiyalanadi va nuqtalar o'zaro tutashtiriladi.

Линия влияния усилия – имеющий узловые точки получается проектированием узлов на линии влияния, а затем их соединение прямой линией.

Hosil bo'lgan grafik – yuklar asosiy balkaga tugunlar orqali ta'sir etgan hol uchun qurilgan ta'sir chizig'i bo'ladi.

Полученный таким образом график – является линией влияная усилий в конструкциях имеющий узловые точки.

Inshootga to'plangan kuchlar tizimi qo'yilgan hol – Bu holda istalgan zo'riqish S ning qiymatini mazkur kuch bilan shu kuch yo'nalishida ta'sir chizig'idan olingan ordinataning ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Если на конструкций действует сосредоточенная сила – то усилия в заданом сеченей определяется умноженнем значений сили на ординату полученной из линия влияния лежаших под силу.

Inshootga yoyilgan yuk qo'yilgan hol – Inshootga qo'yilga yoyilgan yukdan uzunligi dx bo'lgan kichkina bo'lakcha ajaratamiz va bunga mos kelgan yoyilgan yukni elemaentar kuch orqali ifodalaymiz.

Если на конструкции действует распределенная нагрузка – то усилия в заданом сечении определяется умноженнем интевсивности распределенной нагрузку на площадь линии влияния соотвейтствующий длину распределенной нагрузку.

Ko'p oraliqli statik aniq balkalar – bir oraliqli konsolli balkalarni sharnirlar vositasida biriktirish yo'li bilan hosil qilinadi.

Многопролетной статически определяемой балкой – называется шарнирно соединенное простие балки.

Ko'p oraliqli balkalarda sharnirlar bo'lmasa – sistema statik noaniq uzluksiz balkalarga aylanib qoladi. Ularni bir–biridan farqlab turadigan element sharnirdir.

Если в многопролетной балки не будит промежуточные шарниры – тогда это балка становится статически неопределимой.

Asosiy balkalar – o'ziga qo'yilgan yuklardan tashqari osma balkalarga qo'yilgan yuklarni ham qabul qiladi.

Основной балкой – называется балка лежащих в двух опорах и воспринимающих внешные сили и давление висячих балок.

Asosiy balkalarga tayanib (opichib) turuvchi balkalarga – osma balkalar deyiladi. Osma balka sinsa, asosiy balkaning ishiga putur etmaydi. Asosiy balka sinsa, osma balka ham qulab tushadi.

Висячей балкой называется – балка опирающиеся с одним концом к

основной балки. Если разрушается висячая балка то основная балка сохраняет свою равновесную состояния и наоборот сели разрушается основное балки то висячая балки тоже разрушается.

Qavatlar sxemasida asosiy balka – birinchi qavatda joylashadi.

По этажной схеме многопролётной балки – основная балка расположится в первом этаже.

Osma balkalar – asosiy balkaning ustiga joylashadi.

Висячая балка – расположится над основной балки.

Ko‘p oraliqli balkalar statik aniq balkalar bo‘lib – ular doimiy kuchlar ta’siriga analitik usulda hisoblanadi. Keyin esa bu ko‘p oaliqli balkalar harakatlanuvchi kuchlar ta’siriga hisoblanadi.

Многопролетная балка является – статическим определенной и вычисляется на действия постоянных сил, она также вычисляется на действия подвижной нагрузки с использованием линий влияния.

Ko‘p oraliqli sharnirli balkalarning hisobi – ularning eguvchi moment va ko‘ndalang kuch epyuralarini qurishdan iboratdir.

Расчет на прочность статически определенной многопролетной балки – является построения эпюры изгибающего момента и поперечной силы аналитическим способом.

Ko‘p oraliqli balkalarning hisobi – Qavatlar sxemasini qurishdan boshlanadi.

Расчет статически определенной многопролетной балки начинается – с построения по этажной схеме.

