

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA’LIM VAZIRLIGI
TOSHKENT ARXITEKTURA QURILISH INSTITUTI

“QURILISH MEXANIKASI VA INSHOOTLAR
ZILZILABARDOSHLIGI” kafedrası

B.A.HOBILOV, M.Q.NAZAROVA, Z.S.UMAROVA

“Qurilish mexanikasi” fanidan
“QURILISH MEXANIKASIDAN MISOL VA
MASALALAR”

o‘quv qo‘llanma, 1-qism

Toshkent 2016

UDK:69.04

Mualliflar: B.A.Hobilov, M.Q.Nazarova, Z.S.Umarova

“Qurilish mexanikasidan misol va masalalar” o‘quv qo‘llanma,
1-qism.

“Qurilish mexanikasidan misol va masalalar” nomli o‘quv qo‘llanmada misol va masalalar yechimi batafsil bayon etilgan.

Qo‘llanmada qurilish mexanikasidan andozaviy misollar berilgan, ularning yechimi eng zamonaviy uslublarga asoslangan, konstruksiyalarning ishlash holati tahlil etilgan.

Mazkur o‘quv qo‘llanma 5340200- bino va inshootlar qurilishi (turlari bo‘yicha) yo‘nalishi bo‘yicha va qurilish yo‘nalishidagi oliy ta‘lim muassasalarida ta‘lim olayotgan talabalarga mo‘ljallangan. Shuningdek, loyiha tashkilotlari, muhandislar ham foydalanishlari mumkin.

Taqrizchilar: f.m.f.n., dotsent E.V.Rojkova – ToshTYMI «Qurilish
mexanikasi» kafedra mudiri.

Q.S.Abdurashidov – TAQI “Qurilish mexanikasi va
inshootlar zilzilabardoshligi” kafedra professori.

*O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligining
2015 yil, 2-fevraldagi 32-sonli buyrug‘iga asosan o‘quv qo‘llanma sifatida nashr
etishga ruxsat berildi (gr.№ 32-137).*

© TAQI-2016

MUNDARIJA

Soʻz boshi.....	4
I –BOB. Inshootlarning kinematik tahlili	5
1.1. Inshootlar va ularni hisoblash sxemalari.....	5
1.2. Tayanchlar va yuklar.....	6
1.3. Sterjenli sistemalarning geometrik oʻzgarmaslik shartlari	8
1.4. Sterjenli sistemalarning erkinlik darajalari	11
1.5. Kuchlar taʼsirining mustaqilligi qoidasi.....	13
II – BOB. Taʼsir chiziqlari nazariyasi.....	14
2.1. Taʼsir chiziqlari haqida tushuncha	14
2.2. Oddiy balkalarda zoʻriqlashning taʼsir chiziqlari	16
2.3. Zoʻriqlashlar qiymatini taʼsir chiziqlari yordamida aniqlash.	21
2.4. Yuk tugunlar orqali uzatilganda taʼsir chiziqlarini qurish.....	24
III– BOB. Koʻp oraliqli statik aniq balkalarni hisoblash.....	27
3.1. Umumiy maʼlumotlar.....	27
3.2. Koʻp oraliqli statik aniq, sharnirli balkalarni analitik usulda hisoblash...	31
IV – BOB. Statik aniq fermalar	44
4.1. Umumiy maʼlumotlar.....	44
4.2. Fermalarni qoʻzgʻalmas kuchlar taʼsiriga hisoblashning analitik usuli.....	44
4.3. Ferma sterjenlaridagi zoʻriqlashlarning taʼsir chiziqlari	51
4.4. Shprengelli fermalar.....	58
V- BOB. Uch sharnirli arkalar va ramalar	70
5.1. Uch sharnirli sistemalar.....	70
5.2. Uch sharnirli arkalarining tayanch reaksiyalarini aniqlash.....	71
5.3. Uch sharnirli arkalarni analitik usulda hisoblash.....	72
5.4. Uch sharnirli arkalarni qoʻzgʻaluvchi yuk taʼsiriga hisoblash.....	74
5.5. Uch sharnirli tortqichli arka va ramalarni hisoblash.....	79
5.6. Uch sharnirli arkasimon fermalarni hisoblash	80
VI-BOB. Statik aniq ramalarni hisoblash	98
6.1. Umumiy maʼlumotlar.....	98
6.2. Eguvchi moment, koʻndalang va boʻylama kuch epyuralarini qurish.....	98
VII – BOB. Statik aniq sistemalarda koʻchishlarni aniqlash.....	118
7.1. Umumiy maʼlumotlar.....	118
7.2. Koʻchishlarni Mor formulasi yordamida aniqlash.....	118
7.3. Koʻchishlarni Vereshchagin usulida aniqlash.....	126
7.4. Koʻchishlarni Cimpson usulida aniqlash	141
Adabiyotlar roʻyxati.....	147

SO‘Z BOSH I

Jonajon Vatanimiz mustaqillikka erishgandan so‘ng butun mamlakatimiz qurilish maydoniga aylandi, desak mubolag‘a bo‘lmaydi. Respublikamizda qurilish montaj ishlari olib borilmayotgan birorta shahar yoki qishloqni topolmaysiz. Ayniqsa, keyingi yillarda qishloq hududlarida zamonaviy turar joy binolari qurilishiga katta ahamiyat berilmoqda.

Hozirgi zamon bino va inshootlari oldindan tayyorlangan loyihalar asosida bunyod etilishi hech kimga sir emas. Loyihada bino va inshootlarning umumiy o‘lchamlari bilan bir qatorda har bir alohida elementning o‘lchamlari ham to‘liq ko‘rsatiladi.

Konstruksiya elementlarining uzunliklari hamda ko‘ndalang kesim o‘lchamlari elementlarga ta’sir etuvchi kuchlar va elementning materialiga bog‘liq holda hisoblash yo‘li bilan aniqlanadi. Hisoblash usullari esa qurilish mexanikasi va materiallar qarshiligi fanlarida bayon etiladi.

Qurilish mexanikasi fanining asosiy vazifalaridan biri tashqi kuchlar (yuklar) ta’sirida konstruksiya elementlarida hosil bo‘ladigan ichki kuchlarni (zo‘riqishlarni) aniqlashdan iboratdir. Zo‘riqish nimaligini to‘liqroq tasavvur etish uchun oddiy bir misol keltiramiz. Ikki qo‘lingizda suv to‘ldirilgan ikki chelakni ko‘tarib turibsiz, deylik. Dastlabki daqiqalarda qo‘lingiz toliqish yoki og‘riqni xis etmaydi. Biroq vaqt o‘tgan sayin qo‘lingizda og‘riqqa o‘xshash engil toliqish paydo bo‘ladi va u borgan sari ko‘chayib boradi. Ana shu og‘riqqa o‘xshash toliqish mexanika tilida zo‘riqish yoki ichki kuch deb ataladi. Konstruksiya elementlariga qo‘yilgan tashqi kuchlarning (masalan, chelakdagi suv) miqdori ma’lum bo‘lsa, elementlarda hosil bo‘ladigan zo‘riqishlarni aniqlash qiyin emas. Konstruksiya elementlarining ko‘ndalang kesim o‘lchamlari aniqlangan zo‘riqishlarning miqdoriga qarab belgilanadi.

Tashqi kuchlar ta’sirida inshoot va uning elementlarida hosil bo‘ladigan solqilik, ko‘chish va tebranish amplitudalarini aniqlash kabi masalalar ham qurilish mexanikasi fani doirasidagi masalalardan hisoblanadi.

Hozirgi kunda qurilish mexanikasi fani binokorlik va muhandislik amaliyotida har taraflama sinovdan o‘tgan ko‘plab hisoblash usullariga ega. Bu usullar sodda va mukammal bo‘lib, shu bilan birga ishonchlidir. Biroq bundan qurilish mexanikasi o‘z vazifalarini to‘liq bajarib bo‘ldi, degan ma’no chiqmaydi, albatta. Qurilish mexanikasi ham boshqa fanlar singari o‘sib borayotgan qurilish sanoatining talablariga mos ravishda muttasil rivojlanib, takomillashib bormoqda.

Mazkur o‘quv qo‘llanma 1999 yilda Q.S.Abdurashidov, B.A.Hobilov, N.J.To‘ychiyev va A.G.Rahimboyevlar tomonidan chop etilgan qurilish mexanikasi darsligiga ilova tariqasida yozilgan bo‘lib, bunda darslikdagi nazariy tavsilotlariga doir misol va masalalar berilgan, aniqrog‘i, misol va masalalarni yechish tartibi bayon etilgan.

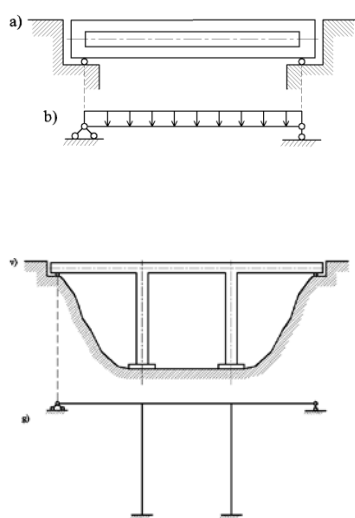
I BOB. INSHOOTLARNING KINEMATIK TAHLILI

1.1. Inshootlar va ularni hisoblash sxemalari

Muhandislik inshootlari odatda sterjen, balka, plastina, qobiq va xajmiy jismlar singari turli konstruktiv elementlarni tegishli ravishda o'zaro biriktirish yo'li bilan hosil qilinadi. Demak, yaxlit inshoot alohida elementlardan tashkil topgan murakkab sistema hisoblanadi.

Inshootlarni hisoblaganda, ayrim elementlarning o'lcham va shakllarini, ular orasidagi bog'lanishni aniq hisobga olish nazariy jihatdan yo imkoni yo'k, yo o'ta murakkab ishdir. Shuning uchun qurilish mexanikasida boshqa fanlardagi singari ilmiy abstraksiya usulidan foydalanib, mavjud inshoot hisoblash sxemasi bilan almashtiriladi.

H i s o b l a s h s x e m a s i — inshootning soddalashtirilgan tasviri bo'lib, unda yuk ta'siridagi inshootning asosiy ko'rsatkichlari mujassamlashgan bo'ladi. Hisoblash sxemalarida sterjenlar — o'qlar bilan, plastinalar — o'rta sirtlar bilan, ko'ndalang kesimlar — yuza va inersiya momentlarining son qiymatlari bilan, real tayanchlar ideal tayanchlar bilan almashtiriladi; yuklar o'qlarga qo'yilgan deb faraz etiladi va h.k. Inshootlar hisobi ana shunday hisoblash sxemalari orqali amalga oshiriladi.



1.1-rasm.

1.1.- rasmda bir oraliqli ko'priq (a) hamda balka deb ataluvchi uning hisoblash sxemasi (b) tasvirlangan. 1.1 v - rasmda uch oraliqli ko'priq hamda rama deb ataluvchi uning hisoblash sxemasi (g) berilgan. Yo'l qoplamasining vazni hamda ko'priknng xususiy og'irligi balkaga tekis yoyiq kuch sifatida ta'sir etadi. Balkada tashqi kuchlar va harorat ta'sirida bo'ylama kuchlar hosil bo'lmasligi uchun uning tayanchlaridan biri qo'zg'aluvchan, ikkinchisi qo'zg'almas qilib ishlanadi.

Inshootning hisoblash sxemasini tanlash murakkab, ayni paytda, muhim masalalardan biridir. Hisobning sifati, ya'ni uning aniqligi ko'p jihatdan, hisoblash sxemasini qanday tanlanishiga bog'liq.

Agar hisoblash sxemasi noto'g'ri tanlansa, u o'ta aniq usullar bilan hisoblangan takdirda ham to'g'ri natija bermaydi.

Ma'lumki, sterjen va plastinalar inshootning asosiy elementlari hisoblanadi. Ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunlikka nisbatan ancha kichik bo'lgan element **sterjen** deb ataladi. Bir o'lchami (qalinligi) qolgan ikki o'lchami (uzunligi va eni)ga nisbatan ancha kichik bo'lsa, **plastina** deb ataladi. Egri o'qli plastina **qobiq** (obolochka) deb ataladi. Bulardan tashqari hisoblash sxemalari ichida **xajmiy jismlar** deb ataluvchi elementlar ham uchraydi. Bunday elementlarning uch o'lchami bir-biriga yaqin bo'ladi. Bunga poydevor bloklari, tirgak devorlar misol bo'la oladi.

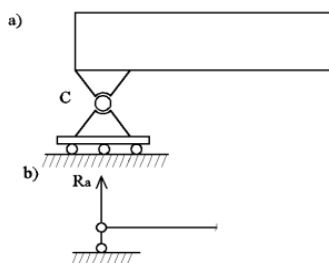
Alohida elementlarning joylashuv tartibiga qarab inshootlar yassi va fazovoy sistemalariga bo'linadi. Barcha sterjenlarning o'qlari bir tekislikda joylashgan bo'lsa, bunday inshoot **yassi sistema** deb ataladi. Aks holda sistema fazoviy bo'ladi. Yassi inshootlar mustaqil ko'rinishda kamdan-kam uchraydi. Ko'pincha ular hisobni soddalashtirish maqsadida fazoviy sistemalardan ajratib olinadi. Yassi sistemani fazoviy sistemadan ajratib olinishi hisob aniqligini pasaytiradi. Biroq muhandislik amaliyotida ba'zan shunday qilishga to'g'ri keladi.

1.2. Tayanchlar va yuklar

Inshootning poydevor yoki zamin bilan birikkan qismi **tayan ch** deb ataladi. Tayanchlar uch xil bo'ladi: sharnirli qo'zg'aluvchi tayanch, sharnirli qo'zg'almas tayanch, sharnirsiz qo'zg'almas tayanch.

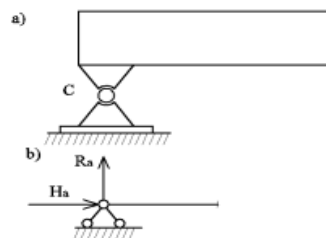
1.2- rasmda sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchning konstruksiyasi (a) va uning sodda tasviri (b) berilgan; bunda sterjen sharnir (s) atrofida aylana oladi, gorizontaal yo'nalishda qo'zg'ala oladi; birgina vertikal reaksiya vujudga keladi.

1.3- rasmda sharnirli qo'zg'almas tayanchning konstruksiyasi (a) va sodda tasviri (b) berilgan; bu yerda sterjen sharnir (s) atrofida aylana oladi, biroq gorizontaal yo'nalishda qo'zg'almasdir. Bunday tayanchda ham gorizontaal, ham vertikal reaksiyalar vujudga keladi.



a)

1.2- r a s m.



b)

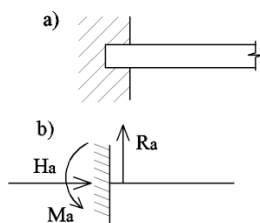
1.3- r a s m.

1.4- rasmda sharnirsiz qo'zg'almas qistirma tayanchning konstruksiyasi (a) va sodda tasviri (b) berilgan bo'lib, bunda sterjen uchi tayanchga mustahkam biriktirilgan; sterjen gorizontal yo'nalishda qo'zg'alish yoki tayanch kesimi atrofida aylanish imkoniga ega emas. Bunday tayanchda uchta reaksiya (R_a , N_a , M_a) vujudga keladi.

Inshootga ta'sir etadigan tashqi kuchlar **yu k l a r** deb ataladi. Yuklar ta'sir etish muddati, ta'sir etish usuli, vazifasi va boshqa belgilarga qarab bir necha turga bo'linadi:

Yuklar inshootga qo'yilish vaqti (muddatiga) qarab statik va dinamik yuklarga bo'linadi. **S t a t i k** yuklar inshootga zarbsiz asta-sekin qo'yiladi; yukning qiymati noldan boshlab ohirgi qiymatiga qadar bir tekisda ortib boradi. **D i n a m i k** yuklar inshootga birdaniga qo'yiladi, yoki vaqt o'tishi bilan qiymat va yo'nalishini o'zgartirib turadi.

Qo'yilish usuliga ko'ra taralgan (to'plangan) yuklar bo'ladi.



1.4- rasm.

Yoyiq yuk inshoot sirti yoki uzunligi bo'ylab yoyilgan bo'ladi. Uzunlik bo'ylab yoyilgan yuk intensivlik bilan o'lchanadi. Intensivlik deganda uzunlik birligiga to'g'ri keladigan yuk miqdori tushuniladi va u kN/m^2 bilan o'lchanadi. Agar yuk sirt bo'ylab yoyilgan bo'lsa, kN/m bilan o'lchanadi.

Y i g' m a yu k deganda bir nuqtaga to'plangan kuch tushuniladi. Aslida bunday yuklar real holda kamdan-kam uchraydi. Hisob ishlarini soddalashtirish uchun ko'pincha yoyiq yuklar yig'iq kuch holiga keltirib olinadi, ya'ni ma'lum bir nuqtaga to'planadi. Hozirda amalda bo'lgan xalqaro o'lcham birliklari tizimi (SI) bo'yicha kuchning o'lcham birligi nyuton (N)dir. Eslatib o'tamiz: $1 \text{ kgk} \approx 9,81 \text{ N}$.

Vazifasiga ko'ra yuklar doimiy, muvaqqat va qo'zg'aluvchan bo'ladi. Inshootga doim ta'sir etib turuvchi yuk (masalan, hususiy og'irlik) doimiy yuk hisoblanadi. Muvaqqat yuk inshootga ma'lum davrlarda ta'sir etadi (masalan, shamol va qor ta'siri, turli uskuna va jihozlar va h. k.). Qo'zg'aluvchan yuklarga transport vositalari misol bo'la oladi.

1.3. Sterjenli sistemalarning geometrik o'zgaraslik shartlari

Qurilish konstruksiyalarining aksariyati hisoblash chizmalarida sterjenlardan tashkil topadi (balka, ferma, rama va h. k). Alohida sterjenlarning tugunlarda o'zaro biriktirish yo'li bilan hosil qilingan qurilmalar **sterjenli sistema lar** deb ataladi.

Har qanday inshoot, ya'ni sterjenli sistema geometrik o'zgaras bo'lishi lozim. Buning ma'nosi shuki, har qanday bino va inshoot bunyod etilgandan keyin o'zining dastlabki geometrik shaklini hech og'ishmay saqlab turishi kerak. Binokorlikda geometrik o'zgaruvchan sistemalar qo'llanilmaydi, chunki bunday sistemalar deformatsiyalanmagan holda o'z shaklini keskin o'zgartiradi. Geometrik o'zgaras sistemalar esa o'z shaklini sterjenlarning deformatsiyalanishi evaziga o'zgartiradi.



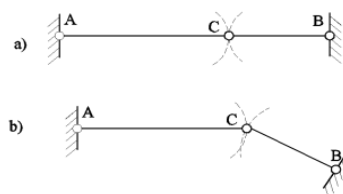
1.5- rasm.

1.5- rasmda uchburchakli (a) va to'rtburchakli (b) ikkita sterjenli sistema tasvirlangan bo'lib, ulardan biri geometrik o'zgaras, ikkinchisi o'zgaruvchandir.

Uchburchakli sistemaning shakli sterjenlar deformatsiya bergandagina o'zgaradi, aks holda o'zgarishsiz turaveradi. Shuning uchun u geometrik o'zgaras sistema sanaladi. To'rtburchakli sistema esa o'z shaklini osongina o'zgartiradi, bunda sterjenlar dastlabki uzunligini saqlab qoladi, ya'ni deformatsiyalanmaydi. Demak, bu geometrik o'zgaruvchan sistemadir.

Xulosa qilib aytganda, o'zining geometrik shaklini alohida sterjenlarning deformatsiyalanishi hisobiga o'zgartiradigan sistemalar **geometrik o'zgaras** sistemalar deb ataladi.

Uchburchak sistema eng oddiy geometrik o'zgaras sistema hisoblanadi. Xo'sh, murakkab shaklga ega bo'lgan, geometrik o'zgaras sistemalar qanday hosil qilinadi?, degan savol tug'iladi. Bu savolga javob berishga urinib ko'ramiz. Buning uchun avval **oni o'zgaruvchan** sistema bilan tanishib chiqamiz.



1.6- rasm.

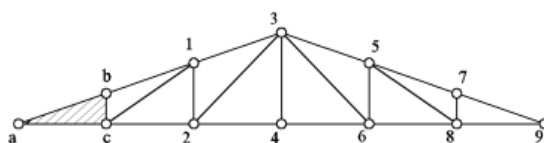
Bir o'q ustida yotuvchi ikki sterjen va uch sharnirdan tashkil topgan sistema bilan tanishib chiqaylik (1.6 a - rasm).

Agar ikki sterjenni bir-biriga ulovchi sharnir S ni yo'q deb faraz qilsak, AS va VS sterjenlari shaklda ko'rsatilgan yo'ylar bo'yicha harakatlanishi mumkin. Bunda har ikkala yoy S nuqtasida umumiy urinmaga ega bo'ladi. Binobarin, sterjenlardan biriga tegishli bo'lgan S nuqtasi juda qisqa masofaga ko'chsa, ikkinchi sterjen bunga qarshilik ko'rsata olmaydi. Demak, bu sistema geometrik o'zgaruvchan ekan, chunki sistemaning shakl o'zgarishi sterjenlarning deformatsiyasiz amalga oshayapti. Biroq bu sistemaning geometrik o'zgaruvchanligi bir onlikdir, chunki S nuqtasi juda qisqa masofaga ko'cha oladi. S nuqtasining ko'chishini kattalashtirish uchun, ya'ni ikki sterjenli sistemaning shakl o'zgartirishini yanada davom ettirish uchun sterjenlarni deformatsiyalanishga majbur etish lozim bo'ladi. O'z shaklini bu yo'sinda o'zgartiradigan sistema geometrik o'zgarmas bo'ladi. Shuning uchun ham bir o'q ustida yotuvchi ikki sterjen va uch sharnirdan tashkil topgan sistemalar oniy o'zgaruvchan sistemalar deb ataladi.

Agar ikki sterjen va uch sharnir bir o'q ustida yotmasa, u holda yo'ylar umumiy urinmaga ega bo'lmaydi (1.6 b - rasm). S nuqtasi bu sistemada kichik bir masofaga ko'chishi uchun sterjenlar deformatsiyalanishi lozim bo'ladi. Bunday sistemaning geometrik o'zgarmas bo'lishini yuqorida ko'rib o'tdik.

Demak, geometrik o'zgarmas sistema hosil qilish uchun yangi qo'shiladigan tugun va uni dastlabki sistema bilan bog'lovchi ikki sterjen bir o'q ustida yotmasligi lozim ekan. Geometrik o'zgarmas sistema hosil qilishning asosiy qoidasi ana shundan iborat.

SHu qoida asosida geometrik o'zgarmas sterjenli sistema ferma hosil qilish tartibini ko'rib chiqaylik (1.7- rasm).



1.7- rasm.

Dastlabki geometrik o'zgarmas sistema, ya'ni asos sifatida *abc* uchburchagini qabul qilamiz. Bu uchburchakka ikki sterjen orqali yangi tugunlarni qo'shib boramiz. Tugunlarni qo'shish tartibi chizmada raqamlar bilan ko'rsatilgan. E'tibor bering: har bir yangi tugun va ikki sterjen bir o'q ustida yotmaydi. SHu tartibda hosil qilingan ferma geometrik o'zgarmas bo'ladi.

Tekshirish uchun tugunlarni va ularga tutashgan ikki sterjenni teskari tartibda birin-ketin tashlab yuboramiz. Agar tashlashlar oxirida uchburchakli sistema qolsa, u holda berilgan sistema geometrik o'zgarmas bo'ladi. Bizning misolda aynan shunday: tugunlarni 9-tugundan boshlab birin-ketin tashlab yuborsak, oxirida *abs* uchburchagi qoladi. Demak yaxlit ferma geometrik o'zgarmas sistema ekan.

Endi sterjenli sistemalarning geometrik o'zgarmaslik shartlarini formula orqali ifoda etishga urinib ko'ramiz.

Geometrik o'zgarmas oddiy ferma sterjenlari sonini S , tugunlari sonini K deb belgilasak, sterjenlar soni bilan tugunlar soni orasidagi bog'lanishni quyidagi tartibda ifodalasa bo'ladi: asosiy uchburchak uchta tugun va uchta sterjenga ega: bunga kelib qo'shiluvchi har bir yangi tugun son jihatdan $(K-3)$ ga teng bo'lib, har bir tugunga ikkitadan sterjen tutashgan bo'ladi. Natijada ferma sterjenlarining umumiy soni quyidagicha bo'ladi:

$$S=3+2(K-3)$$

$$\text{Yoki} \quad S=2K-3. \quad (1.1)$$

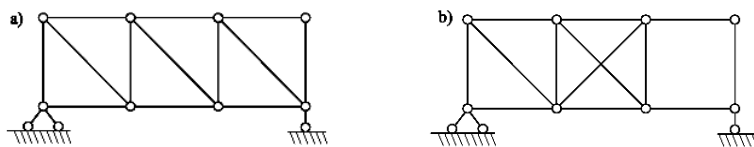
Bu yerda quyidagi uch hol uchrashi mumkin:

1) $S < 2K-3$, bunda sistema geometrik o'zgaruvchan, statik aniq bo'ladi; chunki sterjenlar soni talab etilgan sonidan kam;

2) $S = 2K-3$, bunda sistema geometrik o'zgarmas, statik aniq bo'ladi; sistemadagi sterjenlar soni talab darajasida, ortiq ham emas, kam ham emas;

3) $S > 2K-3$, bunda sistema geometrik o'zgarmas, statik noaniq bo'ladi; chunki sterjenlar soni keragidan ortiqcha.

Ko'rib o'tilgan uch holdan birinchisi binokorlik uchun yaramaydi, qolgan ikki hol qurilish konstruksiyalarini qanoatlantiradi. Chunki inshootlar statik aniq yoki noaniqligidan qat'i nazar geometrik o'zgarmas bo'lishi darkor.



1.8- rasm.

Biroq, sterjenli sistemaning formulani qanoatlantirishi masalaning bir tomoni holos. Masalaning ikkinchi tomoni ham bor: sistemaning geometrik o'zgarmasligini ta'minlashda uning tuzilishi ham katta rol o'ynaydi. Masalan, 1.8- rasmda ikkita ferma tasvirlangan. Formulaga ko'ra har ikkalovi ham geometrik o'zgarmas sistema. Biroq, fermaning tuzilishiga ko'ra ulardan biri (a) geometrik o'zgarmas, ikkinchisi (b) geometrik o'zgaruvchandir.

Ikkinchi fermaning oxirgi paneli geometrik o'zgaruvchan to'rtburchakli sistemadan tashkil topganligi sababli u geometrik o'zgaruvchandir.

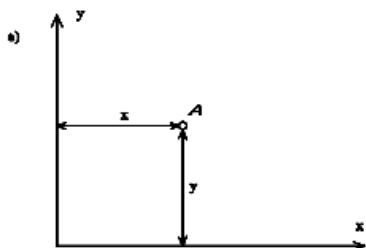
1.4. Sterjenli sistemalarning erkinlik darajalari

Nuqta yoki sistemaning holatini belgilovchi geometrik parametrlar soni **erkinlik d a r a j a s i** deb ataladi.

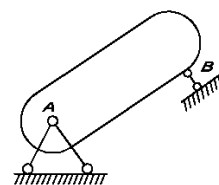
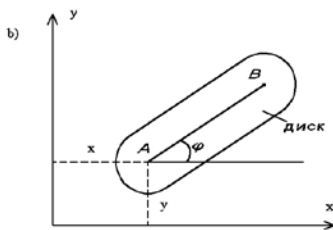
A nuqtasining holatini x va y parametrlari belgilaydi (1.9 a - rasm). Demak nuqtaning erkinlik darajasi ikkiga teng.

Yassi disk (masalan, faner parchasi)ning erkinlik darajasini ko'rib chiqamiz (1.9 b - rasm). Diskning holatini belgilovchi geometrik parametrlarni belgilash uchun disk sirtida AV kesmasini o'tkazamiz.

Bu kesmaning holatini x , y , φ parametrlari orqali bilishimiz mumkin. Demak, AV kesmasining erkinlik darajasi uchga teng. AV kesmasining holatini belgilovchi parametrlar (x , y , φ) diskning holatini ham belgilaydi, chunki kesma disk ciptida yotibdi. Bundan diskning erkinlik darajasi ham uchga teng bo'ladi, degan xulosa chiqadi. Buning ma'nosi shuki, disk uch yo'nalishda erkin harakat qiladi: vertikal va gorizontal yo'nalishlarda ko'chishi hamda biror nuqtaga, masalan, A nuqtasiga nisbatan aylanishi mumkin.



1.9- rasm.



1.10- rasm.

Disk yoki sterjenning erkinlik darajasiga chek qo'yadigan har qanday qurilma bog'lagich deb ataladi. Sharnirlar va tayanch sterjenlari bog'lagich hisoblanadi. Har bir sharnir ikkita, har bir tayanch sterjeni esa bitta erkinlik darajasiga chek qo'yadi.

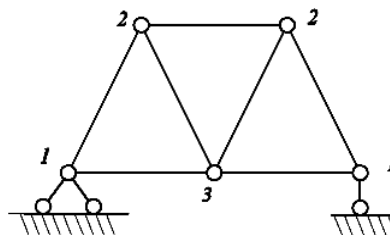
Yaxlit bir disk olaylik. Agar unga hech qanday bog'lagich qo'ymasak, uning erkinlik darajasi uchga teng bo'lishini yuqorida ko'rib o'tdik. Endi diskka A sharnirini qo'yamiz (1.10- rasm) (stol ustida yotgan fanera parchasiga bir dona mix qoqamiz, deganday gap), bu bilan diskning ikkita erkinlik darajasiga chek qo'yiladi (fanera ikki yo'nalishda harakat qilish imkoniyatidan mahrum bo'ladi).

Biroq disk A sharniri atrofida aylana oladi. Agar diskka yana bir bog‘lagich (tayanch sterjeni V) qo‘ysak, disk, aylanish imkoniyatidan ham mahrum bo‘ladi.

Mana shu mulohazalar asosida sterjenli sistemalarning erkinlik darajasini aniqlashga doir formulani yoza olamiz. Agar sistemaning erkinlik darajasini W , disklar sonini D , sharnirlar sonini SH va tayanch sterjenlari sonini S , deb olsak, sterjenli sistemaning erkinlik darajasini aniqlaydigan formula quyidagicha ifodalanadi:

$$\boxed{W=3D-2SH-C} \quad (1.2)$$

Bu formulaning zamirida yuqoridagi mulohaza yotibdi, ya‘ni har bir disk uchta erkinlik darajasiga ega, har bir sharnir ikkita erkinlik darajasiga chek qo‘yadi va har bir tayanch sterjeni bitta erkinlik darajasiga chek qo‘yadi.



1.11-rasm.

Sharnirlar sonini hisoblashda, ular ikkiga — oddiy va murakkab sharnirlarga ajratiladi. Ikki diskni birlashtiruvchi sharnir oddiy, ikkidan ortiq diskni birlashtiruvchi sharnir esa - **m u r a k k a b** sharnir deb ataladi. Oddiy sharnirlar soni disklar sonidan bitta kam bo‘ladi, ya‘ni

$$SH=D-1$$

Sterjenli sistemalarning erkinlik darajalarini aniqlashda ham quyidagi uchta hol uchraydi:

- 1) $W=0$; bunda sistema geometrik o‘zgarmas, statik aniq bo‘ladi.
- 2) $W>0$; bunda sistema geometrik o‘zgaruvchan, statik aniq bo‘ladi;
- 3) $W<0$; bunda sistema geometrik o‘zgarmas, statik noaniq bo‘ladi.

Misol: Yassi fermaning erkinlik darajasini aniqlash kerak (1.11- rasm).

Disklar soni $D=7$;

SHarnirlar soni, $SH=9$ (shaklda sharnirlar soni raqamlar bilan ko‘rsatilgan);

Tayanch sterjenlari soni $S=3$; erkinlik darajasi $W=3\cdot 7-2\cdot 9-3=0$;

Demak, ferma geometrik o‘zgarmas, statik aniq ekan.

Fermalarning erkinlik darajasini quyidagi formuladan aniqlasa ham bo‘ladi:

$$W=2K-Sf-St, \quad (1.3)$$

Bunda: K - ferma tugunlarining soni;

Sf - ferma sterjenlarining soni;

St - tayanch sterjenlarining soni.

1.2-misol: 1.11-rasmda berilgan fermaning erkinlik darajasi (1.3) formula orqali aniqlansin.

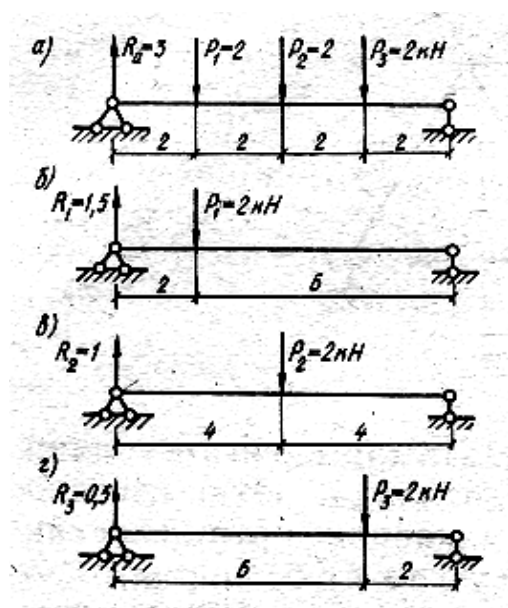
Ferma tugunlari soni $Q=5$; ferma sterjenlari soni $S_f=7$; tayanch eterjenlari soni $S_t=3$. erkinlik darajasi $W=2 \cdot 5 - 7 - 3 = 0$.

Fermaning geometrik o'zgaras, statik aniq ekanligi tasdiqlandi.

1.5. 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.

Bu qoidaning mohiyatini oydinlashtirish uchun oddiy bir misol keltiraylik. Balkaning chap tayanch reaksiyasini (1.12 a - rasm) ikki xil yo'l bilan aniqlaymiz. Birinchi usul bo'yicha R_a , tayanch reaksiyasi uchala kuch (P_1 , R_2 , R_z) ta'sirida bir yo'la aniqlanadi: $R_a = Z \text{ kN}$ chiqadi. Ikkinchi usulga ko'ra kuchlar navbatma-navbat qo'yiladi va har bir kuchga mos ravishda reaksiyalar aniqlanadi.



1.12-rasm.

Topilgan reaksiyalarning qiymati chizmalarda berilgan (1.12 b, v, r - rasm). Reaksiyaning to'liq qiymati alohida topilgan reaksiyalar qiymatlarining yig'indisiga teng bo'ladi: $R_a = R_1 + R_2 + R_3 = 1,5 + 1 + 0,5 = 3 \text{ kN}$.

Shunday qilib, balkaga kuchlar bir yo'la qo'yilgandagi reaksiyaning qiymati kuchlar alohida-alohida qo'yilgan holdagi, reaksiyalar qiymatlarining yig'indisiga teng chiqdi. Kuchlar ta'sirining mustaqilligi qoidasi degan iboraning ma'nosi ana shundan iborat.

Kuchlar ta'sirining mustaqilligi qoidasi elastiklik chegarasida qo'llaniladi. Reaksiya va ichki kuchlarni aniqlashda inshoot deformatsiyalanmagan deb faraz etiladi. Qo'llaniladigan tenglamalar chiziqsiz bo'lsa, mazkur usuldan foydalanib bo'lmaydi.

II – BOB. TA'SIR CHIZIQLARI NAZARIYASI

2.1. Ta'sir chiziqlari haqida tushuncha

Zamonaviy inshootlarning qo'zg'aluvchan yuklar ta'siriga hisoblash muhim masalalar sirasiga kiradi. Ko'prik, estakada, kran osti balkalari singari qator muhandislik inshootlarini hisoblashda biz qo'zg'aluvchan yuklarga duch kelamiz.

Inshootlarning qo'zg'aluvchan yuklar ta'siriga hisoblashda, asosan, quyidagi ikki masala hal etiladi:

1. Harakatlanuvchi yuklar sistemasi ta'sirida inshoot qismlarida hosil bo'ladigan zo'riqishlar, inshootning tayanch reaksiyalari, eguvchi momentlari, ko'ndalang va bo'ylama kuchlari, ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar va h.k.lar aniqlanadi.

2. Harakatlanuvchi yuklar sistemasi ta'sirida inshoot qismlarida hosil bo'ladigan eng katta zo'riqishlar aniqlanadi, ya'ni harakatlanuvchi yuklar sistemasining inshootda eng nobob joylashuvi masalasi hal etiladi.

Inshoot bo'ylab birlik kuch ($P=1$) harakatlenganda, inshoot qismlaridagi kuch omillarining o'zgarishini ifodalovchi grafik **ta'sir chiziqlari** deb ataladi. Kuch omillari deganda hosil bo'ladigan ichki kuchlar (M , Q , N) va tayanch reaksiyalari tushuniladi.

Inshoot bo'ylab harakatlanuvchi birlik kuchning holatini belgilovchi absissani x bilan, inshootdagi zo'riqishni S bilan belgilasak, u holda zo'riqishning ta'sir chiziq tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$S = f(x).$$

Ta'sir chiziqlarini chizishning **s t a t i k** va **k i n e m a t i k** usullari mavjud.

Statik usul harakatlanuvchi birlik kuch ($R=1$) ning ixtiyoriy holati uchun izlanayotgan zo'riqishning analitik ifodasini tuzishga asoslangan.

Ana shu analitik ifoda yordamida zo'riqish S ning o'zgarish grafigi chiziladi.

Kinematik usul yordamida ta'sir chiziqlarini qurish mumkin bo'lgan ko'chishlar qoidasiga asoslanadi.

Agar inshootga qo'zg'aluvchi kuchlar tizimi qo'yilgan bo'lsa, ularni avvalo harakatlanuvchi birlik kuch ($R=1$) ta'siriga hisoblanadi.

Oddiy balkalarga kuch omilining ta'sir chizig'ini qurish uchun birlik kuchni balkaning tegishli nuqtalariga joylashtirib, bizni qiziqtirayotgan miqdorning o'zgarish qonunini ifodalovchi tenglama tuziladi va uning grafigi chiziladi.

Oddiy balkalarda tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari

Birlik kuch balka bo'ylab harakatlanganda, tayanch reaksiyalarining qay tarzda o'zgarishini ko'rib chiqamiz. Birlik kuchni shaklda ko'rsatilganidek joylashtiramiz (2.1- rasm).

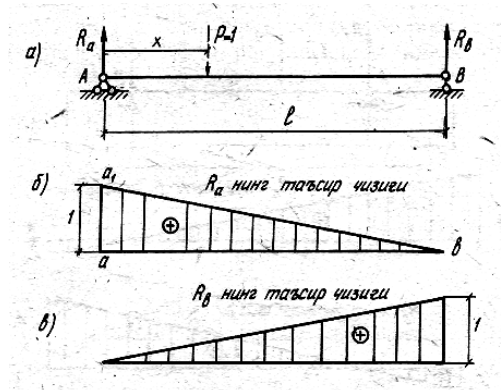
R_a tayanch reaksiyasini aniqlash uchun V tayanchiga nisbatan statikaning muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\begin{aligned} R_a \cdot l - P(l - x) &= 0; \\ R_a &= \frac{P(l - x)}{l} = \frac{l - x}{l} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Demak, birlik kuch ($R=1$) balka bo'ylab harakatlansa, R_a tayanch reaksiyasining o'zgarishi to'g'ri chiziq bo'ylab sodir bo'ladi. Shaklga ko'ra x noldan l gacha o'zgaradi. To'g'ri chiziqni o'tkazish uchun x ga qiymatlar beramiz:

$$\begin{aligned} x = 0 \text{ bo'lsa } R_a &= 1; \\ x = l \text{ bo'lsa } R_a &= 0 \text{ bo'ladi.} \end{aligned}$$

Shu ikki nuqta koordinatalari yordamida R_a tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i quriladi (2,1 b - rasm).



2.1 – rasm.

A tayanchiga nisbatan tuzilgan statikaning muvozanat tenglamasidan R_b reaksiyasi topiladi:

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ P \cdot x - R_b \cdot l &= 0 \\ R_b &= \frac{P \cdot x}{l} = \frac{x}{l} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Bu yerda $0 \leq x \leq l$ ekanligini hisobga olsak,

$$x = 0, \quad R_b = 0;$$

$$x = l, \quad R_b = 1 \text{ bo'ladi.}$$

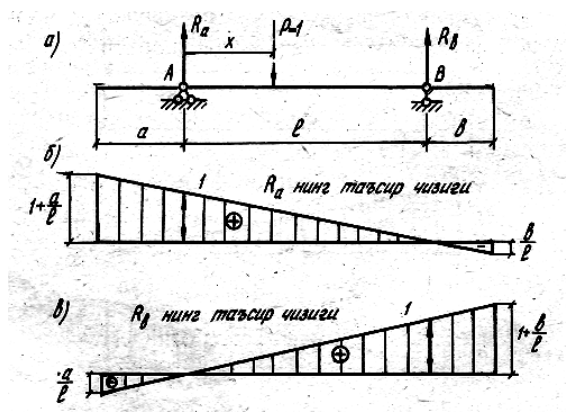
Demak R_B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i ham to'g'ri chiziq tenglamasi orqali qurilar ekan (2.16- rasm).

R_A va R_B tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari musbat ishorali bo'lib, ordinatalari o'lchamsiz miqdordan iboratdir.

2.2. Oddiy balkalarda zo'riqlashlarning ta'sir chiziqlari

Ikki konsolli balka uchun (2.2- rasm) tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlarini qurish oddiy balka uchun amalga oshirilgan usullar yordamida bajariladi.

Masalan, balkaning chap tayanch reaksiyasi R_A ning ta'sir chizig'ini qurish uchun muvozanat tenglamasidan foydalanib $R_A = \frac{l-x}{l}$ ni topamiz.



2.2 – rasm.

Bu yerda x masofa quyidagi tarzda o'zgaradi:

$$-a \leq x \leq l+b$$

x ga qiymatlar beramiz:

$$x = -a; R_A = 1 + \frac{a}{l}$$

$$x = a; R_A = 1$$

$$x = l; R_A = 0$$

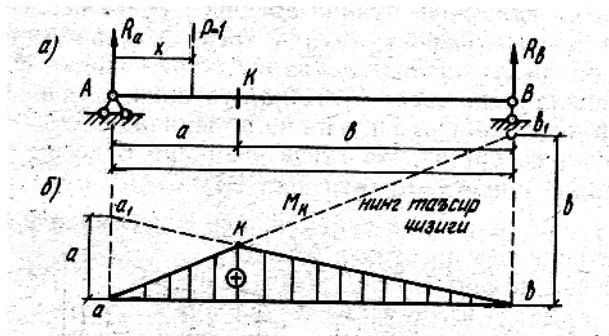
$$x = l+b; R_A = -\frac{b}{l}$$

Bu ordinatalar yordamida qurilgan R_A ning ta'sir chizig'i 2.2 b - rasmda ifodalangan. R_B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i ham shu tarzda chiziladi (2.2 b- rasm).

Demak, konsolli balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari oddiy balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chizig'iga asoslangan bo'lib, asosiy to'g'ri chiziq konsol uchigacha davom ettirilgan ekan.

Oddiy va konsol balkalarda eguvchi moment va ko'ndalang kuchlarning ta'sir chiziqlari

Avvalo eguvchi moment va qiruvchi kuchlarning ta'sir chiziqlari oddiy balka uchun qurib olinadi, keyin konsolga davom ettiriladi. Odatda, M va Q ning ta'sir chizig'i biror kesim uchun quriladi. K kesimdagi eguvchi moment M_k ning ta'sir chizig'ini quraylik. Kesimgacha bo'lgan masofalar, 2.3, a- rasmda ifodalangan.



2.3 – rasm.

Ta'sir chizig'ini qurishda musbat ishorali ordinatalar o'qdan yuqoriga, manfiy ordinatalar esa o'qdan pastga joylashtiriladi.

Birlik kuch K kesimidan o'ngda harakatlansa, u holda chap qism uchun muvozanat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$M_k = R_a \cdot a = \frac{l-x}{l} \cdot a \quad (2.3)$$

Demak, eguvchi momentning ta'sir chizig'i R_a reaksiyasiga bog'liq ekan, ya'ni R_a ning ordinatalarini a ga ko'paytirsak, M_k ning ta'sir chizig'i kelib chiqar ekan.

Ta'sir chizig'ini qurish uchun A tayanch yo'nalishi bo'yicha absissa o'qiga perpendikulyar holatda a masofasi joylashtiriladi, topilgan nuqta o'ng tayanch ostidagi nuqta bilan tutashtiriladi va shu to'g'ri chiziqqa K kesim proeksiyalanadi. Bu yerda kb masofa eguvchi moment ta'sir chizig'ining **o'ng to'g'ri chizig'i** deyiladi (2.3 b – rasm).

Agar birlik kuch K kesimining chap qismida harakatlansa, u holda kesimning o'ng qismi uchun muvozanat tenglamasi tuziladi:

$$M_k = R_b \cdot b = \frac{x}{l} \cdot b \quad (2.4)$$

Bu yerda ham eguvchi momentning ta'sir chizig'i tayanch reaksiyasi R_b ga bog'liqdir, ya'ni R_b ning ordinatalarini « b » ga ko'paytirsak, M_k ning ta'sir chizig'i kelib chiqadi.

Hosil bo'lgan qiymatlar bo'yicha M_k ning ta'sir chizig'ini quramiz (2.3-rasm). Buning uchun R_b tayanch reaksiyasi yo'nalishi bo'yicha absissa o'qiga perpendiqo'lyar «b» masofa o'lchab qo'yiladi, hosil bo'lgan nuqta b chap tayanch bilan tutashtiriladi va shu to'g'ri chiziqqa K kesim proeksiyalanadi. Hosil bo'lgan ak uzunlik, eguvchi moment ta'sir chizig'ining **ch a p t o' g' r i ch i z i g' i** deyiladi.

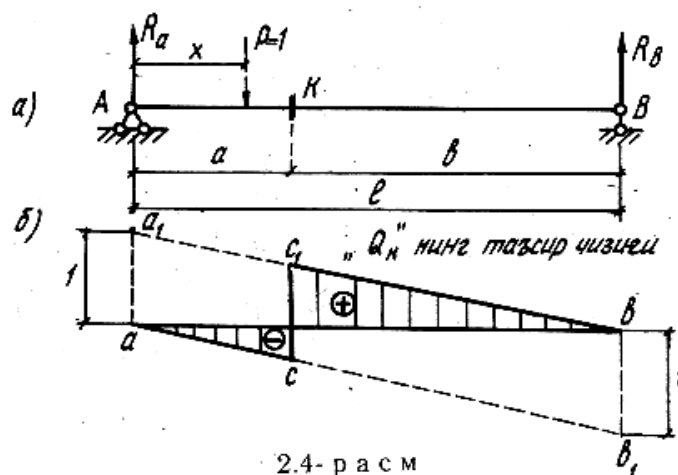
Har ikki o'ng va chap to'g'ri chiziqlar K kesim ostida kesishadi, chunki $x = a$ bo'lganda, $M_k^{uan} = M_k^{yn2}$ bo'ladi.

Shunday qilib, akb siniq chizig'i, K kesimidagi eguvchi momentning ta'sir chizig'i bo'ladi.

Eguvchi moment ta'sir chizig'ining ordinatalari uzunlik o'lchamida, ya'ni m (sm) da o'lchanadi. Eguvchi moment ta'sir chizig'ining tashqi ko'rinishi eguvchi moment epyurasi bilan ma'lum o'xshashlikka ega, lekin shunga qaramay bular orasida keskin farq bor. Eguvchi moment epyurasidan foydalanib, tashqi kuchlar ta'sirida istagan kesimda hosil bo'lgan eguvchi momentni topa olamiz. Eguvchi momentning ta'sir chizig'i orqali esa ma'lum bir kesimdagi eguvchi momentning qiymatini topa olamiz, holos.

Endi ko'ndalang kuchlarning ta'sir chizig'ini qurishga o'tamiz.

Balkaning K kesimidagi ko'ndalang kuch Q_k ning ta'sir chizig'ini qurish uchun birlik kuch ($R=1$) ning ikki holatini ko'rib o'tamiz (2.4 a – rasm).



Birinchi holat. Birlik kuch K kesimining chap qismida harakatlanadi, deb faraz etaylik, u holda o'ng qism muvozanat tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\sum y = 0; \quad Q_K^{uan} = -R_b = -\frac{x}{l} \quad (2.5)$$

Ikkinchi holat. Birlik kuch K kesimining o'ng qismida harakatlanmokda, deb qabul qilinadi, u holda chap qism uchun tuzilgan muvozanat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

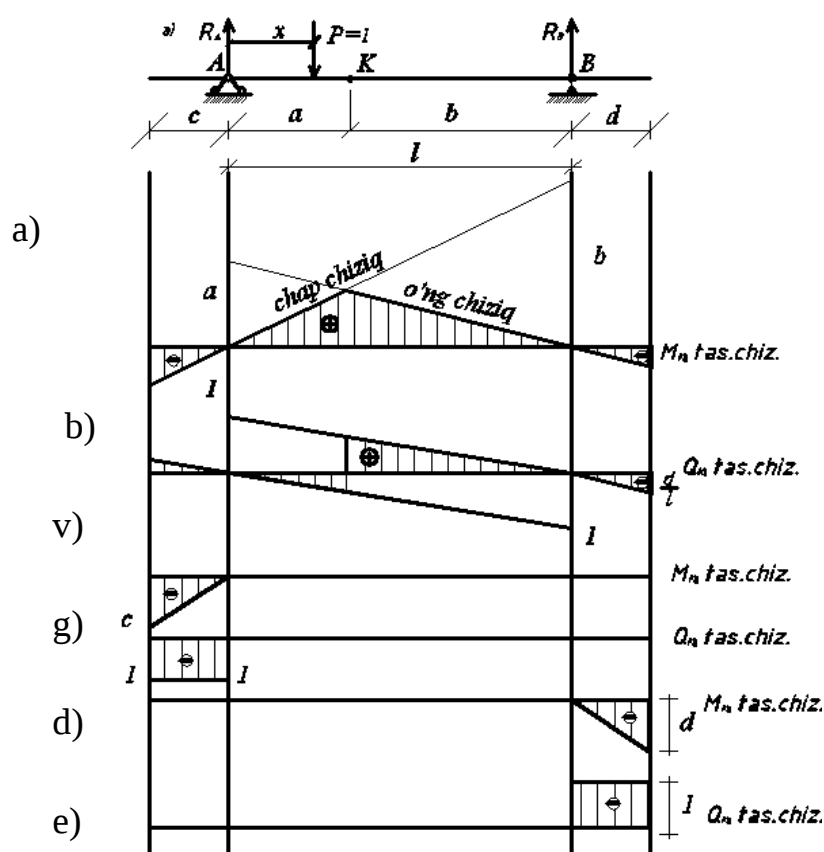
$$Q_k = R_a = \frac{l-x}{l} \quad (2.6)$$

Q_k ning ta'sir chizig'ini qurish uchun chap tayanch ostiga biror masshtabda musbat birlik ordinatani joylashtirib, uni o'ng tayanch ostidagi nol nuqta bilan tutashtiramiz, so'ngra o'ng tayanch ostiga manfiy birlik ordinatani joylashtirib, uni chap tayanch ostidagi nol nuqta bilan tutashtiramiz.

Shu tarzda bir-biriga parallel bo'lgan chap va o'ng to'g'ri chiziqlarga ega bo'ldik. Chap to'g'ri chiziq chap tayanchdan K kesimgacha, o'ng to'g'ri chiziq esa K kesimidan o'ng tayanchgacha bo'lgan oraliqlarda Q_k ning o'zgarishini ifodalaydi (2.4 6- rasm).

Shtrixlangan yuza Q_k ning **ta'sir chizig'i** deb ataladi.

Ko'ndalang kuchning ta'sir chiziqlari tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari kabi o'lchamsiz bo'ladi.



2.5-rasm.

Konsol balkaning K kesimi uchun ichki kuchlar (M_k va Q_k nuha) ta'sir chiziqlari qurilishi talab qilinsa, u holda ish oddiy balkadagiga o'xshash amalga oshiriladi. Buning uchun balkaning tayanchi oralig'iga M_k va Q_k ning ta'sir chizig'i quriladi, so'ngra chap to'g'ri chiziq chap konsol uchigacha, o'ng to'g'ri chiziq esa o'ng konsol uchigacha davom ettiriladi (2.5 a, b - rasm).

Agar kesim balkaning konsol qismida berilsa, eguvchi moment va ko'ndalang kuchlarning ta'sir chiziqlarini bir oz boshqacha bo'ladi.

K_2 kesimi balkaning chap konsolida joylashgan bo'lsin (2.5 a - rasm). M_{k_2} ning ta'sir chizig'ini qurish uchun birlik yukning ikki holatini qarab chiqamiz.

1. Birlik kuch ($P=1$) kesimning chap qismida harakatlansa, u holda

$$M_{k_2}^{uan} = P(c - x) = -(c - x),$$

$$x_1 = 0 \quad M_{k_2}^{uan} = -C$$

$$x_1 = c, \quad M_{k_2}^{uan} = 0 \quad \text{b'yladi.}$$

Chap to'g'ri chiziqni o'tkazish uchun $x_1=0$ nuqtasiga s ordinasini ma'lum masshtabda joylashtiramiz, so'ngra uni $x_1 = s$ kesimidagi nol nuqta bilan birlashtiramiz (2.5 g - rasm).

Birlik kuch K_2 kesimining o'ng qismida harakatlansa, M_{k_2} o'ng = 0 bo'ladi. Demak, o'ng to'g'ri chiziq nolga teng bo'lib, balka o'qining ustida yotadi. M_{k_2} ning chap va o'ng to'g'ri chiziqlari K_2 kesimi ostida kesishadi.

Q_{k_2} ning ta'sir chizig'ini qurish uchun ham birlik yukning ikki holatini tekshiramiz. Birlik kuch K_2 kesimining chap qismida harakatlansa, u holda konsol qismning muvozanat tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$Q_{K_2}^{uan} = -P = -1$$

Q_{k_2} ning chap to'g'ri chizig'i konsol uchidan balkaning absissa o'qiga parallel bo'ladi (2.5 d - rasm).

Qo'zg'aluvchan birlik kuch K_2 kesimining o'ng qismida harakatlansa, u holda chap qismining muvozanat tenglamasi $Q_{K_2}^{ynz} = 0$ bo'ladi.

Demak, o'ng to'g'ri chiziq nolga teng bo'lib, balkaning o'qi ustida yotadi (2.5 d - rasm). Balkaning o'ng konsol qismida joylashgan K_z kesimi uchun M_{k_2} va Q_{k_3} larning ta'sir chiziqlari yuqorida bayon etilgan tartibda amalga oshiriladi (2.5 e - rasm).

2.3. Zo'riqlashlar qiymatini ta'sir chiziqlari yordamida aniqlash

Shu bobning boshlang'ich qismida ta'sir chiziqlarini qurish tartibi bilan tanishib o'tdik. Endi shu ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqlashlarning (ya'ni eguvchi moment, ko'ndalang kuch va tayanch reaksiyalarining) qiymatini aniqlash masalasiga to'xtalamiz. Qo'zg'almas yuklarning inshootga yig'iq, yoyiq va juft kuch tariqasida qo'yilishi bizga ma'lum. Kuchlarning har qaysi turini alohida ravishda ko'rib chiqamiz.

Inshootga yig'iq kuchlar tizimi qo'yilgan hol

Balkaga P_1 kuchi ta'sir etadi, deylik. Bu holda istalgan zo'riqlash S ning qiymati mazkur kuch bilan shu kuch yo'nalishida ta'sir chizig'idan olingan ordinataning ko'paytmasiga teng bo'ladi, ya'ni zo'riqlashning qiymati $P_1 \cdot y_1$ bo'ladi.

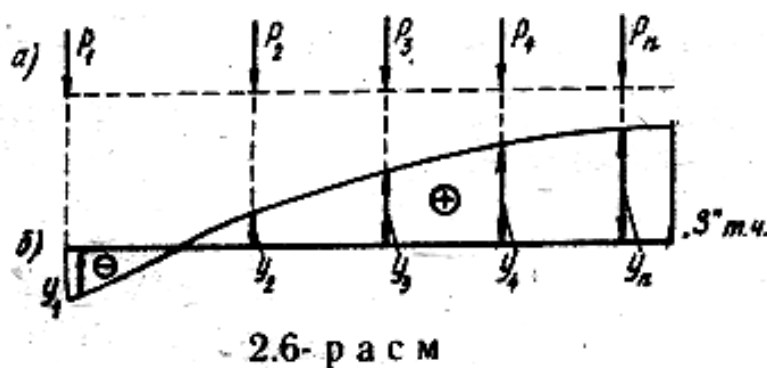
Agar inshootga kuchlar tizimi qo'yilgan bo'lsa (2.6 a - rasm) kuchlar ta'sirining mustaqilligi qoidasiga ko'ra to'liq zo'riqlashning qiymati quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$S = -P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 + P_4 y_4 + \dots + P_n y_n$$

yoki

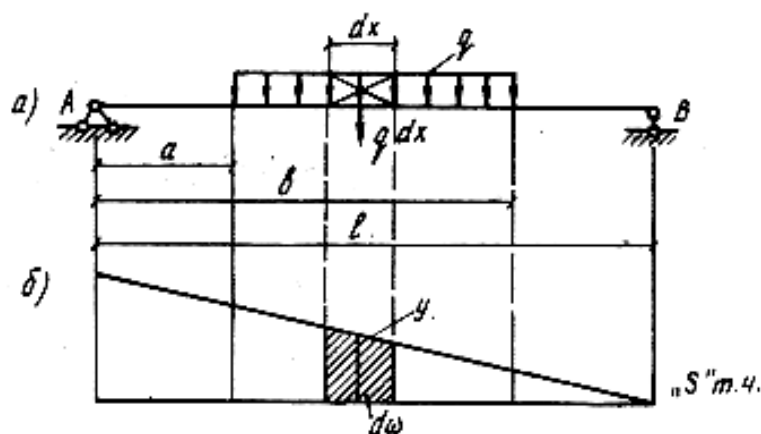
$$S = \sum_{i=1}^n P_i y_i$$

Bu yerda: y_i — ta'sir chizig'ida P_i kuch yo'nalishidagi ordinata.



Inshootga yoyiq yuk qo'yilgan hol

Inshootga qo'yilgan yoyiq yukdan uzunligi dx bo'lgan kichkina bo'lakcha ajratamiz va bunga mos kelgan yoyiq yukni elementar yig'iq kuch $q(x)dx$ orqali ifodalaymiz (2.7- rasm).



2.7-rasm.

Elementar kuchdan hosil bo'lgan elementar zo'riqish (2.7) formulaga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$dS = q \cdot dx \cdot y \quad (a)$$

Zo'riqishning to'liq qiymatini aniqlash uchun (a) tenglikni integrallaymiz:

$$S = \int_a^b q \cdot d \cdot dy = q \cdot w \quad (b)$$

Bu yerda: q yoyiq yuk intensivligi;

ω — ta'sir chizig'ida yoyiq yuk qo'yilgan oraliqqa mos keluvchi yuza.

Inshootga juft kuchlar qo'yilgan hol

Momentdan hosil bo'lgan zo'riqishni aniqlash uchun moment ikki juft yig'iq kuchlarga ajratiladi (2.8- rasm).

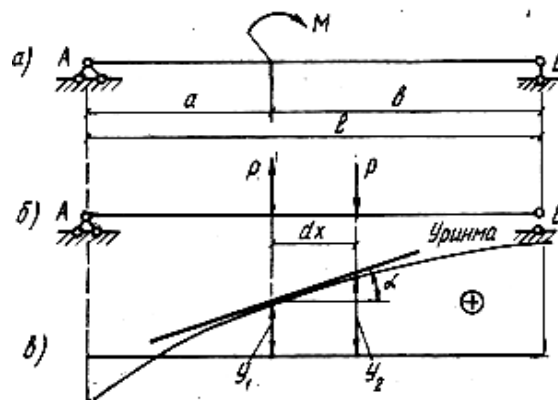
$$M = P \cdot dx, \text{ bundan } P = \frac{M}{dx}.$$

Yig'iq kuchlar ta'sirida vujudga keladigan zo'riqish (2.7) formulaga asosan aniqlanadi:

$$S = P \cdot y_2 - P_i y_i = P (y_2 - y_1) = P dy,$$

$$S = \frac{dy}{dx} \cdot M = M \cdot tg \alpha$$

$$S = M \cdot tg \alpha$$



2.8- rasm.

Bu yerda: α — moment qo'yilgan nuqtada ta'sir chizig'iga o'tkazilgan urinma bilan absissa o'qi orasidagi burchak.

Agar inshootga bir yo'la yig'iq kuch, yoyiq kuch va juft kuchlar qo'yilgan bo'lsa, u holda hosil bo'lgan zo'riqishlar miqdori ta'sir chizig'i yordamida umumiy holda quyidagicha aniqlanadi:

$$S = \sum_{i=1}^n P_i y_i + \sum_{i=1}^n q_i w_i + \sum_{i=1}^n M_i \operatorname{tg} \alpha_i \quad (2.8).$$

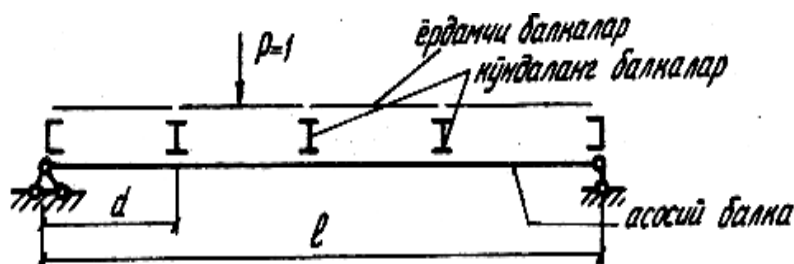
Bu formuladan foydalanishda quyidagi ishora qoidasiga amal qilinadi:

1. Yuklar yuqoridan pastga yo'nalgan bo'lsa, ular musbat deb qabul qilinadi.
2. Moment soat strelkasi bo'yicha yo'nalsa, musbat olinadi.
3. Ta'sir chizig'idan olingan ordinata y_i va yuza w_i o'z ishorasi bo'yicha olinadi.
4. Agar α burchak soat strelkasiga teskari yo'nalishda ortib borsa, musbat bo'ladi.

2.4. Yuk tugunlar orqali uzatiganda ta'sir chiziqlarini qurish

Binokorlikda shunday inshootlar uchraydiki, tashqi yuklar asosiy balkaga bevosita qo'yilmay, balki boshqa yordamchi balkalar orqali ta'sir etadi (2.9-rasm). Shakldan ko'rinib turibdiki, tashqi yuklar yordamchi bo'ylama balkachalar bo'ylab harakatlanmoqda. Bunday sistemalarda tashqi yuklar asosiy balkaga tugunlar orqali uzatiladi.

Ko'ndalang balkaning asosiy balkaga tayangan joyi tugun, ikki qo'shni tugun oralig'i panel uzunligi deb ataladi va d harfi bilan belgilanadi (2.9-rasm). Endi tashqi yuk yordamchi balka bo'ylab harakatlanib, asosiy balkaga tugunlar orqali ta'sir etishini ko'rib o'tamiz (2.10-rasm).



2.9-rasm.

Harakatlanuvchi birlik kuch 2 va 3 - tugunlar orasida joylashgan deylik: agar kuch 2 - tayanchdan x masofada va 3 - tayanchdan $d - x$ masofada joylashgan bo'lsa, u holda uning ikkinchi va uchinchi tugunlardagi tashkil etuvchi qiymatlari quyidagi formula bilan ifodalanadi (2.10-rasm):

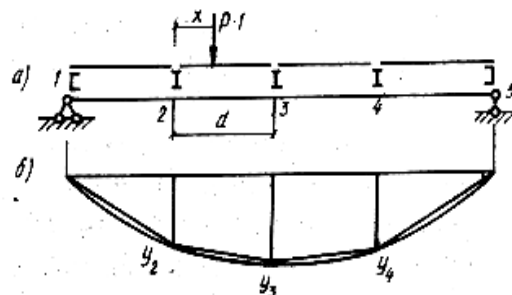
$$P_2 = 1 \cdot \frac{d-x}{d} \quad \text{va} \quad P_3 = 1 \cdot \frac{x}{d}$$

2.10 b -rasmda ifodalangan egrilik birlik kuchning asosiy balka bo'ylab harakatlanishidan hosil bo'lgan ta'sir chizig'i desak, u holda

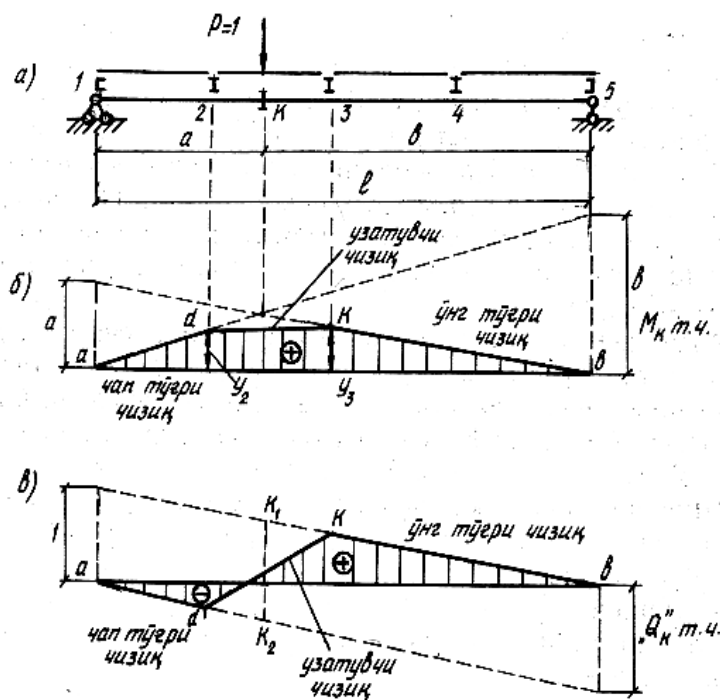
$$S = P_2 \cdot y_2 + P_3 \cdot y_3 = \frac{d-x}{d} \cdot y_2 + \frac{x}{d} \cdot y_3$$

bo'ladi.

Zo'riqish S ning qiymatini aniqlash uchun tuzilgan bu tenglik to'g'ri chiziq tenglamasini ifodalaydi, shu sababli u_2 bilan u_3 o'zaro to'g'ri chiziq yordamida tutashtiriladi (2.10 b - rasm).

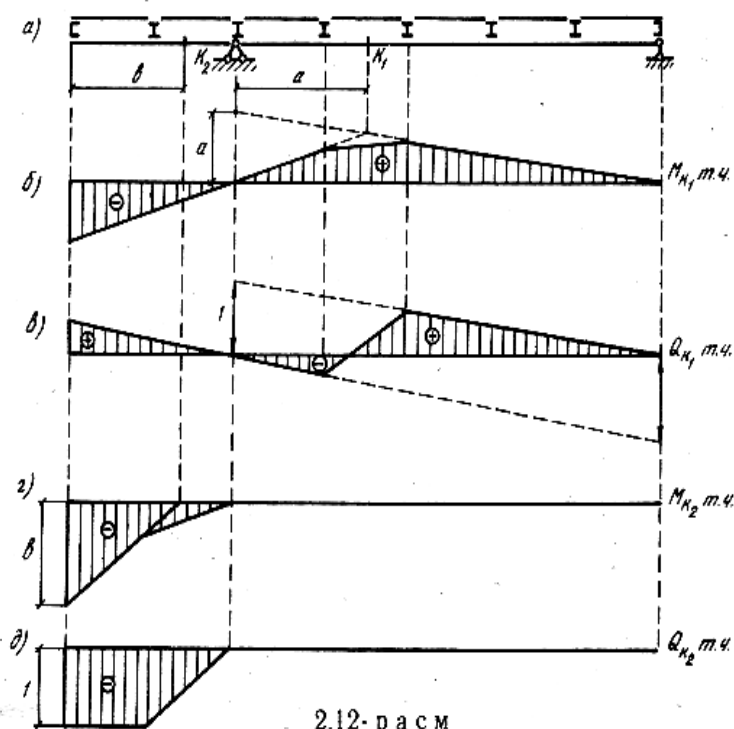


2.10. rasm.



2.11-rasm.

Demak, yuk asosiy balkaga tugunlar, orqali ta'sir etganda, biror kesimning ta'sir chizig'ini qurish uchun, avvalo, yordamchi balkalarni e'tiborga olmasdan, oddiy balkaning shu kesimi uchun tegishli ta'sir chiziqlari quriladi. Keyin chap va o'ng tugunlar tegishli to'g'ri chiziqlarga proeksiyalanadi. Topilgan nuqtalar to'g'ri chiziq yordamida tutashtiriladi (2.11 a, б, в - rasm).



2.12-р а с м

Bu rasmda akb asosiy balkaning K kesimi uchun qurilgan eguvchi moment ta'sir chizig'i; $adkb$ - yuk tugunlar orqali ta'sir etgan hol uchun eguvchi moment ta'sir chizig'i (2.11 6 - rasm); ak_2k_1b - oddiy balkaning K kesimi uchun qurilgan qirquvchi kuchning ta'sir chizig'i (2.11 B - rasm); $adkb$ — yuk asosiy balkaga tugunlar orqali ta'sir etganda hosil bo'lgan qirquvchi kuchning ta'sir chizig'i (2.11 B - rasm).

2.12- rasmda konsolli balkaga tashqi yuk tugunlar orqali ta'sir etgan hol uchun M va Q ning ta'sir chiziqlari tasvirlangan. 2.12 a - rasmda berilgan balka aks etgan; b va v da K_1 kesim uchun, g va d da esa K_2 kesim uchun M va Q ning ta'sir chiziqlari chizilgan.

Shunday qilib, yuk asosiy balkaga tugunlar orqali uzatilganda, zo'riqlarning ta'sir chiziqlari quyidagi tartibda quriladi:

1. Zo'riqlarning ta'sir chizig'i, avvalo, yuk tugunlar orqali uzatilishini e'tiborga olmagan holda asosiy balka uchun quriladi.

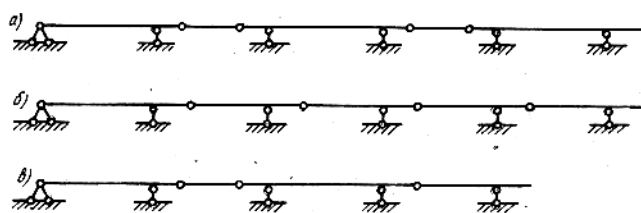
2. Kesimning chap va o'ng qismida joylashgan qo'shni tugunlar tegishli chiziqlarga proeksiyalanadi va nuqtalar o'zaro tutashtiriladi.

Hosil bo'lgan grafik yuklar asosiy balkaga tugunlar orqali ta'sir etgan hol uchun qurilgan ta'sir chizig'i bo'ladi.

III BOB. KO'P ORALIQLI STATIK ANIQ BALKALARNI HISOBLASH

3.1. Umumiy ma'lumotlar

Ko'p oraliqli statik aniq balkalar bir oraliqli konsolli balkalarni sharnirlar vositasida biriktirish yo'li bilan hosil qilinadi (3.1- rasm). Ko'p oraliqli sharnirli balkalar yondosh oraliqlarni yopishda qo'llaniladi. Bunday oraliqlarni yopishda ketma-ket joylashgan bir oraliqli balkalardan foydalansa bo'lmaydimi, degan savol tug'ilishi tabiiy. To'g'ri, nazariy va amaliy jihatdan foydalansa bo'ladi. Ammo iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas. Chunki bir xil yuk ta'sirida bir oraliqli balkalarda ko'p oraliqli balkalarga nisbatan ko'prok zo'riqish hosil bo'ladi, demak ko'proq material sarf bo'ladi, konstruksiya vazminlashadi. Ko'p oraliqli sharnirli balkalar statik aniq bo'lganliklari sababli haroratning o'zgarishi yoki tayanchlarning cho'kishi natijasida qo'shimcha zo'riqishlar paydo bo'lmaydi. Bu esa uning afzallik tomonlari hisoblanadi.



3.1 – rasm.

Ko'p oraliqli balkalarda sharnirlar bo'lmasa, sistema statik noaniq uzluksiz balkalarga aylanib qoladi. Uzluksiz balkalar butun yaxlit konstruksiyadan iborat, sharnirli balkalar sharnir qo'yilgan erda uziladi. SHarnirning chizma konstruksiyasi 3.2- rasmda berilgan.



3.2- rasm.

Ko'p oraliqli balkani statik aniq sistemaga aylantirib beradigan element ham sharnirdir. Demak, sharnirlar sonini shunday aniqlash kerakki, hosil bo'lgan sistema statik aniq, geometrik o'zgarmas bo'lsin. Quyidagi formula yordamida aniqlangan sharnirlar soni yuqoridagi talablarni qondiradi:

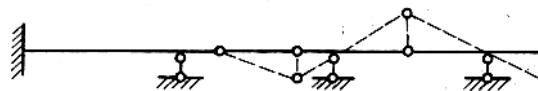
$$SH = S_t - Z \quad (3.1)$$

Bu yerda S_t - tayanch sterjenlari soni;

Z - statika tenglamalari soni.

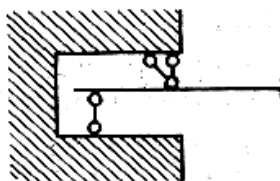
Sharnirlar sonini ushbu formula bilan aniqlanishi zaruriy, ammo etarli shart emas. Statik aniq, geometrik o'zgarmas sistema hosil qilish uchun sharnirlarni balka bo'ylab to'g'ri joylashtirish talab etiladi.

3.3 - rasmda tasvirlangan sistema sharnirlarning noto'g'ri joylashtirilishiga misoldir.



3.3- rasm.

Bu balkadagi sharnirlar soni talab darajasidadir, ya'ni sistema geometrik o'zgarmas bo'lishi uchun $SH=6-3=3$ dona sharnir qo'yilishi talab etiladi. Biroq, yuqoridagi rasmda ana shu uchta sharnir balkada noto'g'ri joylashtirilgan. Shuning uchun u geometrik o'zgaruvchan sistema bo'lib qolgan. Agar ikkinchi oraliqdagi ikki sharnirdan biri birinchi oraliqqa ko'chirilsa, sistema geometrik o'zgarmas holga keladi. Shuni ham eslatib o'tish kerakki, sterjenlar sonini aniqlashda sharnirsiz qo'zg'almas (qistirma) tayanchda sterjenlar soni shartli ravishda $S_T = Z$ deb qabul qilingan (3.4- rasm).



3.4- rasm.

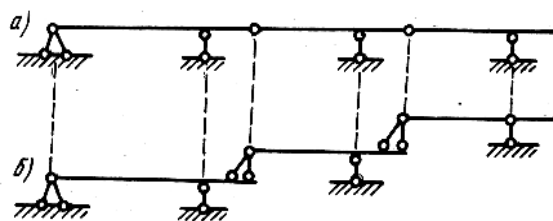
Bitta oraliqqa uchta sharnir joylashtirish ham noto'g'ridir, chunki bunda oniy o'zgaruvchan sistema hosil bo'ladi. Sharnirlarni to'g'ri joylashtirishning uch xil usuli bor:

- a) sharnirlarni ikkinchi oraliqdan boshlab juft joylashtirish (3.1 a - rasm);
- b) sharnirlarni (ikkinchi oraliqdan boshlab) yakka tartibda joylashtirish (3.1 b - rasm);
- v) yuqoridagi ikki usulga asoslangan aralash usul (3.1 b - rasm), ya'ni sharnirlarni juft va yakka tartibda joylashtirish.

Juft sharnirlar ikkinchi oraliqdan boshlab oraliq osha qo'yiladi. YAkka sharnirlar birorta oraliqdan boshqa har bir oraliqqa bittadan qo'yib chiqiladi. Juft sharnirning ikki yoni sharnirsiz oraliq bo'lishi lozim, aks holda sistema geometrik o'zgaruvchan bo'lib qoladi.

Ko'p oraliqli balkaning geometrik o'zgarmasligi masalasini to'g'ri hal etish sistemaning ishlashi to'g'risida to'laroq tasavvurga ega bo'lish maqsadida qavatlar sxemasi quriladi. Qavatlar sxemasi balkaning alohida elementlari orasidagi bog'lanishni o'zida aks ettiradi.

3.5-rasmda tasvirlangan balkaning geometrik o'zgarmasligini uning qavatlar sxemasi (3.5 6-rasm) orqali tahlil etaylik. Balkalarni tutashtiruvchi qavatlar sxemasida sharnirlar sharnirli qo'zg'almas tayanchlar bilan almashtiriladi. Qavatlar sxemasidan ko'p oraliqli balka uchta bir oraliqli konsolli balkalarning yig'indisidan tashkil topganligi namoyon bo'ladi. Har qaysi oddiy balka – geometrik o'zgarmasdir.



3.5-rasm.

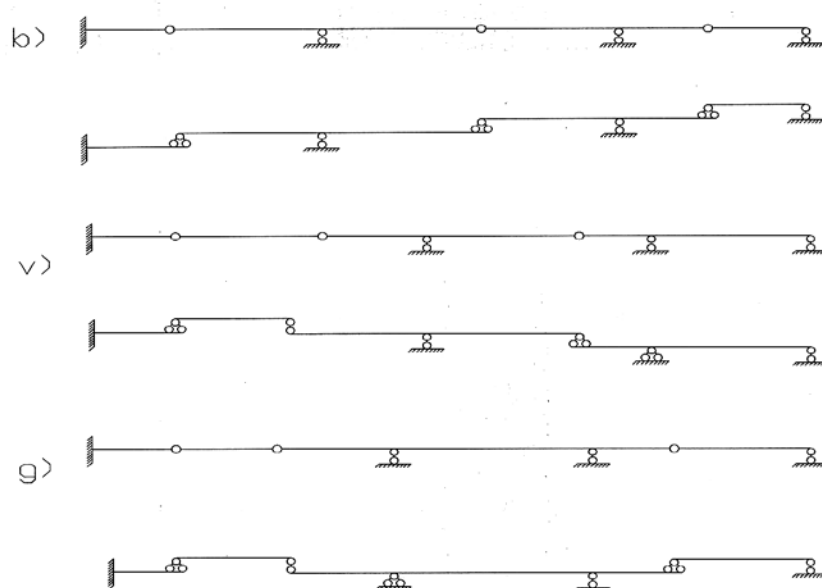
Geometrik o'zgarmas oddiy balkalar bir-biri bilan sharnirlar yordamida ulangan. Sharnirlar balkalarning gorizontaal yo'nalishda qo'zg'alishiga yo'l bermaydi. Balkalarning vertikal yo'nalishdagi qo'zg'almasligi tayanch sterjenlari orqali ta'minlaiadi. Shularga asoslanib, berilgan ko'p oraliqli balka geometrik o'zgarmas sistema ekan, degan xulosaga kelamiz.

Qavatlar sxemasi ikki xil balkalardan tashkil topadi: asosiy va ikkinchi darajali balkalar.

Asosiy balkalar o'ziga qo'yilgan yuklardan tashqari ikkinchi darajali balkalarga qo'yilgan yuklarni ham (to'laligicha yoki qisman) qabul qiladi. Asosiy balkalarga tayanib turuvchi balkalar ikkinchi darajali (osma) balkalar deyiladi. Ikkinchi darajali balka sinza, asosiy balkaning ishiga putur etmaydi. Asosiy balka sinza, osma balka ham qulab to'shadi.

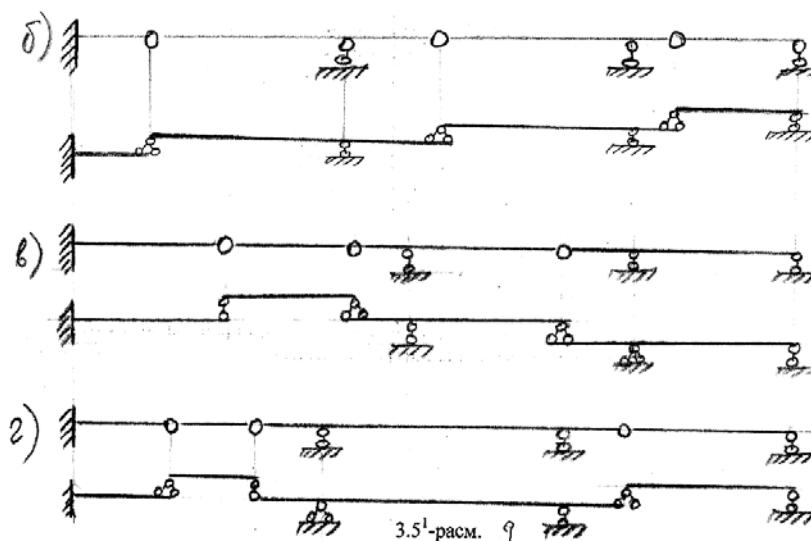
Qavatlar sxemasida asosiy balka birinchi qavatda joylashadi (3.5 6 - rasmda chapdan birinchi balka). Osma balkalar asosiy balkaning ustiga joylashadi (3.5 6 - rasmda chapdan ikkinchi va uchinchi balkalar). Bu yerda shuni ta'kidlab o'tish lozimki, o'rtadagi balka chapdagi balkaga nisbatan ikkinchi darajali, o'ngdagi balkaga nisbatan asosiy balka hisoblanadi.

Agar ko'p oraliqli balkaning bir uchi sharnirsiz bika tayanch bo'lsa, u holda sharnirlarning joylashuvi va qavatlar sxemasi 3.5`-rasmda ko'rsatilgandek bo'ladi.



3.5-rasm.

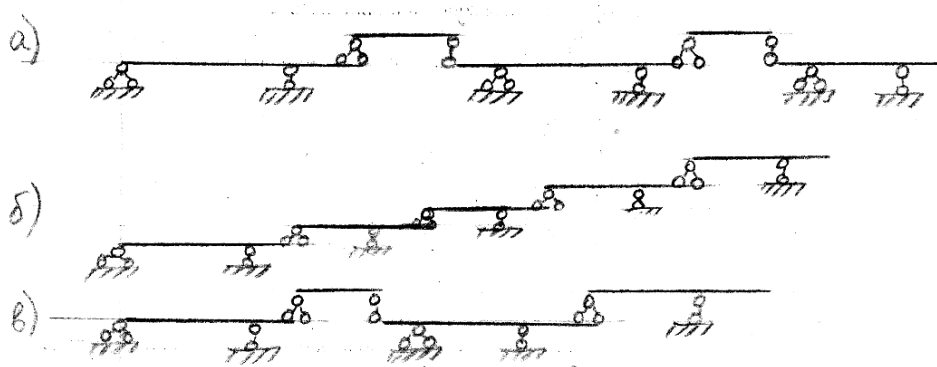
Agar ko'p oraliqli sharnirli balkalarning hisobi ularning eguvchi momentlar va ko'ndalang kuchlar epyuralarini qurishdan iboratdir.



3.5'-rasm.

Bizga materiallar qarshiligi kursidan epyuralarni qurishdan maqsad balkaning ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlashdan iborat ekanligi ma'lum. Epyuralarni qurish ham materiallar qarshiligi kursida bayon etilgan qoidalar asosida bajariladi.

Misol tariqasida 3.1 a, b, v-rasmda berilgan balkalarning qavatlar sxemasini quramiz:



3.1¹-rasm.

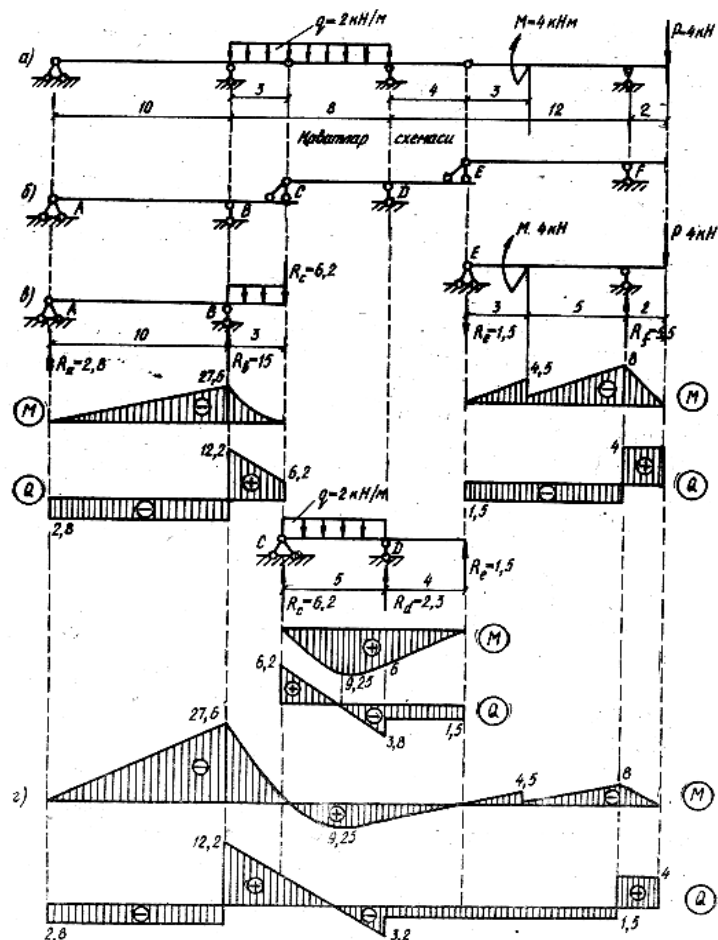
Agar ko‘p oraliqli balkaning bir uchi sharnirsiz bikir tayanch bo‘lsa, u holda sharnirlarning joylashuvi va qavatlar sxemasi 3.5-rasmda ko‘rsatilgandek bo‘ladi.

3.2. Ko‘p oraliqli static aniq, sharnirli balkalarni analitik usulda hisoblash

Ko‘p oraliqli sharnirli balkalarning hisobi ularning eguvchi momentlar va ko‘ndalang kuchlar epyuralarini qurishdan iboratdir.

Bizga materiallar qarshiligi kursidan ma‘lumki, epyuralar balkaning ko‘ndalang kesim o‘lchamlarini aniqlash uchun quriladi. Epyuralarni qurish ham materiallar qarshiligi kursida bayon etilgan qoidalar asosida bajariladi.

Ko‘p oraliqli balkalarning hisobi qavatlar sxemasini qurishdan boshlanadi. Mustaqil ravishda avval ikkinchi darajali (osma) balkalar, so‘ngra asosiy balka hisoblanadi. Osma balkalar bir nechta bo‘lsa, hisob eng ustki qavatdagi balkadan boshlanadi. Buning sababi shuki, 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 qoraladi.



3.6-rasm.

Hisob oxirida alohida qurilgan epyuralar bir o‘q ustiga joylashtiriladi.

3.1-misol. Ko‘p oraliqli statik aniq balkaning M va Q epyurasi qurilsin (3.6 a - rasm).

Yechish. Berilgan balkaning qavatlar sxemasini quramiz (3.6 b - rasm) va hisoblash tartibini belgilaymiz.

Hisob ishlari EF balkasidan boshlanadi. Uni asosiy balkadan ajratib olib, mustaqil ravishda M va Q epyuralari quriladi. SHundan so‘ng SD balkasi hisoblanadi. EF balkasiga qo‘yilgan yuklarning SD balkasiga bo‘lgan ta’siri R_e reaksiyasi orqali hisobga olinadi. O‘z navbatida SD va EF balkalariga qo‘yilgan yuklarning AV balkasiga bo‘lgan ta’siri R_s reaksiyasi orqali hisobga olinadi (3.6 b - rasm). Ikkinchi darajali balkalar hisobi tugagach, asosiy balka AV hisoblanadi. Hisob oxirida alohida hisoblangan epyuralar umumiy o‘q ustiga joylashtiriladi (3.6 r - rasm).

Yuqorida bayon etigan tartib bo‘yicha E G‘, SD va AV balkalarini alohida-alohida hisoblaymiz.

E G‘- BALKASI.

Ushbu balkani qavatlar sxemasidan (3.6 6-rasm) ajratib olib, mustaqil ravishda M va Q epyuralarini quramiz. Masalani yechishda materialar qarshiligi fanida berilgan qoida va usullardan foydalanamiz.

Ishora qoidasini esga olamiz:

M epyurasida sterjen botiq ko‘rinishda egilsa-musbat, qabariq ko‘rinishda egilsa-manfiy olinadi. Q epyurasida ko‘ndalang kuch balkaning qirqimini soat strelkasi yo‘nalishida aylantirsa –musbat, teskari yo‘nalishida aylantirsa-manfiy olinadi. Eng avval statikaning muvozanat tenglamalaridan foydalanib, E G‘ balkasining tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

$$\sum M_e = -R_f \cdot 8 + P \cdot 10 + M = 0;$$

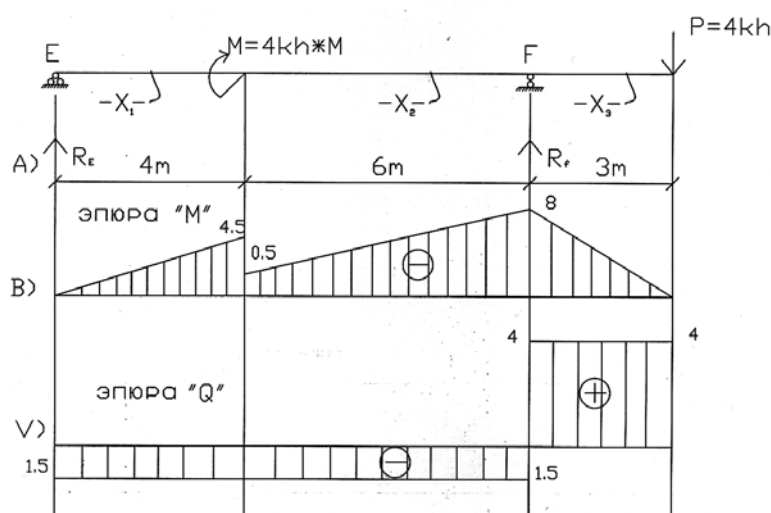
бундан

$$R_f = \frac{4 \cdot 10 + 4}{8} = 5,5kH;$$

$$\sum M_F = R_e \cdot 8 + M + P \cdot 2 = 0;$$

бундан

$$R_e = \frac{-4 \cdot 2 - 4}{8} = -1,5kH$$



3.7-rasm.

Manfiy ishora E tayanchining reaksiya kuchi pastga yo‘nalganligini anglatadi. Shuning uchun uning yo‘nalishini qarama-qarshi tomonga o‘zgartiramiz va keyingi hisoblarda musbat deb qaraymiz.

ТЕКШИРИШ: $Y = -R_e + R_f - R = -1,5 + 5,5 - 4 = 0.$

Hisobni engillashtirish uchun balkani bo‘laklarga (uchastkalarga) ajratamiz. Bir kuchdan (reaksiya xam shunga kiradi) ikkinchi kuchgacha bo‘lgan masofa uchastka deb ataladi. E G‘ balkasi uchta uchastkadan iborat (shaklda rim raqami bilan belgilangan). Eguvchi moment va ko‘ndalang kuch tenglamalari har bir uchastka uchun alohida tuziladi. Bunda kesish usulidan foydalaniladi. Kesish

usuliga ko'ra balka ixtiyoriy erdan kesiladi, balkaning bir bo'lagi tashlab yuboriladi, tashlab yuborilgan bo'lakning ta'siri ichki kuchlar bilan almashtiriladi va shu yo'l bilan olib qolingani bo'lakning muvozanati ta'minlanadi. Shu ishlarni quyida uchastkama-uchastka amalga oshiramiz.

I - UCHASTKA

Shu uchastka oraligida balkani ixtiyoriy eridan kesamiz, kuchlar ko'p bo'lgani uchun kesimning o'ng tomonini tashlab yuboramiz, hisoblash uchun chap tomonini olib qolamiz va E tayanchidan kesimgacha bo'lgan masofani X , harfi bilan belgilaymiz (moment olishda bu masofa elka vazifasini o'taydi). Kesimdan chap tomonda yotgan kuchlardan (bizda faqat R_e reaksiya kuchi bor) kesim markazidagi nuqtaga nisbatan momentlar yig'indisini yozamiz:

$$M_1 = R_e x; \text{ bu yerda } X_1 \text{ ning o'zgarish chegarasi } 0 < X_1 < Z_m;$$

M_1 ni grafigini, ya'ni epyurasini chizish uchun X_1 ga qiymatlar beramiz; tenglamadan ko'rinib turibdiki, M ning grafigi to'g'ri chiziqdan iborat, to'g'ri chiziqni chizish uchun uning ikkita ordinatasini topsak kifoya qiladi. Shuning uchun X_1 ga ikkita qiymat beramiz: $X_1=0$ bo'lsa, $M_1=0$ bo'ldi va $X_1=3m$ bo'lsa, $M_1=-4,5 \text{ kNm}$ bo'ladi. Shu qiymatlar bo'yicha qurilgan M epyurasi 3.6-rasm da tasvirlangan.

Endi shu uchastka uchun Q epyurasini quramiz. Bu gal ham hisoblash uchun kesimning chap tomonini olib qolamiz va ko'ndalang kuchlar tenglamasini tuzamiz. Kesimdan chapda birgina kuch bor xolos, shuning uchun ham tenglama birgina kuchdan tashkil topgan:

$Q_1=R_e=-1,5 \text{ kN}$. Bu yerda R_e kesimga nisbatan soat strelkasiga teskari yo'nalishda aylangani uchun ishora manfiy olingan. Shu va boshqa uchastkalarining Q epyurasi 3.6 B -rasm da tasvirlangan.

II- UCHASTKA

Ikkinchi uchastka oraligida balkani istalgan eridan kesamiz. Kesimning chap tomonida ham, o'ng tomonida ham ikkitadan kuch bor. Shuning uchun kesimning qaysi tomonini tashlab yuborishning ahamiyati yo'q. Biz kesimning o'ng tomoni uchun momentlar va ko'ndalang kuchlar tenglamalarini tuzamiz, hamda shular asosida, yuqorida keltirilgan tartibda, M va Q epyuralarini quramiz.

$$0 \leq x_2 \leq 5m;$$

$$M_2 = -R(2+x_2) + R_f x_2;$$

$$x_2 = 0 \text{ bo'lganda } M_2 = -8 \text{ kNm};$$

$$x_2 = 5 \text{ bo'lganda } M_2 = -0,5 \text{ kNm};$$

$$Q_2 = R - R_f = 4 - 5, \quad 5 = 1,5 \text{ kN};$$

Ikkinchi uchastkaning M va Q epyuralari 3.6 B, B -rasm da keltirilgan.

III- UCHASTKA

Uchinchi uchastka chegarasida balkani istalgan eridan kesamiz, hisoblash uchun o'ng tomonini olib qolamiz. SHu uchastka uchun eguvchi moment M va ko'ndalang kuch Q tenglamalarini tuzamiz.

$$\begin{aligned} M_3 &= -R \cdot x_3; & 0 \leq x_3 \leq 2\text{m}; \\ X_3 &= 0 \text{ bo'lganda} & M_3 &= 0\text{kNm}; \\ X_3 &= 2\text{m bo'lganda} & M_3 &= -8\text{ kNm}; \\ Q &= R = 4\text{kN}; \end{aligned}$$

Bu qiymatlar asosida qurilgan M va Q epyuralari 3.6 6,B -rasmida tasvirlangan.