Ko‘p oraliqli balkalarni hisoblashda – avvalo ikkinchi darajali (osma) balkalar, so‘ngra asosiy balkalar hisolanadi. Osma balkalar bir netcha bo‘lsa, hisob eng ustki qavatdan boshlanadi.

Расчет многопролетной статически определенной балки начинается – с расчет подвесной балки, если они несколько, то расчет следуют начинат с самого верхнего.

Ko‘p oraliqli balkalarni hisoblashda – ustki qavatdagi yukning ta’siri pastki qavatdagi balkalarga ham ta’sir etadi. Buni hisobga olish uchun ustki balkaning tayanch reaksiyasini pastki balkaga teskari yo‘nalishda qo‘yiladi va pastki balkani hisoblashda uni tashqi kuchlardan biri deb qaraladi. Hisob oxirida alohida qurilgan epyuralar bir o‘q ustida joylashtiriladi.

При расчете многопролетной балки – влияния верхних этажей на нужную этажи учитывается как давления с обратным знаком опорных реакции верхних этажей и учитывается как внешняя нагрузка. В конце расчета все эпюры изгибающего момента и поперечной силы приводится в одним координатам.

Ko‘p oraliqli balkalarning ta’sir chiziqlarini chizish – balkaning qavatlar sxemasini qurishdan boshlanadi.

Построение линия влияния многопролетной балки – называется с построения по этажной схемы.

Ta’sir chiziqlarini chizishda balkaga – faqat harakatlanuvchi birlik kuch ta’sir etadi, deb qaraladi. Grafikni chizish jarayonida doimiy yuklar ta’siri e’tiborga olinmaydi.

Построение линия влияния осуществляется – на действия подвижной единичной силы.

Ferma deb qanday sistemalarga aytiladi – bikir tugnlarni sharnirlar bilan almashtirganda, o‘zining geometrik o‘zgarmasligini saqlab qoluvchi sterjenli sistemalarga fermalar deb ataladi.

Какая система называется фермой – при замене жестких узлов на шарнирные если сохраняет свое геометрические неизменяемости, то тогда такие системы называется фермой.

Fermalar balkalarning takomillashgan bir ko‘rinishi bo‘lib – balkalar o‘taydigan vazifani bajaradi: balkalar kichik oraliqlarni yopishda qo‘llansa, fermalar katta oraliqlarni yopishda qo‘llaniladi.

Фермы является усовершенственным видом балки – и выполняет задачи как балки, если балки используется при перекрытии не больших пролетов, то фермы используется для перекрытия больших пролетов.

Fermaning barcha sterjenlari yoki ularning o'qlari bir tekislikda joylashsa – текис yoki yassi fermalar deb ataladi, agar bir tekislikda joylashmasa fazoviy fermalar deb ataladi.

Если все стержени фермы лежат в одной плоскости – то ферма называется плоской, в противном случае называется пространственной.

Fermaning ikki tayanchi orasidagi masofaga – oraliq (prolyot) deb ataladi.

Расстояния между опорами фермы – называется пролетом

Fermaning tashqi ustki va pastki chegarasida joylashgan sterjenlarga – tasmalar (belbog'lar) deb atalib, ular orasida joylashgan sterjenlar ferma panjaralarini tashkil etadi. Panjaraning tik elementlari ustun, og'ma elementlari esa havon deb ataladi. Ferma tugunlari orasidagi gorizontal masofa panel deb ataladi.

Стерженем лежащих в верхнем и в нижнем поясах называется – поясами фермы, лежащие в середине стержени фермы составляет решетки фермы. Вертикальные стержени решетка называется стойками, наклонные стержени раскосамы.

Статик аниқ yasssi fermalarni hisoblash deganda – har bir sterjendagi zo'riqishlarni aniqlash tushuniladi. Zo'riqishlarni aniqlashning analitik, grafik va ta'sir chiziqlari usuli mavjud.

Когда говорят расчет фермы на прочность – понимается определения усилия во всех стерженах фермы. Определения усилия в фермах осуществляется аналитическими, графическими и способом линий влияния.