EF balkani hisoblab bo'ldik. Endi navbat SD balkasiga. SD balkasini hisoblashda, EF balkasining SD ga bo'lgan ta'siri ham inobatga olinadi. Buning uchun R_e reaksiya kuchi SD balkasining E nuqtasiga (qarama-qarshi yo'nalishda) qo'yiladi va hisob jarayonida tashqi kuch sifatida qaraladi.

Hisobni tayanch reaksiyalarni aniqlashdan boshlaymiz.

$$\sum M_c = -R_d \cdot 5 + q \cdot 5 \cdot 2,5 - R_e \cdot 9 = 0;$$

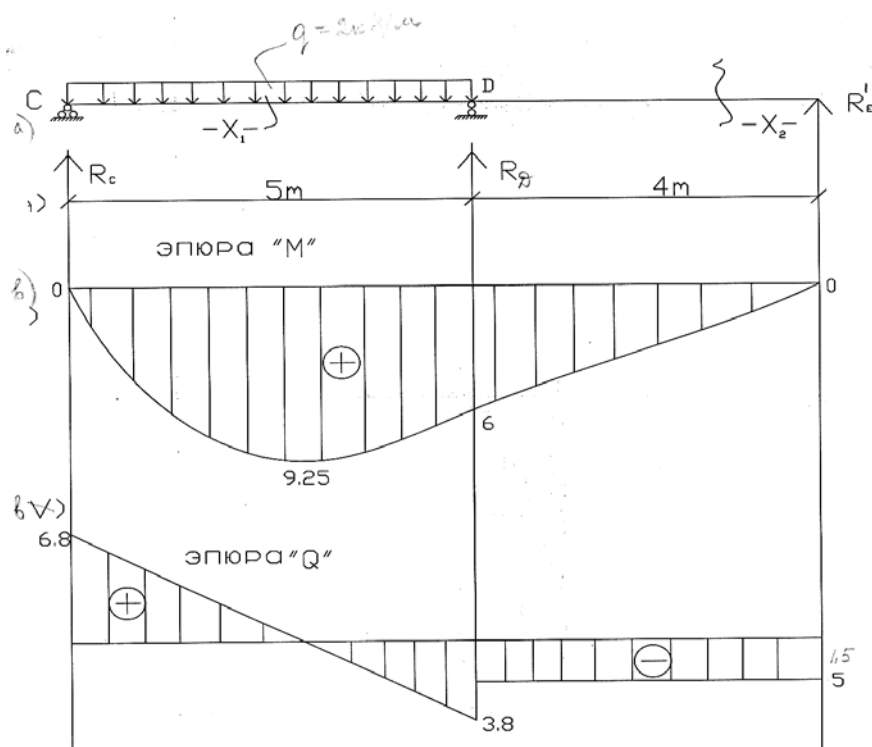
bunda

$$R_d = 2,3\text{ kH.}$$

$$\sum M_D = R_c \cdot 5 - q \cdot 5 \cdot 2,5 - R_e \cdot 4 = 0;$$

bunda

$$R_c = 6,2\text{ kH}$$



3.8-rasm.

TEKSHIRISH

$$\sum Y = R_E + R_d + R_E - q \cdot 5 = 6,2 + 2,3 + 1,5 - 10 = 0$$

SD balkasi ham ikki uchastkadan iborat.

$$\text{I - UCHASTKA} \quad 0 \leq x_1 \leq 5 \text{ m;}$$

Eguvchi moment tenglamasi;

$$M_1 = R_c \cdot x_1 - q \frac{x_1^2}{2}$$

$$x_1 = 0 \text{ bo'lganda } M_1 = 0 \text{ kNm;}$$

$$x_1 = 2,5 \text{ m bo'lganda } M_1 = 9,25 \text{ kNm;}$$

$$x_1 = 5 \text{ m bo'lganda } M_1 = 6 \text{ kNm;}$$

Ko'ndalang kuch tenglamasi:

$$Q_1 = R_c - qx_1; \quad x_1 = 0 \text{ bo'lganda } Q_1 = 4 \text{ kN;}$$

$$x_1 = 5 \text{ bo'lganda } Q_1 = -3,8 \text{ kN;}$$

$$\text{II- UCHASTKA} \quad 0 \leq x_2 \leq 4 \text{ m;}$$

Eguvchi moment tenglamasi

$$M_2 = R_e \cdot x_2; \quad x_2 = 5 \text{ m; bo'lganda } M_2 = 0;$$

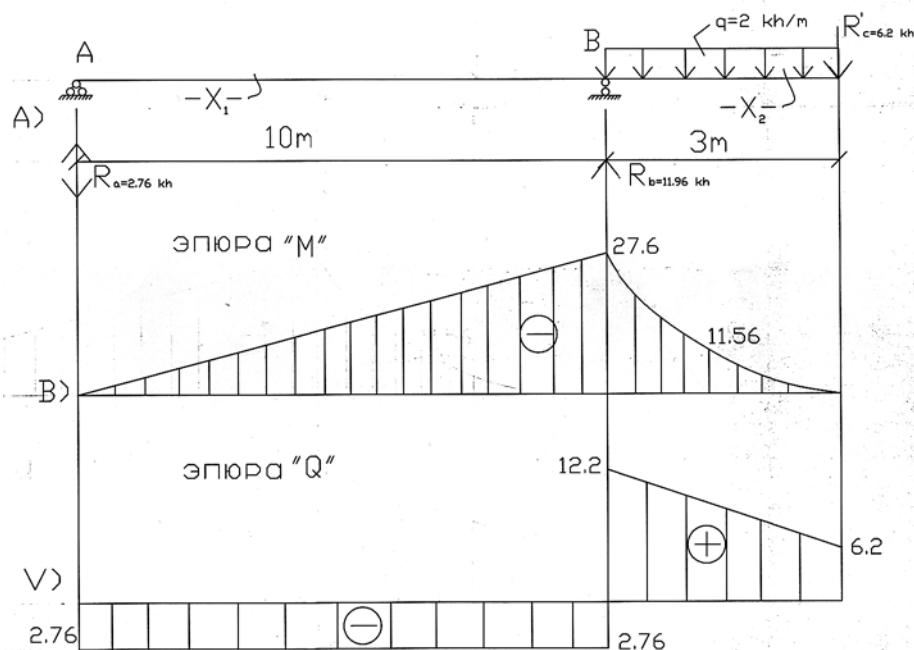
$$x_2 = 4 \text{ m bo'lganda } M_2 = 6 \text{ kNm;}$$

Ko'ndalang kuch tenglamasi

$$Q_2 = - R_e = -1,5 \text{ kN;}$$

Hisob natijalariga ko'ra M va Q epyuralari quriladi (3.7 b,v -rasm).

Hisoblash ishlarini AV balkasida davom ettiramiz (3.8-rasm).



3.9-rasm.

Avval tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz:

$$\sum M_a = -R_b \cdot 10 + q \cdot 3 \cdot 11,5 + R_c \cdot 13 = 0$$

bunda $R_b = 14,96$ kH.

$$\sum M_b = -R_a \cdot 10 + q \cdot 3 \cdot 1,5 + R_c \cdot 3 = 0$$

bunda $R_a = -2,76$ kH.

Manfiy ishora R_A reaksiya kuchini pastga yo'nalganligini anglatadi.:

$$\text{TEKSHIRISH : } \sum Y = -R_A + R_B - R'_C - q \cdot 3 = 2,76 + 14,96 - 6,2 - 6 = 0$$

AV balkasi ham ikki uchastkadan iborat 1-UCHASTKA. $0 \leq x_1 \leq 10$ m;

Eguvchi moment tenglamasi:

$$M_1 = -R_a \cdot x_1; \quad x_1 = 0 \quad \text{bo'lganda} \quad M_1 = 0;$$

$$x_1 = 10 \text{ m} \quad \text{bo'lganda} \quad M_1 = -27,6 \text{ kNm};$$

Ko'ndalang kuch tenglamasi: $Q_1 = -R_a = -2,76$ kN;;

II-uchastka $0 \leq x_2 \leq 3$ m;

Eguvchi moment tenglamasi

$$M_2 = R_c \cdot x_2 - q \frac{x_2^2}{2}$$

$x_2 = 0$ bo'lganda $M_2 = 0$ kNm;

$X_2=1,5\text{m}$ bo'lganda $M_2=-11,55\text{ kNm}$;

$X_2=3\text{m}$ bo'lganda $M_2=-27,6\text{ kNm}$;

Ko'ndalang kuch tenglamasi shu betdan tekshiriladi.

$Q_2=R_c+qx_2$; $x_2=0$ bo'lganda $Q_2=6,2\text{ kN}$;

$x_2=3$ bo'lganda $Q_2=-12,2\text{ kN}$;

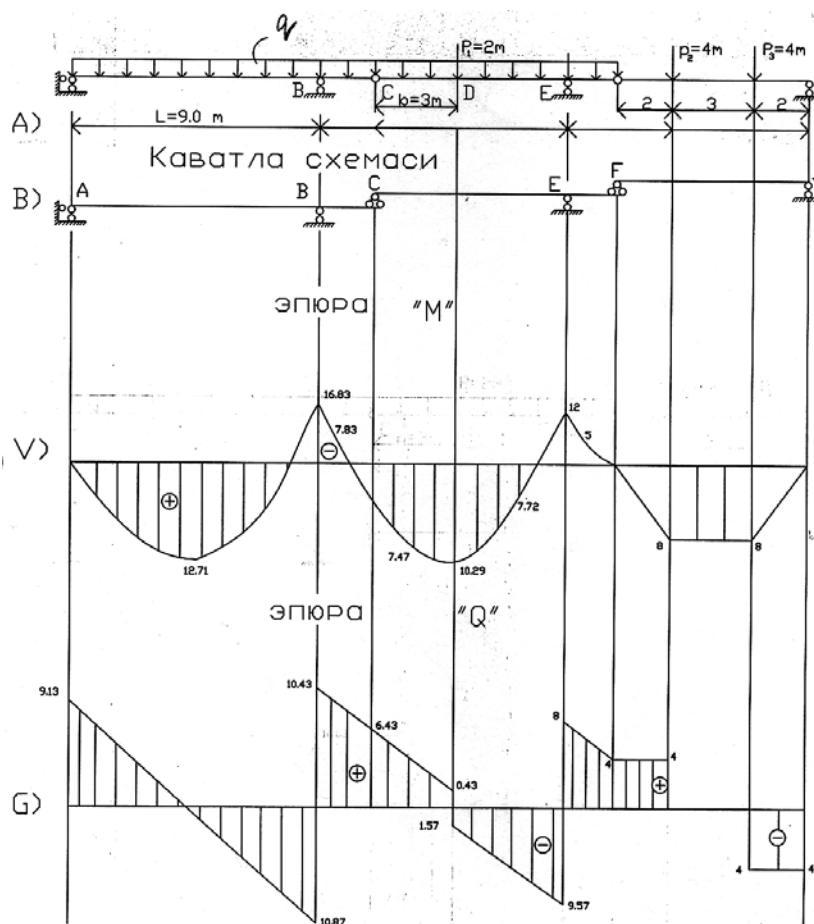
Topilgan qiymatlar bo'yicha qurilgan M va Q epyuralari 3.9 b,v -rasm tasvirlangan.

Hisob ishlarining so'ngida alohida hisoblangan M va Q epyuralari umumiy o'q ustiga joylashtiriladi. (3.6 б,д -rasm).

3.2-misol. 3.11 a -rasm da berilgan ko'p oraliqli sharnirli balkaning eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralari qurilsin.

Yechish. Ushbu balkaning qavatlar sxemasi 3.11 b -rasmda keltirilgan. Balka asosiy (III) va ikkinchi darajali (II va I) balkalardan tashkil topgan. Hisoblashni I-balkadan boshlaymiz, chunki II va III balkalarga qo'yilgan kuchlarga ta'sir etilmaydi. Aksincha I balka o'ziga qo'yilgan kuchlarni II balkaga, II balka esa III balkaga uzatadi.

I-balkaning hisobi (3.10 a -rasm).



3.10-rasm.

a) Tayanch reaksiyalarini aniqlash. Yuklar simmetrik bo'lganligi sababli tayanch reaksiyalari o'zaro teng bo'ladi: $R_F = R_I = \frac{P_2 + P_3}{2} = \frac{4+4}{2} = 4kH$

b) Eguvchi momentlar epyurasini qurish (3.10b –rasm):

Balka sodda va simmetrik bo'lmaganligi uchun uni uchastkalarga bo'lmay, xarakterli kesimlar uchun M ning qiymatlarini aniqlaymiz:

$$M_F = 0$$

$$M_G = R_F \cdot a = 4 \cdot 2 = 8kH \cdot m$$

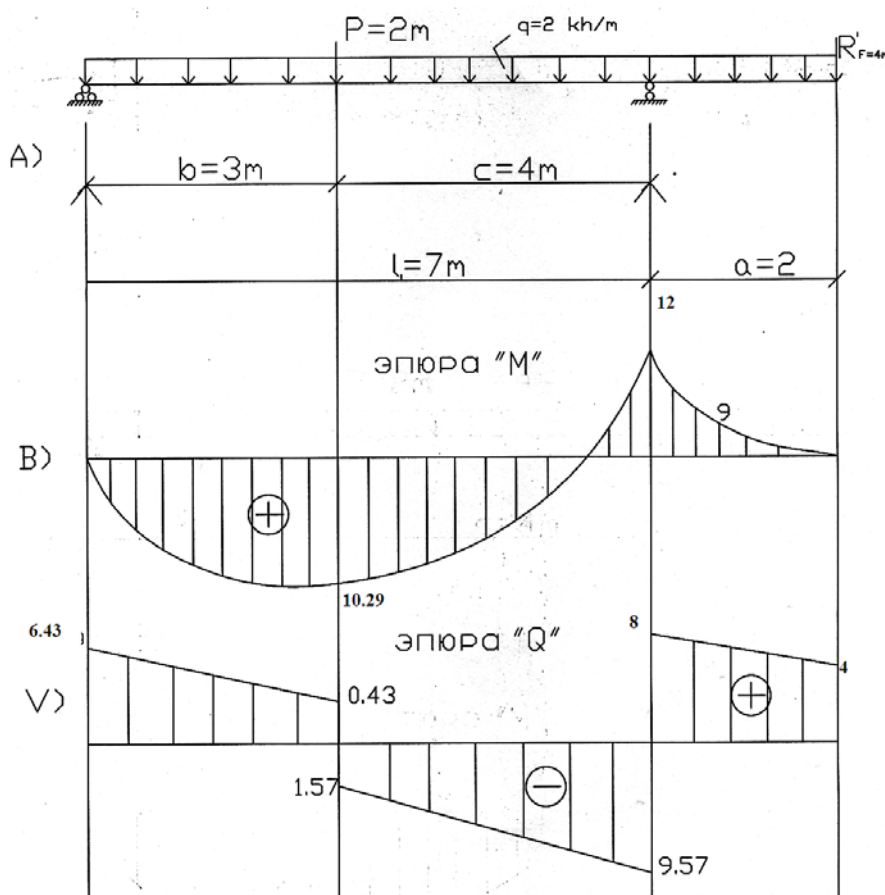
$$M_H = R_J \cdot a = 4 \cdot 2 = 8kH \cdot m$$

$$M_J = 0.$$

II-balkaning hisobi.

II-balkaning hisobida I-balkaning bu balkaga bo'lgan bosmi hisobga olinadi. Buning uchun R_F reaksiya kuchini II-balkaning F nuqtasiga teskari yo'nalishda qo'yamiz. Qolgan hisoblar odatdagidek davom etadi.

a) II-balkaning tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz:



3.11-rasm.

$$\sum M_c = R_F \cdot (l_1 + a) + q(l_1 + a) \frac{l_1 + a}{2} - R_E l_1 + P_1 b = 0$$

bunda $R_E = 17,57 \text{ kN}$.

$$\sum M_E = R_c \cdot l_1 - q(l_1 + a) \left(\frac{l_1 + a}{2} - a \right) - P_1 \cdot c + R_E \cdot Q = 0$$

bunda $R_s = 6,43 \text{ kN}$.

Tekshirish:

$$\sum Y = R_c - q(l_1 + a) - P_1 + R_E - R_F = 6,43 - 2 \cdot 9 - 2 + 17,57 - 4 = 0$$

Demak, tayanch reaksiyalari to'g'ri topilgan.

b) Eguvchi momentlar tenglamalarini tuzamiz.

Biz ishlayotgan II-balka uchta uchastkadan iborat. Har bir uchastka uchun momentlar tenglamasini alohida ravishda yozamiz.

Balkaning SD uchastkasida tayanchdan x masofada yotgan kesim uchun momentlar tenglamasi:

$$M_x = R_c \cdot x_1 - q \frac{x_1^2}{2} = 6,43x - \frac{2x^2}{2} = 6,43x - x^2$$

Bu yerda $x=0 \div 3 \text{ m}$. Parabolani chizish uchun x ga kamida 3 ta qiymat beramiz:

$x=0$ bo'lganda $M_s=0 \text{ kNm}$;

$x=1,5 \text{ m}$ bo'lganda $M_x = 6,43 \cdot 1,5 - 1,5^2 = 7,47 \text{ kN m}$.

$x=3 \text{ m}$ bo'lganda $M_d = 6,43 \cdot 3 - 3^2 = 10,29 \text{ kN m}$.

Topilgan qiymatlar bo'yicha SD uchastkasida M epyurasi quriladi.

DE uchastkasida balkani ixtiyoriy x_1 masofada kesamiz va o'ng tomonidagi kuchlardan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$M_{x_1} = R_c(b + x_1) - q(b + x_1) \frac{b + x_1}{2} - P_1 x_1 = 6,43(3 + x_1) - \frac{2(3 + x_1)^2}{2} - 2x_1 = 6,43(3 + x_1) - (3 + x_1)^2 - 2x_1$$

Bu yerda $x_1=0 < 4 \text{ m}$. x_1 ga qiymatlar beramiz:

$x_1 = 0$ bo'lganda $M_d = 6,43(3+0) - (3+0)^2 - 2 \cdot 0 = 10,29 \text{ kN m}$.

$x_1 = 2 \text{ m}$ bo'lganda $M_{x_1} = 6,43(3+2) - (3+2)^2 - 2 \cdot 2 = 3,15 \text{ kN m}$.

$x_1 = 4 \text{ m}$ bo'lganda $M_{E1} = 6,43(3+4) - (3+4)^2 - 2 \cdot 4 = -12 \text{ kN m}$.

Bu qiymatlar asosida DE uchastkaga M epyurasi quriladi. Balkaning EF uchastkasida konsol uchidan x_2 masofada yotgan kesim uchun momentlar tenglamasi quydagi ko'rinishiga ega:

$$M_{x_2} = -R_F x_2 - q \frac{x_2^2}{2} = -4x_2 - \frac{2x_2^2}{2} = -4x_2 - x_2^2$$

Bu yerda $x_1=0 < 2 \text{ m}$. x_2 ga qiymatlar beramiz:

$x_2 = 0$ bo'lganda $M_F=0 \text{ t m}$.

$x_2 = 1 \text{ m}$ bo'lganda $M_{x_2} = -4 \cdot 1 - 1^2 = -5$.

$x_2 = 2\text{m}$ bo'lganda $M_E = 4 \cdot 1 - 2^2 = -12 \text{ kN m}$.

Bu qiymatalar asosida EF uchastkasida M epyurasi quriladi (3.11 b -rasm).

v) ko'ndalang kuchlar epyurasini quramiz (3.11 v -rasm).

Xarakterli kesimlardagi Q ning qiymatlarini aniqlaymiz:

$$Q_c = R_c = 6,43 \kappa H$$

$$Q_D^{uan} = Q_c - qb = 6,43 - 2 \cdot 3 = 0,43 \kappa H$$

$$Q_D^{ynz} = Q_D^{uan} + P_1 = 0,43 - 2 = 1,57 \kappa H$$

$$Q_E^{uan} = Q_D^{ynz} - qc = -1,57 - 2 \cdot 4 = -9,57 \kappa H$$

$$Q_E^{ynz} = Q_E^{uan} + R_E = -9,57 + 17,57 = 8 \kappa H$$

$$Q_F = Q_E^{ynz} - qa = 8 - 2 \cdot 2 = 4 \kappa H$$

Ushbu qiymatlar asosida qurilgan Q epyurasi 3.11 v -rasmda tasvirlangan.

III-balkaning hisobi (3.11 a -rasm)

Bu balkaga berilgan kuchlardan tashqari, qiymati $6,43\text{kN}$ ga teng bo'lgan, II-balkaning bosim kuchi ham ta'sir etadi.

a) tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz:

Tayanch reaksiyalarini aniqlash uchun $\sum M_A = 0$ va $\sum M_v = 0$ tenglamalaridan foydalanamiz.

$$\sum M_a = -R_c(l+a) + q(l+a)\frac{l+a}{2} - R_B l = 0$$

bunda

$$R_B \frac{R_c(l+a) + \frac{q(l+a)^2}{2}}{l} = \frac{6,43(9+2) + \frac{2(9+2)^2}{2}}{9} = 21,3 \kappa H$$

$$\sum M_B = R_A l - q(l+a)\left(\frac{l+a}{2} - a\right) + R_c a = 0$$

бунда

$$R_A = \frac{q(l+a)\left(\frac{l+a}{2} - a\right) - R_c a}{l} = \frac{2 \cdot 11\left(\frac{11}{2} - 2\right) - 6,43 \cdot 2}{9} = 7,13 \kappa H$$

Tekshirish

$$\sum Y = R_A - q(l+a) + R_B - R_c = 7,13 - 2 \cdot 11 + 21,3 - 6,43 = 0$$

Tenglamaning nol chiqishi tayanch reaksiyalarini to'g'ri topilganligini anglatadi.

b) Eguvchi momentlar epyurasini qurish.

AV uchastkaning istalgan kesimidagi eguvchi moment quydagicha ifodalanadi:

$$M_x = R_A x - q \frac{x^2}{2} = 7,13x - \frac{2x^2}{2} = 7,13x - x^2$$

Tenglamalardagi $x=0 \div 9\text{m}$ chegarada o'zgaradi. Yuqoridagi tenglamani nolga tenglab, $M_x=0$ bo'ladigan koordinatani aniqlaymiz:

$$M_x = 7,13x - x^2 = 0$$

ёки

$$x^2 - 7,13x = 0$$

x ni qovusdan tashqariga chiqaramiz:

$$x(x-7,13) = 0$$

Ko'paytmani navbatma-navbat nolga tenglab, x ning ikkita qiymatini topamiz:

$$x_1=0; x_2=7,13\text{m}$$

AV uchastkada M epyurasini qurish uchun $M_x=7,13x-x^2$ ifodadagi x ga qiymatlar beramiz:

$x = 0$ bo'lganda $M_A=0$.

$x = 2\text{m}$ bo'lganda $M_x=7,13 \cdot 2^2=10,26 \text{ kN m}$;

$x = 5\text{m}$ bo'lganda $M_x=7,13 \cdot 5^2=10,26 \text{ kN m}$.

$x = 9\text{m}$ bo'lganda $M_x=7,13 \cdot 9^2=-16,83 \text{ kN m}$.

$M_{\max}$ ni aniqlash uchun $Q=0$ bo'lgan nuqta (x_0) topib olamiz. Buning uchun ko'ndalang kuch tenglamasini nolga tenglaymiz va undan x_0 ni aniqlaymiz:

Bunda:

$$Q_{x_0} = R_A - qx_0 = 0$$

бунда

$$x_0 = \frac{R_A}{q} = \frac{7,13}{2} = 3,57\text{m}$$

Buni momentlar tenglamasiga qo'ysak, $M_{\max}$ kelib chiqadi:

$$M_{\max}=7,13 \cdot 3,57 - 3,57^2=12,71\text{kN m}.$$

Topilgan qiymatlar bo'yicha AV uchastkada M epyurasini quramiz.

VS uchastkada ixtiyoriy kesim uchun eguvchi momentlar tenglamasi quydagicha ifodalanadi:

$$M_{x_1} = -R_c x_1 - \frac{qx_1^2}{2} = -6,43x_1 - \frac{2x_1^2}{2} = -6,43x_1 - x_1^2$$

x_1 ga qiymatlar beramiz:

$x = 0$ bo'lganda $M_s=0$.

$x = 1\text{m}$ bo'lganda $M_1=-6,43 \cdot 1 - 1^2=-7,43\text{kN m}$;

$$x = 2\text{m bo'lganda } M_V = -6,43 \cdot 2 - 2^2 = -16,86 \text{ kN m};$$

E'tibor bergan bo'lsangiz, AV uchastkani ishlashda V kesimdagi eguvchi momentning qiymati -16,83 kN m chiqqan edi. Shu kesimdagi moment VS uchastkasini ishlaganimizda -16,86 kN m. chiqdi. Bu kichkina farq tayanch reaksiyalarini aniqlash jarayonida ba'zi raqamlarni yaxlitlash oqibatida yuzaga kelgan. Agar farq katta chiqsa, u holda xatoni qidirib topish lozim bo'ladi. M epyurasida faqat yig'iq moment qo'yilgan kesimlardagina sakrash bo'lishi mumkin.

Xarakterli kesimlardagi Q ning qiymatlarini aniqlaymiz:

$$Q_A = R_A = 7,13 \text{ kH}$$

$$Q_B^{uan} = Q_A - ql = 7,13 - 2 \cdot 9 = -10,87 \text{ kH}$$

$$Q_B^{ynz} = Q_B^{uan} + R_B = -10,87 + 21,3 = 10,43 \text{ kH}$$

$$Q_c = Q_B^{ynz} - qa = 10,43 - 2 \cdot 2 = 6,43 \text{ kH}$$

III-balkaning Q epyurasin 3.11 v -rasmida berilgan.

Ko'p oraliqli balkaning umumiy M va Q epyuralari alohida balkalarning M va Q epyuralarini yig'indisidan tashkil topadi. (3.9 v, g -rasm).

IV BOB. STATIK ANIQ FERMALAR

4.1. Umumiy ma'lumotlar

Bikir tugunlarni sharnirlar bilan almashtirganda, o'zining geometrik o'zgarmasligini saqlab qoluvchi sterjenli sistemalar **f e r m a** deb ataladi.

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.

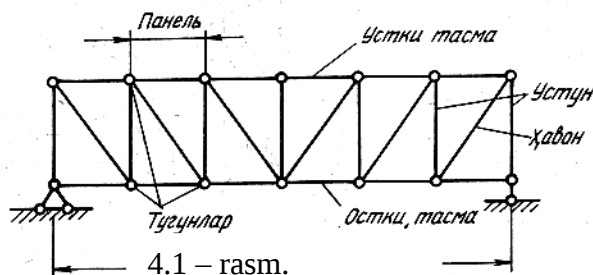
Oddiy statik aniq fermaning hisoblash sxemasi 4.1- rasmda tasvirlangan.

Odatda tashqi kuchlar ferma tugunlariga qo'yiladi. Ferma sterjenlari tashqi kuchlar ta'sirida asosan siqilish va cho'zilishga ishlaydi. Bu hol ferma materialidan samarali foydalanish imkonini beradi, chunki har bir sterjen ko'ndalang kesimida hosil bo'ladigan normal kuchlanishlar epyurasi to'g'ri to'rtburchak shakliga ega bo'ladi.

Fermaning barcha sterjenlari yoki ularning o'qlari bir tekislikda joylashsa, tekis yoki yassi fermalar deb, bir tekislikda joylashmasa fazoviy fermalar deb ataladi. Fazoviy fermalar ko'pincha alohida yassi fermalarga ajratilgan holda hisoblanadi.

Ikki tayanch orasidagi masofa oraliq (prolyot) deb ataladi; fermaning tashqi chegarasida joylashgan sterjenlar ferma panjaralarini tashkil etadi. Panjaraning

tik elementlari ustun, og'ma elementlari – havon deb yuritiladi. Ferma tugunlari orasidagi gorizontaal masofa panel deyiladi.



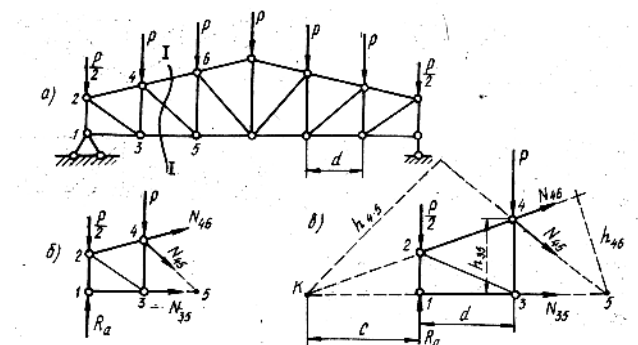
4.2. Fermalarni qo'zg'almas kuchlar ta'siriga hisoblashning analitik usuli

Statik aniq yassi fermalarni hisoblash deganda har bir sterjendagi zo'riqlashlarni aniqlash tushuniladi. Zo'riqlashlarni aniqlashning analitik, grafik va ta'sir chiziqlari usuli mavjud. Analitik usulning o'zi bir-birini to'ldiruvchi uchta usulga bo'linadi: moment nuqtasi yoki Ritter usuli, proektsiyalash usuli hamda tugunlarni kesib olish usuli. Usullarning ichida eng qulayi Ritter usulidir, biroq undan hamma vaqt ham foydalana olmaymiz. Moment nuqtasi usulidan foydalanish imkoni bo'lmagan hollarda proektsiyalash yoki tugunlarni kesib olish usullaridan foydalaniladi. Har uchala usul bilan birma-bir tanishib o'tamiz.

Moment nuqtasi usuli. Fermaning hisobi tayanch reaksiyalarini aniqlashdan boshlanadi (boshqa usullarda ham huddi shunday qilinadi). Ferma

reaksiyalari oddiy balka reaksiyalari singari aniqlanadi, yaxlit ferma uchun statikaning muvozanat tenglamalari tuziladi va shu tenglamalardan tayanch reaksiyalari aniqlanadi hamda tekshiriladi.

Sterjenlardagi zo'riqlashlarni aniqlash uchun ferma hayolan qirqiladi (4.2 a - rasm), hisoblash uchun qirqilgan fermaning bir qismi ajratib olinadi (4.2 b - rasm) va ajratilgan bo'lak uchun muvozanat tenglamasi tuziladi. Muvozanat tenglamasi tarkibiga tashqi kuchlar va tayanch reaksiyalaridan tashqari noma'lum zo'riqlashlar kiradi.



4.2-rasm.

Moment nuqtasi usulida kesim shunday o'tkaziladiki, bunda kesimga kirgan sterjenlarning soni, uchtadan ortmasligi va uchala sterjen bir nuqtada kesishmasligi kerak. Kesimga kirgan sterjenlar juft-juft bo'lib, bir nuqtada kesishadi (4.2 b - rasm). Hap bir sterjen o'zining moment nuqtasiga ega. Kesimga kirgan, zo'riqlashi izlanmayotgan ikki sterjenning kesishuv nuqtasi **moment nuqtasi** deb ataladi.

Muvozanat tenglamalari ana shu moment nuqtalariga nisbatan tuziladi. By usulning afzalligi shundan iboratki, tuziladigan tenglamalar har safar bir noma'lumli bo'ladi. Bir noma'lumli oddiy tenglamadan izlanayotgan zo'riqlashning qiymati aniqlanadi.

Tenglama tuzayotganda, noma'lum zo'riqlashlarning yo'nalishini fermaning kesilgan tomoniga yo'naltiriladi, ya'ni sterjen cho'ziluvchan deb qaraladi. Hisob natijasida zo'riqlash musbat ishorada chiqsa, sterjenning cho'zilishga ishlashi tasdiklanadi. Manfiy chiqsa sterjen siqiluvchan bo'ladi. Ferma sterjenlaridagi zo'riqlashlar aslida ichki kuchlar bo'lganligi sababli ularni N harfi bilan belgilaymiz va qaysi tugunlar orasidagi sterjenning zo'riqlashi ekanini bilish maqsadida ostiga ikki raqamdan iborat belgi qo'yamiz. Masalan, N_{46} — to'rtinchi va oltinchi tugunlar orasidagi sterjenning zo'riqlashi ekanini bildiradi.

Endi bevosita zo'riqlashlarni aniqlashga kirishamiz. N_{35} , N_{45} va N_{46} zo'riqlashlarni aniqlash talab etiladi, deylik.

Buning uchun fermani I-I kesimi bo'yicha qirqamiz (4.2 a - rasm). Fermaning bir qismini (masalan, kuchlar ko'p bo'lganligi uchun o'ng qismini) tashlab yuboramiz. hisoblash uchun esa chap qismini olib qolamiz (4.2 b - rasm).

Fermaning chap qismi tashqi kuchlar (R_A ; $0,5R$; R) hamda ichki kuchlar (N_{35} , N_{45} va N_{46}) ta'sirida muvozanat holatida bo'lishi lozim. Noma'lum ichki kuchlar fermaning tashlab yuborilgan o'ng qismining ta'sirini o'zida aks ettiradi.

4- tugun 3-5 sterjeni uchun moment nuqtasi hisoblanadi. Noma'lum zo'riqish N_{35} ni aniqlash uchun shu nuqtaga nisbatan barcha kuchlarning momentlari yig'indisini yozamiz:

$$\sum M_4 = R_A \cdot d - \frac{P}{2} \cdot d - N_{35} \cdot h_{35} = 0,$$

bu yerdan:

$$N_{35} = \frac{R_A \cdot d - 0,5P \cdot d}{h_{35}} = \frac{M_4^0}{h_{35}}.$$

Bu yerda d va h — elkalar; M_4^0 — to'rtinchi tugunga nisbatan fermaning chap bo'lagida yotgan kuchlarning momentlari yig'indisi.

Bu moment miqdor jihatidan oddiy balkaning, ferma moment nuqtasiga mos kesimidagi momentga teng bo'ladi.

Zo'riqishning musbat ishorasi 3-5 sterjenning cho'ziluvchan ekanligini anglatadi.

Endi 4-b tugunlar orasidagi sterjenning zo'riqishi N_{46} ni aniqlaymiz. Kesimga kirgan ikki sterjenning kesishuv nuqtasi (5) N_{46} uchun moment nuqtasi bo'ladi. SHu nuqtaga nisbatan momentlar yig'indisini yozamiz:

$$\sum M_5 = R_A \cdot 2d - \frac{P}{2} \cdot 2d - P \cdot d + N_{46} \cdot h_{46} = 0;$$

bu yerdan

$$N_{46} = -\frac{2d(P - R_A)}{h_{46}} = -\frac{M_5^0}{h_{46}}.$$

Zo'riqish ishorasining manfiy chiqishini 4-6 sterjenining siqiluvchan ekanligini bildiradi. Umuman fermaga qo'yilgan tashqi kuchlar pastga yo'nalgan bo'lsa, fermaning ustki tasmasi siqilishga, ostki tasmasi cho'zilishga ishlaydi.

Endigi navbat, N_{45} ga. Kesimga kirgan, zo'riqishi izlanmayotgan ikki sterjen «K» nuqtasida kesishadi. Ana shu nuqta N_{45} uchun moment nuqtasi hisoblanadi. SHu nuqtaga nisbatan momentlar yig'indisini yozamiz:

$$\sum M_k = -R_A \cdot c + \frac{P}{2} \cdot c + P(c + d) + N_{45} \cdot h_{45} = 0;$$

bu yerda:

$$N_{45} = \frac{R_A \cdot C - 0,5R \cdot C - P(c + d)}{h_{45}} = \frac{M_k^0}{h_{45}}.$$

SHunday qilib, moment nuqtasi usulida istalgan sterjendagi zo'riqish quyidagi formula asosida topilar ekan:

$$N = \frac{M}{h}.$$

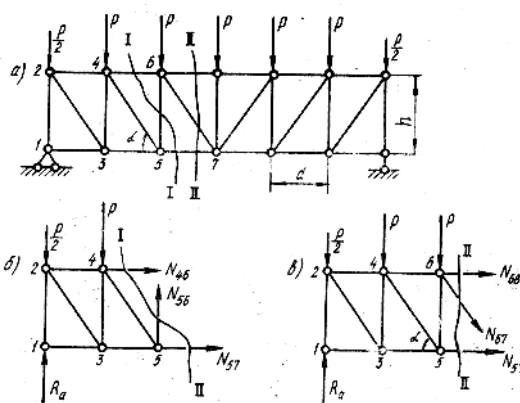
Bu yerda: M — kesilgan fermaning bir qismida yotgan kuchlarning moment nuqtasiga nisbatan olingan momentlari yig'indisi;

h — izlanayotgan zo'riqishning shu nuqtaga nisbatan elkasi.

Proeksiyalash usuli. Ba'zan shunday fermalar uchraydiki, ularda moment nuqtasi usulini qo'llab bo'lmaydi.

Bunday hollarda boshqa usullardan foydalanishga to'g'ri keladi. Parallel tasmali ferma bunga misol bo'la oladi (4.3 a - rasm). Fermaning havon va ustunlari moment nuqtasiga ega emas, chunki tasmalar parallel bo'lganligi sababli o'zaro kesishmaydi. Bunday hollarda proeksiyalash usuli juda qo'l keladi.

5-6 tugunlar orasidagi ustunning zo'riqishini aniqlamoqchimiz, deylik. Buning uchun eng avval I-I kesim bilan fermani ikki qismga ajratamiz; kuchlar ko'p bo'lgani uchun o'ng tomonini tashlab yuboramiz (4.3 b-rasm). Kesimga kirgan uch sterjenning ikkitasi o'zaro parallel, demak N_{56} ning moment nuqtasi yo'q. Shuning uchun muvozanat tenglamasini tuzishda kuchlar proeksiyalarining yig'indisidan foydalanamiz:



4.3-rasm.

$$\sum Y = R_A - \frac{P}{2} - P + N_{56} = 0;$$

bu yerda:

$$N_{56} = -(R_A - 1,5P) = -Q.$$

Bu yerda N_{56} — oddiy balkadagi ko'ndalang kuch. N_{67} zo'riqishni aniqlash uchun fermani II-II kesim bo'ylab qirqamiz va uning chap qismi uchun quyidagi proeksiyalar tenglamasini yozamiz (4.3 e-rasm):

$$\sum Y = R_A - \frac{P}{2} - P - P - N_{67} \cdot \sin \alpha = 0;$$

bu yerdan

$$N_{67} = \frac{R_A - 2,5P}{\sin \alpha} = \frac{Q}{\sin \alpha}.$$

Bu yerda ham Q oddiy balkaning qirquvchi kuchi.

Tugunlarni kesib olish usuli. Bu usulni proeksiyalash usulining hususiy holi desa ham bo'ladi. Chunki bunda ham proeksiya tenglamalaridan foydalaniladi. Farqi shuki, avvalgi usulda yaxlit fermani qirqib, uning bir qismi ajratib olingan bo'lsa, bu safar bitta tugun kesib olinadi va shu tugun uchun muvozanat tenglamalari tuziladi (4.4 a, b - rasm).

Hisob ishlari ikki sterjenli tugundan boshlanadi.

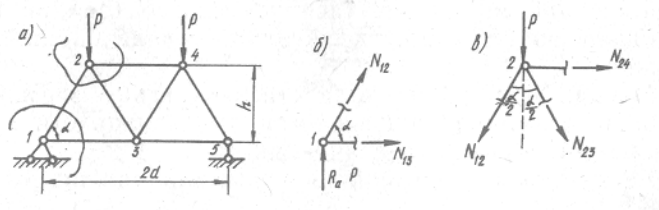
Nega deganda tugun muvozanatini tekshirish uchun ixtiyorimizda faqat ikkita tenglama bor: $\sum X = 0$; $\sum Y = 0$.

SHunga muvofiq yaxlit fermadan 1- tugunni kesib olamiz va undagi N_{12} hamda N_{13} noma'lum zo'riqishlarni aniqlaymiz. Kuchlarning Y o'qiga bo'lgan proeksiyalari yig'indisini yozamiz:

$$\sum y = R_A + N_{12} \cdot \sin \alpha = 0;$$

bu yerdan

$$N_{12} = -\frac{R_A}{\sin \alpha} = -\frac{P}{\sin \alpha};$$



4.4 – rasm.

N_{13} ni aniqlash uchun kuchlarni X o'qiga proeksiyalaymiz:

$$\sum X = N_{13} + N_{12} \cdot \cos \alpha = 0;$$

bu yerda:

$$N_{13} = -N_{12} \cdot \cos \alpha = \frac{P}{\sin \alpha} \cdot \cos \alpha = P \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

Endi 2- tugunga o'tiladi; bu yerdagi uchta zo'riqishdan bittasi ma'lum (N_{12}), qolgan ikkitasi noma'lum. N_{23} ni aniqlash uchun kuchlarni Y o'qiga proeksiyalaymiz (4.4 b - rasm).

$$\sum Y = -P - N_{12} \cos \frac{\alpha}{2} - N_{23} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = 0,$$

bu yerda:

$$N_{23} = -P(1 - \frac{1}{\sin \alpha}) \cos \frac{\alpha}{2}.$$

N_{24} ni aniqlash uchun kuchlarni- X o'qiga proeksiyalaymiz (4,4 b - rasm)

$$\sum X = N_{24} - N_{12} \sin \frac{\alpha}{2} + N_{23} \sin \frac{\alpha}{2} = 0,$$

bu yerda:

$$N_{24} = P(1 + \cos \frac{\alpha}{2}) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - P \sin \frac{\alpha}{2} / \sin \alpha.$$

Yuqoridagilardan ko‘rinib turibdiki, tugunlarni kesib olish usulida navbatdagi sterjen zo‘riqishi o‘zidan oldingi sterjenlar zo‘riqishlariga bog‘liq holda topiladi. Oldingi zo‘riqishni aniqlashda yo‘l qo‘yilgan xato tabiiyki keyingi zo‘riqishlarda ham takrorlanadi.

Bu mazkur usulning kamchiliklaridan hisoblanadi. Usulning yana bir kamchiligi shundan iboratki, uning tenglamalarida ko‘plab trigonometrik funksiyalar uchraydi, bu esa hisobni murakkablashtiradi.

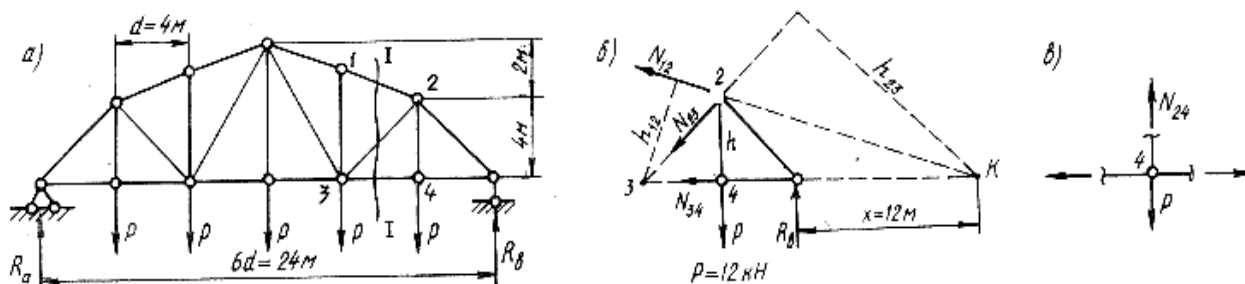
Ana shularni hisobga olib, fermalarni hisoblaganda ko‘rib o‘tilgan usullardan qaysi biri qo‘l kelsa, o‘sha usuldan foydalaniladi.

Masalan, fermaning ba‘zi zo‘riqishlari moment nuqtasi usulida, ba‘zilari proektsiyalash yoki tugunlarni kesib olish usulida aniqlanishi mumkin.

4.1-misol. 4.5 a - rasmda tasvirlangan fermaning beshinchi panelini tashkil etgan sterjenlardagi zo‘riqishlar analitik usulda aniqlansin.

Yechish. Hisob tayanch reaksiyalarini aniqlashdan boshlanadi:

$$R_A = R_B = \frac{5P}{2} = \frac{5 \cdot 12}{2} = 30 \text{ kN}$$



4.5 – rasm.

Fermaning 5- panelini I-I kesim bilan kesib, chap qismini tashlab yuboramiz va o‘ng tomoni uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz. (4.5 b - rasm). Muvozanat tenglamalarini tuzishda kesilgan sterjenlar cho‘zilishga ishlaydi deb faraz etiladi va zo‘riqishlar tugundan tashqi tomonga yo‘naltiriladi.

N_{12} zo‘riqishini aniqlashda 2—3 va 3—4 sterjenlarning kesishuv nuqtasi (3) moment nuqtasi deb qabul qilinadi. Shu nuqtaga nisbatan momentlar tenglamasi tuziladi.

$$\sum M_3 = -R_B \cdot 2d + P \cdot d - N_{12} \cdot h_{12} = 0.$$

Trigonometrik yo‘llar bilan $x=12 \text{ m}$ va $h_{12}=4,9 \text{ m}$ ni aniqlaymiz. U holda $N_{12} = -39,6 \text{ kH}$ bo‘ladi.

N_{34} zo‘riqishning moment nuqtasi 2- tugunga to‘g‘ri keladi. Momentlar tenglamasini shu nuqtaga nisbatan tuzamiz:

$$\sum M_2 = -R_b \cdot d + N_{34} \cdot h = 0;$$

bunda: $N_{34}=30 \text{ kH}$.

N_{23} zo'riqishini ham avvalgi zo'riqishlar singari moment nuqtasi usulida aniqlaymiz. Biroq bu zo'riqishning moment nuqtasi, ya'ni 1—2 va 3—4 sterjenlardan o'tgan o'qning kesishuv nuqtasi (K) fermadan tashqarida yotadi. Muvozanat tenglamasi ana shu nuqtaga nisbatan tuziladi:

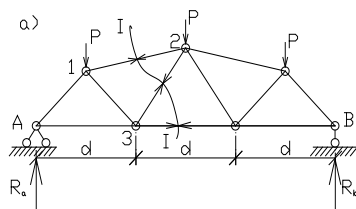
$$\sum M_K = R_B \cdot x - P(d+x) - N_{23} \cdot h_{23} = 0.$$

Trigonometriyadan $h_{23} = 14,14m$. Tenglamadan $N_{23} = 11,9 kN$.

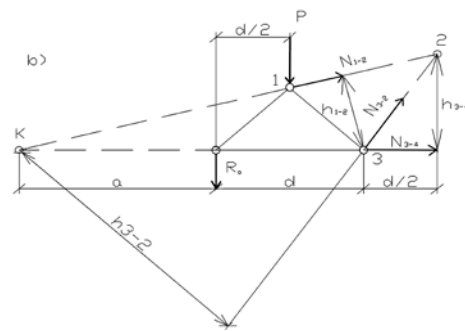
N_{24} zo'riqishi tugunlarni kesib olish usulida aniqlanadi. Buning uchun 4-tugunni kesib olib (4.5 a - rasm), muvozanat tenglamasi tuziladi:

$$\sum y = N_{24} - P = 0; \text{ bundan } N_{24} = 12 kN.$$

4.2 – misol. 4.6- a rasmda berilgan fermaning 2-panelidagi sterjenlarning zo'riqishi analitik usulda aniqlansin.



4.6- rasm.



Yechish. Berilgan fermaning quyidagi zo'riqishlarini aniqlash talab etiladi:

$$N_{12} = ? \quad N_{32} = ? \quad N_{34} = ?$$

Avval tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz:

$$R_A = R_B = \frac{3P}{2} = 1,5P.$$

Keyin ikkinchi panelni xayolan kesamiz. Kuchlar ko'p bo'lganligi uchun I-I kesimning o'ng tomonini tashlaymiz va chap tomoni uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz (4.6 b -rasm).

Zo'riqishi izlanayotgan har uchchala sterjenning moment nuqtasi bor. SHunga ko'ra zo'riqishlarni aniqlashda moment nuqtasi usulidan foydalanamiz.

$$\sum M_3 = 0; \quad N_{12} \cdot h_{12} + R_A \cdot d - P \cdot \frac{d}{2} = 0; \quad N_{12} = -\frac{R_A d - P \frac{d}{2}}{h_{12}};$$

$$\sum M_2 = 0; \quad -N_{34} \cdot h_{34} + R_A \cdot \left(d + \frac{d}{2}\right) - P \cdot d = 0; \quad N_{34} = \frac{R_A \frac{3d}{2} - Pd}{h_{34}};$$

$$\sum M_k = 0; \quad -N_{32} \cdot h_{32} - R_A \cdot a + P \cdot \left(a + \frac{d}{2}\right) = 0; \quad N_{32} = \frac{-R_A a + P \left(a + \frac{d}{2}\right)}{h_{32}}.$$

Izlanayotgan zo'riqishlar topildi.