Fermalarni hisoblashning analitik usulning o'zi bir–birini to'ldiruvchi uchta – moment nuqtasi (Ritter), proektsiyalash va tugunlarni kesib ajratish usuliga bo'linadi.

Расчет фермы аналитическим способом, подразделяется на три взаимно заполняющих три способа – способом моментной точки, способом проекции и вырезания узлов.

Fermalarning hisobi – uning tayanch reaksiyalarini aniqlashdan boshlanadi. Ferma tayanch reaksiyalari ham xuddi oddiy balka tayanch reaksiyalari kabi topiladi.

Расчет фермы – начинается с определения опорных реакции фермы. Опорные реакции фермы определяется как в простом балке.

burovchi moment – sterjen biror kesimining bir tomonida qolgan tashqi momentlar algebraik yig'indisi shu kesimdagiga aytiladi.

Способ моментной точки – является сумма моментов взятых от всех сил лежащих в одну стороны от сечения относительно моментной точки.

Fermalarga doimiy yuklardan tashqari qo'zg'aluvchi yuklar ham ta'sir qiladi – Bunday yuklar ta'sirida sterjenlardagi zo'riqishlarning qiymati o'zgarib boradi. Zo'riqishlarning qanday o'zgarishini bilish uchun ta'sir chiziqlari deb ataluvchi grafik chiziladi.

Ферме рассчитывается – на действия постоянных сил и на подвижную нагрузку. При действия подвижных нагрузок усилия в стержнях фермы изменяется, чтобы определить их строится линия влияния

Ta'sir chiziqalrining tenglamalari – analitik usuldagi singari moment nuqtasi, proeksiyalash va tugunlarni kesib olish usullarida tuziladi.

Уравнения линия влияния – составляется способом моментной точки, способом проекции и вырезания узлов.

sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch – bunday tayanchlar balka uchining gorizontal ko'chishiga va balka ko'ndalang kesimining aylanishiga qarshi-lik ko'rsatmaydi. Bu xildagi tayanchlarda faqat tayanch tekisligiga tik yo'nalgan bittagina vertikal R_A reaksiya kuchi hosil bo'ladi;

Шарнирно подвижная опора – такие опоры допускает

горизонтального перемещения конца балки и вращению поперечного сечения. В таких опорах возникает единственная вертикальная реакции R_A , перпендикулярная на опорный плоскость.

qo'zg'almas sharnirli tayanch – bunday tayanchlar balka uchining hech qanday chiziqli ko'chishiga yo'l qo'ymaydi, faqat balkaning tiralgan nuqtasiga xos kesimning aylanishigagina imkon beradi. Bu xildagi tayanch reaksiyalarni hamma vaqt vertikal R_A va gorizontal H_A tuzuvchilarga ajratish mumkin;

Неподвижная шарнирная опора – такие опоры не допускает вертикального и горизонтального перемещения конца балки, по этому в них возникает две реакций вертикальной R_A и горизонтального H_A .

qistirib mahkamlangan tayanch – bu xildagi tayanchlar tayanch nuqtasiga xos kesimning chiziqli va burchakli ko'chishlariga yo'l qo'ymaydi. Bunday tayanchlarda umuman vertikal R_A va gorizontal H_A tuzuvchilarga ajraluvchi reaksiya bilan reaktiv moment M_A (moment reaksiyasi) hosil bo'ladi;

Защемленный конец – такие опоры не допускает перемещения конца балки и вращают, по этому в них возникает горизонтальная реакция H_A и вертикальная R_A а также реактивный момент M_A .

prolyot – balkalarning tayanch oralig'iga aytiladi.

Пролетом – называется междоопорная пролетания.

Uch sharnirli sistemalar – Uchta diskni uch sharnir orqali biriktirish tufayli hosil bo'lgan sistemaga uch sharnirli sistema deb ataladi.

Трехшарнирной – называется если три диска сойдинен с помощью трех шарниров.

Agar I va II disklar egri chiziqli sterjenlardan iborat bo'lsa – bunday sistema uch sharnirli arka deb ataladi.