4.3. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari

Ba'zan fermalarga doimiy yuklardan tashqari qo'zg'aluvchan yuklar kam ta'sir etadi. Qo'zg'aluvchan yuklar ta'sirida ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarning qiymati o'zgarib boradi. Zo'riqishlarning qanday o'zgarishini bilish uchun ta'sir chiziqlari deb atalgan grafik chiziladi.

Ta'sir chiziqlarining tenglamalari analitik usuldagi singari moment nuqtasi, proeksiyalash va tugunlarni kesib olish usullarida tuziladi. 4.7 a - rasmda tasvirlangan ferma sterjenlaridagi ayrim zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini ko'ramiz.

Fermaning ikkinchi panelidagi N_{35} , N_{46} , N_{45} zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari moment nuqtasi usulida, uchinchi panelidagi N_{67} zo'riqish proeksiyalash usulida hamda N_{87} zo'riqishning ta'sir chizig'i tugunni kesib olish-usulida quriladi.

Ishni N_{35} zo'riqishining ta'sir chizig'ini qurishdan boshlaymiz. Buning uchun fermani I-I kesim bilan xayolan qirqamiz. Harakatlanuvchi birlik kuch kesimning o'ng tomonida deb faraz etamiz va shu tomonni tashlab yuboramiz. Qirqimga tushgan uchta sterjenda zo'riqishlarning yo'nalishi tashlab yuborilgan tomonga qaratiladi.

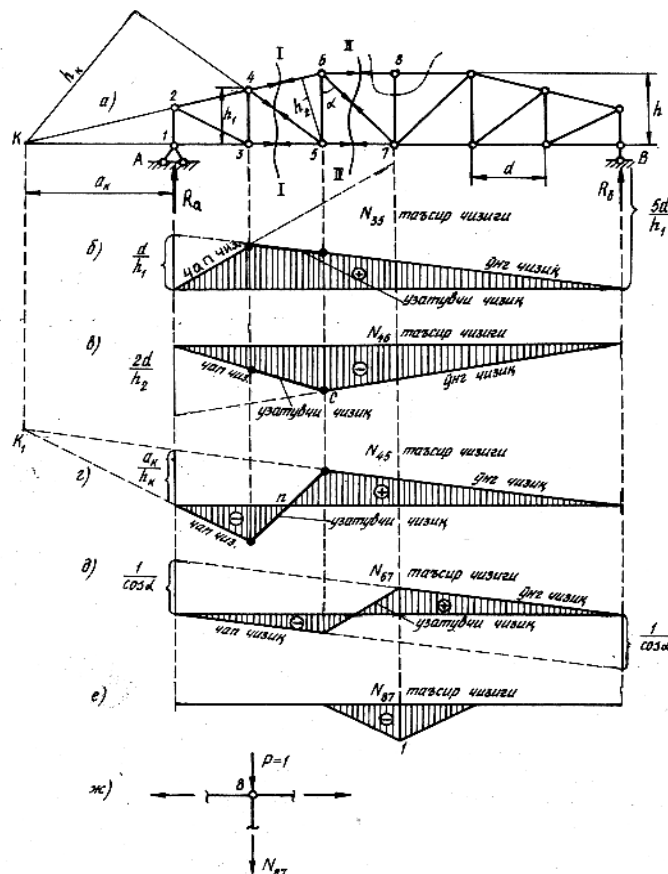
Kesimning chap tomoni uchun moment nuqtasi usulini qo'llab, muvozanat tenglamasini tuzamiz. 3-5 sterjeni uchun 4 nuqta moment nuqtasi hisoblanadi. SHu nuqtaga nisbatan momentlar yig'indisinn yozamiz:

$$\sum M_4 = R_A \cdot d - N_{35} \cdot h_1 = 0,$$

bu yerda:

$$N = R_A \cdot \frac{d}{h_1}$$

Demak, N_{35} zo'riqishning ta'sir chizig'i birlik kuch kesimdan o'ngda harakatlenganda, R_a tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i singari bo'lib, ordinatalari d/h_1 miqdorga farq qiladi. Shunga ko'ra A tayanch ostida o'qdan yuqoriga d/h_1 masofani o'lchab qo'yamiz hamda V tayanch ostidagi nol nuqta bilan tutashtiramiz.



4.7- rasm.

O'tkazilgan chiziq o'ng chiziq deb ataladi (4.7 b- rasm). **Chap chiziq** ni o'tkazish maqsadida kesimning o'ng tomoni uchun momentlar tenglamasini yozamiz:

$$\sum M_4 = N_{35} \cdot h_1 - R_B \cdot 5d = 0,$$

bu yerdan

$$N_{35} = R_B \cdot \frac{5d}{h_1}$$

Demak, N_{35} zo'riqishning ta'sir chizig'i birlik kuch kesimdan chapda bo'lganda, tuzilishi jihatidan huddi R_b , reaksiyasining ta'sir chizig'iga o'xshash bo'lib, miqdor jihatdan undan $5d/h_1$ marotaba ko'p bo'ladi. Bunga asosan V tayanch ostida $5d/h_1$ masofani o'qdan yuqoriga o'lchab qo'yamiz va uni A tayanch ostidagi nol nuqta bilan tutashtiramiz. Bu chiziq **chap chiziq** deb ataladi. Chap va o'ng chiziqlar moment nuqtasi (4) ostida kesishadi (4.7 b- rasm).

Shtrixangan uchburchak N_{35} zo'riqlashining ta'sir chizig'i hisoblanadi. Musbat ishora 3-5 sterjeni cho'zilishga ishlashini bildiradi. 3- va 5- tugunlardan ta'sir chiziqlariga tushirilgan proeksiyalarni tutashtiruvchi chiziq — **uzatuvchi chiziq** deb ataladi.

N_{35} ga taalluqli uzatuvchi chiziq bizning holda o'ng chiziq bilan ustma-ust tushgan. Ba'zi hollarda uzatuvchi chiziq chap yoki o'ng chiziq bilan ustma-ust tushmaydi.

O'ng va chap chiziqlarning moment nuqtasi ostida kesishuvini e'tiborga olib, ta'sir chiziqlarini chizishni bir muncha engillashtirish mumkin. Buning uchun birgina o'ng yoki chap chiziq chizilsa kifoya. Ikkinchisi moment nuqtasining proeksiyasi orqali o'tkaziladi.

SHu yo'l bilan N_{46} va N_{45} zo'riqlashlarning ta'sir chizig'ini quramiz.

Kesim o'z kuchini saqlaydi. 5- nuqta N_{46} ning moment nuqtasi bo'ladi. Birlik kuch $R=1$ kesimdan o'ng tomonda harakatlanadi, deb chap tomon uchun quyidagi tenglamani yozamiz:

$$\sum M_5 = R_A \cdot 5d + N_{46} \cdot h_2 = 0,$$

bundan

$$N_{46} = -R_A \frac{2d}{h_2}$$

N_{46} ning ta'sir chizig'ini chizish uchun A tayanchi yo'nalishida o'qdan pastga (manfiy bo'lganligi uchun) $2d/h_2$ masofani o'lchab qo'yamiz va V tayanchi yo'nalishidagi nol bilan birlashtiramiz (4.7 B - rasm). Bu **o'ng chiziq** bo'ladi. Chap chiziqni o'tkazish uchun moment nuqtasi 5 ni o'ng chiziqqa proeksiyalaymiz. Topilgan nuqta S ni A tayanchi ostidagi nol bilan tutashtiramiz. Bu chiziq chap chiziq bo'ladi. Shtrixlangan yuza N_{46} zo'riqlashining ta'sir chizig'i hisoblanadi. Manfiy ishora 4-6 sterjenining siqilishga ishlashini bildiradi.

Endi havondagi zo'riqlash N_{45} ning ta'sir chizig'ini chizamiz. I-I kesim bu sterjenni ham kesib o'tgan. Kesimning o'ng tomonini tashlab yuboramiz. Birlik kuch $P=1$ kesimdan o'ngda deb faraz etamiz. Fermaning kesimdan chap qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz. Buning uchun avval moment nuqtasini belgilab olamiz; N_{45} zo'riqlashining moment nuqtasi 3-5 va 4-6 sterjenlaridan o'tgan o'qning kesishuv nuqtasi K da yotadi. Momentlar yig'indisini shu nuqtaga nisbatan tuzamiz:

$$\sum M_k = -R_A \cdot a_k + N_{45} \cdot h_k = 0,$$

bundan:

$$N_{45} = R_A \frac{a_k}{h_k}$$

Demak, kuch ($P=1$) kesimdan o'ngda harakatlanganda, N_{45} zo'riqlashning qiymati R_a reaksiyasidan a_k/h_k marotaba katta bo'lar ekan. Bunga asoslanib,

o'qdan yuqoriga a_k/h_k masofani o'lchab qo'yamiz; uni V tayanchi yo'nalishidagi nol bilan tutashtiramiz (4.7 r- rasm), hosil bo'lgan chiziq **o'ng chiziq** bo'ladi. Chap chiziqni o'tkazish uchun o'ng chiziqni chapga davom ettiramiz. Moment nuqtasi — K ni uning davomiga proeksiyalaymiz. Ular K_1 nuqtasida kesishadi. K_1 nuqtasi bilan A tayanchi ostidagi nol nuqtani birlashtiramiz va o'ngga davom ettiramiz. Bu **chap chiziq** bo'ladi. **Uzatuvchi chiziqni** o'tkazish uchun 4- tugunni chap, 5- tugunni o'ng chiziqqa proeksiyalaymiz. Topilgan nuqtalarni birlashtiruvchi chiziq **uzatuvchi chiziq** hisoblanadi. Shtrixlangan yuza esa N_{45} ning ta'sir chizig'idir. Bu yerda yuza ikki xil ishoraga ega. p nuqtada ordinata nolga teng. Buning ma'nosi shuki, birlik kuch p nuqtasidan chapda harakatlansa, 4-5 sterjen siqilishga, o'ngda harakatlansa cho'zilishga ishlaydi.

Endi ferma sterjenlaridagi zo'riqlarning ta'sir chiziqlarini qurishda proeksiyalash usulini qo'llab ko'ramiz.

4.7 a - rasmda tasvirlangan fermaning uchinchi va to'rtinchi panelidagi ustki va ostki tasmalar o'zaro parallel. Shu boisdan mazkur panellardagi havonlarga moment nuqtasi usulini qo'llab bo'lmaydi. Bunday hollarda proeksiyalash usuliga murojaat etiladi.

Uchinchi panel havonidagi zo'riqlar N_{67} ning ta'sir chizig'ini ko'raylik. Buning uchun II — II kesimi bo'ylab fermanni qirqamiz. O'ng tomonini tashlab, chap tomoni uchun tenglama tuzamiz; bunda birlik kuch $R=1$ kesimdan o'ngda deb faraz etamiz:

$$\sum y = R_A - N_{67} \cdot \cos \alpha = 0,$$

bundan:

$$N_{67} = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot R_A.$$

Birlik kuch kesimdan chapda deb faraz etib, o'ng tomon uchun proeksiyalar tenglamasini yozamiz:

$$\sum y = R_B + N_{67} \cdot \cos \alpha = 0,$$

bundan:

$$N_{67} = -R_B \cdot \frac{1}{\cos \alpha}.$$

N_{67} zo'riqlarining ta'sir chizig'i ham tayanch reaksiyalari R_A va R_B ning ta'sir chizig'i kabi bo'lar, miqdori esa $1/\cos \alpha$ ga farq qilar ekan. Shunga ko'ra reaksiyalar yo'nalishida o'qdan yuqoriga va pastga $1/\cos \alpha$ ni o'lchab qo'yamiz, topilgan nuqtalarni tayanchlar ostidagi nol nuqtalar bilan birlashtiramiz. Yuqorida **o'ng**, pastda **chap chiziq** hosil bo'ladi (4.7d - rasm). 6- tugunni chap, 7- tugunni o'ng chiziqqa proeksiyalaymiz va topilgan nuqtalarni tutashtirsak, uzatuvchi chiziq hosil bo'ladi.

Shtrixlangan yuza 6-7 havondagi zo'riqlarining ta'sir chizig'i bo'ladi.

Tugunlarni kesib olish usulini N_{87} zo'riqishi misolida ko'rib o'tamiz. 7-8 ustunning zo'riqishini aniqlashda ferma qirqimiga uchdan ortiq (bizning holda 4 ta) sterjen to'g'ri keladi. Shuning uchun 8- tugunni shaklda ko'rsatilgandek kesib, ajratib olamiz (4.7 a va ж - rasm).

Birlik kuch 8- tugundan boshqa tugunlar bo'ylab harakatlansa, ustundagi zo'riqish nol bo'ladi:

$$\sum Y = N_{81} = 0.$$

Birlik kuch 8- tugunda bo'lsa,

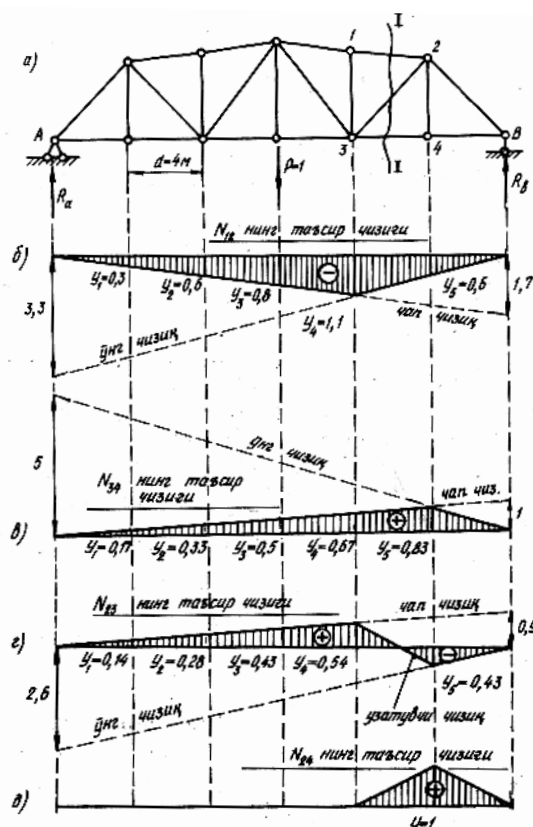
$$\sum Y = -N_{87} - P = 0,$$

bundan

$$N_{87} = -P = -1.$$

Mazkur zo'riqishning ta'sir chizig'i 4.7 e - rasmda tasvirlangan.

4.3 - Misol. 4.8 a -rasmda tasvirlangan fermaning beshinchi panelidagi zo'riqishlar uchun ta'sir chiziqlari chizilsin hamda chizilgan ta'sir chiziqlaridan foydalanib, zo'riqishlarning qiymati aniqlansin.



4.8- rasm.

Yechish. Moment nuqtasi usulidan foydalanib N_{12} zo'riqishining ta'sir chizig'ini chizamiz. Buning uchun fermanni I-I kesim bilan qirqamiz. Navbatma-navbat fermaning chap va o'ng qismlari uchun muvozanat tenglamalarini

tuzamiz. Fermaning chap qismi uchun tenglama tuzganda, birlik kuch $R=1$ fermaning o'ng tomonida harakatlanadi deb faraz etamiz va aksincha.

3- tugun N_{12} uchun moment nuqtasi bo'ladi. Shu nuqtaga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz (4.5 δ - rasm).

a) fermaning o'ng tomoni tenglamasi

$$\sum M_3 = -R_B \cdot 2d - N_{12} \cdot h_{12} = 0,$$

bunda:

$$N_{12} = -\frac{2 \cdot 4}{4,9} \cdot R_B = -1,7 R_B.$$

Bu ifodaga ko'ra A tayanchi ostiga nol, V tayanchi ostiga — 1,7 ra teng bo'lgan ordinatalarni o'lchab qo'yamiz va ularni birlashtirib, chap to'g'ri chiziqni hosil qilamiz (4.8 δ - rasm);

b) bu ishlarni fermaning chap tomoni uchun takrorlaymiz

$$\sum M_3 = R_A \cdot 4d + N_{12} \cdot h_{12} = 0,$$

bunda:

$$N_{12} = -3,3 R_A.$$

Bu ifodaga ko'ra o'ng to'g'ri chiziq o'tkaziladi. Shtrixlangan yuza N_{12} zo'riqishning ta'sir chizig'idir (4.8 δ - rasm).

N_{34} zo'riqishining moment nuqtasi 2- tugun bilan ustma-ust yotadi. Fermaning chap va o'ng qismlari uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz va ularning N_{34} ga tegishli ordinatalarini aniqlaymiz (4.5 δ - rasm):

a) fermaning chap qismi uchun

$$\sum M_2 = R_A \cdot 5d - N_{34} \cdot h = 0,$$

bundan

$$N_{34} = 5 R_A.$$

b) fermaning o'ng qismi uchun

$$\sum M_2 = -R_B \cdot d + N_{34} \cdot h = 0, \quad N_{34} = R_B.$$

Shtrixlangan yuza N_{34} ning ta'sir chizig'idir (4.8 δ - rasm).

N_{23} zo'riqishning moment nuqtasi (K) fermadan tashqarida yotadi (4.5 δ - rasm). Muvozanat tenglamalarini shu nuqtaga nisbatan tuzamiz:

a) fermaning chap qismi uchun

$$\sum M_k = R_A(6d + x) + N_{23}h_{23} = 0, \quad \text{bundan} \quad N_{23} = -2,6 R_A.$$

Bunga ko'ra **o'ng (to'g'ri) chiziq** o'tkaziladi;

b) fermaning o'ng qismi tenglamasi

$$\sum M_k = R_B \cdot x - N_{23} \cdot h_{23} = 0, \quad N_{23} = 0,9 R_B$$

Bunga asosan **chap (to'g'ri) chiziq** o'tkaziladi.

CHap va **o'ng chiziqlar uzatuvchi chiziq** yordamida tutashtiriladi. Buning uchun 3- tugun chap va 2- tugun o'ng chiziqqa proeksiyalanadi hamda topilgan

nuqtalar birlashtiriladi. Shtrixlangan yuza N_{23} ning ta'sir chizig'idir (4.8 *z* - rasm).

N_{24} zo'riqishning ta'sir chizig'i tugunlarni kesib olish usulida quriladi. Buning uchun 4- tugunni kesib olamiz va uning ikki holatini tekshiramiz (4.5 *o* - rasm).

Birinci holatda birlik kuch 3-4 va 4-5 panellardan tashqarida harakatlanadi, deb faraz etamiz.

Bu holda muvozanat tenglamasi $\Sigma Y=0$ dan $N_{24}=0$ kelib chiqadi.

Ikkinchi holatda birlik kuch 4- tugunga qo'yilgan deb faraz etamiz. Bu hol uchun muvozanat tenglamasi $\Sigma Y = N_{24} - P = 0$ bo'ladi, bundan $N_{24}=1$ kelib chiqadi.

Birlik kuch boshqa tugunlarda bo'lganda, N_{24} zo'riqish nolga teng bo'ladi. Mazkur zo'riqishning ta'sir chizig'i 4.9 *o* - rasmda tasvirlangan.

Endi masalaning ikkinchi qismini hal etishga kirishamiz, ya'ni tayyor ta'sir chiziqlaridan foydalanib, zo'riqishlarning qiymatini aniqlaymiz. Fermaga faqat yig'iq kuchlar qo'yilgan bo'lganligi uchun zo'riqishlar quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$N = P \sum_{i=1}^n y_i$$

Bu formuladan foydalanishda yig'iq kuchlar pastga yo'nalganligi uchun (4.6 *a* - rasm) musbat ishorada, U ordinatasining ishoralari esa ta'sir chiziqlari ishorasi bo'yicha olinadi.

N_{12} zo'riqishining qiymatini aniqlaylik. Ferma tugunlariga qo'yilgan ko'zg'almas kuchlarning qiymati $R=12 \text{ kN}$. Noma'lum ordinatalar (u_i) ning qiymatlari N_{12} zo'riqishining ta'sir chiziqlaridan topiladi. Buning uchun uchburchaklarning o'xshashligidan foydalaniladi.

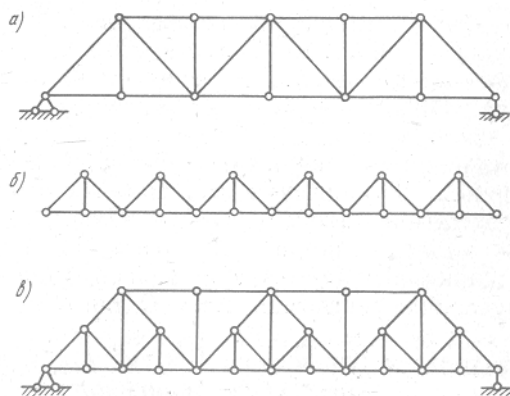
Topilgan ordinatalarning qiymati shaklda ko'rsatilgan (4.8 *o* - rasm). Izlanayotgan zo'riqishning qiymati

$$\begin{aligned} N_{12} &= P(-y_1 - y_2 - y_3 - y_4 - y_5) = \\ &= -12(0,3 + 0,6 + 0,8 + 1,1 + 0,6) = -39,6 \text{ kH} . \end{aligned}$$

Bu qiymat analitik usulda topilgan qiymat bilan bir hildir. Qolgan zo'riqishlarning qiymatlari ham shu yo'sinda aniqlanadi.

4.4. Shprengelli fermalar

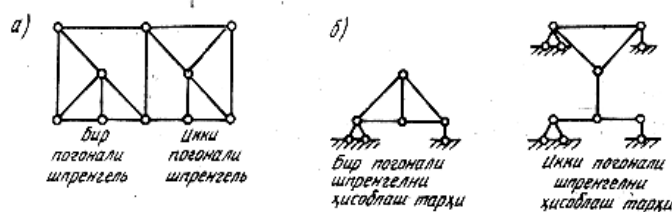
Katta uzunlikka ega bo'lgan fermaning tugunlari orasidagi masofa (panel) ham katta bo'ladi. Buning oqibatida tugunlarga tayanuvchi ko'ndalang balkalar ustiga qo'yiladigan bo'ylama balkalarning vazni ortib ketadi. Bu hol iktisodiy jihatdan samarasizdir; Panel uzunligini saqlagan holda bo'ylama balkaning uzunligini qisqartirish uchun asosiy fermaga (4.9 a - rasm) qo'shimcha elementlar — shprengellar kiritiladi (4.9 b -rasm). Natijada hosil bo'lgan **ferma shprengelli ferma** deb ataladi (4.9 e - rasm).



4.9- rasm

Asosiy ferma barcha yukni o'ziga qabul qiladi, shprengellar esa faqat o'ziga qo'yilgan yukni qabul qiladi.

Shprengellar bir va ikki pog'onali bo'lishi mumkin (4.10 a - rasm). Bir va ikki pog'onali shprengellarning hisoblash sxemalari 4.10 b - rasmda tasvirlangan.



4.10- rasm.

Shprengelli fermalarning elementlari to'rt toifaga bo'linadi:

1) faqat asosiy fermaga tegishli bo'lgan elementlar. Bu elementlardagi zo'riqishlar asosiy ferma hisobidan topiladi; ferma tarkibiga shprengellarning qo'shilishi mazkur elementlardagi zo'riqishlarga ta'sir etmaydi;

2) faqat shprengellarga, ya'ni qo'shimcha fermachalarga tegishli bo'lgan elementlar. Bu elementlardagi zo'riqishlar shprengellarning alohida hisobidan topiladi;

3) bir vaqtning o'zida ham asosiy fermaga, ham shprengelga tegishli bo'lgan elementlar. Bunday elementdagi zo'riqish ikki xil zo'riqishning yig'indisi sifatida aniqlanadi; bulardan biri asosiy ferma elementining zo'riqishi; ikkinchisi esa shprengelli elementning zo'riqishidir;

4) asosiy fermaning shunday elementlaridirki, qo'zg'aluvchan yukning harakat sathiga ko'ra, ya'ni yukning ostki yoki ustki tasmadan harakatlanishiga qarab elementdagi zo'riqishning ta'sir chiziqlari turlicha bo'ladi.

4.4 - misol. 3-4, 3-4¹ va 5-4¹ sterjenlardagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari qurilsin (4.11- rasm).

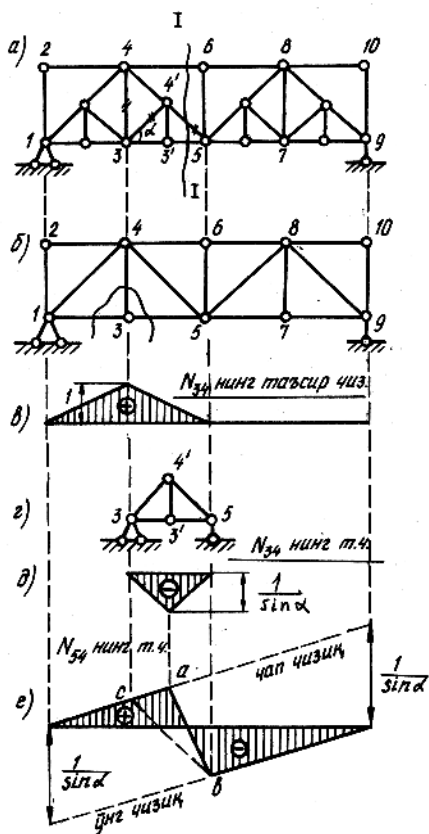
Ishni 3-4 sterjenidagi zo'riqishning ta'sir chizig'ini chizishdan boshlaylik. Avvalam bor bu sterjen birinchi turkumga kiradigan, ya'ni faqat asosiy fermaga oid bo'lgan sterjendir. Shuning uchun bu masalani hal etishda shprengellarni olib tashlab, asosiy fermaning o'zini qoldiramiz (4.11 б - rasm) va undan 3- tugunni kesib olib, muvozanat tenglamalarini tuzamiz, natijada 4.11 в - rasmda tasvirlangan ta'sir chizig'iga ega bo'lamiz.

3-4¹ sterjen ikkinchi turkumga oid ster-jen ekanligini e'tiborga olib, shprengelni asosiy fermadan ajratib olamiz hamda unga mustaqil ferma sifatida yondashamiz (4.11 з - rasm). Harakatlanuvchi R=1 birlik kuch 3 - tugunga qo'yilgan deb faraz etib, 3- tugun uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum Y = \frac{1}{2} + N_{34'} \sin \alpha = 0;$$

$$\text{bunda: } N_{34'} = \frac{1}{2 \sin \alpha}.$$

Birlik kuch tayanchlarga qo'yilsa, 3-4¹ sterjenidagi zo'riqish nolga teng bo'ladi. Bularga asosan 3-4¹ sterjenidagi zo'riqish uchun 4.11 д- rasmda tasvirlangan ta'sir chizig'iga ega bo'lamiz. Uchinchi toifaga oid bo'lgan 5-4¹ sterjenidagi zo'riqishni aniqlash uchun fermanni I-I kesim bo'ylab qirqamiz va uning chap qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz:



4.11- rasm.

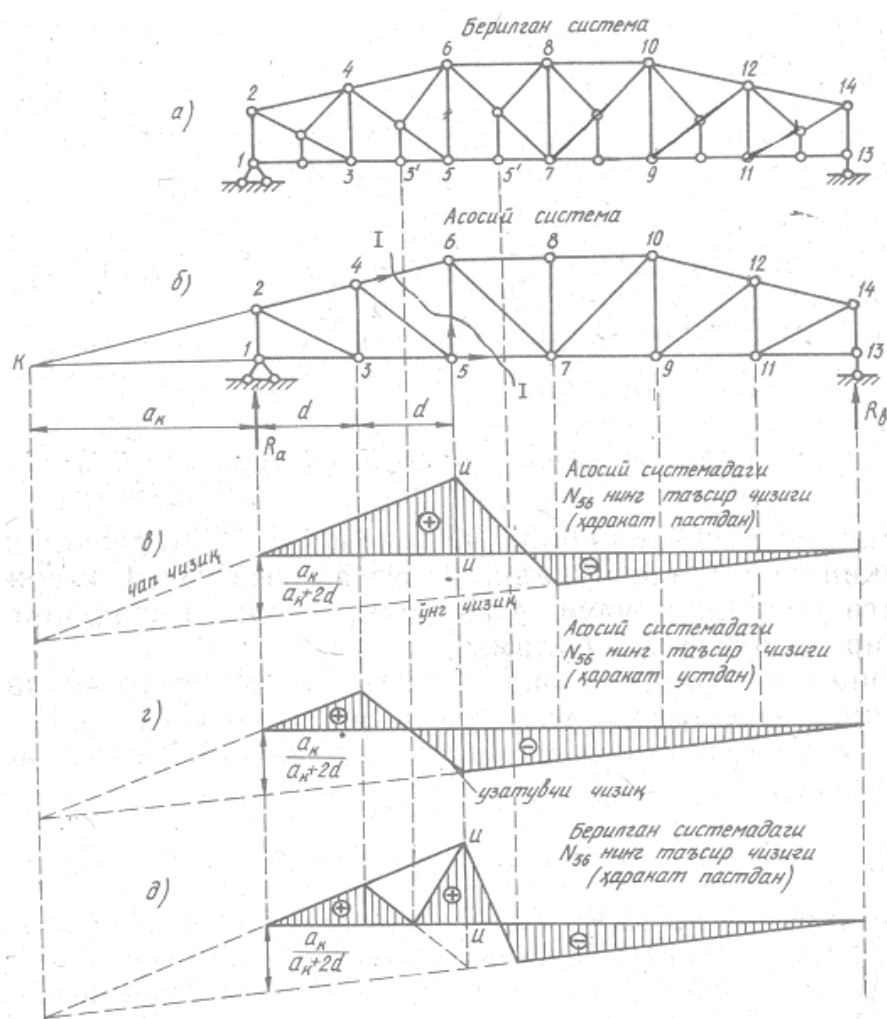
$$\sum Y = R_A + N_{54'} \sin \alpha = 0; \quad \text{bundan} \quad N_{54'} = -\frac{R_A}{\sin \alpha}$$

Bu qiymatdan foydalanib, **o'ng to'g'ri chiziqni** o'tkazamiz (4.11 e - rasm) N_{54}' ning moment nuqtasi cheksizlikda bo'lganligi sababli **chap to'g'ri chiziqni o'ng to'g'ri chiziqqa** parallel qilib o'tkazamiz. **Uzatuvchi chiziq** ab ni o'tkazish uchun 5 va 4' — tugunlarini o'ng va chap chiziqlarga proektsiyalaymiz. Agar shprengel bo'lmaganida, uzatuvchi chiziq VS bo'yicha o'tar edi. Bu yerda abc uchburchak shprengelning asosiy elementga ta'sirini ifodalaydi.

4.5-misol. Tarkibida ikki pog'onali shprengellar mavjud bo'lgan fermaning 5 - 6 ustuni uchun ta'sir chiziqlari qurilsin (4.12 a - rasm).

Fermaning bu ustuni sterjenlarning to'rtinchi toifasiga kiradi, ya'ni ustun asosiy fermaga tegishli element bo'lib, uning ta'sir chiziqlari birlik kuch qaysi tasmadan harakatlanishiga qarab turlicha bo'ladi.

Berilgan sistemadagi shprengellarni tashlab yuborish yo'li bilan asosiy sistemani hosil qilamiz (4.12 b - rasm). Asosiy sistemaning 5-6 sterjeni uchun ta'sir chiziqlarini chizamiz. Bunda yukning ustki va ostki tasmalar bo'yicha harakati ko'rib chiqiladi.



4.12-rasm.

Fermani *I-I* kesim bo‘ylab qirqamiz, birlik kuch kesimdan o‘ng tomonda harakat qiladi, deb faraz etib, chap qism uchun K nuqtaga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_k = -R_A a_k - N_{36} \cdot (a_k + 2d) = 0,$$

bundan

$$N_{56} = -\frac{R_A \cdot a_k}{a_k + 2d}.$$

Bu qiymatga asosan **o‘ng to‘g‘ri chiziqni** o‘tkazamiz.

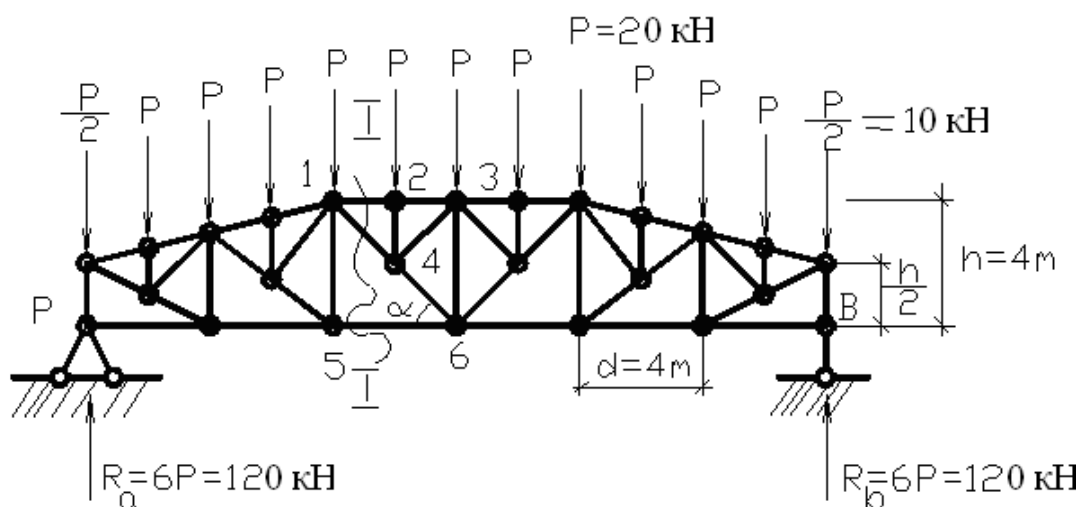
Moment nuqtasidan foydalanib, chap to‘g‘ri chiziq o‘tkaziladi. Birlik kuch pastki tasmada harakatlansa, **uzatuvchi chiziqni** o‘tkazish uchun **chap** va **o‘ng to‘g‘ri chiziq**larga 5 va 7 tugunlar proeksiyalanadi (4.12 *б* - rasm). YUk yuqori tasmada harakatlansa, **uzatuvchi chiziqni** o‘tkazish uchun 4 va 6 tugunlar proeksiyalanadi (4.12 *з* - rasm).

Har ikkala ta’sir chizig‘idan ko‘rinib turibdiki, yuk uchinchi tugundan chapda va ettinchi tugundan o‘ngda harakatlansa, zo‘riqishning qiymati harakat sathiga bog‘liq bo‘lmaydi.

Yuk 3' va 5' tugunlarga qo‘yilsa (4.12 *а* - rasm), uning ta’siri ikki pog‘onali shprengellar orqali yuqori tugunlarga uzatiladi; go‘yoki harakat ustki tasma bo‘ylab sodir bo‘lgandek tuyuladi. SHu sababga ko‘ra, bunday holda N_{56} ning ordinatalari 4.11 *з* - rasmdan olinadi. Uning izlanayotgan ta’sir chizig‘ini qurish uchun aniqlangan ordinatalar etarli. Mazkur ta’sir chizig‘i 4.12 *д* - rasmda o‘z aksini topgan.

Statik aniq yassi fermaga doir hisoblash grafik ishi

4.13 – rasmda berilgan shprengelli ferma uchun quyidagilar aniqlansin:



4.13 – rasm.

- 62

Navbatdagi zo'riqish N_{5-6} ni aniqlash uchun moment nuqtasi usulidan foydalanamiz. 1-tugun 5-6 sterjen uchun moment nuqtasi hisoblanadi. SHu nuqtaga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\Sigma M_1 = N_{56} \cdot h + R_a \cdot 2d - \frac{P}{2} \cdot 2d - P \cdot 1,5d - P \cdot d - P \cdot 0,5d = 0,$$

bundan $N_{5-6} = 160 \text{ kH}.$

N_{1-2} zo'riqishni aniqlash uchun 6-nuqtaga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\Sigma M_6 = N_{12} \cdot h + R_A \cdot 3d - \frac{P}{2} \cdot 3d - P \cdot 2,5d - P \cdot 2d - P \cdot 1,5d - P \cdot d = 0,$$

bundan $N_{1-2} = -190 \text{ kH}.$

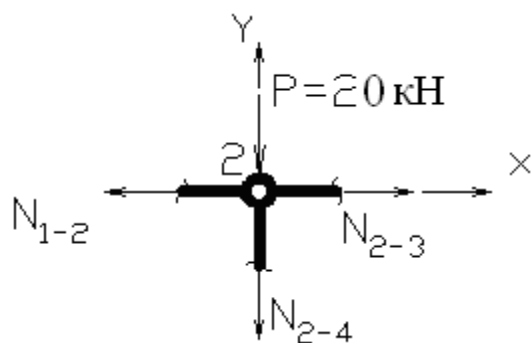
2-3 va 2-4 sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlash uchun 2-tugunni kesib olamiz (4.15-rasm) va muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\Sigma Y = -N_{24} - P = 0;$$

$$N_{24} = -P = -20 \text{ kH}.$$

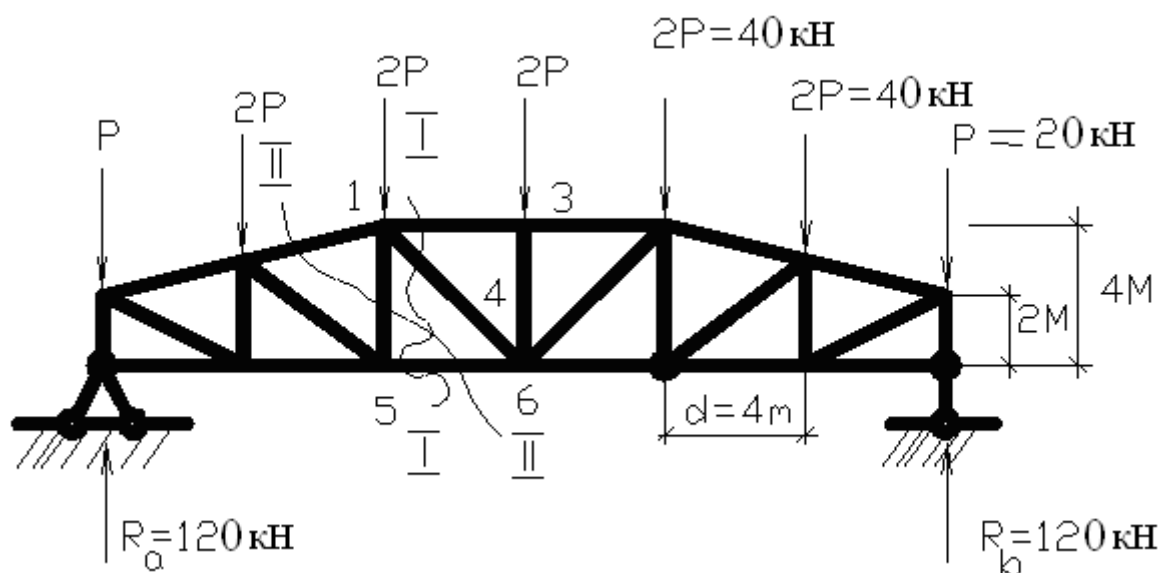
$$\Sigma X = N_{2-3} - N_{1-2} = 0;$$

$$N_{2-3} = N_{1-2} = -190 \text{ kH}.$$



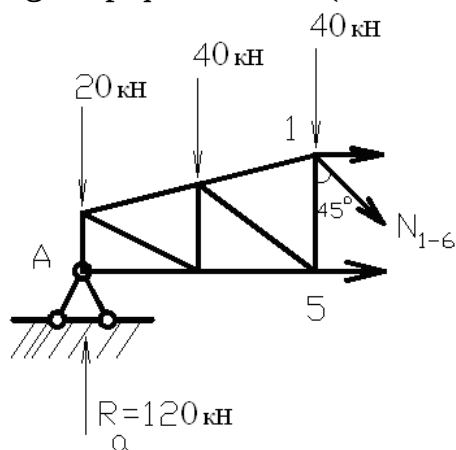
4.15 – rasm.

1-5, 1-6 va 3-6 sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlash uchun shprengenlarni olib tashlaymiz, chunki bu sterjenlar birinchi toifadagi elementlar sirasiga kiradi; natijada masala asosiy fermadagi zo'riqishlarni aniqlashga keltiriladi.



4.16- rasm.

N_{1-6} zo'riqlashni aniqlash uchun fermani $I-I$ yo'nalishda kesamiz va fermaning chap qismi uchun (4.17-rasm) muvozanat tenglamasini tuzamiz.

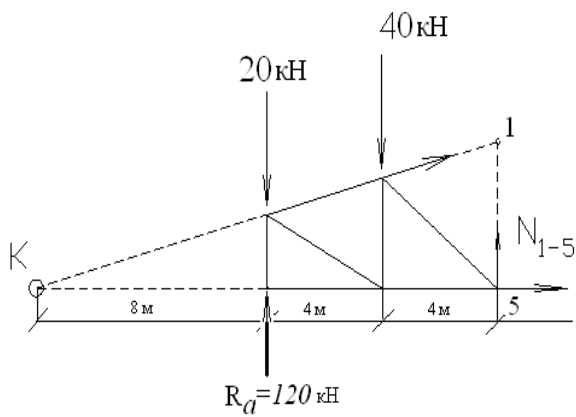


4.17 – rasm.

$$\Sigma Y = -N_{1-6} \cdot \sin 45^\circ + R_A - P - 2P - 2P = 0.$$

bundan $N_{1-6} = 28.3 \text{ kH}.$

N_{1-5} ni aniqlash uchun $II-II$ kesimni o'tkazamiz va fermaning chap qismi uchun (4.18- rasm) muvozanat tenglamasini tuzamiz; 1-5 sterjenning moment nuqtasi K bo'ladi. Shu nuqtaga nisbatan momentlar yig'indisini yozamiz:

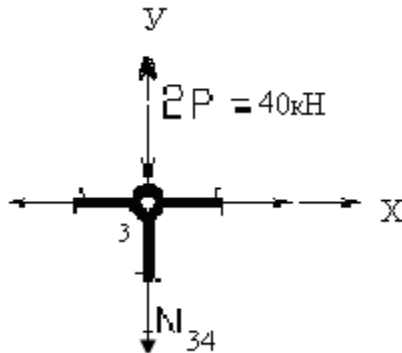


4.18 – rasm.

$$\Sigma M_k = -N_{1-5} \cdot 16 - R_A \cdot 8 + P \cdot 8 + 2P \cdot 12 = 0;$$

bundan $N_{1-5} = -20 \text{ kH}.$

N_{3-6} zo'riqlashni aniqlash uchun 3 tugunni kesib olamiz (4.20-rasm) va muvozanat tenglamasini tuzamiz:



4.19-rasm.

$$\Sigma Y = -N_{3-6} - 2P = 0;$$

bundan

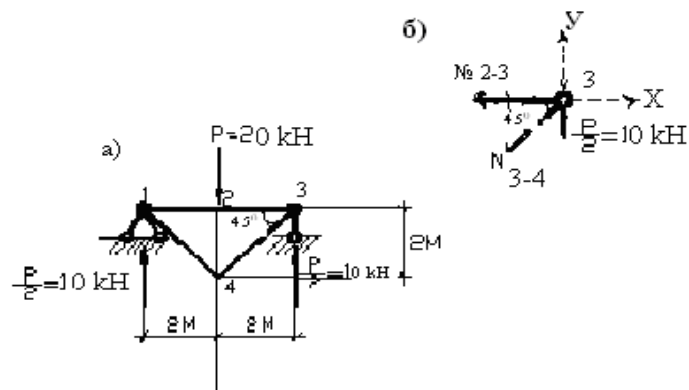
$$N_{3-6} = -40 \text{ kH}.$$

N_{3-4} zo'riqlashni aniqlash uchun (3-4 sterjeni ikkinchi toifa elementi hisoblanadi) asosiy fermadan 1-2-3-4 shprengelni ajratib olamiz va ikki tayanchli mustaqil ferma sifatida yondoshamiz. (4.20 a - rasm). Kichik fermachadan 3-tugunni kesib olib (4.20 b -rasm) Y o'qiga nisbatan proeksiyalar tenglamasini tuzamiz;

$$\Sigma Y = -N_{3-4} \cdot \sin 45^\circ + \frac{P}{2} = 0;$$

bundan

$$N_{3-4} = 14.1 \text{ kH}.$$



4.20 – rasm.

SHunday qilib, izlanayotgan barcha zo'riqlashlarni topdik.

b) Zo'riqlarning ta'sir chiziqlarini chizish

Ferma sterjenlaridagi zo'riqlarning ta'sir chiziqlari, fermalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblashda qo'llaniladigan tenglamalar asosida quriladi. Shprengelli ferma sterjenlaridagi zo'riqlarning ta'sir chiziqlarini qurishda ferma sterjenlari to'rt toifaga bo'linishini e'tiborga olish lozim.

N_{5-6} ning ta'sir chizig'i.

Sterjen birinchi toifaga mansub. Shprengellar hisobga olinmaydi. *I-I* kesimini o'tkazamiz. Harakatlanuvchi birlik kuch $R=1$ ning ikki holatini ko'rib chiqamiz. (4.25 a - rasm).

1. Kuch kesilgan panelning o'ng tomonida harakatlanadi. Kesilgan fermaning chap qismi muvozanat tenglamasi :

$$\Sigma M_1 = -N_{5-6} \cdot h + R_A \cdot 2d = 0; \quad \text{bundan} \quad N_{5-6} = 2R_A;$$

ya'ni N_{5-6} ta'sir chizig'ining **o'ng to'g'ri chizig'i** R_A reaksiyasi ta'sir chizig'ining ikki baravariga teng ekan.

2. Birlik kuch kesilgan panelning chap tomonida harakatlanadi: kesilgan fermaning o'ng qismi muvozanat tenglamasi:

$$\Sigma M_1 = N_{5-6} \cdot h - R_B \cdot 4d = 0; \quad \text{bundan} \quad N_{5-6} = 4R_B \text{ ni aniqlaymiz.}$$

Demak N_{5-6} zo'riqlar ta'sir chizig'ining **chap to'g'ri chizig'i** R_B reaksiyasi ta'sir chizig'idan 4 barobar katta ekan. Chap va o'ng to'g'ri chiziqlar moment nuqtasi ostida kesishadi. (4.21 b- rasm).

N_{1-2} va N_{2-3} ning ta'sir chizig'i

1-2 va 2-3 sterjeni uchinchi toifaga mansub. Shprengellar hisobga olinadi. Bu ikki zo'riqlar o'zaro teng. ($N_{1-2} = N_{2-3}$) bo'lganligi sababli, ularning ta'sir chiziqlari bir xil bo'ladi.

N_{1-2} ning ta'sir chizig'ini quramiz. Bunda *I-I* kesimdan foydalanamiz.

1. Birlik kuch ($R=1$) kesimdan o'ngda harakatlansa, ferma chap qismining muvozanat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

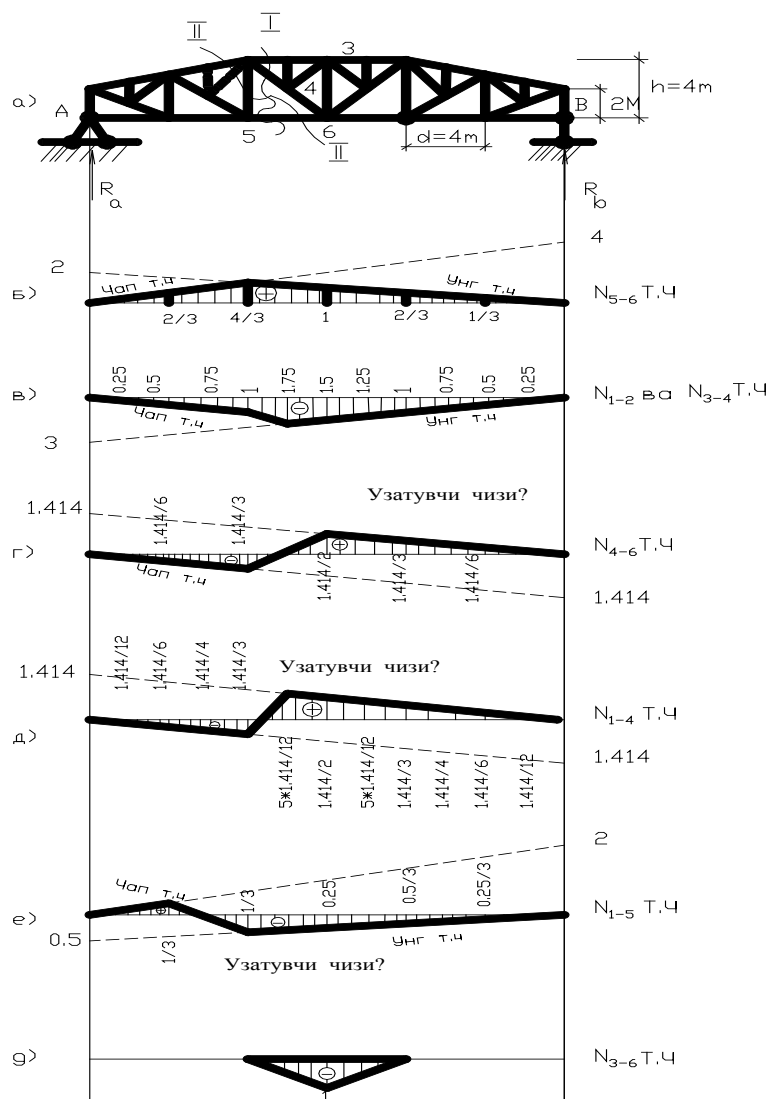
$$\Sigma M_6 = N_{1-2} \cdot h + R_A \cdot 3d = 0; \quad \text{bundan} \quad N_{1-2} = -3 \cdot R_A.$$

Demak, N_{1-2} zo'riqlarining **o'ng to'g'ri chizig'i** R_A reaksiyasining ta'sir chizig'i kabi bo'lib, qiymati undan uch barobar katta ekan. Ushbu zo'riqlarining **chap to'g'ri chizig'ini** o'tkazish uchun moment nuqtasi 6 dan o'ng to'g'ri chiziqqa proeksiya tushura-miz; kesishuv nuqtasining ordinatasi $3:2=1,5$ ga teng. SHu nuqtani A tayanchi osti dagi nol nuqta bilan tutashtiramiz. Hosil bo'lgan uchburchak N_{1-2} zo'riqlarining ta'sir chizig'i bo'ladi.

N_{4-6} va N_{1-4} ning ta'sir chizig'i

4-6 sterjeni birinchi toifaga mansub. Binobarin, shprengellar inobatga olinmaydi. Bu safar ham *I-I* kesimdan foydalanamiz (4.21 c - rasm).

1. Birlik kuch kesimdan o'ng tomonda xarakatlansa, ferma chap qismining muvozanat tenglamasi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:



4.21 – rasm.

$$\Sigma Y = -N_{1-6} \cdot \sin \lambda + R_A = 0; \quad \text{bundan} \quad N_{1-6} = \frac{1}{\sin \lambda} R_A.$$

$N_{1-6} = N_{4-6}$ ekanligini inobatga olsak,

$$N_{4-6} = \frac{1}{\sin 45^\circ} R_A = \frac{1}{0.7071} R_A = 1.414 R_A \text{ bo'ladi.}$$

2. Harakatlanuvchi birlik kuch kesimning chap tomonida bo'lsa, ferma o'ng qismining muvozanat tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\Sigma Y = N_{1-6} \sin \lambda + R_B = 0; \quad \text{bundan} \quad N_{1-6} = -\frac{1}{\sin \lambda} R_B \quad \text{yoki}$$

$$N_{4-6} = -\frac{1}{0.7071} R_B = -1.414 R_B.$$

Uzatuvchi chiziqni kesilgan panel chegarasida o'tkazamiz (4.21 r - rasm). 1-4 sterjeni uchinchi toifaga mansub. Mazkur sterjen uchun uzatuvchi chiziqni shprengel chegarasida o'tkazamiz (4.21 d - rasm).

N_{1-5} ning ta'sir chizig'i

Ushbu sterjen birinchi toifaga mansub. II-II kesimini o'tkazamiz.

1. Harakatlanuvchi birlik kuch kesimning o'ng tomonida. Fermaning chap qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\Sigma M_k = -N_{1-5} \cdot 16 - R_A \cdot 8 = 0 ; \quad \text{bundan} \quad N_{1-5} = -0.5 R_A.$$

2. Harakatlanuvchi birlik kuch kesimdan chapda. Fermaning o'ng tomoni uchun muvozanat tenglamasi:

$$\Sigma M_k = N_{1-5} \cdot 16 - R_B \cdot 32 = 0 ; \quad \text{bundan} \quad N_{1-5} = 2 R_B.$$

Kesilgan panel chegarasida **uzatuvchi chiziqni** o'tkazamiz (4.21 e - rasm).

N_{3-6} ning ta'sir chizig'i

Sterjen birinchi toifaga mansub. 3-tugunni kesib olamiz va uning muvozanatini tekshiramiz.

1. Birlik kuch tugundan tashqarida bo'lganda muvozanat tenglamasi:

$$\Sigma Y = -N_{3-6} = 0 ; \quad \text{bundan} \quad N_{3-6} = 0.$$

2. Birlik kuch tugunda bo'lganda;

$$\Sigma Y = -N_{3-6} - P = 0 ; \quad \text{bundan} \quad N_{3-6} = -1.$$

Uchinchi tugun ostida - 1 ni o'lchab qo'yamiz va uning ikki tomoniga uzatuvchi chiziqlarni o'tkazamiz. Hosil bo'lgan uchburchakli grafik N_{3-6} ning ta'sir chizig'i bo'ladi (4.21 d- rasm).

v) Muvaqqat (vaqtincha) yuk ta'sirida zo'riqlarning maksimal va minimal qiymatlarini aniqlash

Avval muvaqqat yukning xar bir tugunga ta'sir etadigan qiymatini aniqlab olamiz:

$$Pb = d \cdot a \cdot q_b = 4 \cdot 5 \cdot 3000 = 60 kH .$$

Zo'riqlarni aniqlashda $S = \Sigma P_i Y_i$ formulasidan foydalanamiz. Bu yerda P_i – yig'iq kuchlar; Y_i – yig'iq kuchlar ostidagi ordinatalar (bularning qiymati ta'sir chiziqlaridan olinadi).

$$N_{5-6}^{\max} = 60 \cdot \frac{2}{3} + 60 \cdot \frac{4}{3} + 60 \cdot 1 + 60 \cdot \frac{2}{3} + 60 \cdot \frac{1}{3} = 240 kH ;$$

$N_{5-6}^{\min} = 0$, chunki ta'sir chiziqlarida manfiy ishorali qismi yo'q.

$$N_{1-2}^{\min} = -30 \cdot (0.25 + 0.5 + 0.75 + 1.0 + 1.75 + 1.5 + 1.25 + 1.0 + 0.75 + 0.5 + 0.25) = -285kH ;$$

$$N_{4-6}^{\max} = 60 \left(\frac{1.414}{6} + \frac{1.414}{3} + \frac{1.414}{2} \right) = 84.8kH ;$$

$$N_{4-6}^{\min} = -60 \left(\frac{1.414}{6} + \frac{1.414}{3} \right) = 42.4kH ;$$

$$N_{1-4}^{\max} = 30 \left(\frac{1.414}{12} + \frac{1.414}{6} + \frac{1.414}{4} + \frac{1.414}{3} + \frac{5 \cdot 1.414}{12} + \frac{7 \cdot 1.414}{12} \right) = 99kH ;$$

$$N_{1-4}^{\min} = -30 \cdot \frac{1.414}{12} (1 + 2 + 3 + 4) = -35.3kH ;$$

$$N_{1-5}^{\max} = 60 \cdot \frac{1}{3} = 20kH ;$$

$$N_{1-5}^{\min} = -60 \left(\frac{1}{3} + 0.25 + \frac{0.5}{3} + \frac{0.25}{3} \right) = -50kH ;$$

$$N_{3-6}^{\max} = 0 ;$$

$$N_{3-6}^{\min} = -60 \cdot 1 = -60kH .$$

3. Doimiy yukni hisobga olgan holda hisobiy zo‘riqish-larning maksimal va minimal qiymatlarini aniqlash

Bu amallarni jadval ko‘rinishida bajarsak, ishimiz ancha oson kechadi.

Hisobiy zo‘riqishlarni aniqlash jadvali

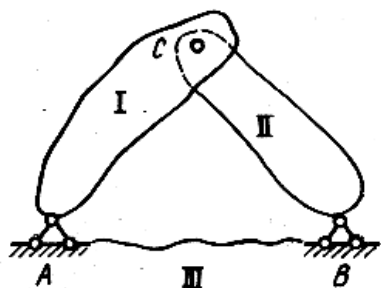
Sterjen nomi	Doimiy yukdan xosil bo‘lgan zo‘riqish, kH	Muvaqqat yukdan hosil bo‘lgan zo‘riqish, kN		Hisobiy zo‘riqishlar, kN	
		maksimal	minimal	maksimal	minimal
N_{5-6}	160	240	-	400	160
N_{1-2} va N_{2-3}	-190	-	-285	-190	-475
N_{4-6}	28.3	84.8	-42.4	113.1	-14.1
N_{1-4}	42.4	99	-35.3	141.4	7.1
N_{1-5}	-20	20	-50	0	-70
N_{3-6}	-40	-	-60	-40	-100

V BOB. UCH SHARNIRLI ARKALAR VA RAMALAR

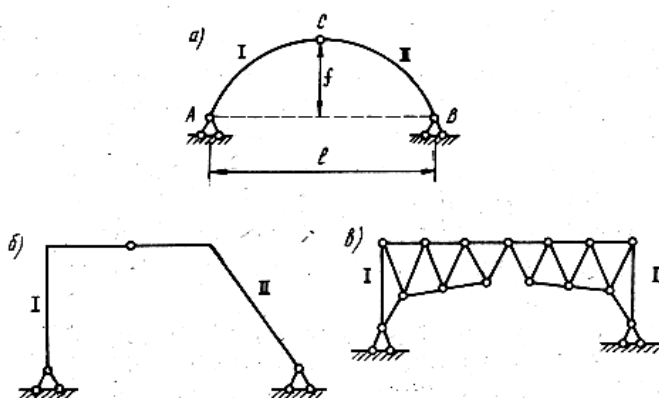
5.1. Uch sharnirli sistemalar

Uch diskni uch sharnir yordamida biriktirish tufayli hosil bo'lgan sistema uch sharnirli sistema deb ataladi (5.1- rasm). Bunda uchinchi disk sifatida er qabul qilinadi. Uch disk bir o'q ustida yotmagan uch sharnir (A, V, S) yordamida biriksa, geometrik o'zgarmas sistema hosil bo'lishi bizga avvaldan ma'lum.

Agar I va II disklar egri chiziqli sterjenlardan iborat bo'lsa, bunday sistema uch sharnirli arka deb ataladi (5.2 a - rasm), agar I va II disk siniq to'g'ri chiziqli sterjenlardan tashkil topgan bo'lsa, u ch sh a r n i r l i r a m a deb ataladi (5.2 b - rasm); agar I va II disk ferma bo'lsa, u holda sistema u ch sh a r n i r l i a r k a s i m o n ferma deb ataladi (5.2 B - rasm).



5.1 – rasm.



5.2- rasm.

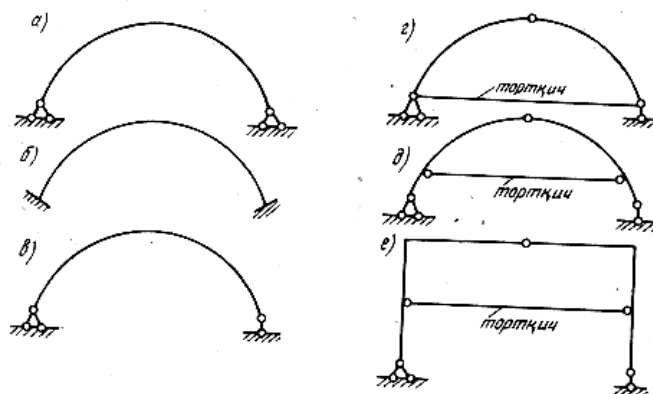
Uch sharnirli sistema tayanchlarida vujudga keladigan gorizontaal bosim va unga qarshi reaksiya kerkili (raspor) nomi bilan yuritiladi; sistemaning o'zi esa **k e r k i l i s i s t e m a** deb ataladi. Arkalar kerki kuchining mavjudligi bilan balkalardan farq qiladi.

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. Qurilishda uch sharnirli, ikki sharnirli (5.3 a - rasm) va sharnirsiz (5.3 b - rasm) arkalar qo'llaniladi. Arkalarda kerki kuchining mavjudligi sababli ularning tayanchlari sharnirli yoki sharnirsiz qo'zg'almas tayanch ko'rinishida ishlanadi.

Tayanchlardan biri sharnirli qo'zg'aluvchan bo'lsa, u arka emas, e g r i o' q l i b a l k a deb ataladi (5.3 B - rasm). Binokorlikda ba'zan uch sharnirli arkalar, boshqacha xili — tortqichli arkalar ham uchrab turadi (5.3 r - rasm).

Tortqichlar sharoitga qarab tayanchlardan yuqoriroq o'rnatilishi ham mumkin (5.3 d- rasm). Qurilishda tortqichli ramalar ham keng tarqalgan (5.3 e -

rasm). Amalda arkalarining qaysi turidan foydalanish inshootning konkret ish sharoitiga qarab hal etiladi.



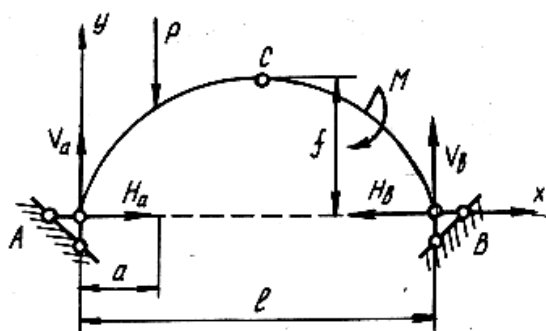
5.3- rasm.

5.2. Uch sharnirli arkalarining tayanch reaksiyalarini aniqlash

Ixtiyoriy kuchlar qo'yilgan uch sharnirli arkaning (5.4- rasm) tayanch reaksiyalarini aniqlash talab etiladi.

Uch sharnirli arkalarda tashqi kuchlar ta'sirida ikkita gorizonta (H_A, H_B) va ikkita vertikal (V_A, V_B) reaksiya kuchlari vujudga keladi. Bu noma'lum tayanch reaksiyalari quyidagi tenglamalardan aniqlanishi mumkin:

$$\Sigma M_A = 0; \quad \Sigma M_B = 0; \quad \Sigma M_c^{uan} = 0; \quad \Sigma X = 0$$



5.4-rasm.

V tayanchidagi vertikal reaksiya kuchi V_A ni aniqlash uchun A sharniriga nisbatani momentlar yig'indisini tuzamiz.

$$\text{Bundan} \quad \Sigma M_A = P \cdot a + M - V_B l = 0$$

$$V_B = \frac{P + M}{l}$$

Mazkur formulaning surati A nuqtasiga nisbatan barcha tashqi kuchlar momentlari yig'indisi ΣM_A^{tash} ni ifodalaydi. Shunga ko'ra yuqoridagi formulani quyidagi ko'rinishda yoza olamiz:

$$V_B = \frac{\Sigma M_A^{\text{tash}}}{l}$$

A tayanchidagi reaksiyaning vertikal tashkil etuvchisini ham shu yo'sinda topa olamiz:

$$V_B = \frac{\Sigma M_A^{\text{tash}}}{l}$$

Gorizontal reaksiya kuchi N_b ni aniqlash uchun S sharniriga nisbatan o'ng tomonda yotgan kuchlardan moment olamiz:

$$\Sigma M_c^{\text{yuz}} = M - V_B \frac{l}{2} + H_B f = 0$$

Bunda:

$$H_B = \frac{V_B \frac{l}{2} - M}{f} \quad \text{yoki} \quad H_B = \frac{\Sigma M_c^{\text{yuz}}}{f}$$

Bu yerda nol indeksi uzunligi va yuklanishi arka bilan bir xil bo'lgan oddiy balkadagi moment ekanligini bildiradi.

A tayanchidagi gorizontal reaksiya kuch N_A ikki tenglamaning biridan, ya'ni $\Sigma M_c^{\text{yan}} = 0$ yoki $\Sigma X = 0$ tenglamalaridan aniqlanishi mumkin. Proeksiya tenglamasidan foydalanamiz:

$$\Sigma X = N_A - N_v = 0; \quad \text{bundan} \quad N_A = N_v = N$$

Oxirgi ifoda shuni ko'rsatadiki, agar arkaga vertikal kuchlar qo'yilgan bo'lsa, gorizontal reaksiyalar o'zaro teng bo'lar ekan. Uch sharnirli arkalar uchun bayon etilgan qoidalar to'laligicha uch sharnirli ramalar uchun ham taalluqlidir.

5.3. Uch sharnirli arkalarni analitik usulda hisoblash

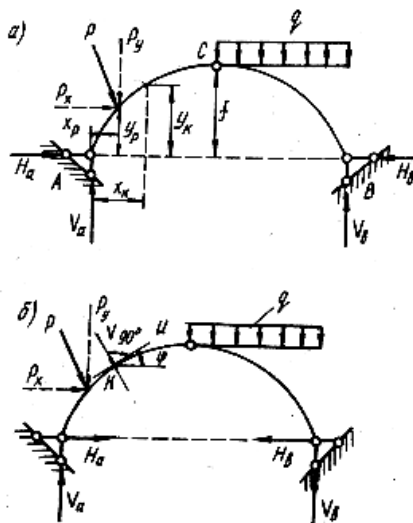
Hisoblashdan maqsad bu yerda ham boshqa konstruksiyalardagi singari ichki kuchlarni aniqlashdan iboratdir. Ichki kuchlar deganda, arkaning ko'ndalang kesimlarida tashqi kuchlar ta'sirida hosil bo'ladigan eguvchi moment M , ko'ndalang kuch Q va bo'ylama kuch N tushuniladi.

Ichki kuchlarni aniqlashda ishora qoidasi balkadagi qoidaga o'xshashdir, ya'ni kuch arkaning egriligini oshirsa — ishora manfiy, egriligini kamaytirsa — musbat, kesimga nisbatan kuch soat strelkasi bo'yicha aylansa — musbat, teskari yo'nalishda — manfiy olinadi.

Bo'ylama kuchlar ishorasi boshqacha: kuch sterjenni siqsa — musbat, cho'zsa — manfiy olinadi.

Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy K kesimida vujudga keladigan eguvchi moment M_k ni aniqlaymiz (5.5 a - rasm). Buning uchun arkani shu kesim

bo'yicha hayolan qirqamiz va kesimning chap yoki o'ng tomoni uchun momentlar yig'indisini yozamiz:



5.5- rasm.

$$M_k = V_a X_k - H_a y_k - P_y (X_k - X_p) - P_x (Y_k - Y_p) \quad (5.1)$$

Bu yerda: x_k va u_k — arkaning K kesimi koordinatalari;

R_x va R_y — tashqi kuch R ning gorizontaal va vertikal proeksiyalari;

x_r va u_r — kuch qo'yilgan nuqtaning koordinatalari.

Agar arkaga qo'yilgan kuch og'ma emas, tik bo'lsa, u holda R kuchining gorizontaal proeksiyasi nol, $R_u = R$ va $N_A = H_B = N$ bo'ladi.

(5.1)- ifoda esa quyidagi ko'rinishni oladi:

$$M_k = V_A X_k - R (x_k - x_p) - N u_k \quad (5.2)$$

Bu formuladagi $V_A X_k - P(x_k - x_p)$ ifoda, uzunligi va yuklanishi jihatidan shu arka bilan bir xil bo'lgan oddiy balkaning eguvchi momenti, M_k ni anglatadi. Buni e'tiborga olsak, (5.2) formula quyidagi sodda ko'rinishga keladi:

$$M_k = M_k^0 - H \cdot y_k \quad (5.3)$$

Ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlash uchun arkaning K kesimiga urinma (i) va shu urinmaga tik bo'lgan chiziq (v) o'tkazamiz (5.5 b- rasm). Ko'ndalang kuchlarni aniqlash uchun (v) o'qiga, bo'ylama kuchlarni aniqlash uchun i o'qiga nisbatan kuchlar proeksiyalarining yig'indisini olamiz:

$$\begin{aligned} Q_k &= V_A \cos \varphi - N_A \sin \varphi - P_y \cos \varphi - R_x \sin \varphi ; \\ N_k &= V_A \sin \varphi + N_A \cos \varphi - P_y \sin \varphi + R_x \cos \varphi . \end{aligned} \quad (5.4)$$

Bu yerda φ — urinma bilan gorizontaal chiziq orasidagi burchak. Agar arkaga qo'yilgan kuchlar tik bo'lsa, u holda (5.4) formula quyidagi ko'rinishni oladi.

$$Q_k = (V_A - P) \cos \varphi - H \sin \varphi ;$$

$$N_k = (V_A - R) \sin \varphi + H \cos \varphi. \quad (5.5)$$

Bu yerda $(V_A - R)$ arkaga teng kuchli bo'lgan oddiy balkadagi ko'ndalang kuch Q_k^0 dir. Buni e'tiborga olsak, (5.5) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\begin{aligned} Q_k &= Q_k^0 \cos \varphi - H \sin \varphi; \\ N_k &= Q_k^0 \sin \varphi - H \cos \varphi; \end{aligned} \quad (5.6)$$

(5.3) va (5.6) formulalardan foydalanib, arkaning bir qancha kesimlari uchun eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar aniqlanadi, hamda M, Q va N epyuralar quriladi.

Arka momenti balka momentlaridan kichik bo'lishi (5.3) formuladan yaqqol ko'rinib turibdi.

5.4. Uch sharnirli arkalarni qo'zg'aluvchi yuk ta'siriga hisoblash

Tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari

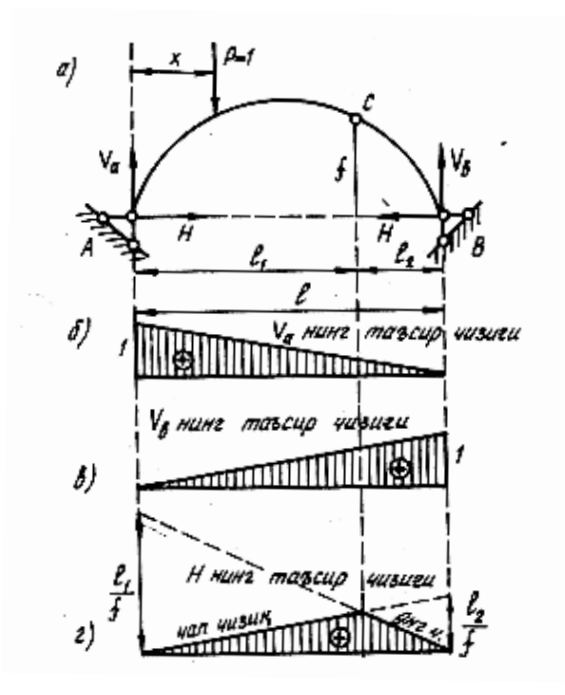
Chap va o'ng tayanch sharnirlariga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz (5.6 a - rasm):

$$\begin{aligned} \sum M_B &= V_A \cdot l - P(l - x) = 0 \\ \sum M_A &= -V_B \cdot l + P \cdot X = 0 \end{aligned}$$

Bu tenglamalardan V_A va V_B topiladi.

Topilgan ifodalar balka tayanch reaksiyalarining ifodasidan farq qilmaydi. Demak, arka reaksiyalarining ta'sir chiziqlari ham balkaning ta'sir chiziqlaridan farq qilmasligi kerak (5.6 b, b - rasm).

Ma'lumki, kerki kuchi $N = M_c^0/f$ tenglamasi yordamida aniqlanadi. Bundan N ning ta'sir chizig'i balka momenti M_c^0 ning ta'sir chizig'idan $1/f$ marotaba kichik ekanligi ko'rinib turibdi. SHuning uchun N ning ta'sir chizig'ini qurishda A tayanchi ostiga L_1 ning o'rniga l_1/f ni o'lchab qo'yamiz. Bu miqdorni V tayanch ostidagi nol bilan tutashtirsak, o'ng to'g'ri chiziq kelib chiqadi. Chap to'g'ri chiziqni o'tkazish uchun S sharnirni o'ng to'g'ri chiziqqa proeksiyalaymiz, topilgan nuqtani A tayanchi ostidagi nol bilan tutashtiramiz. Shtrixlangan yuza kerki kuchi — gorizontall reaksiya N ning ta'sir chizig'idir (5.6 r - rasm). Agar $l_1 = l_2 = 1/2$ bo'lsa, S sharniri ostidagi ordinata $1/4f$ bo'ladi.



5.6-rasm.

Eguvchi moment M ning ta'sir chizig'i

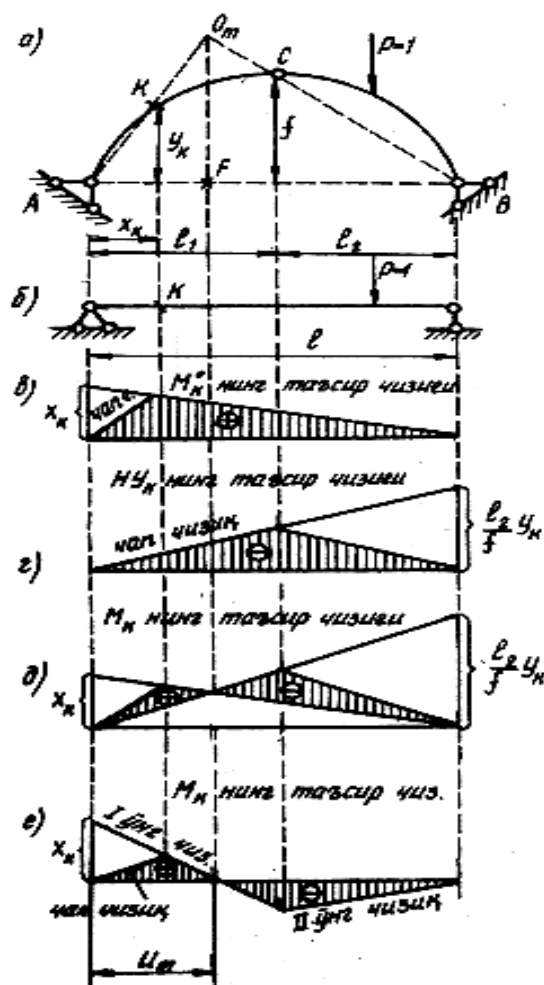
Arkaning istalgan kesimidagi eguvchi moment $M_k = M_k^0$ — Nu_k formulasi yordamida aniqlanishini yuqorida ko'rib o'tdik. Arkaning ixtiyoriy K kesimidagi eguvchi moment M_k ning ta'sir chizig'ini qurishda ham shu formuladan foydalanamiz (5.7 a - rasm).

Formulaga qaraganda, arkaning ta'sir chizig'i oddiy balkaning (5.7 b- rasm) K kesimidagi eguvchi moment M_k ning ta'sir chizig'i bilan u_k marta kattalashtirilgan kerki kuchi N ning ta'sir chiziqlari orasidagi farqqa teng bo'ladi. M_k va Nu_k ning ta'sir chiziqlari 5.7 b, g - rasmda tasvirlangan. Har ikkala shaklni ustma-ust joylashtirish yo'li bilan izlanayotgan ta'sir chizig'ini hosil qilamiz (5.7 d - rasm). Hosil bo'lgan ta'sir chizig'ini to'g'ri o'qqa joylashtirsa ham bo'ladi (5.7 e - rasm).

5.7 d - rasmda tasvirlangan M_k ning ta'sir chizig'ida M_k ning o'ng chizig'i bilan Nu_k ning chap chizig'i nol nuqtasida kesishadi. Ushbu nuqtaning holatini grafik usulda aniqlasa bo'ladi. Buning uchun VS va AK chiziqlarining kesishuv nuqtasi 0 ni aniqlaymiz (5.7 a - rasm). Ta'sir chizig'ining 0 nuqtasi ana shu nuqta ostida yotadi.

M_k ning ta'sir chizig'ini bevosita nol nuqtasi orqali ko'rsa ham bo'ladi. Buning uchun ixtiyoriy o'qqa X_k masofasi o'lchab qo'yiladi (5.7 e - rasm). 0m nuqtasini o'qqa proektsiyalab, nol (O) nuqtasi aniqlanadi. X_k ning uchi 0 bilan birlashtiriladi va S sharnirining proektsiyasi bilan uchrashguncha davom ettiriladi. O'tkazilgan chiziq I o'ng chiziq deb ataladi. II o'ng chiziq shaklda

ko'rsatilgandek o'tkaziladi. CHap chiziq odatdagidek o'tkaziladi, ya'ni K kesimining proeksiyasi bilan A tayanchi ostidagi nol nuqta birlashtiriladi. SHtrixlangan yuza M_k ning ta'sir chizig'i bo'ladi.



5.7- rasm.

Nol nuqtasining absissasi U_M AFO_M va BFO_M uchburchaklaridan topiladi:

$$FO_M = \frac{y_K}{X_K} U_M = \frac{4}{l_2} (l - U) \text{ bundan}$$

$$U_M = \frac{f \cdot l \cdot x_K}{y_K l_2 + f x_K} \text{ kelib chiqadi.}$$

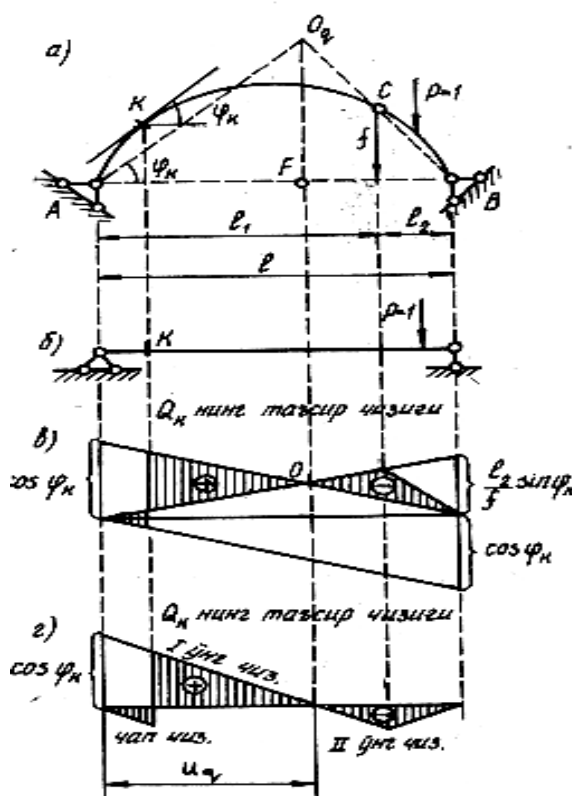
Ko'ndalang kuch Q_k ning ta'sir chizig'i

Uch sharnirli arkaning K kesimidagi ko'ndalang kuch Q_k ning ta'sir chizig'ini qurishda quyidagi formuladan foydalanamiz (5.9 a - rasm):

$$Q_k = Q_K^0 \cos \varphi_k - H \sin \varphi_k,$$

bu yerda Q_k oddiy balkaning K kesimidagi ko'ndalang kuch (5.8 6- rasm); φ_k —K kesimiga o'tkazilgan urinma bilan gorizont o'q orasidagi burchak.

Arka bo'ylab birlik kuch harakat qilganda, Q_k bilan N o'zgarib boradi, $\cos\varphi_k$ bilan $\sin\varphi_k$ esa o'zgarishsiz qoladi. Bunga ko'ra Q_k ning ta'sir chizig'i $Q_k \cos \varphi_k$ bilan $N \sin \varphi_k$ ning ta'sir chiziqlari algebraik yig'indisi sifatida ko'rsa bo'ladi. Ana shu yig'indi 5.9 B- rasmda tasvirlangan, ya'ni ikki xil ta'sir chizig'i ustma-ust joylashtirilgan. Miqdorlari teng, ishorasi qarama-qarshi bo'lgan ordinatalar qisqarib ketgan, qolganlari shtrixlangan. Shtrixlangan yuza Q_k ning ta'sir chizig'idir.



5.8- rasm.

Agar hosil bo'lgan shaklini gorizont o'q ustiga joylashtirsak, Q_k ning tasir chizig'i 5.8 r- rasmda tasvirlangan ko'rinishni oladi.

Mazkur ta'sir chizig'ini nol nuqtasi usulida, ya'ni grafik usulda ko'rsa ham bo'ladi. Buning uchun avval nol nuqtaning holati aniqlab olinadi, izlanayotgan nuqta (O_q) ikki chiziqning kesishuv nuqtasi tariqasida topiladi. Ulardan biri VS chizig'i, ikkinchisi K kesimidan o'tgan urinmaga A sharniridan o'tkazilgan parallel chiziqdir (59- rasm a). Shu nuqtannng gorizont o'qqa proeksiyasi (O) nol nuqta hisoblanadi.

Ihtiyoriy gorizont o'qqa $\cos \varphi_k$ masofani o'lchab qo'yamiz (5.8 r- rasm). Masofaning uchini nol nuqta bilan tutashtiramiz va uni S sharniri proeksiyasi bilan uchrashguncha davom ettiramiz. O'tkazilgan kesma 1 o'ng chiziq bo'ladi.

II o'ng chiziq shaklda ko'rsatilgandek o'tkaziladi. Chap chiziq o'ng chiziqqa parallel ravishda o'tkazilib K kesimining proeksiyasiga qadar davom etadi. Shtrixlangan yuza Q_k ning ta'sir chizig'i hisoblanadi.

Nol nuqtaning absissasi AFO_q va $BF0_q$ uchburchaklari orqali formuladan topiladi.

$$U_q = \frac{f \cdot l}{f + l_2 \operatorname{tg} \varphi_k}$$

Bo'ylama kuch N ning ta'sir chizig'i

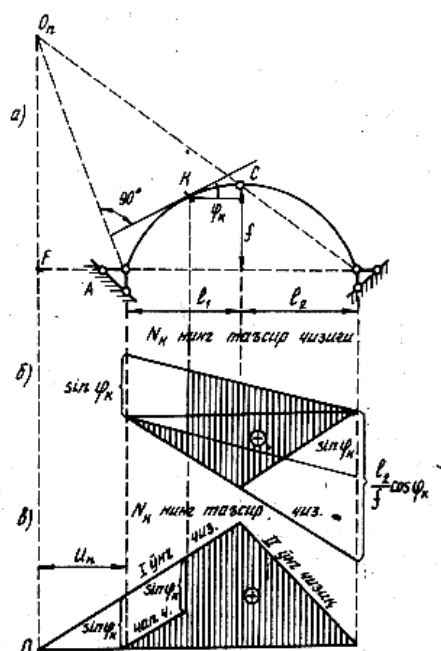
Uch sharnirli arkaning K kesimidagi bo'ylama kuch N_k ning ta'sir chizig'ini qurishda $N_k = Q_k \sin \varphi_k + H \cos \varphi_k$ formulasidan foydalanamiz (5.10 a - rasm).

Formulaga qaraganda N_k ning ta'sir chizig'ini $Q_k^0 \sin \varphi_k$ bilan $H \cos \varphi_k$ ta'sir chiziqlarining yig'indisi sifatida ko'rsa bo'ladi. Bu ishni amalga oshirish uchun avval $Q_k^0 \sin \varphi_k$ ning ta'sir chizig'ini ko'ramiz. So'ngra buning ustiga $H \cos \varphi_k$ ning ta'sir chizig'ini teskari ravishda joylaymiz (5.9 b - rasm). Shtrixlangan yuza N_k ning ta'sir chizig'i bo'ladi.

Ilgari ko'rib o'tganimizdek, N_k ning ta'sir chizig'ini ham nol nuqtasi usulida qurish mumkin. Buning uchun avval O_n nuqtasi topib olinadi (5.9 a - rasm). Bu nuqta ham ikkita chiziqning kesishuv nuqtasida yotadi: chiziqlardan biri VS kesmasi, ikkinchisi esa K kesimidan o'tkazilgan urinmaga tik bo'lgan AO_n chizig'idir. Topilgan O_n nuqtasini gorizontall o'qqa proeksiyalab, nol (O) nuqtasini aniqlaymiz (5.9 b - rasm). A tayanch ostiga $\sin \varphi_k$ kesmasini o'lchab qo'yamiz. Kesmaning yuqori uchini nol nuqta bilan birlashtirib, S sharnirining proeksiyasigacha davom ettiramiz. Bu I o'ng chiziq bo'ladi. Chap to'g'ri chiziq 1 o'ng chiziqqa parallel ravishda o'tkaziladi. Shtrixlangan yuza N_k ning ta'sir chizig'idnr.

Nol nuqtasining absissasi AFO_n va BFO_n uchburchaklari orqali quyidagi formuladan topiladi:

$$U_n = \frac{f \cdot l}{l_2 \operatorname{ctg} \varphi_k - f}$$

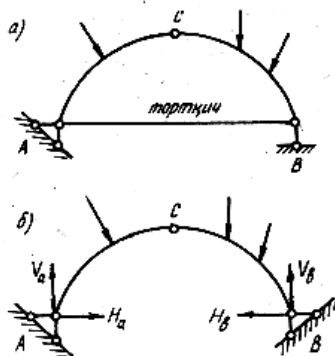


5.9- rasm.

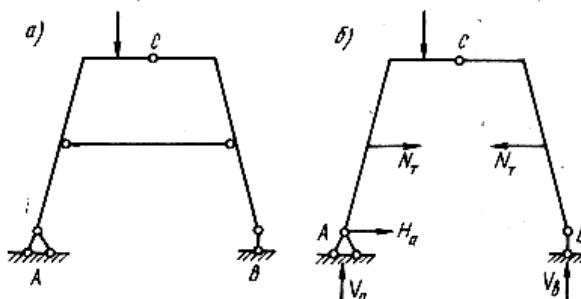
5.5. Uch sharnirli tortqichli arka va ramalarni hisoblash

Uch sharnirli tortqichli arka va ramalarning hisobi tortqichsiz sistemalar hisobidan biroz farq qiladi. Bu tafovutni 5.10 a - rasmda tasvirlangan arka misolida ko'rib o'tamiz.

Arkaning V tayanchi sharnirli qo'zg'aluvchidir. O'rtadagi S sharnirning mavjudligini inobatga olsak, bu sistemaga tortqichning zaruriyligi o'z-o'zidan ayon bo'ladi. Chunki bu sistemaning geometrik o'zgarmasligini aynan shu tortqich ta'minlaydi. Boshqacha qilib aytganda, V tayanchi gorizontali yo'nalishida tortqich tufayli qo'zg'almasdir. Demak, tortqichni V tayanchining gorizontali sterjeni sifatida talqin etsa ham bo'ladi. Bu esa hisob jarayonida tortqichsiz arka (5.10 b - rasm) uchun berilgan formulalardan bimalol foydalanish imkonini beradi. Tortqichdagi zo'riqish gorizontali tayanch reaksiyasi N_b ga teng bo'lganligi sababli tortqichli arka ko'ndalang kesimlaridagi zo'riqishlar tortqichsiz arka ko'ndalang kesimlaridagi zo'riqishlarga teng bo'ladi. Shuningdek, tortqichli va tortqichsiz arkalarning ta'sir chiziqlarida ham hech qanday tafovut bo'lmaydi.



5.10-rasm.



5.11- rasm.

Ba'zan uch sharnirli arka va ramalarda tortqich tayanchdan yuqoriroqqa o'rnatiladi (5.11 a -rasm). Tortqichni tashlab yuborib, o'rniga qarama-qarshi yo'nalgan kuchlar N , qo'yamiz (5.11 b -rasm). Kuchlarning qiymati tortqichdagi zo'riqishga teng bo'ladi. Bu yerda asosiy masala ana shu zo'riqishni aniqlashdan iboratdir. Ramaning tayanch reaksiyalari statikaning muvozanat tenglamalaridan topiladi.

N_y ning qiymati S sharniriga nisbatan chap yoki o'ng tomonda joylashgan kuchlarning momentlari yig'indisini ifodalovchi tenglamalar $\sum M_c^{qan} = 0$ yoki $\sum M^{o'ng}_s = 0$ dan topiladi.

N aniqlangach, arka yoki ramaning istalgan kesimidagi ichki kuchlar tortqichsiz sistema uchun berilgan formulalardan foydalanib topiladi.

5.6. Uch sharnirli arkasimon fermalarni hisoblash

Arkasimon fermalar tuzilish jihatidan fermalarni ishlash jarayoni jihatidan arkalarni eslatadi. Shuning uchun ham ularni hisoblashda ba'zan arkaga, ba'zan fermaga xos bo'lgan qoidalardan foydalaniladi. Muhimi shundaki, uch sharnirli arkasimon fermalar kerkili (rasporli) sistemalarga kiradi, ya'ni bularda ham vertikal kuchlar ta'sirida gorizontal reaksiya kuchlari paydo bo'ladi (5.12 a -rasm). Kerki kuchlarini sharnirli qo'zg'almas tayanchlar qabul qiladi. Arkasimon fermaning ikki diski qulf-kalit sharniri S vositasida biriktiriladi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, disklar yaxlit emas panjarador qilib ferma shaklida ishlangan. 5.12 a -rasmda berilgan uch sharnirli arkasimon fermaning hisobi bilan tanishib chiqamiz.

Berilgan sistemaning vertikal va gorizontall reaksiyalari yaxlit arkaning reaksiyalari kabi aniqlanadi. Masalan, chap tayanchdan x masofada birlik kuch $R=1$ qo'yilgan bo'lsa, V_a va V_b reaksiyalari quyidagicha topiladi:

$$V_a = \frac{l-x}{l}$$

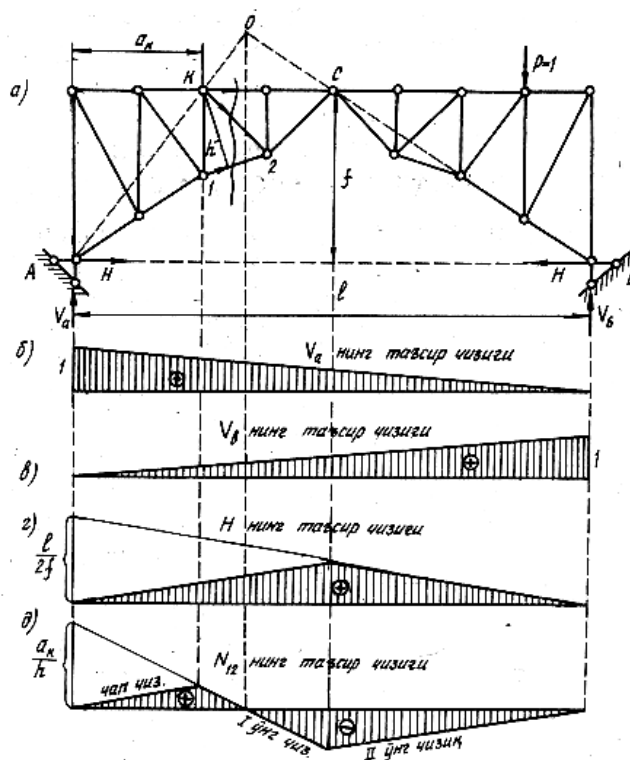
$$V_b = \frac{x}{l}$$

Kerki kuchi N quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$H = \frac{M^0_c}{f}$$

bu yerda: M_s — arkaga teng uzunlikka ega bo'lgan oddiy balkaning S kesimidagi moment.

Va V_b va N ning ta'sir chiziqlari 5.12 б, в, г-а - rasm tasvirlangan. Uch sharnirli arkasimon fermaning 1—2 sterjenidagi zo'riqishning ta'sir chizig'ini quramiz (5.12 а - rasm). Fermami 1—1 kesimi bo'ylab qirqamiz. Zo'riqishi izlanayotgan sterjen (1—2) uchun K nuqta moment nuqtasi hisoblanadi. $N_{1,2}$ ni aniqlash uchun K nuqtaga nisbatan chap tomonda yotgan kuchlardan momentlar yig'indisini yozamiz (bunda birlik kuch kesimdan o'ngda deb faraz etamiz):



5.12- rasm.

$$\sum M_k = V_a a_a - H \cdot y_k - N_{12} h = 0$$

bu yerdan

$$N_{12} = \frac{V_a a_k - H \cdot y_k}{h}$$

Agar moment nuqtasi K ni arkaning K kesimi deb faraz etsak, hamda a_k va y_k larini shu kesimning koordinatalari deb olsak, kasrning surati arkaviy moment M_k bo'ladi. U holda zo'riqish

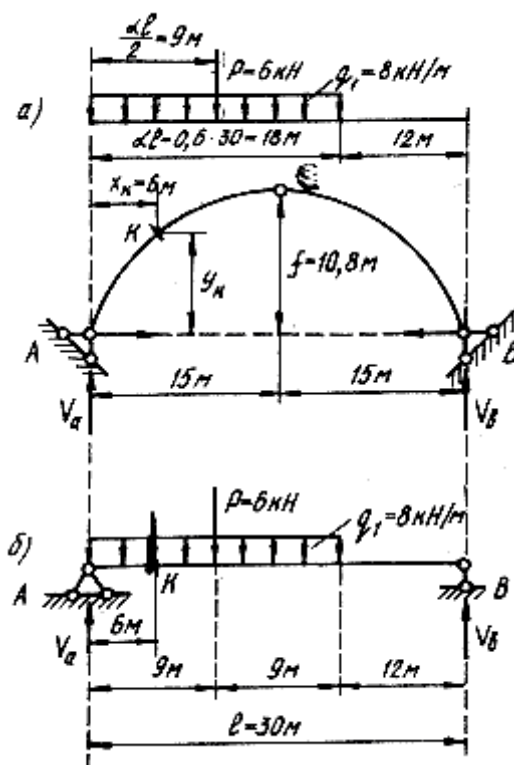
$$N_{12} = \frac{M^{ap}_k}{h}$$

ifodasi bilan aniqlanadi.

Demak, ferma sterjenidagi zo'riqish $N_{1,2}$ ning ta'sir chizig'ini arkaviy moment M^{ar}_k orqali ko'rsa bo'ladi. Buning uchun arka momenti ta'sir chiziqlarini h ga qisqartirilsa kifoya.

Arkaning K kesimi uchun momentning ta'sir chizig'ini qurishda A tayanchi ostiga a_k masofani o'lchab qo'yilar edi. Bu safar shu masofani h marotaba kichraytirib qo'yamiz (5.12 d - rasm). Qolgan ishlar uch sharnirli arkadagi ishlar bilan aynan bir hildir.

5.1.Misol. Uch sharnirli arkaning K kesimidagi eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar analitik usulda hisoblansin. Ayni shu miqdorlar ta'sir chiziqlari orqali ham aniqlansin. Arka o'qi parabola bo'lib, kuch va o'lchamlar shaklda berilgan (5.13 a - rasm).



5.13- rasm.