Если I и II диск является криволинейном стерженом – тогда такая система называется трехшарнирной аркой.

Agar I va II disk siniq to‘g‘ri chiziqli sterjenlardan tashkil topgan bo‘lsa – uch sharnirli rama deb ataladi.

Если I и II диск является ломанными стерженами – тогда такие системы называется трехшарнирной рамой.

Agar I va II disklar fermadan iborat bo‘lsa – u holda sistema uch sharnirli arkasimon ferma deb ataladi.

Если I и II диск является фермами – тогда такие системы называется трехшарнирной фермаподобной аркой.

Uch sharnirli sistema tayanchlarida vujudga keladigan gorizontal bosim – unga qarshi reaksiya kerki (raspor) nomi bilan yuritiladi, sistemaning o‘zi esa kerkili sistema deb ataladi. Arkalar kerki kuchining mavjudligi bilan balkalardan farq qiladi.

Возникающие горизонтальные реакции в трехшарнирной системы называется – распорной реакцией а сам система называется распорной системой. Арки существованием распора отличается от балки.

Arkaning gumbazdan farqi shundaki – arkaning ko‘ndalang kesimi ancha kichik bo‘ladi, shuning uchun ham u sterjenli sistemalar guruhiga kiradi. Gumbaz esa qobiqlar guruhiga qo‘shiladi.

Разница арки от сферического купола – является то что у арки поперечная сечения значительно меньше чем у купола, по этому арки относятся к кривым стерженом. Сферические купали относится к оболочкам.

Qurilishda – uch sharnirli, ikki sharnirli va sharnirsiz arkalar qo‘llaniladi.

В строительстве – используется трехшарнырные, двухшарнирные и безшарнирные арки.

Arkalarda kerishish kuchining mavjudligi sababli – ularning tayanchlari sharnirli yoki sharnirsiz qo‘zg‘almas tayanch ko‘rinishida ishlatiladi.

В арках при наличии распорных реакций – используется они как шарнирным, безшарнирным и защемленным виде.

Tayanchlardan biri sharnirli qo‘zg‘aluvchan bo‘lsa – u arka emas, egri o‘qli arka deb ataladi.

Если в арках один шарнир является шарнирно – подвижных то говорят, что она относятся к криволинейному стержню.

Binokorlikda ba‘zan uch sharnirli arkalarining tortqichli xili ham uchrab turadi – Tortqichlar sharoitiga qarab tayanlardan yuqoriroq o‘rnatilishi mumkin. Uch sharnirli hamda tortqichli arkalar va ramalar statik aniq, ikki sharnirli va sharnirsiz arkalar statik noaniq sistemalarga kiradi.

В строительстве иногда использует раскосные трехшарнирные арки – раскосы с учетом работы арки может быть расположения вязке опоры.

Arkalarining asosiy belgilari – prolyot uzunligi l va arka balandligi f dir. O‘rtadagi C sharniriga qulf sharnir deb ataladi.

Основные определяющие в арках- является длина пролета l и высота арки f .

Mundarija

KIRISH.....	3
I BOB. STERJENLI SISTEMALARDA ICHKI KUCH	
FAKTORLARINING EPYURALARI VA TA'SIR CHIZIQLARI.....	5
1.1. 1-HGI. Bir oraliqli balkalarni hisoblash.....	5
1.2. 2-HGI. Ko‘p oraliqli balkalarni hisoblash.....	12
1.3. 3-HGI. Yassi ramalarni hisoblash.....	20
1.4. 4-HGI. Statik aniq fermalarni hisoblash.....	28
1.5. 5-HGI. Arkasimon sistemalarni hisoblash.....	35
II BOB. STERJENLI SISTEMALARDA KO‘CHISH.....	37
2.1. 6-HGI. Yuklamadan ko‘chishni hisoblash.....	37
2.2. 7-HGI. Haroratning o‘zgarishi natijasida ko‘chishlarni hisoblash.....	44
2.3. 8-HGI. Kinematik harakatlardan ko‘chishni hisoblash.....	50
III BOB. QURILISH MEXANIKASINING ASOSIY TEOREMALARI.....	55
3.1. Haqiqiy va mumkin bo‘lgan ish tushunchasi.....	55
3.2. Ishlarning o‘zaro bog‘liqlik teoremasi (Betti teoremasi).....	56
3.3. O‘zaro ko‘chishlarning bir-biriga bog‘liqligi haqidagi teorema (Maksvell teoremasi).....	58
3.4. Solishtirma reaksiyalarning o‘zaro bog‘liqligi teoremasi (birinchi Releya teoremasi).....	59
3.5. Solishtirma reaksiyalar va solishtirma ko‘chishishlarning o‘zaro bog‘liqlik teoremasi (ikkinchi Releya teoremasi).....	59
IV BOB. STATIK NOANIQ SISTEMALARNI KUCH USULIDA	
HISOBLASH.....	61
4.1. Statik noaniqlik darajasini aniqlash.....	61
4.2. Kuchlar usulining asosiy sistemasi.....	63
4.3. Kuch usulining kanonik tenglamalari.....	65
4.4. Berilgan sistemadagi zo‘riqishlar epyuralarini qurish.....	68
4.5. Statik noaniq ramalarni kuch usuli bilan hisoblash misollar.....	71

4.6. 9 –Hisob-grafik ish uchun vazifa "Yagona statik noaniq ramani kuch usuli bilan hisoblash".....	90
---	----

V BOB. KO‘CHISH USULIDA STATIK NOANIQ RAMALARNI

HISOBLASH.....	93
-----------------------	-----------

5.1. Ko‘chish usulining asosiy sistemasini tanlash.....	93
5.2. Ko‘chish usulining asosiy sistemalarini tanlashga misollar.....	94
5.3. Asosiy sistemaning kuchlanishdan deformatsiyalangan holati.....	95
5.4. Ko‘chish usulining kanonik tenglamalari.....	99
5.5. Erkin a‘zolari kanonik tenglamalarni va koeffitsientlarni aniqlash.....	101
5.6. Noma’lum ko‘chishlarni aniqlash.....	101
5.7. Berilgan rama uchun eguvchi moment epyuralarini tashqi yuklar hisobiga qurish.....	101
5.8. Ramani hisoblashga doir misollar.....	102

VI BOB. STERJENLI SISTEMALARNI CHEKLI ELEMENTLAR USULIDA HISOBLASH.....

6.1. Sterjenli chekli elementning bikirlik matritsasi.....	107
6.2. Sterjenli sistemasining bikirlik matritsasi.....	119
6.3. Chekli element usulida sterjenli sistemalarni hisoblashga oid.misollar	122
6.4.10–HGI. Uzluksiz balkalarning hisobi.....	126
6.5.11–HGI. Statik noaniq fermalarni hisoblash.....	131
Test savollari.....	138
Glossariy.....	169
Adabiyotlar ro‘yxati.....	187

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА I. ЭПЮРЫ И ЛИНИИ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННИХ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ В СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ.....	5
1.1. РГР-1.Расчет однопролетных балок	5
1.2. РГР-2.Расчет многопролетных балок	12
1.3. РГР-3.Расчет плоских рам	20
1.4. РГР-4.Расчет балочных ферм	28
1.5. РГР-5.Расчет распорных и комбинированных систем	35
ГЛАВА II. ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ	37
2.1. РГР-6. Расчет перемещений от нагрузки	37
2.2. РГР-7. Расчет перемещений от изменения температуры	44
2.3. РГР-8. Расчет перемещений от кинематического воздействия	50
ГЛАВА III. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ	55
3.1. Понятие о действительной и возможной работе.....	55
3.2. Теорема о взаимности возможных работ (теорема Бетти).....	56
3.3. Теорема о взаимности удельных перемещений(теорема Максвелла)....	58
3.4. Теорема о взаимности удельных реакций (Первая теорема Рэлея)....	59
3.5. Теорема о взаимности удельных реакций и удельных перемещений (вторая теорема Рэлея).....	59
ГЛАВА IV. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ СИЛ.....	61
4.1. Определение степени статической неопределимости.....	61
4.2. Основная система метода сил.....	63
4.3. Канонические уравнения метода сил.....	65
4.4. Построение эпюр усилий в заданной системе	68
4.5. Примеры расчета статически неопределимых рам методом сил.....	71