Yechish. Hisobni tayanch reaksiyalarini aniqlashdan boshlaymiz:

$$\sum M_A = -V_B 30 + q_1 18 \cdot 9 + P \cdot 9 = 0$$

Bunda: $V_B = 45 \text{ kN}$.

$$\sum M_B = V_A \cdot 30 - P \cdot 21 - q_1 \cdot 18 \cdot 21 = 0;$$

bundan: $V_A = 105 \text{ kH};$

$$\text{Bundan } \sum M_c^{\text{qat}} = V_A \cdot 15 - P \cdot 6 - q_1 \cdot 15 \cdot 7,5 - H_A f = 0$$

$$H_A = 59,167 \text{ kH}.$$

$$H_A = H_B = H = 59,167 \text{ kH}.$$

Kuchlar vertikal bo'lgani uchun

$$\text{Tekshirish: } \sum y = V_A - P - q_1 \cdot 18 + V_B = 105 - 6 - 8 \cdot 18 + 45 = 0.$$

Analitik usulda K kesimdagi ichki kuchlar (M_k , Q_k , N_k) ni aniqlaymiz. Eguvchi moment quyidagi formuladan (5.3) topiladi:

$$M_k = M_k^0 - Hy_k.$$

Arka o'qi parabola bo'lganligi uchun y_k ordinatasi quyidagi tenglamadan topiladi:

$$y_k = \frac{4f}{l^2} x_k (l - x_k) = \frac{4 \cdot 10,8}{30^2} \cdot 6(30 - 6) = 6,912 \text{ m}.$$

Oddiy balkaning (5.16 b- rasm) K kesimidagi moment

$$M_k^0 = V_A \cdot 6 - q_1 \cdot 6 \cdot 3 = 105 \cdot 6 - 8 \cdot 6 \cdot 3 = 486 \text{ kHm}.$$

Uch sharnirli arkaning K kesimidagi moment

$$M_k = 486 - 59,167 \cdot 6,912 = 77,04 \text{ kHm}.$$

Ko'ndalang kuchni aniqlash formulasi (5.6):

$$Q_k = Q_k^0 \cos \varphi_k - H \sin \varphi_k.$$

Arka o'qining tenglamasidan foydalanib, φ_k burchakni aniqlaymiz (5.16 a - rasm):

$$\text{tg} \varphi_k = \frac{dy_k}{dx_k} = \frac{4f}{l^2} (l - 2x_k) = \frac{4 \cdot 10,8}{30^2} (30 - 2 \cdot 6) = 0,864,$$

Bundan $\varphi_k = 40^\circ 50'$; $\sin \varphi_k = 0.6538$; $\cos \varphi_k = 0.7566$.

Oddiy balkaning (5.16 6- rasm) K kesimidagi ko'ndalang kuch

$$Q_k^0 = V_A - q_1 \cdot 6 = 105 - 8 \cdot 6 = 57 \text{ кН}$$

Arkaning K kesimidagi ko'ndalang kuch:

$$Q_k = 57 \cdot 0,7566 - 59,167 \cdot 0,6538 = 4,443 \text{ кН.}$$

Arkaning K kesimidagi bo'ylama kuchni aniqlaymiz (5.6) :

$$N_k = Q_k^0 \sin \varphi_k + H \cdot \cos \varphi_k = 57 \cdot 0,6538 + 59,167 \cdot 0,7566 = 82,033 \text{ кН.}$$

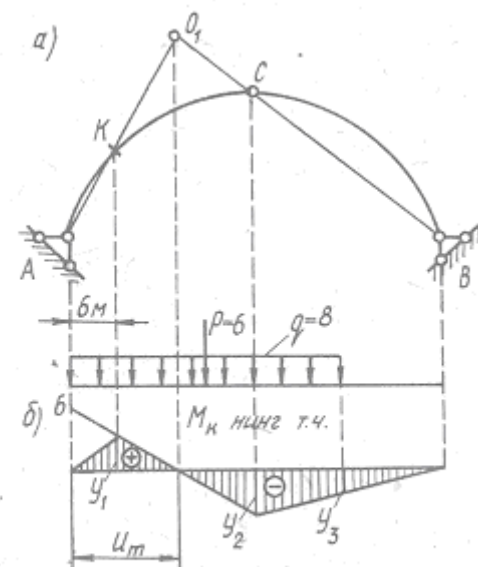
Shunday qilib, uch sharnirli arkaning K kesimidagi ichki kuchlarni analitik usulda aniqladik. Endi shu miqdorlarni ta'sir chiziqlari yordamida aniqlaymiz.

M_k ning ta'sir chiziqlarini qurish

Ta'sir chizig'ini nol nuqtasi usulida quramiz. Buning uchun A tayanch bilan K kesim to'g'ri chiziq yordamida tutashtiriladi. V tayanch S sharnir bilan tutashtiriladi. Ikki to'g'ri chiziqning kesishish nuqtasi (O_1) eguvchi momentning nol nuqtasi bo'ladi, chunki $R = 1$ kuch shu nuqtada bo'lganda K kesimdagi eguvchi moment nolga teng bo'ladi (5.17 a - rasm).

Koordinata o'qining A tayanch ostidagi nuqtasidan K kesimigacha bo'lgan

masofa (6m) ni o'qdan yuqoriga masshtab bo'yicha o'lchab qo'yamiz. Bu masofani koordinata o'qidagi O_1 nuqtaning proeksiyasi bilan tutashtirib, S sharnir proeksiyasigacha davom ettiramiz. Bu to'g'ri chiziqqa K kesimning proeksiyasini tushiramiz va uni A tayanch ostidagi koordinata o'qining nol nuqtasi bilan tutashtiramiz. S sharnir ostidagi ordinatani B tayanch ostidagi koordinata nol nuqtasi bilan tutashtiriladi. Hosil bo'lgan grafik M_k ning ta'sir chizig'i deb ataladi (5.17 6- rasm). A tayanchdan O_1 nuqtagacha bo'lgan masofani u_m bilan belgilab, uni quyidagi formula yordamida aniqlaymiz:



5.14 - p a c m

$$u_m = \frac{2fl}{l \cdot \frac{y_e}{x_e} + 2f} = \frac{2 \cdot 10,8 \cdot 30}{30 \cdot \frac{6,912}{6} + 2 \cdot 10,8} = \frac{648}{56,16} = 11,538 \text{ м}$$

Ta'sir chiziqlari yordamida noma'lum zo'riqlashlar quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$M = \sum P_i \cdot y_i + \sum q_i \cdot \omega_i.$$

Bizning misol uchun formula quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$M_k = q(\omega - \omega_1 - \omega_2) + P \cdot y.$$

Bu yerda R, q – arkaga qo'yiladigan qo'zg'almas yuklar;
 y – ta'sir chizig'ida R ostidagi ordinata;
 ω – shu ta'sir chizig'ida yoyilgan kuch ostidagi kesimning yuzasi.
 Tashqi kuchlar ostidagi ordinatalar, uchburchaklarning o'xshashligidan foydalanib aniqlanadi. Masalan,

$$\frac{6}{11,538} = \frac{y_i}{5,538}; \quad \frac{6}{11,538} = \frac{y}{2,538}; \quad \frac{6}{11,538} = \frac{y_2}{3,462}; \quad \frac{y_2}{15} = \frac{y_3}{12};$$

$$y_1 = 2,880; \quad y = 1,320; \quad y_2 = 1,8; \quad y_3 = 1,44.$$

Yuzalar:

$$\omega = \frac{y_1 \cdot 11,538}{2} = 16,615; \quad \omega_1 = \frac{y_2 \cdot 3,462}{2} = 3,116;$$

$$\omega_2 = \frac{y_2 + y_3}{2} \cdot 3 = 4,860.$$

Shunday qilib, K kesimdagi eguvchi moment:

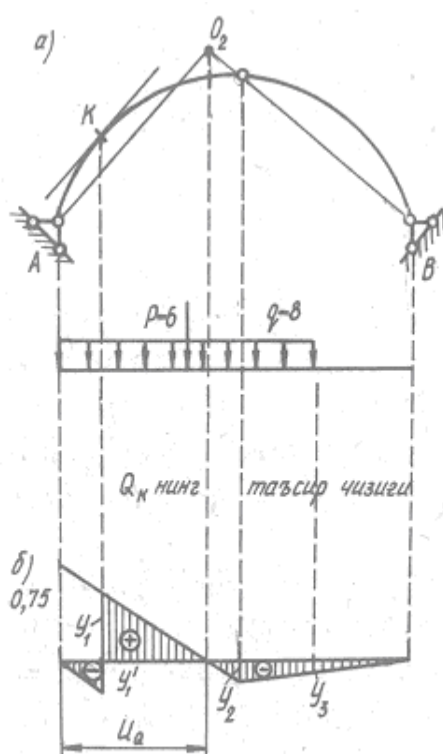
$$M_k = 8(16,615 - 3,116 - 4,860) - 5 \cdot 1,320 = 69,12 - 7,92 = 77,04 \text{ kNm}$$

(Avvalgisi bilan taqqoslang).

Q_k ning ta'sir chizig'ini qurish (5.18 a - rasm)

Ko'ndalang kuch nol nuqtasi xolatini aniqlaymiz. Buninig uchun K kesimga urinma o'tkazamiz. Bu urinmaga parallel qilib A tayanchdan to'g'ri chiziq o'tkazamiz va bu to'g'ri chiziqni V tayanch bilan S sharnirni tutashtiruvchi chiziqdan davom ettiramiz. Kesishish nuqtasi O_2 ko'ndalang kuchning nol nuqtasi bo'ladi, chunki $R=1$ birlik kuch shu nuqtada turganda K kesimdagi ko'ndalang kuch nolga aylanadi.

Ko'ndalang kuch ta'sir chizig'ini qurish uchun ixtiyoriy masofada koordinita



5.15 - p a c m

o'qi olinadi va bu o'qqa A, V tayanchlari, S sharnirni va O₂ nuqtasining proeksiyalari tushiriladi. A tayanch ostiga $\cos\varphi_k = 0.7566$ ni mashtab bo'yicha o'lchab qo'yamiz. Bu masofani nuqta bilan to'g'ri chiziq yordamida tutashtiramiz. Koordinata o'qining A tayanchi ostida bu to'g'ri chiziqqa parallel to'g'ri chiziq o'tkazamiz va uni K kesimgacha davom ettiramiz. So'ngra bu ikki parallel to'g'ri chiziqqa K kesimning proeksiyasi tushiriladi. S sharnir ostidagi ordinata V tayanchning nol ordinatasi bilan tutashtiriladi. Keyin shaklda ko'rsatilgandek shtrixlanadi, hosil bo'lgan grafik Q_k ning ta'sir chizig'i bo'ladi (5.18 b - rasm).

Ko'ndalang kuchning nol nuqtasigacha bo'lgan masofa u_Q quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$u_Q = \frac{2fl}{2f + l \cdot \operatorname{tg}\varphi_k} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 30}{2 \cdot 10,8 + 30 \cdot 0,864} = \frac{648}{47,52} = 13,636 \text{ m}.$$

Quyidagi kuchning qiymatini quyidagi formula yordamida aniqlanemiz:

$$Q_k = +g(\omega - \omega_1 - \omega_2 - \omega_3) + P \cdot y$$

Zarur ordinalarni uchburchaklarning o'xshashligidan foydalanib topamiz:

$$\frac{0,7566}{13,636} = \frac{y_1}{7,636}; y_1 = 0,424; y'_1 = 0,7566 - y_1 = 0,3326;$$

$$\frac{0,7566}{13,636} = \frac{y}{4,636}; y = 0,257; \frac{0,7566}{13,636} = \frac{y_2}{1,364}; y_2 = 0,076;$$

$$\frac{y_2}{15} = \frac{y_3}{12}; y_3 = 0,8 \cdot y_2 = 0,061$$

Yuzalar:

$$\omega = \frac{y_1 \cdot 7,636}{2} = 1,619; \omega_1 = \frac{y_1 \cdot 6}{2} = 0,938;$$

$$\omega_2 = \frac{y_2 \cdot 1,364}{2} = 0,052; \omega_3 = \frac{y_2 + y_3}{2} \cdot 3 = 0,206$$

Ko'ndalang kuch qiymati:

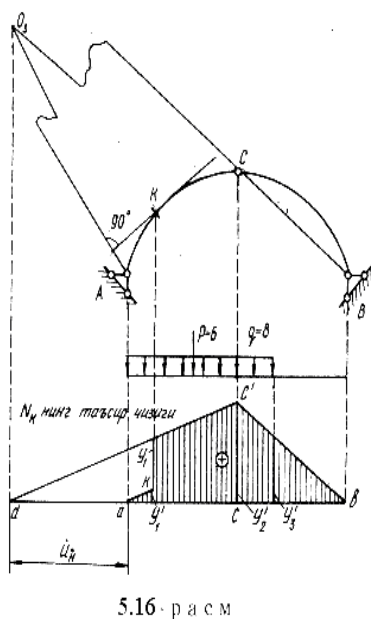
$$Q_k = 8(1,619 - 0,998 - 0,052 - 0,206) + 6 \cdot 0,257 = 2,904 + 1,542 = 4,446 \text{ kH}$$

N_k ning ta'sir chizig'ini qurish (5.19 a - rasm)

Bo'ylama kuchning nol nuqtasini aniqlash uchun A tayanchidan K kesimiga o'tkazilgan urinmaga tik ziziq o'tkazamiz va uni V tayanchi bilan S

sharnirni tutashtiruvchi to'g'ri chiziqli bilan kesishguncha davom ettiramiz. Kesishuv nuqtasi bo'ylama kuchning nol nuqtasi (O_3) bo'ladi.

Ixtiyoriy masofada koordinata o'qi olinib, unga A, V tayanchlari, S sharniri



va O_3 nuqtasining proeksiyalari (a , b , c , va d) tutashtiriladi. « a » nuqtadan $\sin \varphi_K = 0.6538$ masofa (aa_1) o'lchanadi va bu masofa « d » nuqtasi bilan tutashtiriladi. « $a_1 d$ » chizig'ini « s_1 » nuqtasigacha davom ettirib, bu ordinatani « b » nuqtasi bilan birlashtiriladi. « a » nuqtasidan « $d s_1$ » chizig'igacha parallel chiziq o'tkazib, « ak » to'g'ri chizig'ini xosil qilamiz. K kesim ostida bo'ylama kuch $\sin \varphi_K = 0.6538$ ga teng miqdorda sakraydi. Shtrixlangan shakl N_k ning ta'sir chizig'i bo'ladi (5.19 b - rasm).

Bo‘ylama kuchning nol nuqtasigacha bo‘lgan masofa

$$u_N = \frac{l}{\frac{l}{2f} \cdot \operatorname{ctg} \varphi_k - 1} = \frac{30}{\frac{30}{2 \cdot 10,8} \cdot \frac{0,7566}{0,6538} - 1} = \frac{30}{0,6072} = 49,407 \text{ м}$$

ga teng bo'ladi.

Ta'sir chizig'i yordamida bo'ylama kuchning qiymatini aniqlaymiz

$$N_k = q_1(\omega + \omega_1 + \omega_2) + P \cdot y.$$

Kerakli ordinalarni aniqlaymiz. Uchburchuklar o'xshashligidan:

$$\frac{0,6538}{49,407} = \frac{y_2}{64,407}, \frac{0,6538}{49,407} = \frac{y_2}{55,407}, \frac{0,6538}{49,407} = \frac{y}{58,407},$$

$$y_2=0,852; y_1=0,733; y=0,773;$$

$$y'_1 = y_1 - 0,6538 = 0,0792; \quad y_3 = 0,8 \cdot y_2 = 0,682.$$

Yuzalar:

$$\omega = \frac{y_1 \cdot 6}{2} = 0,238; \omega_1 = \frac{y_1 + y_2}{2} \cdot 9 = 7,133;$$

$$\omega_2 = \frac{y_2 + y_3}{2} \cdot 3 = 2,301.$$

Bo'ylama kuchning qiymati:

$$\begin{aligned} N_k &= 8(0,238 - 7,133 - \\ &\quad - 2,301) - 6 \cdot 0,773 = \\ &= 77,376 - 4,638 = \\ &= 82,104 \text{ kH}. \end{aligned}$$

Shunday qilib, ta'sir chiziqlari yordamida ichki kuchlarning quyidagi qiymatlarini aniqladik:

$$\begin{aligned} M_k &= 17,740 \text{ kH} \cdot \text{m}; \quad Q_k = 4,446 \text{ kH}; \\ N_k &= 82,014 \text{ kH}. \end{aligned}$$

Ichki kuchlarning bu qiymatlari analitik usulda aniqlangan qiymatlar bilan bir xildir.

5.2-misol. 5.20 - rasmda berilgan uch sharnirli arkaning K kesimidagi ichki kuchlar M_k , Q_k va N_k analitik hamda ta'sir chiziqlari usulida aniqlansin va topilgan qiymatlar taqqoslansin. Masofalar va kuchlarning qiymati rasmda berilgan. Arkaning o'qi parabola shakliga ega. K kesimi chap tayanchdan 6m masofada yotadi.

Yechish. 1. Tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

$$\sum M_A = V_B \cdot l - \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} l - P \frac{l}{3} - \frac{l}{6} = 0;$$

$$V_B = \frac{3}{8} ql + \frac{p}{2} = \frac{3}{8} 10 \cdot 24 + 50 \cdot \frac{1}{2} = 115 \text{ kH}$$

$$\sum M_B = V_A l - P \frac{5}{6} l - P \frac{2}{3} l - q \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4} = 0;$$

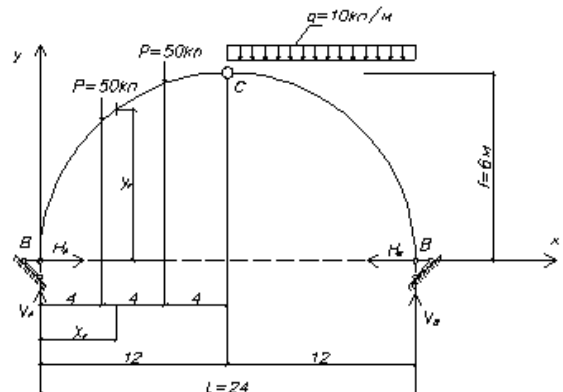
$$V_A = \frac{ql}{8} + \frac{3}{2} p = \frac{10 \cdot 24}{8} + \frac{3 \cdot 50}{2} = 30 + 75 = 105 \text{ kH}$$

Tekshirish: $\Sigma = 0$; $R + R + (ql/2) = V_A + V_B$;
 $50 + 50 + 120 = 105 + 115$.

Kerki kuchi N ni aniqlaymiz.

$$\sum M_c^{\text{yng}} = V_B \frac{l}{2} - q \frac{1}{2} \cdot \frac{l}{4} - H \cdot f = 0;$$

$$H = \frac{115 \cdot 12 - 10 \cdot 12 \cdot 6}{6} = 110 \text{ kH}$$



5.20- rasm.

Tekshirish: $\sum M_c^{\text{+ayr}} = V_A \frac{l}{2} - P \frac{1}{3} - P \frac{l}{6} - Hf = 0$;
 $H = \frac{105 \cdot 12 - 50 \cdot 8 - 50 \cdot 4}{6} = 110 \text{ kH}$

Vertikal va gorizantal reaksiyalar to'g'ri topilgan.

2. Arkaning K kesimidagi eguvchi momentni analitik usulda aniqlaymiz. Buning uchun quyidagi formuladan foydalanamiz: $M_k = M_k^0 - N y_k$. K kesimi chap tayanchdan $X_k = 6$ m masofada joylashgan. Shu kesim uchun y_k ni topamiz:

$$y_k = [4 + X_k (P - X_k)] : P^2 = (4 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 18) : 24 \cdot 24 = 4,5 \text{ m};$$

Oddiy balkaning K kesimidagi moment:

$$M_k^0 = V_A \cdot \frac{l}{4} - P \frac{l}{12} = 105 \cdot 6 - 50 \cdot 2 = 530 \text{ kH} \cdot \text{m}$$

Arkaning K kesimidagi moment:

$$M_k = 530 - 110 \cdot 4,5 = 35$$

Kn m.

3. Arkanig K kesimidagi ko'ndalang kuch quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q_k = Q_k^0 \cos \varphi_k - N \sin \varphi_k.$$

φ_k ni burchak tangensi orqali topamiz. Buning uchun y_k dan x bo'yicha hosil olamiz:

$$\operatorname{tg} \varphi_k = \frac{dy}{dx} = \frac{4f}{l^2} (l - 2x_k) = \frac{4 \cdot 6 \cdot 12}{24 \cdot 24} = 0,5;$$

$$\varphi_k = \arctg 0,5 = 26^\circ 34';$$

$$\sin 26^\circ 34' = 0,447;$$

$$\cos 26^\circ 34' = 0,894;$$

$$Q_k^0 = V_A - P = 105 - 50 = 55 \text{ kH};$$

$$Q_k = 55 \cdot 0,894 - 110 \cdot 0,447 = -49,17 + 49,17 = 0$$

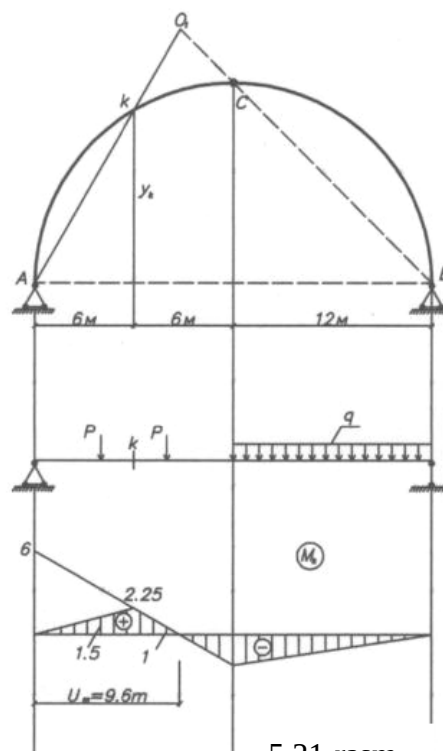
4. Arkaning K kesimidagi bo'ylama kuch:

$$N_k = -(Q_k^0 \sin \varphi_k + H \cos \varphi_k) = -(55 \cdot 0,447 + 110 \cdot 0,894) = -122,925 \text{ kH}$$

Yuqorida analitik usulda topilgan ichki kuchlarni endi ta'sir chiziqlari usulida topamiz. Uch sharnirli arkaning K kesimi uchun eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar ta'sir chiziqlarini quramiz.

1). M_k ning ta'sir chizig'ini nol nuqtasi usulida quramiz (5.21-rasm). Chap tayanchdan nol nuqtasigacha bo'lgan masofa U_m ni quyidagi qiymatlar bo'yicha aniqlaymiz: $y_k = 4,5 \text{ m}$; $l = l / 2 = 12 \text{ m}$; $f = 6 \text{ m}$; $a_k = 6 \text{ m}$;

$$\operatorname{tg} \varphi_k = 0,5; \sin \varphi_k = 0,447; \cos \varphi_k = 0,894;$$



5.21-rasm.

$$U_m = l : (1 + \frac{y_k \cdot k_2}{f \cdot a_k}) = 24 : (1 + \frac{4,5 \cdot 12}{6 \cdot 6}) = 9,6$$

Arkaning K kesimidagi eguvchi moment

$$M_k = P \cdot y_1 + P \cdot y_2 - qw = 50 \cdot 1,5 + 50 \cdot 1 - 10 \cdot 9 = 35 \text{ kH} \cdot \text{M}$$

2). Q_k ning ta'sir chizig'ini ham nol nuqtasi usulida quramiz (5.22-rasm). Chap tayanchdan nol nuqtasigacha bo'lgan masofa U_q quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$U_q = l : [1 + (l_2 / f) \operatorname{tg} \varphi_k] = 24 : (1 + \frac{12}{6} \cdot 0,5) = 12 \text{ m}$$

Arkaning K kesimidagi ko'ndalang kuch

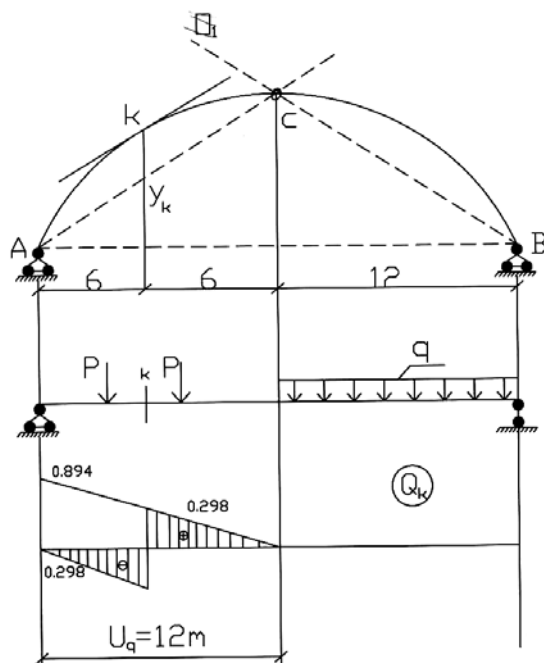
$$Q_k = -R \cdot 0,298 + R \cdot 0,298 = 0.$$

3). Arkaning K kesimidagi bo'ylama kuchning ta'sir chizig'i 5.23-rasmga berilgan. Chap tayanchdan nol nuqtasigacha bo'lgan masofa U_n quyidagi formuladan topiladi.

$$U_n = l : [1 + (l_2 / f) \operatorname{ctg} \varphi_k] = -24 : (1 - \frac{12}{6} \cdot 2) = 8 \text{ m}$$

Arkaning K kesimidagi bo'ylama kuch

$$N_k = -(P \cdot y + P y_2 + qw) = -50 \cdot 0,2235 - 50 \cdot 0,894 - 10 \cdot 6,705 = -122,925 \text{ kH}$$



Analitik va ta'sir chiziqlari usulida aniqlangan ichki kuchlar bir xil chiqdi. Demak, hisob to'g'ri bajarilgan.

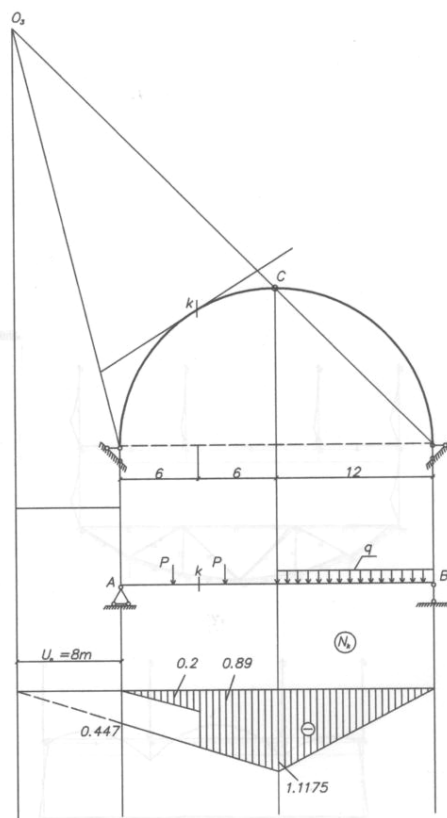
5.3-misol. 5.24-rasmga berilgan uch sharnirli arkaning A,D,S,E,V nuqtalariga tegishli kesimlarda vujudga keladigan eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar analitik usulda aniqlansin. Arka o'qi-parabola. Uning tenglamasi

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

uning birinchi hosilasi:

$$y' = \frac{4f}{l^2} (l-2x)$$

Yechish: 1. Muvozanat tenglamalaridan foydalanib, arkaning tayanch reaksiyalari V_a , V_v , N_a , N_v larni aniqlaymiz:



5.23-rasm.

$$\sum M_A = q \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4} + P_1 \frac{l}{2} + P_2 \frac{3}{4} l - V_B l = 0$$

yoki $15 \cdot 18 \cdot 9 + 20 \cdot 18 + 30 \cdot 27 - V_B \cdot 36 = 0$,

Bundan: $V_B = 100 \text{ Kn}$.

$$\sum M_B = V_A l - q \frac{l}{2} \frac{3}{4} l - P_1 \frac{l}{2} - P_2 \frac{l}{4} = 0$$

Ikkinchi tenglamani tuzamiz:

yoki $V_A 36 - 15 \cdot 18 - 20 \cdot 18 - 30 \cdot 9 = 0$.

bundan $V_A = 220 \text{ kH}$.

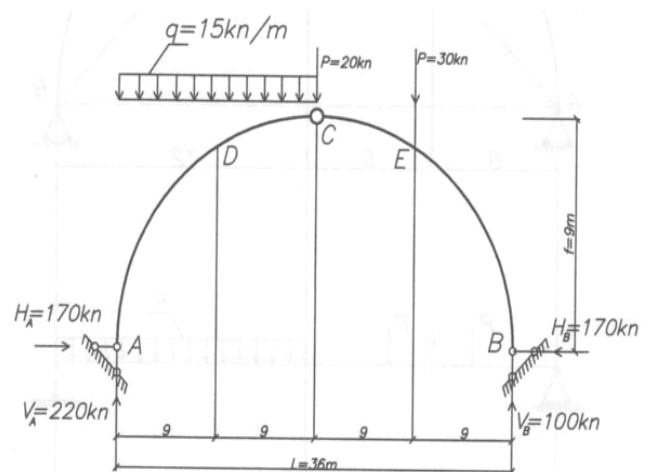
Tekshirish.

$\sum U = 220 - 15 \cdot 18 - 20 - 30 + 100 = 0$,

$320 - 320 = 0$.

Reaksiyalar to'g'ri topilgan.

N_A reaksiyasini aniqlash uchun S sharnirdan chap tomonda yotgan kuchlardan momentlar yig'indisini yozamiz:



5.24-rasm.

$$\sum M_C = V_A \frac{l}{2} - H_A f - q \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4} = 0$$

yoki $220 \cdot 18 - N_A \cdot 9 - 15 \cdot 18 \cdot 9 = 0$.

bundan $N_A = 170 \text{ kH}$.

$x=0$ tenglamaasidan N_v ni topamiz:

$N_A - N_B = 0$ yoki $N_A = N_B = 170 \text{ kH}$.

Bundan buyon kerki kuchi (raspor) ni $N = 170 \text{ kH}$ deb ishlatamiz.

2. Arkaning istalgan kesimidagi eguvchi moment $M_k = M_k^0 - N \cdot u_k$ formulasi orqali topilishini bilamiz. Bu yerda M_k -arkaning K kesimidagi eguvchi moment, M_k^0 -arkaga teng bo'lgan oddiy balkaning K kesimidagi eguvchi moment, y_k -K kesimning ordinatasi. Demak, M_k^0 dan $N u_k$ ni ayirsak arka momenti kelib chiqadi. SHunga ko'ra A, D, S, E, V nuqtalarga mos bo'lgan kesimlardagi balka momentlarini aniqlaymiz:

$$M_A^0 = 0;$$

$$M_D^0 = V_A \frac{l}{4} - q \frac{l}{4} \frac{l}{8} = 220 \cdot 9 - 15 \cdot 9 \cdot 4,5 = 1372 kHm;$$

$$M_C^0 = V_A \cdot \frac{l}{2} - q l / 2 \cdot l / 4 = 220 \cdot 18 - 15 \cdot 18 \cdot 9 = 1530 kHm;$$

$$M_E^0 = V_B l / 4 = 100 \cdot 9 = 900 kHm;$$

$$M_B^0 = 0$$

Endi parabola tenglamasiga tegishli nuqtalarning absissalarini qo'yib, kerakli nuqtalarning ordinatalarini aniqlaymiz:

$$x = 0; \quad y_A = 0;$$

$$x = 9m; \quad y_D = \frac{4 \cdot 9}{36} \cdot 9(36 - 9) = 6,75;$$

$$x = 18m; \quad y_C = 9;$$

$$x = 27m; \quad y_E = y_D = 6,75m;$$

$$x = 36m; \quad y_B = 0$$

Tegishli nuqtalardagi arka momentlarini aniqlaymiz.

$$M_A = M_M^A - Hy_A = 0 - 0 = 0;$$

$$M_D = M_D^0 - Hy_A = 1372 - 170 \cdot 6,75 = 225 kHm;$$

$$M_C = M_C^0 - Hy_C = 1530 - 170 \cdot 9 = 0, \quad \text{sharnirda moment hamma vaqt nol bo'ladi;}$$

$$M_E = M_E^0 - Hy_E = 900 - 170 \cdot 6,75 = -247,6 kHm;$$

$$M_B = 0$$

3. A, D, S, E, V nuqtalarga tegishli kesimlardagi ko'ndalang kuchlarni aniqlash uchun $Q_k = Q_k^0 \cos \alpha - N \sin \alpha$ formulasidan foydalanamiz. Avval arkaga o'xshash balkaning tegishli kesimlaridagi ko'ndalang kuchlarni topamiz:

$$Q_A^0 = V_A = 220 kH;$$

$$Q_D^0 = V_A - q \frac{l}{2} = 220 - 15 \cdot 18 = -50 kH;$$

$$Q_C^{0 \text{ van}} = V_A - q \frac{l}{2} = 220 - 15 \cdot 18 = -50 kH;$$

$$Q_C^{0 \text{ ynz}} = V_A - q \frac{l}{2} - P_1 = 220 - 15 \cdot 18 - 20 = -70 kH;$$

$$Q_E^{0 \text{ van}} = Q_C^0 = -70 kH;$$

$$Q_E^{0 \text{ ynz}} = Q_E^{\text{yng}} - P_2 - 70 - 20 = -100 kH;$$

$$Q_E^0 = Q_E^{0 \text{ ynz}} = -100 kH.$$

α burchaklarni aniqlash uchun parabola tenglamasi hosilasidan foydalanamiz:

$$y^1 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{4f}{l^2} (l - 2x)$$

$$\text{A nuqtada: } x=0, \quad tg\alpha = \frac{4 \cdot 9}{36^2} (36 - 0) = 1 \quad \text{bundan } \alpha = 45^\circ$$

$$\text{va } \sin 45^\circ = 0,707, \quad \cos 45^\circ = 0,707;$$

$$\text{D nuqtada: } x=9 \text{ m}, \quad tg\alpha = \frac{4 \cdot 9}{36^2} (36 - 2 \cdot 9) = 0,5$$

$$\text{bundan } \alpha = 26^\circ 34'$$

$$\text{va } \sin 26^\circ 34' = 0,447; \quad \cos 26^\circ 34' = 0,896;$$

$$\text{S nuqtada: } x=18 \text{ m}, \quad tg\alpha = \frac{4 \cdot 9}{36^2} (36 - 2 \cdot 18) = 0,5 \quad \text{bundan } \alpha = 0$$

$$\text{va } \sin 0^\circ = 0; \quad \cos 0^\circ = 1;$$

E nuqtada: $x=27\text{m}$, E nuqtasi D nuqtaga simmetrik bo'lganligi sababli $\alpha=26^\circ 34'$ bo'ladi, demak $\sin 26^\circ 34' = 0,447$ va $\cos 26^\circ 34' = 0,896$.

V nuqtada: $x=36 \text{ m}$, V nuqtasi A nuqtaga simmetrik bo'lgani uchun $\alpha = 45^\circ$, $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 0,707$ bo'ladi.

Uch sharnirli arkadagi ko'ndalang kuchlarni aniqlaymiz.

$$Q_A = Q_A^0 \cos 45^\circ - H \sin 45^\circ = 220 \cdot 0,707 - 170 \cdot 0,707 = 35,5 \text{ kN};$$

$$Q_d = Q_d^0 \cos 26^\circ 34' - H \sin 26^\circ 34' = 85 \cdot 0,896 - 170 \cdot 0,447 = 0,2 \text{ kN};$$

$$Q_c^{\text{chap}} = Q_c^{\text{chap}} \cos 0^\circ - H \sin 0^\circ = -50 \cdot 1 - 170 \cdot 0 = -50 \text{ kN};$$

$$Q_c^{\text{o'ng}} = Q_c^{\text{o'ng}} \cos 0^\circ - H \sin 0^\circ = -70 \cdot 1 - 170 \cdot 0 = -70 \text{ kN};$$

$$Q_e^{\text{chap}} = Q_e^{\text{chap}} \cos 26^\circ 34' + H \sin 26^\circ 34' = -70 \cdot 0,896 + 170 \cdot 0,447 = 13,3 \text{ kN};$$

$$Q_e^{\text{o'ng}} = Q_e^{\text{o'ng}} \cos 26^\circ 34' + H \sin 26^\circ 34' = -100 \cdot 0,896 + 170 \cdot 0,447 = -13,6 \text{ kN};$$

$$Q_B = Q_B^0 \cos 45^\circ + H \sin 45^\circ = -100 \cdot 0,707 + 170 \cdot 0,707 = 49,5 \text{ kN}.$$

Ko'ndalang kuch tenglamalarida arkaning o'ng qismidagi kesimlarida ikkinchi qo'shiluvchi oldidagi ishora musbatga o'zgaradi.

4. A, D, S, E, V nuqtalariga mos kesimlardagi bo'ylama kuchlar $N_k = Q_k \sin + H \cos$ formulasidan aniqlanadi.

$$N_A = Q_A^0 \sin 45^\circ + H \cos 45^\circ = 220 \cdot 0,707 + 170 \cdot 0,707 = 275,2 \text{ kN};$$

$$N_d = Q_d^0 \sin 26^\circ 34' + H \cos 26^\circ 34' = 85 \cdot 0,447 + 170 \cdot 0,896 = 190,3 \text{ kN};$$

$$N_s^{\text{chap}} = Q_s^{\text{chap}} \sin 0^\circ + H \cos 0^\circ = -50 \cdot 0 + 170 \cdot 1 = 170 \text{ kN};$$

$$N_s^{\text{o'ng}} = Q_s^{\text{o'ng}} \sin 0^\circ + H \cos 0^\circ = -70 \cdot 0 + 170 \cdot 1 = 170 \text{ kN};$$

$$N_e^{\text{chap}} = -Q_e^{\text{chap}} \sin 26^\circ 34' + H \cos 26^\circ 34' = 70 \cdot 0,447 + 170 \cdot 0,896 = 183,6 \text{ kN};$$

$$N_e^{\text{o'ng}} = -Q_e^{\text{o'ng}} \sin 26^\circ 34' + H \cos 26^\circ 34' = 100 \cdot 0,447 + 170 \cdot 0,896 = 197 \text{ kN};$$

$$N_B = -Q_B^0 \sin 45^\circ + H \cos 45^\circ = 100 \cdot 0,707 + 170 \cdot 0,707 = 190,7 \text{ kN:}$$

Arkaning o'ng qismini hisoblashda qo'shiluvchilarning birinchi xadi manfiy ishoraga o'zgardi.

5.4-misol. Analitik usulni qo'llab, 5.25-rasmda berilgan uch sharnirli parabolik arka uchun M, Q va N epyuralari qurilsin.

Yechish: M, Q va N epyuralarini qurish uchun arkani 12 qismga bo'lamiz. Bunda kesimlarni kuch qo'yilgan nuqtalar, tayanch va qulf sharnirlari, arkaning chorak qismlari singari xarakterli joylardan tanlaymiz.

Parabola tenglamasi $y = \frac{4f}{l^2}(l-2x)$ dan foydalanib, har bir kesimning

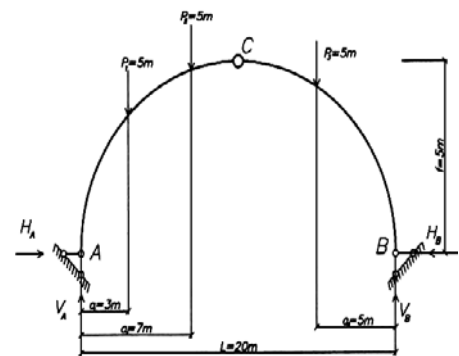
ordinatasini; tenglamaning birinchi xosilasi $y^1 = tg \alpha = \frac{4f}{l^2}(l-2x)$ dan foydalanib,

kesimga o'tkazilgan urunma bilan gorizont orasidagi burchakni aniqlaymiz. burchaklar topilgach, sin va cos larni aniqlaymiz. Ishni osonlashtirish maqsadida hisob natijalarini jadvalga joylaymiz.

Bir necha kesim uchun sin va cos larni aniqlaymiz.

O-kesim uchun $x_0 = 0$, $y_0 = 0$ bo'ladi (5.26-rasm).

Shu kesim uchun



$$tg \alpha_0 = |y^1| = \frac{4f}{l^2}(l-2x) = \frac{4 \cdot 5}{20^2} 20 = 1,0; \quad 5.25\text{-rasm.}$$

$$\text{bundan } \alpha^0 = 45$$

Trigonometrik funksiyalar jadvalidan foydalanib, quyidagilarni topamiz:

$$\sin \alpha_0 = \sin 45^\circ = 0,70711; \quad \cos \alpha_0 = \cos 45^\circ = 0,70711.$$

Endi shu amallarni 1-kesim uchun takrorlaymiz.

1-kesim uchun $x = 1,5 \text{ m}$,

$$y^1 = \frac{4f}{l^2} x(l-x) = \frac{4 \cdot 5}{20^2} 1,5(20-1,5) = 1,3875 \text{ m.}$$

$x = 1,5$ ni tenglamaning birinchi xosilasiga qo'yamiz:

$$tg \alpha_1 = |y^1| = \frac{4f}{l^2}(l-2x) = \frac{4 \cdot 5}{20^2}(20-2 \cdot 1,5) = 0,85$$

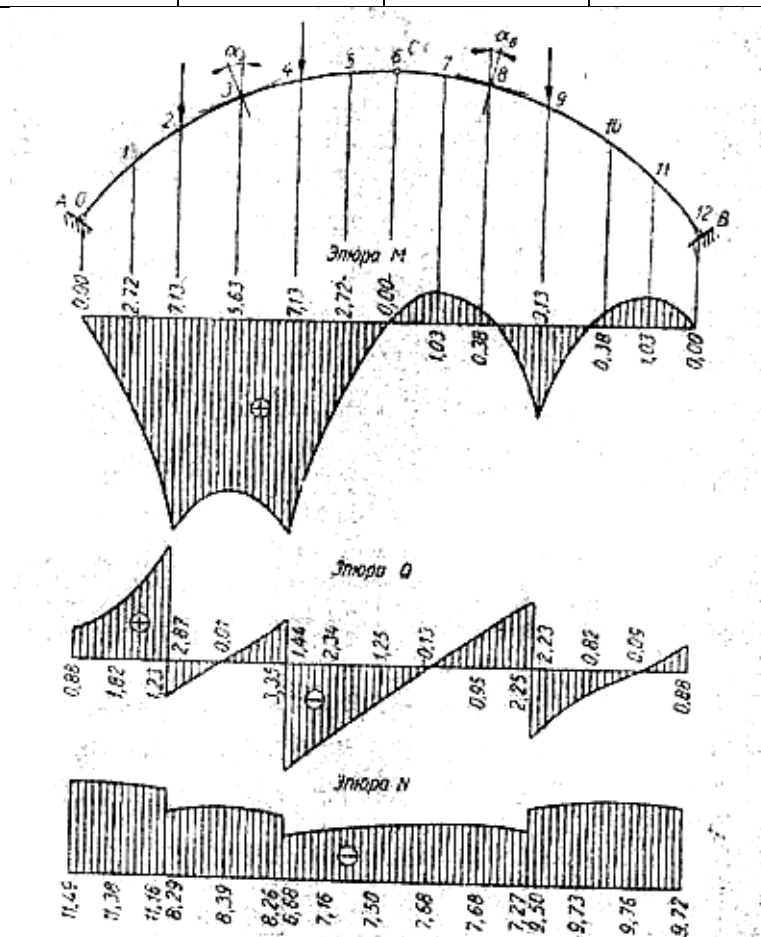
Trigonometrik funksiyalar jadvalidan

$$\alpha_1 = 40^\circ 21'; \quad \sin \alpha_1 = 0,64723; \quad \cos \alpha_1 = 0,76229 \text{ ni aniqlaymiz.}$$

Shu yo'sinda $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3$ va x.k., shuningdek $\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 \sin \alpha_3$ va h.k. topiladi.

Topilgan qiymatlar quyidagi jadvalga joylashtiriladi:

Kesmli raqamlar	Xn	Yn	α_n	Sin α_n	Cos α_n
0	0,00	0,0000	$45^0 00^1$	0,70711	0,70711
1	1,50	1,3875	$40^0 20^1$	0,64723	0,76229
2	3,00	2,5500	$35^0 00^1$	0,57358	0,81915
3	5,00	3,7500	$26^0 30^1$	0,28680	0,89493
4	7,00	4,5500	$16^0 40^1$	0,14781	0,95799
5	8,00	4,8875	$8^0 30^1$	0,00000	0,98902
6	10,00	5,0000	$0^0 00^1$	0,14781	1,0000
7	11,50	4,8875	$8^0 00^1$	0,28680	0,98902
8	13,00	4,5500	$16^0 40^1$	0,44620	0,95799
9	15,00	3,7500	$26^0 30^1$	0,44620	0,89493
10	17,00	2,5500	$35^0 00^1$	0,57353	0,81915
11	18,50	1,3875	$40^0 20^1$	0,64723	0,76229
12	20,00	0,00	$45^0 00^1$	0,70711	0,70711



5.26-rasm.

$$\sum M_d = 0$$

Arkaning vertikal va gorizontall reaksiyalarini aniqlaymiz. V_A tayach reaksiyasi $\sum M_B = 0$ tenglamasidan topiladi:

$$\sum M_B = V_A \ell - P_1(\ell - a_1) - P_2(\ell - a_2) - P_3 a_3 = 0$$

bundan

$$V_A = \frac{P_1(\ell - a_1) + P_2(\ell - a_2) + P_3 a_3}{\ell} = 8,75m$$

V_B tayanch reaksiyasi $\sum M_A = 0$ tenglamasidan topiladi:

$$\sum M_A = -V_B \ell + P_1 a_1 + P_2 a_2 + P_3(\ell - a_3) = 0$$

bundan

$$V_B = \frac{P_1 a_1 + P_2 a_2 + P_3(\ell - a_3)}{\ell} = \frac{5 \cdot 3 + 5 \cdot 7 + 15}{20} = 6,25m$$

Tekshirish: $y = 5.0 + 5.0 + 5.0 - 8.75 - 6.25 = 0$.

Kerki kuchi (raspor) quyidagi tenglamadan topiladi:

$$M_C^0 - Hf = 0$$

$$-H \cdot f + V_A \frac{\ell}{2} - P_1 \left(\frac{\ell}{2} - a_1 \right) - P_2 \left(\frac{\ell}{2} - a_2 \right) = 0$$

bundan
$$H = \frac{1}{f} \left[V_A \frac{\ell}{2} - P_1 \left(\frac{\ell}{2} - a_1 \right) - P_2 \left(\frac{\ell}{2} - a_2 \right) \right] = \frac{1}{5} [8,75 \cdot 10 - 5 \cdot 7 - 5 \cdot 3] = 7,5m$$

Quyidagi formulalardan foydalanib, har bir kesim uchun eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlaymiz:

$$M_n = M_n^0 - H \cdot y_n ;$$

$$Q_n = Q_n^0 \cos \alpha_n - H \sin \alpha_n ;$$

$$N_n = -(Q_n^0 \sin \alpha_n - H \cos \alpha_n)$$

bu yerda: M_n , Q_n , N_n - arkaning istalgan kesimidagi eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar;

M_n^0 , Q_n^0 - balkaning istalgan kesimidagi eguvchi moment va ko'ndalang kuch;

H - kerki kuchi (raspor);

U_n - kesimining ordinatasi;

α_n - arkaning n kesimida o'tkazilgan urunma bilan gorizontaal chiziq orasidagi burchak;

Eguvchi momentlar:

$$\begin{aligned}
M_0 &= 0.0 \\
M_1 &= 8.75 \cdot 1.5 - 7.5 \cdot 1.3875 = 2.72m \cdot m; \\
M_2 &= 8.75 \cdot 3 - 7.5 \cdot 2.55 = 7.13m \cdot m; \\
M_3 &= 8.75 \cdot 5 - 7.5 \cdot 3.75 - 5 \cdot 2 = 5.63m \cdot m; \\
M_4 &= 8.75 \cdot 7 - 7.5 \cdot 4.53 - 5 \cdot 4 = 7.13m \cdot m; \\
M_5 &= 8.75 \cdot 8.5 - 7.5 \cdot 4.8875 - 5 \cdot 5.5 - 5 \cdot 1.5 = 2.72m \cdot m; \\
M_6 &= 8.75 \cdot 10 - 7.5 \cdot 5 - 5 \cdot 7 - 5 \cdot 3 = 0.0 \\
M_7 &= 6.25 \cdot 8.5 - 7.5 \cdot 4.8875 - 5.0 \cdot 3.5 = -1.03m \cdot m; \\
M_8 &= 6.25 \cdot 7.0 - 7.5 \cdot 4.53 - 5 \cdot 2 = -0.38m \cdot m; \\
M_9 &= 6.25 \cdot 5 - 7.5 \cdot 3.75 = 3.13m \cdot m; \\
M_{10} &= 6.25 \cdot 3 - 7.5 \cdot 2.55 = -0.38m \cdot m; \\
M_{11} &= 6.25 \cdot 1.5 - 7.5 \cdot 1 \cdot 3.875 = -1.03m \cdot m; \\
M_{12} &= 0.000
\end{aligned}$$

Ko'ndalang kuchlar:

$$\begin{aligned}
Q_4^{q_{AP}} &= (8.75 - 5.0)0.95799 - 7.5 \cdot 0.28680 = 1.44m \\
Q_4^{\ddot{y}_{HI}} &= (8.75 - 5 - 5)0.95799 - 7.5 \cdot 0.28680 = -3.35m \\
Q_5 &= (8.75 - 5 - 5) \cdot 0.98902 - 7.5 \cdot 0.14781 = -2.34m \\
Q_6 &= (8.75 - 5.0 - 5.0)1.0 - 7.5 \cdot 0.0 = -1.25m \\
Q_7 &= (8.75 - 5 - 5) \cdot 0.98902 + 7.5 \cdot 0.14781 = -0.13m \\
Q_8 &= (8.75 - 5 - 5) \cdot 0.95799 + 7.5 \cdot 0.28680 = 0.95m \\
Q_9^{q_{AP}} &= (8.75 - 5 - 5) \cdot 0.89493 + 7.5 \cdot 0.44620 = 2.23m \\
Q_9^{\ddot{y}_{HI}} &= (8.75 - 5 - 5 - 5) \cdot 0.89493 + 7.5 \cdot 0.44620 = -2.25m \\
Q_{10} &= (8.75 - 5 - 5 - 5) \cdot 0.81915 + 7.5 \cdot 0.57358 = -0.82m \\
Q_{11} &= (8.75 - 5 - 5 - 5) \cdot 0.76229 + 7.5 \cdot 0.64723 = 0.09m \\
Q_{12} &= (8.75 - 5 - 5 - 5) \cdot 0.70711 + 7.5 \cdot 0.70711 = 0.88m
\end{aligned}$$

Bo'ylama kuchlar:

$$\begin{aligned}
N_0 &= -(8.75 \cdot 0.70711 + 7.5 \cdot 0.70711) = -11.49m \\
N_1 &= -(8.75 \cdot 0.64723 + 7.5 \cdot 0.76229) = -11.38m \\
N_2^{u_{AH}} &= -(8.75 \cdot 0.57358 + 7.5 \cdot 0.81913) = -11.16m \\
N_{2I}^{\ddot{y}_{HH}} &= -[(8.75 - 5.0) \cdot 0.57358 + 7.5 \cdot 0.81915] = -8.29m \\
N_3 &= -[(8.75 - 5.0) \cdot 0.44620 + 7.5 \cdot 0.89493] = -8.39m \\
N_4^{u_{AH}} &= -[(8.75 - 5) \cdot 0.28680 + 7.5 \cdot 0.95799] = -8.25m \\
N_4^{\ddot{y}_{HH}} &= -[(8.75 - 5 - 5) \cdot 0.28680 + 7.5 \cdot 0.95799] = -6.68m \\
N_5 &= [(8.75 - 5 - 5) \cdot 0.14781 + 7.5 \cdot 0.98902] = -7.16m \\
N_6 &= -[(8.75 - 5 - 5) \cdot 0.0 + 7.5 \cdot 1.0] = -7.5m \\
N_7 &= -[-(8.75 - 5 - 5) \cdot 0.14781 + 7.5 \cdot 0.98904] = -7.68m \\
N_8 &= -[-(8.75 - 5 - 5) \cdot 0.28680 + 7.5 \cdot 0.95799] = -7.68m \\
N_9^{u_{AH}} &= -[-(8.75 - 5 - 5) \cdot 0.44620 + 7.5 \cdot 0.89493] = -7.27m \\
N_9^{\ddot{y}_{HH}} &= -[-(8.75 - 5 - 5 - 5) \cdot 0.44620 + 7.5 \cdot 0.89493] = -9.50m \\
N_{10} &= -[-(8.75 - 5 - 5 - 5) \cdot 0.57358 + 7.5 \cdot 0.81915] = -9.73m \\
N_{11} &= -[-(8.75 - 5 - 5 - 5) \cdot 0.64723 + 7.5 \cdot 0.76229] = -9.76 \\
N_{12} &= -[-(8.75 - 5 - 5 - 5) \cdot 0.70711 + 7.5 \cdot 0.70711] = -9.72m
\end{aligned}$$

Shunday qilib, 12 ta kesim uchun eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar qiymatlarini aniqladik. Endi ana shu qiymatlar asosida (har qaysisiga o'z masshtabi bilan) M, Q, N epyuralarini bimalol qura olamiz (5.26-rasm).

VI BOB. STATIK ANIQ RAMALARNI HISOBLASH

6.1. Umumiy ma'lumotlar

Ramalar balka, ferma, arka singari binokorlikda keng qo'laniladigan konstruksiyalardan hisoblanadi. Qurilish amaliyotida karkasli (sinchli) binolar salmoqli o'rin egallaydi. Karkasli binolarning hisoblash sxemalari rama shaklida qabul qilinadi. Sterjen uchlari bikir yoki sharnirli biriktirilgan geometrik o'zgarmas sistemalar **r a m a** deb ataladi. Ramaning gorizontal elementlari rigel (sarrov), vertikal elementlari ustun (stoyka) deyiladi. Boshqa konstruksiyalar kabi ramalarning statik aniq va statik noaniq xillari mavjud. Statik aniq ramalarni hisoblashda, ya'ni ulardagi ichki kuchlar M , Q , N larni aniqlashda statikaning muvozanat tenglamalari kifoya etadi. Statik noaniq ramalarni yechishda statika tenglamalarining o'zi (yassi sistemalar uchun $\sum X=0$, $\sum Y=0$, $\sum M=0$) etarli bo'lmaydi, chunki ulardagi no'malumlarining soni statika tenglamalari sonidan ortiq bo'ladi, yani ularda statika nuqtai nazaridan **“ortiqcha”** noma'lumlar mavjud bo'ladi. Matematikadan bilamizki, masala echimga ega bo'lishligi uchun tenglamalar soni, noma'lumlar soniga teng bo'lishi zarur. Bu hol masalani yechish uchun qo'shimcha tenglamalar tuzishni taqazo etadi. Qo'shimcha tenglamalar tuzishning o'ziga xos uslub va qoidalari bor. Bu haqida keyingi boblarda batafsil to'xtalamiz. Mazkur bobda esa statik aniq ramalar xususida so'z yuritamiz. Agar statik aniq sodda ramalarni hisoblashni o'rganib olsak, bulardan birmuncha murakabroq sanalgan statik noaniq ramalarni yechish uchun kerakli malakaga ega bo'lgan bo'lamiz va ularni hisoblash biz uchun ancha oson kechadi.

6.2. Eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuch epyuralarini qurish

Ramalarda ichki kuchlar epyuralarini qurish chog'ida o'zimiz ramaning ichki konturida turibmiz deb faraz qilamiz. Shunda kuchlar ishorasini belgilashda balka va arkalarni hisoblashda qo'lanilgan qoidadan bevosita foydalanish mumkin bo'ladi. Bundan tashqari M , Q va N epyuralarini qurishda quyidagi qoidalarga amal qilish talab etiladi:

1. Sterjen o'qi absissa o'qi deb qabul qilinadi;
2. Hisoblab topilgan ordinatalar sterjen o'qiga perpendikulyar ravishda joylashtiriladi;
3. M epyurasining ordinatalari rama elementining tolalari cho'zilgan tomonga qo'yiladi. Epyuraga ishora qo'yilmaydi;

4. Q epyurasining musbat ordinatalari rigeldan yuqoriga, ustundan chapga, manfiy ordinatalari esa o'qdan pastga va o'ng tomonga joylashtiriladi. Epyuraga ishora qo'yiladi;

5. N epyurasining ordinatalari sterjen o'qining ikki tomoniga simmetrik ravishda joylashtiriladi. Epyuraga ishora qo'yish shart;

6. Epyuralar sterjen o'qiga tik ravishda shtrixlanadi;

Quyida statik aniq ramalar uchun M, Q, N epyuralarini qurishga doir misollar keltirilgan.

6.1-misol.

6.1 a -rasmida berilgan statik aniq rama uchun M, Q va N epyuralari qurilsin. Ramaning o'lchamlari va ta'sir etuvchi tashqi kuchlar shaklda ko'rsatilgan.

Yechish. Hisobni ramaning erkin uchidan boshlasak, ish ancha engillashadi. Chunki bunda ramaning tayanch reaksiyalarini aniqlashga zarurat bo'lmaydi.

Mepyurasini qurish:

Ramaning M epyurasini qurish uchun uni uchastkalarga ajratamiz. VS rigel birinchi, AV ustun ikkinchi uchastka bo'lsin. S nuqtasidan x masofada birinchi uchastkani kesamiz va momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$M_x = -q_2 x \frac{x}{2} = -\frac{q_2 x^2}{2} = -\frac{1,5x^2}{2} = -0,75x^2.$$

Bu yerda $0 \leq x \leq 6$ m; tenglamaning grafigi egri chiziq ekanligi bizga ma'lum. Egri chiziqni chizish uchun x ga bir nechta qiymat berish zarur bo'ladi:

$x = 0$ bo'lganda $M_c = 0$;

$x = 3$ m bo'lganda $M_x = -0,75 \cdot 3^2 = -6,75$ tm;

$x = 6$ m bo'lganda $M_x = -0,75 \cdot 6^2 = -27$ tm.

Bu qiymatlar bo'yicha rigel uchun M epyurasi quriladi (6.1 b -rasm).

Ikkinchi uchastka (AV ustuni) uchun M epyurasini quramiz. V nuqtadan x_1 masofada ustunni kesamiz va kesimning yuqori qismi uchun quyidagi tenglamani tuzamiz:

$$M_{x_1} = -q_2 l \frac{l}{2} - P x_1 - q_1 x_1 \frac{x_1}{2} = -\frac{q_2 l^2}{2} - P x_1 - \frac{q_1 x_1^2}{2} = -\frac{1,5 \cdot 6^2}{2} - 1 \cdot x_1 - \frac{0,5 x_1^2}{2} = -27 - x_1 - 0,25 x_1^2.$$

Bu yerda: $0 \leq x_1 \leq 8$ m. x_1 ga qiymatlar beramiz.

$x_1 = 0$ bo'lganda $M_x = -27$ tm;

$x_1 = 2$ m bo'lganda $M_{x_1} = -27 - 2 - 0,25 \cdot 2^2 = -30$ tm;

$x_1 = 4$ m bo'lganda $M_{x_1} = -27 - 4 - 0,25 \cdot 4^2 = -35$ tm;

$x_1 = 6$ m bo'lganda $M_{x_1} = -27 - 6 - 0,25 \cdot 6^2 = -42$ tm;

$$x_1=8\text{m bo'lganda } M_a = -27 - 8 \cdot 0,25 \cdot 8^2 = -51 \text{ tm};$$

Bu qiymatlar bo'yicha ustun uchun M epyurasini quramiz.

Q epyurasini qurish

Ramaning rigeliga tekis yoyiq kuch qo'yilganligi sababli uning Q epyurasi og'ma to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. SHuning uchun elementning chekka kesimlaridagi ko'ndalang kuchlarni aniqlasak etarli: $Q_c=0$; $Q_B=q_2 l=1,5 \cdot 6=9 \text{ t}$.

Topilgan qiymatlar bo'yicha ramaning rigeliga Q epyurasini quramiz (6.1 b-rasm). Ramaning AV ustuniga epyura qurishda ham ustunining ikkita chekka kesimlaridagi ko'ndalang kuchni aniqlash bilan kifoyalanamiz:

$$Q_B=P=1\text{t}; \quad Q_A=P+q_1 h=1+0,5 \cdot 8=5 \text{ t};$$

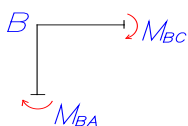
Topilgan qiymatlarni ustunning chap tomoniga masshtabda o'lchab qo'yib, Q epyurasini quramiz.

N epyurasini qurish

Ramaning N epyurasini chizish uchun quyidagi mushohadani yuritamiz: rigelga qo'yilgan tekis yoyiq kuch rigelda bo'ylama kuch uyg'otmaydi. SHunga ko'ra $N_{BC}=0$ bo'ladi. Rigelga qo'yilgan ushbu yoyiq kuch ramaning ustunida bo'ylama kuch uyg'otadi. Bo'ylama kuchning qiymati yoyiq kuchning teng ta'sir etuvchisiga teng bo'ladi, ya'ni $N_{AB}=9\text{t}$. Ustunga qo'yilgan kuchlarning ustun o'qiqa bo'lgan proeksiyasi nol bo'ladi.

Ramaning N epyurasi 6.1-rasm g da berilgan.

Tekshirish. Rama uchun qurilgan M, Q, N epyuralarining to'g'riligini bilish uchun uning tugunlarining muvozanati tekshiriladi. M epyurasini tekshirish uchun shu epyuradan V tugunini kesib olamiz va unga V kesimga ta'sir etayotgan momentlarni qo'yamiz, so'ngra V nuqtasiga nisbatan muvozanat tenglamasini tuzamiz:

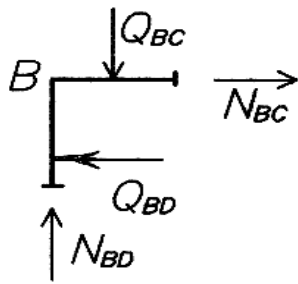


$$\sum M_B = M_{BC} - M_{BA} = 27 - 27 = 0.$$

Tenglama qanoatlantirildi. Demak tugun–muvozanatda.

Bu M-epyurasini to'g'ri hisoblanganligini bildiradi.

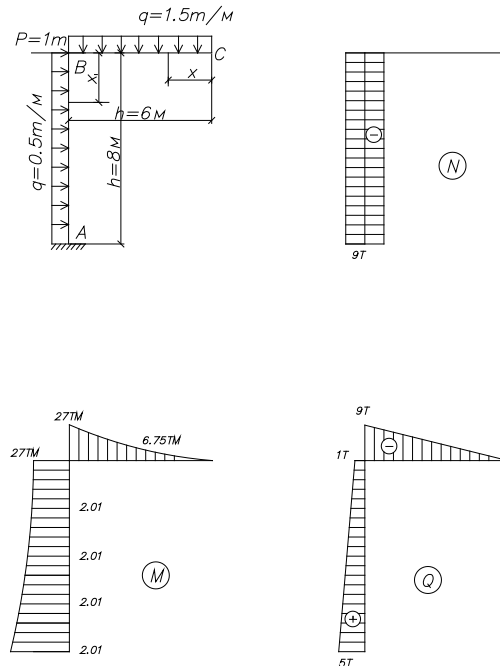
Q va N epyuralari birgalikda tekshiriladi. Bunga ham ramaning V tuguni kesib olinadi va unga V kesimga ta'sir etayotgan ko'ndalang va bo'ylama kuchlar qo'yiladi, keyin $\sum X=0$ va $\sum U=0$ tenglamalaridan foydalanib, tugunning muvozanati tekshiriladi.



$$\Sigma U = -Q_{vs} + N_{BA} = -9 + 9 = 0;$$

$$\Sigma X = N_{vs} - Q_{BA} = 0.$$

Tenglamalar qanoatlanirildi. Demak, hisob to'g'ri.



6.1-rasm.

6.2-misol.

6.2- rasmda berilgan rama uchun M, Q, N epyuralari qurilsin.

Yechish. Hisobni tayanch reaksiyalarini aniqlashdan boshlaymiz.

$\Sigma M_s = 0$ tenglamasidan foydalanib V_A reaksiyasini topamiz:

$$V_A l - \frac{q_1 h^2}{2} - \frac{q_2 l^2}{2} = 0.$$

Bunda:

$$V_A - \frac{\frac{q_1 h^2}{2} - \frac{q_2 l^2}{2}}{l} = \frac{\frac{0,5 \cdot 8^2}{2} + \frac{1,5 \cdot 6^2}{2}}{6} = 7,17 \text{ T}$$

$\Sigma X = 0$ tenglamasidan foydalanib N_s reaksiyasini aniqlaymiz:

$$q_1 h + R - N_c = 0,$$

Bunda: $N_c = q_1 h + R = 0,5 \cdot 8 + 1 = 5 \text{ t.}$

$\Sigma U = 0$ tenglamasidan V_s topiladi:

$$V_A - q_2 l + V_c = 0$$

Bunda: $V_c = -V_a + q_2 l = -7,17 + 1,5 \cdot 6 = 1,83 \text{ t}$.

$$\begin{aligned} \sum M_A &= V_c l - H_c h + \frac{q_2 l^2}{2} + Ph + \frac{q_1 h^2}{2} = \\ &= -1,83 \cdot 6 - 5 \cdot 8 + \frac{1,5 \cdot 6^2}{2} + 1,0 \cdot 8 + \frac{0,5 \cdot 8^2}{2} = -10,98 - 40 + 27 + 8 + 16 = 0. \end{aligned}$$

Topilgan reaksiyalarning to'g'ri – noto'g'riligini tekshiramiz.

Demak, tayanch reaksiyalari to'g'ri topilgan.

M epyurasini qurish

Ustunning istalgan kesimidagi eguvchi moment.

$$M_x = -\frac{q_1 x^2}{2} = -\frac{0,5 \cdot x^2}{2} = -0,25x^2 ; 0 \leq x \leq 8 \text{ m. } x \text{ ga qiymatlar}$$

beramiz:

$$\begin{aligned} x=0 & \quad M_A = 0; \\ x=2 \text{ m} & \quad M_x = -0,25 \cdot 2^2 = -1 \text{ tm}; \\ x=4 \text{ m} & \quad M_x = -0,25 \cdot 4^2 = -4 \text{ tm}; \\ x=6 \text{ m} & \quad M_x = -0,25 \cdot 6^2 = -9 \text{ tm}; \\ x=8 \text{ m} & \quad M_v = -0,25 \cdot 8^2 = -16 \text{ tm}. \end{aligned}$$

Rigelning istalgan kesimidagi eguvchi moment

$$M_{x_1} = V_c x_1 - \frac{q_2 x_1^2}{2} = 1,83x_1 - \frac{1,5x_1^2}{2} = 1,83x_1 - 0,75x_1^2;$$

$$0 \leq x_1 \leq 6 \text{ m}$$

x_1 ga qiymatlar beramiz:

$$\begin{aligned} x_1=0 & \quad M_c = 0; \\ x_1=3 \text{ m} & \quad M_{x_1} = 1,83 \cdot 3 - 0,75 \cdot 3^2 = -1,25 \text{ tm}; \\ x_1=6 \text{ m} & \quad M_B = 1,83 \cdot 6 - 0,75 \cdot 6^2 = -16 \text{ tm}; \end{aligned}$$

Eguvchi momentning maksimal qiymatini aniqlash uchun $Q=0$ bo'lgan absissa x_0 ni izlab topamiz:

$$Q_{x_0} = -V_c + q_2 x_0 = 0;$$

$$\text{Bunda } x_0 = \frac{V_c}{q_2} = \frac{1,83}{1,5} = 1,22 \text{ m}.$$

x_0 ning bu qiymatini yuqorida berilgan M_{x_1} tenglamasiga qo'ysak, maksimal eguvchi moment kelib chiqadi:

$$M_{MAX} = 1,83 \cdot 1,22 - 0,75 \cdot 1,22^2 = 1,11 \text{ tm}.$$

Topilgan qiymatlar bo'yicha M epyurasi quriladi. Bunda ordinatalar sterjenning tolalari cho'zilgan tomonga qo'yiladi (6.2 6 -rasm).

Q epyurasini qurish. Ramaninig xarakterli kesimlaridagi Q ning qiymatlarini aniqlaymiz.

AV ustunida:

$$Q_A = 0;$$

$$Q_B = Q_A - q_1 h = 0 - 0,5 \cdot 8 = -4 \text{ T}$$

BC pugeliida:

$$Q_B = V_A = 7,17 \text{ T},$$

$$Q_C = Q_B - q_2 l = 7,17 - 1,5 \cdot 6 = -1,83 \text{ T}$$

Bu qiymatlar bo'yicha qurilgan epyura 6.2 b -rasmida tasvirlangan.

N Epyurasini qurish

Shakldan ko'rinib turibdiki ustunga bo'ylama yo'nalishda faqat V_a reaksiyasi ta'sir etadi va u ustunni siqadi. Shunga ko'ra:

$$NAV = -VA = -7,17 \text{ t} \quad \text{bo'ladi.}$$

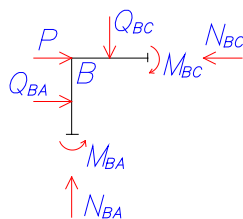
Rigelga esa bo'ylama yo'nalishda faqat N_c ta'sir etadi:

$$NVS = -N_c = -5 \text{ T.}$$

Topilgan qiymatlar bo'yicha qurilgan N epyurasi 6.2 r-rasmida berilgan.

Tekshirish. V tugunini kesib olib, uning muvozanatini tekshiramiz. Bu safar tugunga bir yo'la barcha ichki va tashqi kuchlarni qo'yamiz va $\Sigma X = 0$, $\Sigma U = 0$, $\Sigma M = 0$ tenglamalarini tuzamiz;

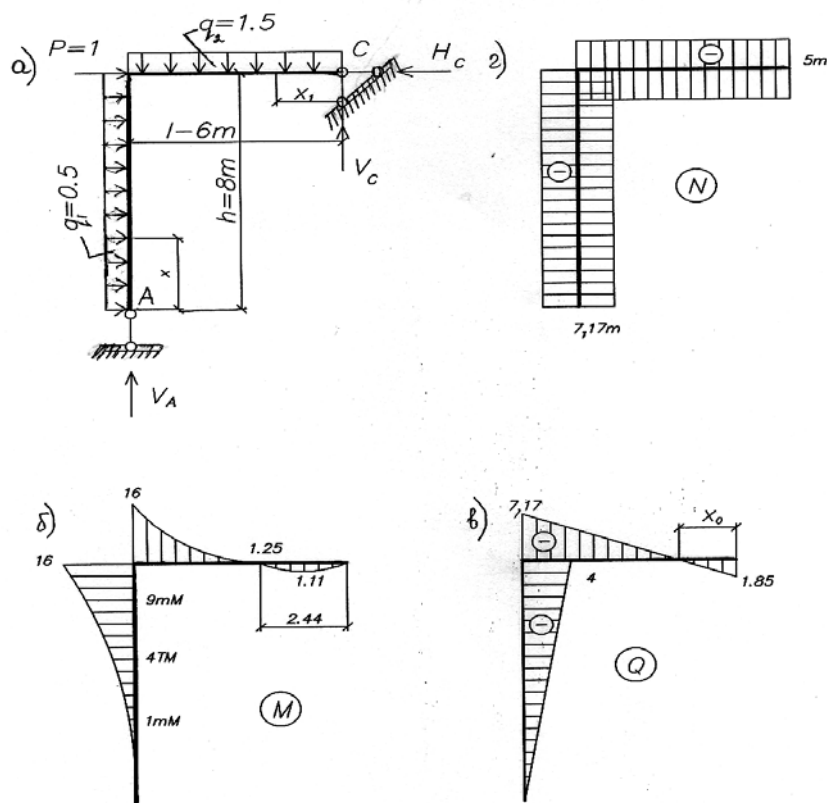
$$\Sigma X = Q_{BA} + P - N_{BC} = 4 + 1 - 5 = 0;$$



$$\Sigma Y = N_{BA} - Q_{BC} = 7,17 - 7,17 = 0;$$

$$\Sigma M_B = M_{BC} - M_{BA} = 16 - 16 = 0.$$

Uchchala muvozanat shartlari qanoatlantirildi, binobarin, V tuguni muvozanat holatida, demak ichki kuchlar to'g'ri topilgan.



6.2 – rasm.

6.3-misol. 6.3 a -rasmida berilgan rama uchun M , Q , N epyuralari qurilsin.

Yechish. Avval tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

S tayanchining reaksiya kuchi V_s ni aniqlash uchun $\Sigma M_A = 0$ tenglamasini tuzamiz:

$$-V_c l + q_2 l \frac{l}{2} + Ph + q_1 h \frac{h}{2} = 0$$

$$\text{Bundan } V_c l + \frac{q_2 l^2}{2} + Ph + \frac{q_1 h^2}{2} = \frac{1,5 \cdot 6^2}{2} + 1,0 \cdot 8 + \frac{0,5 \cdot 8^2}{2} = 8,5 \text{ T.}$$

NA reaksiyasi $\Sigma X = 0$ tenglamasidan topiladi:

$$-N_A + q_1 h + R = 0$$

$$\text{bundan } N_A = q_1 h + R = 0,5 \cdot 8 + 1,0 = 5 \text{ t.}$$

V_A reaksiyasi $\Sigma U = 0$ tenglamasidan aniqlanadi.

$$V_A - q_2 l + V_c = 0$$

$$\text{bundan } V_A = q_2 l - V_c = 1,5 \cdot 6 - 8,5 = 0,5 \text{ t.}$$

Barcha reaksiyalarning musbat ishorada chiqqanligi ularning yoʻnalishi toʻgʻri tanlanganligini anglatadi. Tayanch reaksiyalari toʻgʻri yoki notoʻgʻri topilganini tekshirish uchun S nuqtasiga nisbatan momentlar yigʻindisini tuzamiz:

$$\sum M_c = V_A l + H_A h - q_1 h \frac{h}{2} - q_2 l \frac{l}{2} = V_A l + H_A h - \frac{q_1 h^2}{2} - \frac{q_2 l^2}{2} =$$

$$0,5 \cdot 6 + 5 \cdot 8 - \frac{0,5 \cdot 8^2}{2} - \frac{1,5 \cdot 6^2}{2} = 3 + 40 - 16 - 27 = 0$$

Tenglamani nolga teng chiqqanligi tayanch reaksiyalarini toʻgʻri topilganini bildiradi.

Eguvchi momentlar epyurasini qurish.

Ustunning istalgan kesimidagi eguvchi moment

$$M_x = H_A x - q_1 x \frac{x}{2} = H_A x - \frac{q_1 x^2}{2} = 5x - \frac{0,5x^2}{2} = 5x - 0,25x^2$$

$$0 \leq x \leq 8m$$

x ga qiymatlar beramiz:

$$x = 0 \quad M_A = 0;$$

$$x = 2m \quad M_x = 5 \cdot 2 - 0,25 \cdot 2^2 = 9 \text{ tm};$$

$$x = 4m \quad M_x = 5 \cdot 4 - 0,25 \cdot 4^2 = 16 \text{ tm};$$

$$x = 6m \quad M_x = 5 \cdot 6 - 0,25 \cdot 6^2 = 21 \text{ tm};$$

$$x = 8m \quad M_B = 5 \cdot 8 - 0,25 \cdot 8^2 = 24 \text{ tm}.$$

Rigelning istalgan kesimidagi eguvchi moment.

$$M_{x_1} = V_c x_1 - q_2 x_1 \frac{x_1}{2} = V_c x_1 - \frac{q_2 x_1^2}{2} = 8,5x_1 - \frac{1,5x_1^2}{2} = 8,5x_1 - 0,75x_1^2.$$

$$0 \leq x_1 \leq 6m$$

x₁ ga qiymatlar beramiz:

$$x_1 = 0 \quad M_c = 0;$$

$$x_1 = 3m \quad M_{x_1} = 8,5 \cdot 3 - 0,75 \cdot 3^2 = 18,75 \text{ tm};$$

$$x_1 = 6m \quad M_B = 8,5 \cdot 6 - 0,75 \cdot 6^2 = 24 \text{ tm}$$

Maʼlumki, koʻndalang kuch nol boʻlgan kesimda eguvchi moment maksimal qiymatga ega boʻladi. Agar biz M_{MAX} ni topmoqchi boʻlsak, Q nol boʻladigan abissa X₀ ni topishimiz lozim. Shuni topamiz:

$$Qx_0 = -V_c + q_2 x_0 = 0$$

Bundan

$$x_0 = \frac{V_c}{q_2} = \frac{8,5}{1,5} = 5,67 \text{ m}$$

Buni yuqorida berilgan M_{x_1} tenglamasiga qo'ysak, $M_{\max}$ kelib chiqadi:

$$M_{\max} = 8,5 \cdot 5,67 - 0,75 \cdot 5,67^2 = 24,1 \text{ mM}$$

Eguvchi momentlarning topilgan qiymatlarini rama sterjenlarining tolalari cho'zilgan tomoniga masshtab bilan o'lchab qo'yib, uchlarini tutushtirsak, M epyurasi kelib chiqadi (6,3 b -rasm).

Q epyurasini qurish

Ramaning xarakterli kesimlaridagi ko'ndalang kuchlarni aniqlaymiz.

Ko'ndalang kuch ustun kesimlari bo'ylab to'g'ri chiziq qonuni bo'yicha o'zgaradi. Shu boisdan Q ning chekka kesimlardagi qiymatlarini aniqlasak kifoya:

$$Q_A = N_A = 5 \text{ t}.$$

$$Q_B = Q_A - q_1 h = 5 - 0,5 \cdot 8 = 1 \text{ t}.$$

Rigelda ham ko'ndalang kuchning chekka kesimlardagi qiymatlarini aniqlaymiz:

$$Q_B = V_A = 0,5 \text{ t};$$

$$Q_s = Q_B - q_2 l = 0,5 - 1,5 \cdot 6 = -8,5 \text{ t}.$$

Ustun ordinatalari musbat bo'lgani uchun o'qdan chapga, rigelning manfiy ordinatalari esa o'qdan pastga masshtab bo'yicha o'lchab qo'yiladi (6.3 b -rasm).

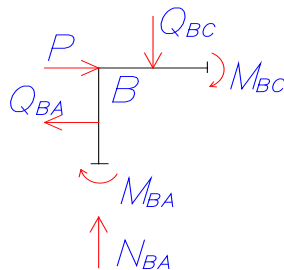
N epyurasini qurish

Rama elementlari kesimlarida hosil bo'ladigan bo'ylama kuchlarni aniqlaymiz. Ustunning barcha kesimlaridagi bo'ylama kuch o'zgarmas qiymatga ega. Chunki ustunning xohlagan kesimi uchun tenglama tuzsak, unga faqat birgina kuch- V_A tayanch reaksiyasi proeksiya beradi. Ushbu reaksiya kuchi ustunni siqadi, shuning uchun $N_{AB} = -V = -0,5 \text{ t}$ bo'ladi.

Rigelni x_1 masofada kesib, o'ng tomonini tekshirsak, yoyiq kuch ham, V_c reaksiyasi ham rigel o'qiga tik bo'lib, unda bo'ylama kuch uyg'otmaydi. Rigelning barcha kesimlari ana shu sharoitga ega. Shuning uchun rigelda bo'ylama kuch mavjud emas, ya'ni $N_{BC} = 0$.

Shu mulohaza asosida qurilgan N epyurasi 6.3 r-rasmda berilgan.

Tekshirish. V tugunini kesib olib, uning muvozanatini tekshiramiz.

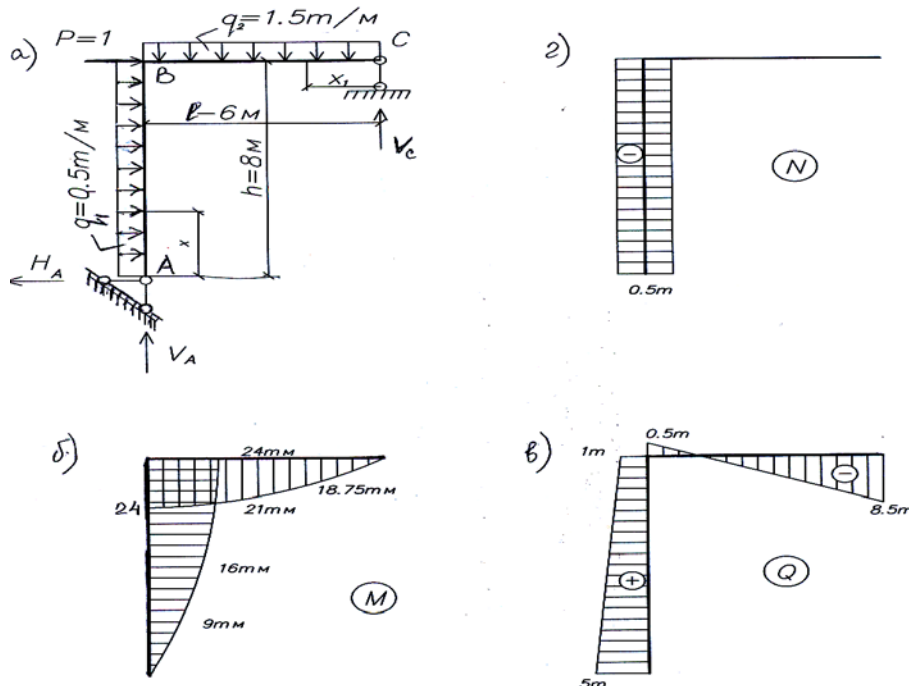


$$\Sigma X = -Q_{BA} + R = -1,0 + 1,0 = 0;$$

$$\Sigma U = N_{BA} - Q_{vs} = 0,5 - 0,5 = 0;$$

$$\Sigma M_V = M_{BA} - M_{vs} = 24 - 24 = 0.$$

Uchchala muvozanat sharti qanoatlantirildi. Demak, V tugunidagi ichki kuchlar M, Q va N to'g'ri aniqlangan.



6.3 – rasm.

6.4- misol. 6.4-rasmda tasvirlangan ramaning M, Q va N epyuralari qurilsin.

Yechish.

a) Tayanch reaksiyalarini aniqlash

$\sum M_A = 0$ tenglamasidan V_H reaksiyasini aniqlaymiz:

$$-V_H l + P_2(l-a) + q_2 l \frac{l}{2} + P_1 a + q_1 h \frac{h}{2} = 0$$

bundan:

$$V_H = \frac{P_2(l-a) + \frac{q_2 l^2}{2} + P_1 a + \frac{q_1 h^2}{2}}{l} = \frac{1,5(6-1) + \frac{2 \cdot 6^2}{2} + 1,5 \cdot 1,0 + \frac{0,5 \cdot 8^2}{2}}{6} = 10,17 \text{ m}$$

$\sum M_V = 0$ tenglamasidan V_A reaksiyasini aniqlaymiz:

$$-V_A l + q_1 h \frac{h}{2} - p_1(l-a) - q_2 l \frac{l}{2} - P_2 a = 0,$$

bundan:

$$V_A = \frac{-\frac{q_1 h^2}{2} + P_1(l-a) + \frac{q_2 l^2}{2} + P_2 a}{l} = \frac{\frac{0,5 \cdot 8^2}{2} + 1,5 \cdot 5 + \frac{2 \cdot 6^2}{2} + 1,5 \cdot 1,0}{6} = 4,83 \text{ m}.$$

Vertikal tayanch reaksiyalari V_A va V_H ni tekshirish uchun ramaga qo'yilgan barcha tashqi kuchlarni U o'qiga proeksiyalaymiz:

$$\sum U = V_A - P_1 - q_2 l - P_2 + V_H = 4,83 - 1,5 - 2 \cdot 6 - 1,5 + 10,17 = 0$$

Tenglamani nol chiqqani V_A va V_H reaksiyalarni to'g'ri topilganligini bildiradi.

Gorizontall reaksiya kuchi N_A $\sum X = 0$ tenglamasidan aniklanadi.

$$-H_A + q_1 h = 0.$$

Bundan

$$H_A = q_1 h = 0,5 \cdot 8 = 4 \text{ m}.$$

b) M epyurasini qurish:

AD ustuni

Bu ustun ikki AV va VD uchastkadan iborat. AV uchastkasi chegarasida A nuqtadan x masofada ramani kesamiz. Kesimning chap tomoni uchun momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$M_x = H_A x - \frac{q_1 x^2}{2} = 4x - 0,25x^2$$

Tenglamaga ko'ra M epyurasi kvadrat parabola shakliga ega. Parabolani chizish uchun x ga kamida uchta qiymat berish kerak.

$0 \leq x \leq 5 \text{ m}$ oralig'ida o'zgaradi. x ga qiymatlar beramiz.

$$x=0 \quad M_A=0$$

$$x=2,5\text{m} \quad M_X=4 \cdot 2,5-0,25 \cdot 2,5^2=8,44 \text{ tm};$$

$$x=5\text{m} \quad M_B^{\text{van}}=4 \cdot 5-0,25 \cdot 5^2=13,75 \text{ tm};$$

VD uchastkada eguvchi moment tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$M_X = H_A X - q_1 \frac{x^2}{2} + Pa = 4x - \frac{0,5x^2}{2} + 1,5 \cdot 1,0 = 4x - 0,25x^2 + 1,5.$$

Bu uchastkada x - 5 m dan 8 m gacha bo'lgan masofada o'zgaradi;

$$x=5\text{m} \quad M_V^{\text{o'ng}}=4 \cdot 5-0,25 \cdot 5^2+1,5=15,25 \text{ tm};$$

$$x=6,5\text{m} \quad M_X=4 \cdot 6,5-0,25 \cdot 6,5^2+1,5=16,94 \text{ tm};$$

$$x=8\text{m} \quad M_D=4 \cdot 8-0,25 \cdot 8^2+1,5=17,5 \text{ tm};$$

DE rigeli

E nuqtasidan x_1 masofada rigelni kesamiz va o'ng tomon uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\begin{aligned} M_{x_1} &= V_H x_1 - P_2(x_1 - 1) - q_2 \frac{x_1^2}{2} = 10,17x_1 - 1,5(x_1 - 1) - \frac{2x_1^2}{2} = \\ &= 10,17x_1 - 1,5(x_1 - 1) - x_1^2. \end{aligned}$$

Bu yerda $x_1 = 0 \div 6\text{m}$ oralig'ida o'zgaradi. Biroq x_1 ga qiymatlar berishdan oldin $Q=0$ bo'lgan kesim abissasi x_0 ni topib olamiz. Buning uchun ko'ndalang kuch tenglamasini nolga tenglaymiz va shu tenglamadan x_0 ni aniqlaymiz:

$$Q_{x_0} = -V_H + P_2 + q_2 x_0 = 0$$

буында

$$x_0 = \frac{V_H - P_2}{q_2} = \frac{10,17 - 1,5}{2} = 4,34\text{m}$$

Endi momentlar tenglamasidagi x_1 ga qiymatlar beramiz:

$$x_1 = 0 \quad M_E = 10,17 \cdot 0 - 1,5(0-1) - 0^2 = 1,5 \text{ tm};$$

$$x_1 = 2\text{m} \quad M_{x_1} = 10,17 \cdot 2 - 1,5(2-1) - 2^2 = 14,84 \text{ tm};$$

$$x_1 = x_0 = 4,34\text{m} \quad M_{\max} = 10,17 \cdot 4,34 - 1,5(4,34-1) - 4,34^2 = 20,29 \text{ tm};$$

$$x_1 = 6\text{m} \quad M_D = 10,17 \cdot 6 - 1,5(6-1) - 6^2 = 17,5 \text{ tm}$$

EN ustuni

FN uchastkada istalgan kesimdagi moment nolga teng, chunki bu uchastkaga ta'sir etuvchi yagona kuch V_H ning elkasi nol EF uchastkaga o'zgaras elka bilan R_2 kuchi ta'sir etadi.

Shuning uchun bu uchastkada eguvchi moment ham o'zgaras bo'ladi:

$$M_{EF} = P_2 a = 1,5 \cdot 1,0 = 1,5 \text{ m.M}$$

VS elementi

Konsol elementning V nuqtasidagi moment

$$M_B = -R_1 a = -1,5 \cdot 1,0 = -1,5 \text{ tm}; M_S = 0.$$

FG elementi

Bu elementning xarakterli kesimlaridagi eguvchi momentlar:

$$M_G = 0; M_F = -R_2 a = -1,5 \cdot 1,0 = -1,5 \text{ tm}.$$

Eguvchi momentlarning topilgan qiymatlari asosida M epyurasi quriladi. Bunda musbat ordinatalar rama elementining tolalari cho'zilgan tomonga qo'yiladi (6.4 6-rasm).

v) Q epyurasini qurish

Tashqi kuchlar ta'sirida rama elementlarida hosil bo'ladigan ko'ndalang kuchlarni aniqlaymiz.

A D ustuni

V nuqtasidan yuqoriroqda A tayanch sharniridan x masofada ramani kesamiz va kesimning chap qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$Q_K = H_A - q_1 x = 4 - 0,5x.$$

Tenglama tarkibiga R_1 kirmaydi, chunki u ustun uchun ko'ndalang emas, balki bo'ylama kuch sanaladi. Bu tenglamada $0 \leq x \leq 8 \text{ m}$ oralig'ida o'zgaradi:

$$x = 0 \quad Q_A = 4 - 0,5 \cdot 0 = 4 \text{ t};$$

$$x = 8 \text{ m} \quad Q_D = 4 - 0,5 \cdot 8 = 0.$$

Mazkur ustunda Q epyurasini qurish uchun Q_A va Q_D ni bilish kifoya qilar edi, chunki Q epyurasi bu uchastkada to'g'ri chiziqdan iborat. Biroq keyinchalik (V tugunini tekshirishda) V kesimidagi ko'ndalang kuchning qiymati kerak bo'ladi. SHu boisdan Q_x ning $x = 5 \text{ m}$ bo'lgandagi qiymatini topamiz:

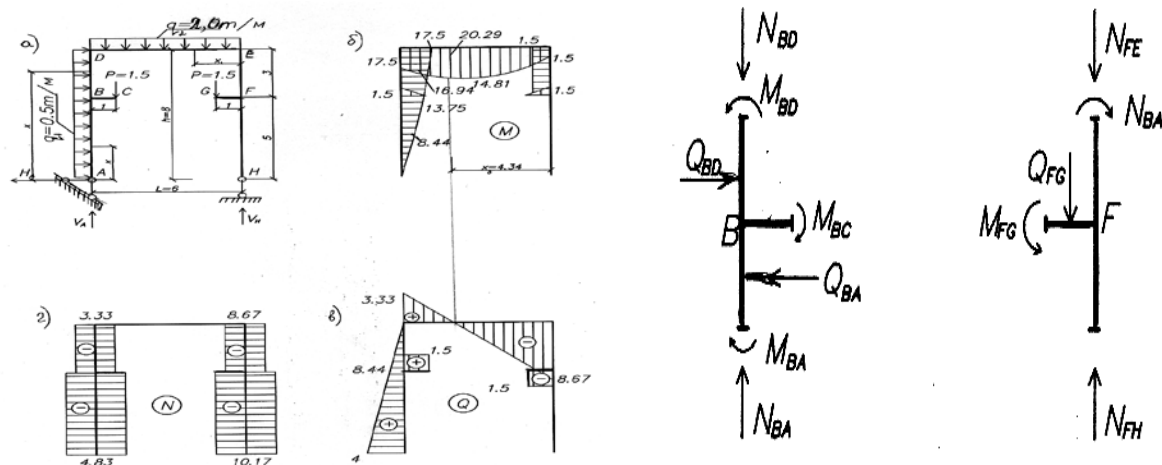
$$Q_V = -4 - 0,5 \cdot 5 = -1,5 \text{ t}.$$

D E rigeli

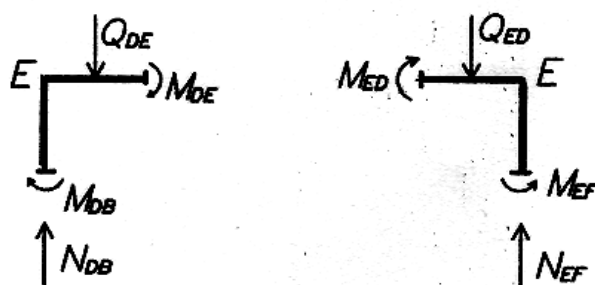
Kundalang kuchlar rigel kesimlarida to'g'ri chiziq qonuni bo'yicha o'zgargani sababli, ularni rigelning ikki uchidagi qiymatlarini aniqlaymiz.

$$Q_D = V_A - P_1 = 4,83 - 1,5 = 3,33 \text{ t}.$$

$$Q_E = V_H - P_2 = 10,17 - 1,5 = 8,67 \text{ t}.$$



6.4-rasm.



6.4-rasm (davomi).

EN ustuni

Bu ustunning istalgan kesimidagi ko'ndalang kuch nolga teng ($Q_{EH}=0$), chunki bu sterjenga ko'ndalang yo'nalishda ta'sir etuvchi kuchlar yo'q.

VS va FG elementlari

VS elementning barcha kesimlarida ko'ndalang kuchlar o'zgarmas qiymatga ega: $Q_{BC}=1,5t$.

Xuddi shuningdek, FG elementining barcha kesimlaridagi ko'ndalang kuchlar xam o'zgarmas qiymatga ega: $Q_{FG}=1,5t$.

Aniqlangan qiymatlar bo'yicha qurilgan Q epyurasi 6.4 b -rasmida tasvirlangan.

g) N epyurasini qurish:

Ramaning AD ustuni AV uchastkasiga faqat V_A reaksiya kuchi ta'sir etadi: $N_{AB} = -V_A = -4,83 t$. Ramaning VD uchastkasiga siquvchi V_A reaksiya kuchidan tashqari cho'zuvchi R_1 kuchi ham ta'sir etadi. Shunga ko'ra:

$$N_{BD} = -V_A + P_1 = -4,83 + 1,5 = -3,33 t.$$

Ramaning rigeliga ta'sir etuvchi bo'ylama kuch umuman yo'q. Shuning uchun $N_{DE}=0$.

Rama ustunining EG' uchastkasiga cho'zuvchi R_2 va siquvchi V_H kuchlari ta'sir etadi, ya'ni

$$N_{EF} = P_2 - V_H = 1,5 - 10,17 = -8,67 \text{ t.}$$

Ustunning FN uchastkasiga faqat V_H reaksiyasi ta'sir etadi. Shunga ko'ra

$$N_{FN} = -V_H = -10,17 \text{ t.}$$

VS va FG elementlariga qo'yilgan R_1 va R_2 kuchlar elementga nisbatan tik bo'lgani uchun har ikkala elementda bo'ylama kuch nol. Ramaning N epyurasi 6.4 r-rasmda tasvirlangan.

d) Epyuralarni tekshirish

M, Q va N epyuralarining to'g'ri qurilganiga ishonch hosil qilish uchun V, F, D, E tugunlarini kesib olamiz va ularning muvozanatini tekshiramiz. Ramaning tashlab yuborilgan qismini bu tugunlarga bo'lgan ta'sirini epyuralardan olingan eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar bilan almashtiramiz.

V tugunining muvozanatini tekshiramiz (6.4 d -rasm):

$$\sum X = Q_{BD} - Q_{BA} = 1,5 - 1,5 = 0;$$

$$\sum Y = N_{BA} - Q_{BD} - Q_{BC} = 4,83 - 3,33 - 1,5 = 0;$$

$$\sum M_B = M_{BA} - M_{BD} + M_{BC} = 13,75 - 15,25 + 1,5 = 0.$$

F tugunining muvozanatini tekshiramiz (6.4 e -rasm):

$$\sum X = 0 \text{ (barcha kuchlar x o'qiga tik);}$$

$$\sum Y = N_{FH} - Q_{FG} - N_{FE} = 10,17 - 1,5 - 8,67 = 0;$$

$$\sum M_F = M_{FE} - M_{FG} = 1,5 - 1,5 = 0.$$

Endi D tugunining muvozanatini tekshiramiz (6.4 ж-rasm):

(barcha kuchlar x o'qiga tik);

$$\sum X = 0.$$

$$\sum Y = N_{DB} - Q_{DE} = 3,33 - 3,3 = 0;$$

$$\sum M_D = M_{DB} - M_{DE} = 17,5 - 17,8 = 0.$$

Nixoyat, E tugunining muvozanati (6.4 3-rasm):

(barcha kuchlar x o'qiga tik);

$$\sum X = 0.$$

$$\sum Y = -Q_{DE} + N_{EF} = -8,67 + 8,67 = 0;$$

$$\sum M_E = M_{DE} - M_{EF} = 1,5 - 1,5 = 0.$$

Barcha tugunlarning muvozanat shartlari qoniqarli, demak, epyuralar to'g'ri qurilgan.