4.6. РГР-9. Задание для выполнения расчетно-графической работы «Расчет плоской статически неопределимой рамы методом сил от нагрузки»	90
ГЛАВА V. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ РАМ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ	93
5.1. Выбор основной системы метода перемещений	93
5.2. Примеры выбора основных систем по методу перемещений.....	94
5.3. Напряженно деформированное состояние основной системы	95
5.4. Определение коэффициентов и свободных членов канонических уравнений.....	99
5.5. Канонические уравнения по методу перемещений.....	101
5.6. Определение неизвестных перемещений	101
5.7. Построение эпюры изгибающих моментов в заданной раме от заданной нагрузки.....	101
5.8. Примеры расчета рам.....	102
VI. РАСЧЕТ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	105
6.1. Матрица жесткости стержневого конечного элемента.....	107
6.2. Матрица жесткости стержневой системы.....	119
6.3. Примеры расчета стержневых систем методом конечных элементов....	122
6.4. РГР -10. Примеры расчета стержневых систем методом конечных элементов.....	131
6.5.РГР - 11. Расчёт статически неопределенных ферм.....	138
Тесты.....	169
Глоссарий.....	174
Список литературы.....	187

Adabiyotlar ro'yxati

1. Mirziyoev SH.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz T., "O'zbekiston", 2016y, 486 bet E.
2. Odilxo'jaev va boshqalar «Qurilish mexanikasi» 1972 yil.
3. E. Odilxo'jaev va boshqalar «Qurilish mexanikasidan misol va masalalar» 1972 yil.
4. Q.S. Abdurashidov va boshqalar «Qurilish mexanikasi» T.: «O'zbekiston», 1999 yil.
5. X.SH. To'raev va boshqalar «Qurilish mexanikasi» (Nazariy asoslari va amaliy masalalar) Moliya – 2000
6. Kiselev V.A. Qurilish mexanika [Matn] / V.A. Kiselev. - M.: Stroyizdat, 1986. - 520 b.
7. Qurilish mexanika [Matn] / A.F. Smirsterjen, A.V. Aleksandrov, B.Ya. Laschennikov, N.N. Shaposhnikov. - M.: Stroyizdat, 1981. - 511 b.
8. Darkov, A.V. Qurilish mexanikasi [Matn] / A.V. Darkov, N.N. Shaposhnikov.M.: Oliy maktab, 1986. - 607 b.
9. Qurilish mexanika kursi bo'yicha amaliy mashg'ulotlar uchun qo'llanma [Matn] /Ed. G.K. Klein. - M.: Oliy maktab, 1973. - 360 b.
10. Misollar va vazifalardagi qurilish mexanika [Matn] / Ed. V.A. Kiseleva.M. Stroyizdat, 1968. - 386 b.
11. Leontiev, N.N. Sterjenli sistemalarining sistemali mexanikasi TEOREMALARI [Matn] / N.N. Leontiev, D.N. Sobolev, A.A. Amosov. - M.: ИВ nashriyot uyi, 1996 .-- 542 b.
12. А.П. Мельчаков, И.С. Никольский СБОРНИК ЗАДАЧ ПО СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ. 2004 г.
13. Б.Б. Лампси, В.П. Гуцин, Н.В. Стопкин, Н.Ю. Трянина, В.И. Пашкевич СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА Часть II. Статически неопределимые системы. 2005 г.

Internet saytlar

1. www.uzsci.net
2. www.ziyonet.uz
3. <http://www.mysopramat.ru>
4. http://www.stroy_meh.ru
5. www.moodle.taqi.uz