6.5-misol. 6.5-rasmda tasvirlangan ramaning M, Q va N epyuralari qurilsin.

Yechish.

a) Tayanch reaksiyalarini aniqlash.

Tayanch reaksiyalarining to'liq qiymatini ularning tashkil etuvchilari orqali aniqlaymiz. Shunday qilsak, ikkki noma'lumli tenglamalar sistemasini birgalikda yechish amalidan xolos bo'lamiz. Vertikal tashkil etuvchilarni V_A va V_E deb, tayanch sharnirlarini tutashtiruvchi chiziq bo'yicha yo'nalgan tashkil etuvchilarni H_A va H_E deb belgilaymiz (bular shaklda shtrix chiziqlar orqali tasvirlangan).

V_A reaksiyasi $\sum M_E = 0$ tenglamasidan topiladi:

$$V_A^1 l - q_1 l \frac{l}{2} - P \frac{l}{2} - q_2 h \frac{h}{2} = 0;$$

$$\text{Bundan } V_A^1 = \frac{\frac{q_1 l^2}{2} + \frac{Pl}{2} + \frac{q_2 h^2}{2}}{l} = \frac{\frac{1 \cdot 6^2}{2} + \frac{2 \cdot 6}{2} + \frac{0,5 \cdot 8^2}{2}}{6} = 6,67 m.$$

$\sum M_A = 0$ tenglamasidan V_E^1 reaksiyasini topamiz:

$$-V_E^1 l + \frac{q_1 l^2}{2} + P \frac{l}{2} = 0.$$

$$\text{Bundan } V_E^1 = \frac{q_1 l}{2} + \frac{P}{2} = \frac{1 \cdot 6}{2} + \frac{2}{2} = 4 m$$

H_A va H_E ni topish uchun α burchagi va elka ch ni aniqlash talab etiladi. Shularni topamiz.

G'AE to'g'ri burchakli uchburchagidan

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AF}{FE} = \frac{4}{6} = 0,667.$$

$\operatorname{tg} \alpha$ ning bu qiymatiga mos burchak $\alpha = 33^\circ 42'$.

$$\text{Elka } r = f \cos \alpha = 6 \cdot 0,832 = 4,99 m$$

$\sum M_C^{\text{chap}} = 0$ tenglamsidan N_A^1 ni topamiz:

$$-H_A^1 r + V_A^1 \frac{l}{2} - q_1 \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4} = 0,$$

$$\text{Bundan } H_A^1 = \frac{V_A^1 \frac{l}{2} - q_1 \frac{l^2}{8}}{r} = \frac{6,67 \cdot \frac{6}{2} - 1 \cdot \frac{6^2}{8}}{4,99} = 3,11 m.$$

$\Sigma M_C^{\text{yuz}} = 0$ tenglamasidan N_E^1 topiladi:

$$-H_E^1 r - V_E^1 \ell + q_2 h \frac{h}{2} + q_1 \frac{\ell}{2} \cdot \frac{\ell}{4} = 0;$$

$$\text{бухгалдан } H_E^1 = \frac{-V_E^1 \frac{\ell}{2} + q_2 \frac{h^2}{2} + q_1 \frac{\ell^2}{8}}{r} = \frac{-4 \cdot 3 + 0,5 \cdot \frac{8^2}{2} + 1 \cdot \frac{6^2}{8}}{4,99} = 1,703 m.$$

Muvozanat shartlarini tekshiramaz: $\sum X = 0$

$$H_A^1 \cos \alpha - q_2 h + H_E^1 \cos \alpha = (H_A^1 + H_E^1) \cos \alpha - q_2 h = (3,11 + 1,703) \cdot 0,832 - 0,5 \cdot 8 = 0$$

$$\sum Y = 0$$

$$V_A^1 - H_A^1 \sin \alpha - q_1 l - P + V_E^1 - H_E^1 \sin \alpha = V_A^1 - (H_A^1 + H_E^1) \sin \alpha - q_1 l - P + P V_E^1 =$$

$$6,67 - (3,11 + 1,703) \cdot 0,555 - 1 \cdot 6 - 2 + 4 = 0.$$

Demak, H_A , H_B , V_A va V_E reaksiyalari to'g'ri topilgan.

Hisob ishlarini soddalashtirish maqsadida to'liq tayanch reaksiyalari A va E ni ularning vertikal (V_A va V_E) hamda gorizontal (H_A va H_E) tashkil etuvchilari bilan almashtiramiz. Ularning qiymatlari:

$$V_A = V_A^1 - N_A^1 \sin \alpha = 6,67 - 3,11 \cdot 0,555 = 4,94 \text{ t};$$

$$V_E = V_E^1 - N_E^1 \sin \alpha = 4 - 1,703 \cdot 0,555 = 3,06 \text{ t};$$

$$H_A = H_A^1 \cos \alpha = 3,11 \cdot 0,832 = 2,58 \text{ t};$$

$$H_E = H_E^1 \cos \alpha = 1,703 \cdot 0,832 = 1,42 \text{ t}.$$

Rasmda ushbu tashkil etuvchilar yo'g'on chiziqlarda tasvirlangan.

b) Eguvchi momentlar epyurasini qurish

AV ustuni

$$M_A = 0; M_B = H_A \frac{h}{2} = -2,58 \cdot 4 = -10,32 m.$$

VD rigeli

Rigelning VS uchastkasida V nuqtadan X masofada ixtiyoriy kesim olamiz va chap tomon uchun eguvchi momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$M_x = V_A x - H_A \frac{h}{2} - \frac{q_1 x^2}{2} = 4,94x - 2,58 \cdot 4 - \frac{1 \cdot x^2}{2} = 4,94x - 10,32 - 0,5x^2$$

Bu yerda $x = 0 \div 3m$ x ga qiymatlar beramiz:

$$X = 0$$

$$M_v = -10,32 m;$$

$$X = 1,5m$$

$$M_x = 4,94 \cdot 1,5 - 10,32 - 0,5 \cdot 1,5^2 = -4,04 m;$$

$$X = 3m$$

$$M_s = 4,94 \cdot 3 - 10,32 - 0,5 \cdot 3^2 = 0.$$

SD uchastkasida D nuqtasidan x masofada ixtiyoriy kesim olamiz va kesimning o'ng tomoni uchun eguvchi momentlar tenglamasini yozamiz:

$$M_{x_1} = V_E x_1 + H_A h - \frac{q_2 h^2}{2} - \frac{q_1 x_1^2}{2} = 3,06x_1 + 1,42 \cdot 8 - \frac{0,5 \cdot 8^2}{2} - \frac{1 \cdot x_1^2}{2} =$$

$$= 3,06x_1 - 4,64 - 0,5x_1^2$$

Bu yerda x_1 0 dan 3m gacha o'zgaradi:

$$\begin{aligned} X_1 = 0 & \quad M_D = -4,64 \text{tm}; \\ X_1 = 1,5 \text{m} & \quad M_{x_1} = 3,06 \cdot 1,5 - 4,64 - 0,5 \cdot 1,5^2 = -1,18 \text{tm}; \\ X_1 = 3 \text{m} & \quad M_S = 3,06 \cdot 3 - 4,64 - 0,5 \cdot 3^2 = 0. \end{aligned}$$

DE ustuni

E nuqtasidan X masofada kesim o'tkazamiz va kesimning o'ng tomoni uchun eguvchi moment tenglamasini tuzamiz:

$$M_{x_2} = H_E x_2 - \frac{q_2 x_2^2}{2} = 1,42x_2 - \frac{0,5 \cdot x_2^2}{2} = 1,42x_2 - 0,25x_2^2$$

Bu yerda $x_2 = 0 \div 8 \text{ m}$. X_2 ga qiymatlar beramiz:

$$\begin{aligned} X_2 = 0 & \quad M_E = 0; \\ X_2 = 5 \text{m} & \quad M_{x_2} = 1,42 \cdot 5 - 0,25 \cdot 5^2 = 0,85 \text{tm}; \\ X_2 = 8 \text{m} & \quad M_D = 1,42 \cdot 8 - 0,25 \cdot 8^2 = -4,64 \text{tm}. \end{aligned}$$

Shu uchastkada $M_{\max}$ bo'lgan masofani aniqlaymiz. Ma'lumki, $Q=0$ bo'lganda eguvchi moment maksimal qiymatga ega bo'ladi. Shundan kelib chiqib, $Q=0$ bo'lgan absissa X_0 ni izlaymiz:

$$Q_{X_0} - H_E + q_2 x_0 = 0 \quad \text{bundan}$$

$$x_0 = \frac{H_E}{q_2} = \frac{1,42}{0,5} = 2,84 \text{ m}$$

Bu qiymatni yuqoridagi tenglamaga qo'yamiz:

$$X_2 = X_0 = 2,84 \text{m} \quad M_{\max} = 1,42 \cdot 2,84 - 0,25 \cdot 2,84^2 = 2,01 \text{tm}.$$

Eguvchi moment X_2 ning quyidagi qiymatida nolga teng bo'ladi:

$$M_{x_2} = 1,42x_2 - 0,25x_2^2 = 0.$$

$$\text{yoki} \quad 0,25x_2^2 - 1,42x_2 = 0.$$

X_2 ni qavsdan tashqariga chiqaramiz:

$$X_2 (0,25x_2 - 1,42) = 0.$$

Qavsni nolga tenglab, undan X_2 ni topamiz:

$$x_2 = \frac{1,42}{0,25} = 5,68 \text{m}$$

M epyurasi 6.5 6-rasmda berilgan.

b) Ko'ndalang kuchlar epyurasini qurish.

Ramaning xarakterli kesimlaridagi ko'ndalang kuchlarni aniqlaymiz.

AV ustuni

$$Q_A = -N_A = -2,58t;$$

$$Q_V = V_A = -2,58t;$$

VD rigeli

$$Q_V = V_A = 4,94t;$$

$$Q_C^{yan} = Q_B - q_1 \frac{l}{2} = 4,94 - 1 \cdot 3 = 1,94 \text{ m}$$

$$Q_S^{o'ng} = Q_S^{chap} - R = 1,94 - 2 = -0,06 \text{ m};$$

$$Q_D = Q_c^{yuz} - q_1 \frac{l}{2} = 0,06 - 1 \cdot 3 = -3,06 \text{ m}$$

DE ustuni

$$Q_D = q_2 h - N_E = 0,5 \cdot 8 - 1,42 = 2,58t;$$

$$Q_E = -N_E = -1,42t.$$

Bu qiymatlar asosida qurilgan Q epyurasi 6,5 b -rasmida ko'rsatilgan.

g) Bo'ylama kuchlar epyurasini qurish

AV ustuni

AV ustunining barcha kesmlarida bo'ylama kuch o'zgarmas qiymatga ega:

$$N_{AB} = -V_A = -4,94t.$$

VD rigeli

Rigel kesimlarida ham bo'ylama kuch o'zgarmas

$$N_{vd} = -N_A = -2,58t.$$

DE ustuni

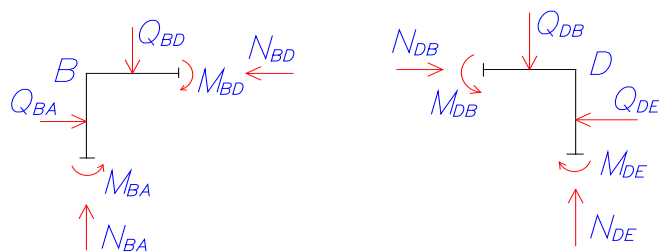
DE ustunidagi ko'ndalang kuchning qiymati

$$N_{dE} = -V_E = -3,06t.$$

N epyurasi 6.5 r -rasmida tasvirlangan.

Tekshirish.

Tekshirish uchun ramadan V va D tugunlarini kesib olamiz, olib tashlangan qismning tugunlarga bo'lgan ta'sirini ichki kuchlar bilan almashtiramiz va har bir tugunning muvozanatini tekshiramiz. Tekshirish chog'ida statikaning muvozanat tenglamalari $\sum X=0$, $\sum U=0$ va $\sum M=0$ dan foydalanamiz.



V tugunining muvozanat shartlari:

$$\Sigma X = Q_{VA} - N_{vd} = 2,58 - 2,58 = 0;$$

$$\Sigma U = N_{VA} - Q_{vd} = 4,94 - 4,94 = 0;$$

$$\Sigma M_v = M_{vd} - M_{VA} = 10,32 - 10,32 = 0$$

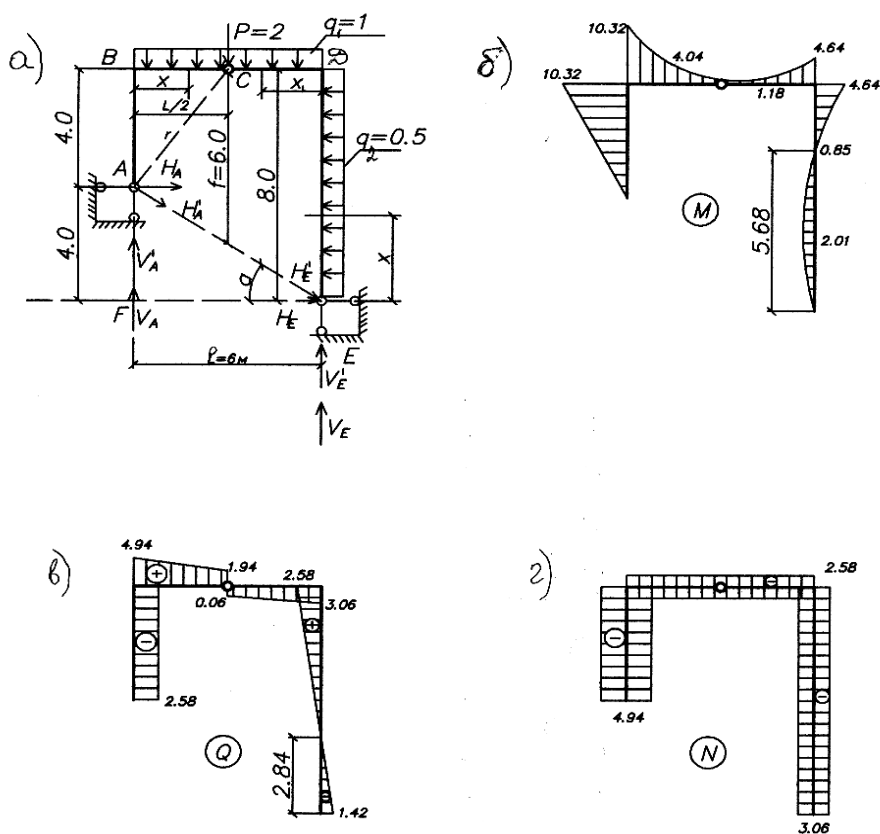
D tugunining muvozanat shartlari:

$$\Sigma X = N_{dv} - Q_{DE} = 2,58 - 2,58 = 0;$$

$$\Sigma U = -Q_{dv} + N_{DE} = -3,06 + 3,06 = 0;$$

$$\Sigma M_d = M_{DE} - M_{dv} = 4,64 - 4,64 = 0.$$

Har ikkala tugunning muvozanat shartlari qoniqarli. Demak M, Q va N epyuralari to'g'ri qurilgan.



6.5-rasm.

VII BOB. STATIK ANIQ SISTEMALARDA KO'CHISHLARNI ANIQLASH

7.1. Umumiy ma'lumotlar

Inshootlarni bikiirlikka (jyostkost) hisoblashda, shuningdek, statik noaniq sistemalarni hisoblashda ko'chishlarni aniqlash talab etiladi. Ko'chishlar quyidagi uch xil ta'sir natijasida vujudga kelishi mumkin:

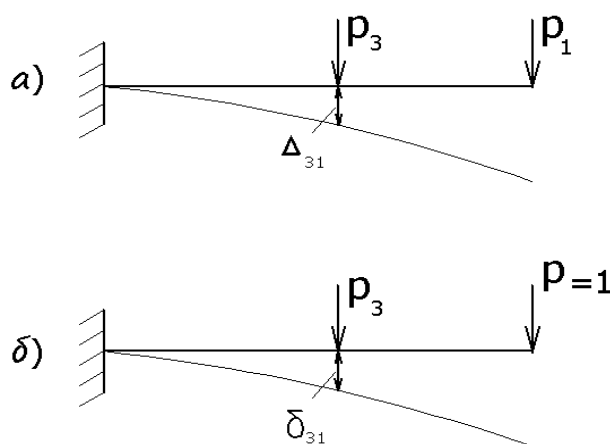
1) kuch ta'siri; 2) tayanchlarning qo'zg'alishi va 3) harorat ta'siri. Mazkur bobda kuch ta'sirida balka va ramalarda hosil bo'ladigan ko'chishlarni aniqlashni o'rganamiz.

Ko'chishlarni umumiyat qabul qilgan belgilanishi quyidagicha:

Δ - berilgan kuchdan ho'sil bo'lgan ko'chishlar,

δ - birlik kuchdan hosil bo'lgan ko'chishlar.

Bu harflarning har biriga ikkitadan indeks (raqam yoki harfiy belgi) qo'yiladi. Birinchi indeks ko'chish nuqtasi va yo'nalishini, ikkinchisi esa shu ko'chishni vujudga keltirgan sababni bildiradi. Masalan, Δ_{31} - ushbu ko'chish P_3 kuchi qo'yilgan nuqtaning shu kuch yo'nalishida R_1 kuchidan hosil bo'lgan ko'chishdir. Indekslar o'ttiz bir emas, uchu bir deb o'qiladi (7.1 –rasm)



7.1 - rasm.

7.2. Ko'chishlarni Mor formulasi yordamida aniqlash

Ko'chishlarni aniqlashda berilgan sistemaning ikki holati ko'rib o'tiladi.

1 – holat – *haqiqiy holat bo'lib, bu holatda sistemaga istalgancha kuchlar qo'yilgan bo'ladi.*

2- holat – *soxta (fiktiv) holat bo'lib, bunda sistemaga faqat birlik "kuch" qo'yiladi, tashqi kuchlar yo'q deb faraz etiladi. Birlik "kuch" sifatida*

masalaning shartiga qarab yig'iq kuch ($R = 1$) yoki yig'iq moment ($M = 1$) qabul qilinadi. Barcha birlik kuchlar o'lchamsiz miqdor sanaladi.

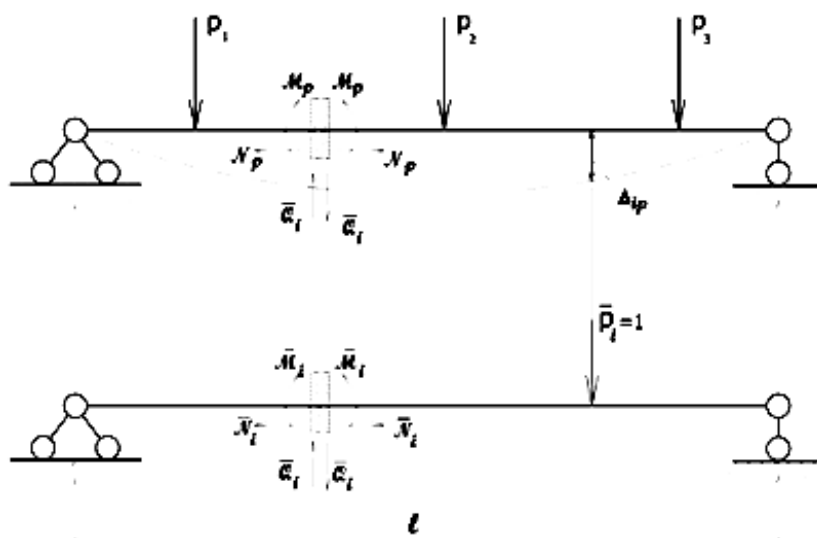
Shuni ham ta'kidlab o'tish joizki, ko'chish bilan deformatsiyaning farqi bor: nuqta ko'chadi, ya'ni bir o'rindan ikkinchi o'ringa ko'chib o'tadi, sistema esa (balka, rama va boshqalar) deformatsiyalanadi, ya'ni egiladi, solqilanadi. Ko'chishlarni aniqlash usullari juda ko'p. Ammo bular orasida Mor formulasi eng keng tarqalgan mukammal usullardan hisoblanadi.

Ko'chishlarni aniqlashning umumiy formulasi (Mor formulasi) quyidagi ko'rinishga ega:

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^l \frac{M_p \cdot \bar{M}_i}{EI} dx + \sum \int_0^l \frac{N_p \cdot \bar{N}_i}{EF} dx + \sum \int_0^l \eta \frac{Q_p \cdot \bar{Q}_i}{GF} dx \quad (7.1)$$

Bu yerda Δ_{ip} - ikkinchi holatda birlik kuch ($\bar{P}_i = 1$) qo'yilgan nuqtaning, shu kuch yo'nalishida, birinchi holatdagi tashqi kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishi (7.2 - rasm);

1-holat



2-holat

7.2 – rasm.

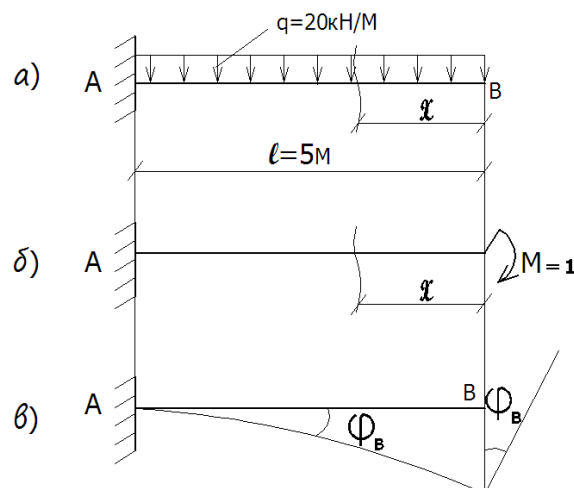
M_R , N_R , Q_R - berilgan kuchlardan (1 - holat) hosil bo'lgan eguvchi moment, bo'ylama va ko'ndalang kuchlar;

$\bar{M}_i$, $\bar{N}_i$, $\bar{Q}_i$ - birlik kuchdan (2 - holat) hosil bo'lgan eguvchi moment, bo'ylama va ko'ndalang kuchlar;

η – ko'ndalang kesim shakliga bog'liq bo'lgan koeffitsient.

Balka va ramalarda formulaning birinchi xadidan, arkalarda birinchi va ikkinchi xadidan, fermalarda esa faqat ikkinchi xadidan foydalaniladi.

7.1 – misol. 7.3 a- rasmda berilgan balkaning V kesimi uchun burilish burchagi (ugol povorota) φ_V aniqlansin. Balkaning bikirligi EI o'zgarmas.



7.3 –rasm.

Yechish.

Balkaning 1-holati (haqiqiy holat) 7.3 a– rasmda tasvirlangan. Ikkinchi holatda balkani berilgan kuchlarsiz tasvirlaymiz 7.3 b -rasm va burilish burchagini aniqlash talab etilgan kesimga $M = 1$ momentini qo'yamiz (agar ko'chishni aniqlash talab etilganida shu nuqtaga birlik kuch qo'ygan bo'lar edik). 7.3 b -rasmda burilish burchagi φ_V ko'rsatilgan. Ma'lumki, egilgan o'qqa o'tkazilgan urinma bilan balkaning gorizontaal o'qi orasidagi burchak burilish burchagi, deb ataladi. Shu urinmaga tik bo'lgan chiziq bilan vertikal o'q orasidagi burchak ham burilish burchagi bo'ladi.

Balkaning 1 – holatidagi ixtiyoriy kesimda hosil bo'lgan eguvchi moment

$$M_1 = -qx \cdot \frac{x}{2} = -\frac{qx^2}{2}.$$

Ikkinchi holatda

$$\bar{M}_2 = -M = -1.$$

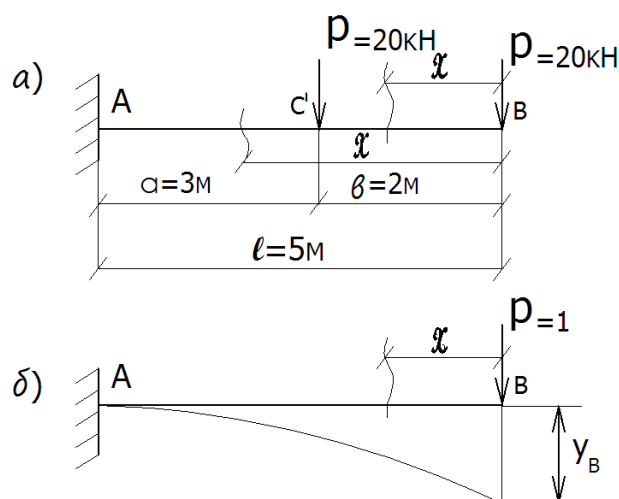
Bularni Mor formulasining birinchi hadiga qo'yib, burilish burchagini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \Delta_{21} = \varphi_B &= \frac{1}{EI} \int_0^l M_1 \bar{M}_2 dx = \frac{1}{EI} \int_0^l (-1) \left(-\frac{qx^2}{2}\right) dx = \frac{q}{2EI} \int_0^l x^2 dx = \\ &= \frac{q}{2EI} \left| \frac{x^3}{3} \right|_0^l = \frac{ql^3}{6EI} = \frac{20 \cdot 5^3}{6EI} = \frac{417}{EI}. \end{aligned}$$

7.2 – misol. 7.4a – rasmda berilgan balkaning V uchi solqiligi aniqlansin.

Yechish.

Balkaning 1 – holatida tashqi kuchlar, 2 – holatida esa solqiligi (progib) aniqlanayotgan nuqtaga birlik kuch ($R = 1$) qo'yilgan.



7.4 – rasm.

Haqiqiy holatda balka ikkita uchastkaga ega. SV uchastkasi uchun

$M_1 = -Px$, AS uchastkasi uchun $M_1 = -Px - P(x - b) = -2Px + Pb$.

Ikkinchi holatda har ikkala uchastka uchun $\bar{M}_2 = -1 \cdot x = -x$.

Izlanayotgan ko‘chish (solqilik)

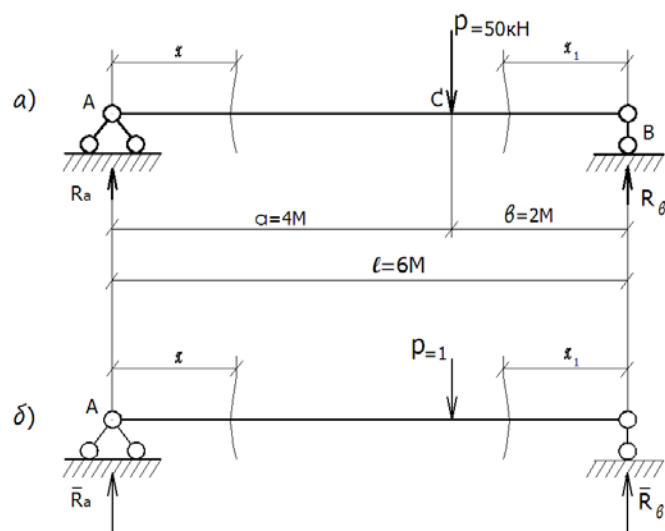
$$\begin{aligned} \Delta_{21} &= y_B = f \\ &= \frac{1}{EI} \left[b \int_0^\ell (-x)(-Px) dx + \int_0^\ell (-x)(-2Px + Pb) dx \right] = \frac{1}{EI} \left(P \int_0^b x^2 \cdot dx + 2P \int_0^\ell x^2 dx - Pb \int_0^b x dx \right) = \frac{1}{EI} \\ &\quad \left(P \left| \frac{x^3}{3} \right|_0^b + 2P \left| \frac{x^3}{3} \right|_0^\ell - Pb \left| \frac{x^2}{2} \right|_0^b \right) = \frac{P}{6EI} \\ (2b^3 + 4\ell^3 - 4b^3 - 3b\ell^2 + 3b^3) &= \frac{P}{6EI} (b^3 + 4\ell^3 - 3b\ell^2) = \frac{20}{6EI} \\ (2^3 + 4 \cdot 5^3 - 3 \cdot 2 \cdot 5^2) &= \frac{1193,3}{EI}. \end{aligned}$$

7.3 - misol. 7.5 a – rasmda berilgan balkada R kuchi qo‘yilgan nuqtaning solqiligi (S nuqtasining vertikal ko‘chishi) aniqlansin. Balkaning bikirligi o‘zgarmas.

Yechish.

Balkaning ikkinchi holatida S nuqtasiga vertikal birlik kuch qo‘yamiz (7.5 b – rasm).

Balkaning 1 – holati uchun tayanch reaksiyalari va eguvchi momentlarni aniqlaymiz (7.5 a – rasm).



7.5 – rasm.

Balkaning tayanch reaksiyalari:

$$R_a = \frac{Pb}{\ell}, \quad R_b = \frac{Pa}{\ell}.$$

AS uchastkasining ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment

$$M_1 = R_a x = \frac{Pb}{\ell} x,$$

SV uchastkasining ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment

$$M_1 = R_b x_1 = \frac{Pa}{\ell} x_1,$$

Balkaning 2 – holatidagi reaksiyalar:

$$\bar{R}_a = \frac{1 \cdot b}{\ell} = \frac{b}{\ell}, \quad \bar{R}_b = \frac{1 \cdot a}{\ell} = \frac{a}{\ell}.$$

AS uchastkasining ixtiyoriy kesimida $\bar{M}_2 = \bar{R}_a \cdot x = \frac{b}{\ell} x$,

CB uchastkasining ixtiyoriy kesimida $\bar{M}_2 = \bar{R}_b \cdot x_1 = \frac{a}{\ell} x_1$.

Mor formulasidan foydalanib izlanayotgan solqilikni aniqlaymiz:

$$\Delta_{21} = y_c = \frac{1}{EI} \int_0^a \frac{b}{\ell} x \cdot \frac{Pb}{\ell} x dx + \frac{1}{EI} \int_0^b \frac{a}{\ell} x_1 dx_1 = \frac{Pb^2}{\ell^2 EI} \int_0^a x^2 dx + \frac{Pa^2}{\ell^2 EI} \int_0^b x_1^2 dx_1 = \frac{Pb^2}{\ell^2 EI} \left| \frac{x^3}{3} \right|_0^a + \frac{Pa^2}{\ell^2 EI} \left| \frac{x_1^3}{3} \right|_0^b = \frac{Pb^2 a^3}{\ell^2 EI \cdot 3} + \frac{Pa^2 b^3}{\ell^2 EI \cdot 3} = \frac{Pa^2 b^2}{3 EI \ell^2} (a + b) = \frac{Pa^2 b^2}{3 EI \ell} = \frac{50 \cdot 4^2 \cdot 2^2}{3 \cdot 6 \cdot EI} = \frac{178}{EI}.$$

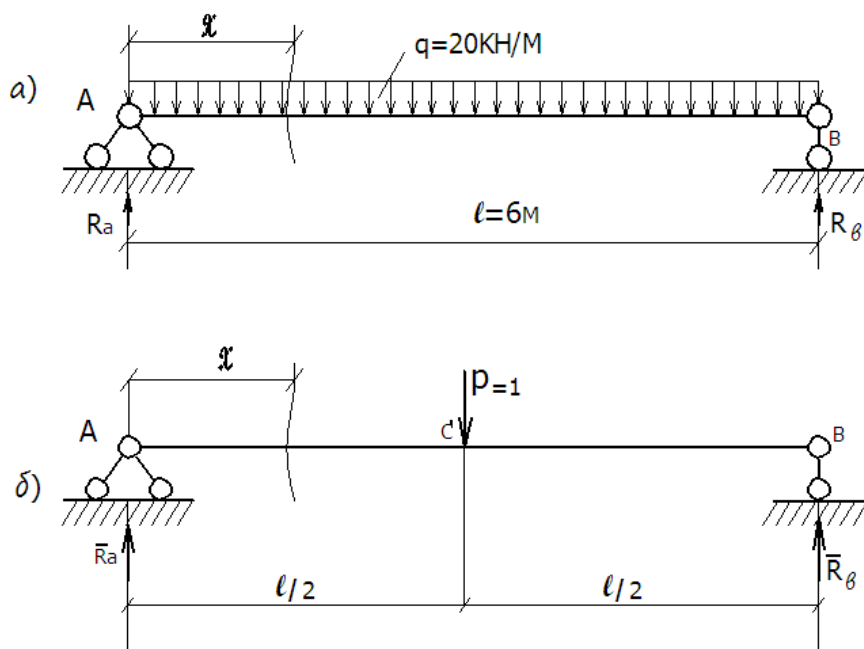
7.4 – misol. 7.6 a– rasmda berilgan balkaning oʻrtasidagi solqilik aniqlansin. Balkaning bikirligi oʻzgarmas.

Yechish.

Balkaning tayanch reaksiyalarini 1 – holatdan aniqlaymiz.

$R_a = R_b = \frac{q\ell}{2}$, birlik kuchdan hosil bo'lgan reaksiyalar 2 – holatdan aniqlanadi: $\bar{R}_a = \bar{R}_b = \frac{1}{2}$

Balkaning o'rtasidagi solqilikni aniqlash uchun 2 – holatda o'rtaga vertikal yo'nalishda birlik kuch qo'yamiz. (7.6 a, b – rasm).



7.6 – rasm.

Balkaning haqiqiy holatidagi ixtiyoriy kesim uchun eguvchi moment tenglamasi

$$M_1 = R_a x - \frac{qx^2}{2} = \frac{q\ell}{2} x - \frac{qx^2}{2} \quad \text{bo'ladi.}$$

2 – holatda balka ikkita teng uchastkaga ega. Chap uchastka uchun

$$\bar{M}_2 = \bar{R}_a x = \frac{1}{2} x.$$

Balka simmetrik bo'lganligi tufayli, balkaning o'ng tomoni integralining qiymati chap uchastkaniki bilan bir xil bo'ladi. Shu boisdan integrallashni chap uchastka uchun amalga oshirib, uni 2 ga ko'paytirsak, hisob ancha soddalashadi.

Shunday qilib, izlanayotgan ko'chishni aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \Delta_{21} = y_c = f &= 2 \frac{1}{EI} \int_0^{\frac{\ell}{2}} \frac{x}{2} \left(\frac{q\ell}{2} x - \frac{qx^2}{2} \right) dx = \frac{2q\ell}{4EI} \int_0^{\frac{\ell}{2}} x^2 dx - \frac{2q}{4EI} \\ &\int_0^{\frac{\ell}{2}} x^3 dx = \frac{q\ell}{2EI} \left| \frac{x^3}{3} \right|_0^{\frac{\ell}{2}} - \frac{q}{2EI} \left| \frac{x^4}{4} \right|_0^{\frac{\ell}{2}} = \frac{q\ell}{2EI} \cdot \frac{\ell^3}{8 \cdot 3} - \frac{q}{2EI} \cdot \frac{\ell^4}{16 \cdot 4} = \frac{q\ell^4}{48EI} \\ &- \frac{q\ell^4}{128EI} = \frac{5q\ell^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 20 \cdot 6^4}{384EI} = \frac{338}{EI}. \end{aligned}$$

7.5 – misol. 7.7a- rasmda berilgan ramaning V nuqtasi vertikal ko‘chishi aniqlansin. AS ustun va VS rigel bikirliklari mos ravishda $2EI$ va EI .

Yechish.

Ramaning V nuqtasiga 2- holatda vertikal yo‘nalishda birlik kuch qo‘yamiz (7.7 b- rasm).

Eguvchi moment tenglamalarini tuzamiz.

Rigel uchun:

a) berilgan kuchdan

$$M_1 = -\frac{qx^2}{2},$$

b) birlik kuchdan

$$\bar{M}_2 = -1 \cdot x = -x.$$

Ustun uchun:

a) berilgan kuchdan

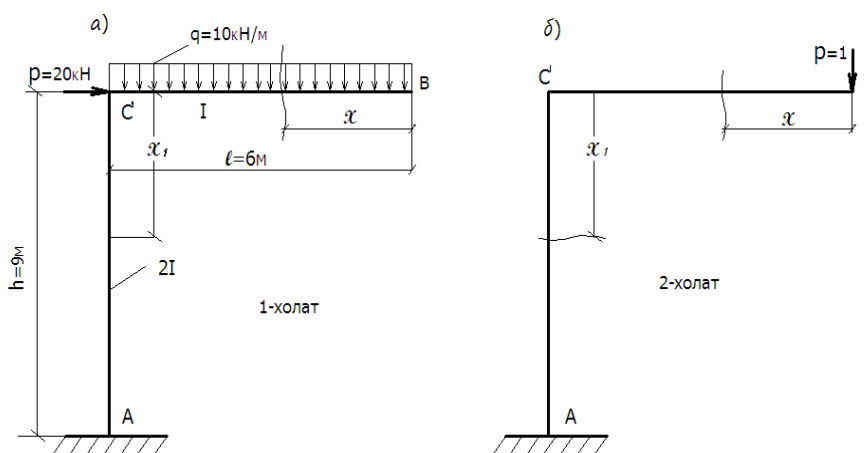
$$M_1 = -q\ell \frac{\ell}{2} - Px_1 = -\frac{q\ell^2}{2} - Px_1,$$

b) birlik kuchdan

$$\bar{M}_2 = -1 \cdot \ell = -\ell.$$

Izlanayotgan ko‘chish:

$$\begin{aligned} \Delta_{21} = y_B &= \frac{1}{EI} \int_0^\ell (-x) \left(-\frac{qx^2}{2}\right) dx + \frac{1}{2EI} \int_0^h (-\ell) \left(-\frac{q\ell^2}{2} - Px_1\right) dx_1 = \\ &= \frac{q}{2EI} \int_0^\ell x^3 dx + \frac{q\ell^3}{4EI} \int_0^h dx + \frac{P\ell}{2EI} \int_0^h x_1 dx_1 = \frac{q}{2EI} \left| \frac{x^4}{4} \right|_0^\ell + \frac{q\ell^3}{4EI} \left| x \right|_0^h + \\ &+ \frac{P\ell}{2EI} \left| \frac{x^2}{2} \right|_0^h = \frac{q\ell^4}{8EI} + \frac{q\ell^3 h}{4EI} + \frac{P\ell h^2}{4EI} = \frac{q\ell^4 + 2q\ell^3 h + 2P\ell h^2}{4EI} = \\ &= \frac{8EI}{10 \cdot 6^4 + 2 \cdot 10 \cdot 6^3 \cdot 9 + 2 \cdot 20 \cdot 6 \cdot 9^2} = \frac{8910}{EI}. \end{aligned}$$

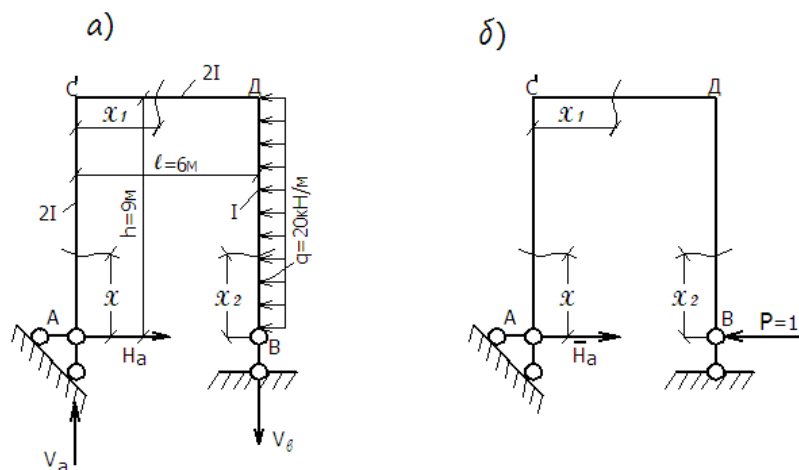


7.7 – rasm.

7.6 – misol. 7.8 a– rasmda tasvirlangan ramaning V nuqtasi gorizontaal ko‘chishi aniqlansin. AS va SD sterjenlarining bikirligi $2EI$, DV sterjeniniki esa EI .

Yechish.

V nuqtasiga gorizontaal yo‘nalishda birlik kuch qo‘yib, ramaning 2-holatini chizamiz.



7.8 – rasm.

Tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz:

a) berilgan kuchlardan

$$\begin{aligned} \sum X &= H_a - qh = 0, & \text{bundan} & H_a = qh; \\ \sum M_A &= V_b \ell - qh \frac{h}{2} = 0, & \text{bundan} & V_b = \frac{qh^2}{2\ell}; \\ \sum M_B &= V_a \ell - \frac{qh^2}{2} = 0, & \text{bundan} & V_a = \frac{qh^2}{2\ell}. \end{aligned}$$

v) birlik kuchdan

$$\sum X = \bar{H}_a - 1 = 0, \quad \text{bundan} \quad \bar{H}_a = 1.$$

Birlik kuchning ta'sir yo‘nalishi A va V sharnirlaridan o‘tganligi sababli vertikal reaksiya kuchlari $\bar{V}_a = \bar{V}_b = 0$ bo‘ladi.

Eguvchi momentlar tenglamasini tuzamiz.

AS ustuni uchun:

a) berilgan kuchdan

$$M_1 = -H_a x = -qh x;$$

b) birlik kuchdan

$$\bar{M}_2 = -\bar{H}_a x = -1 \cdot x = -x.$$

SD rigel uchun:

a) berilgan kuchdan

$$M_1 = V_a x_1 - H_a h = \frac{qh^2}{2\ell} x_1 - qh^2;$$

b) birlik kuchdan

$$\bar{M}_2 = -\bar{H}_a h = -1 \cdot h = -h.$$

VD ustuni uchun:

a) berilgan kuchdan

$$M_1 = -qx_2 \frac{x_2}{2} = -\frac{qx_2^2}{2};$$

b) birlik kuchdan

$$\bar{M}_2 = -1 \cdot x_2 = -x_2.$$

Izlanayotgan ko'chish:

$$\begin{aligned} \Delta_{21} = x_B &= \frac{1}{2EI} \int_0^h (-x)(-qhx) dx + \frac{1}{2EI} \int_0^\ell (-h) \left(\frac{qx^2}{2} x_1 - qxh^2 \right) dx_1 + \\ &+ \frac{1}{EI} \int_0^h (-x_2) \left(-\frac{qx_2^2}{2} \right) dx_2 = \frac{qh}{2EI} \int_0^h x^2 dx - \frac{qx^3}{4EI\ell} \int_0^\ell x_1 dx_1 + \\ &+ \frac{qh^3}{2EI} \int_0^\ell dx_1 + \frac{q}{2EI} \int_0^h x_2^3 dx_2 = \frac{qh}{2EI} \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^h - \frac{qh^3}{4EI\ell} \left[\frac{x_1^2}{2} \right]_0^\ell + \frac{qh^3}{2EI} [x_1]_0^\ell + \\ &+ \frac{q}{2EI} \left[\frac{x_2^4}{4} \right]_0^h = \frac{qh^4}{6EI} - \frac{qh^3\ell^2}{8EI\ell} + \frac{qh^3\ell}{2EI} + \frac{qh^4}{8EI} = \frac{7qh^4 + 9qh^3\ell}{24EI} = \\ &= \frac{7 \cdot 20 \cdot 9^4 + 9 \cdot 20 \cdot 9^3 \cdot 6}{24EI} = \frac{130 \cdot 9^4}{12EI} = \frac{71077,5}{EI}. \end{aligned}$$

7.3. Ko'chishlarni Vereshchagin usulida aniqlash

Ba'zan bu usul epyuralarni ko'paytirish usuli deb ham ataladi. Usulning mohiyati shundan iboratki, bu usulda Mor integrali $\int_0^\ell \bar{M}_m M_n dx$ integralsiz ifoda $\omega_n y_m$ bilan almashtiriladi, ya'ni

$$\int_0^\ell \bar{M}_m M_n dx = \omega_n y_m. \quad (7.2)$$

Bu yerda ω_n - tashqi kuchdan qurilgan M_n epyurasining yuzasi;

y_m - birlik kuchdan qurilgan $\bar{M}_m$ epyurasida M_n epyurasining og'irlik markaziga mos kelgan ordinata.

Qoidaga muvofiq egri chiziqli epyuradan yuza, to'g'ri chiziqli epyuradan ordinata olinadi. Agar ikkala epyura to'g'ri chiziqli bo'lsa, u holda qaysi biridan yuza, qaysi biridan ordinata olinishini farqi yo'q. Ikkala epyuraning ishorasi bir xil bo'lsa — ko'paytma musbat; ishoralar turlicha bo'lsa — ko'paytma manfiy bo'ladi.

Epyuralardan biri murakkab shaklga ega bo'lsa, uni oddiy shakllarga ajratiladi. Bunda

$$\omega y = \omega_1 y_1 + \omega_2 y_2 + \omega_3 y_3 + \dots + \omega_n y_n \quad (7.3) \quad \text{bo'ladi.}$$

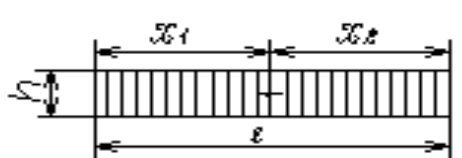
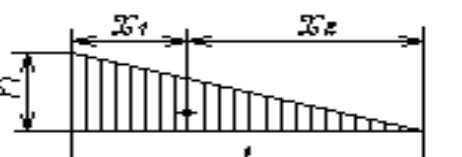
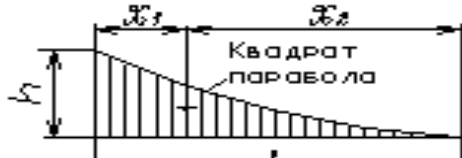
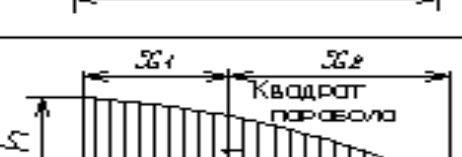
Ko'chishlarni aniqlash uchun Vereshchagin formulasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EI} \sum \omega y \quad (7.4)$$

Bu yerda Δ ga qo'yilgan birinchi indeks ko'chishning yo'nalishini, ikkinchi indeks ko'chishni vujudga keltiruvchi sababni bildiradi. Bundan buyon birlik kuchdan hosil bo'lgan epyurani $\bar{M}_1$, tashqi kuchlardan hosil bo'lgan epyurani M_p deb belgilaymiz.

7.1 — jadvalda ko'p uchraydigan shakllarning yuzalari hamda yuzalar og'irlik markazlarining kordinatalari keltirilgan.

7.1 —jadval

Юза	Кесим юзаси	Оғирлик маркази оординатлари	
		x_1	x_2
	1a	$\frac{l}{2}$	$\frac{l}{2}$
	$\frac{1}{2}h$	$\frac{l}{3}$	$\frac{2l}{3}$
	$\frac{1}{3}h$	$\frac{l}{4}$	$\frac{3l}{4}$
	$\frac{1}{4}h$	$\frac{l}{5}$	$\frac{4l}{5}$
	$\frac{1}{3}h$	$\frac{3l}{8}$	$\frac{5l}{8}$

7.7 — **misol.** 7.9 a – rasmda berilgan balkaning erkin uchi burilish burchagi aniqlansin. Balkaning bikirligi oʻzgarmas.

Yechish.

Balkaning istalgan kesimida berilgan kuchdan hosil boʻlgan eguvchi momentni aniqlaymiz

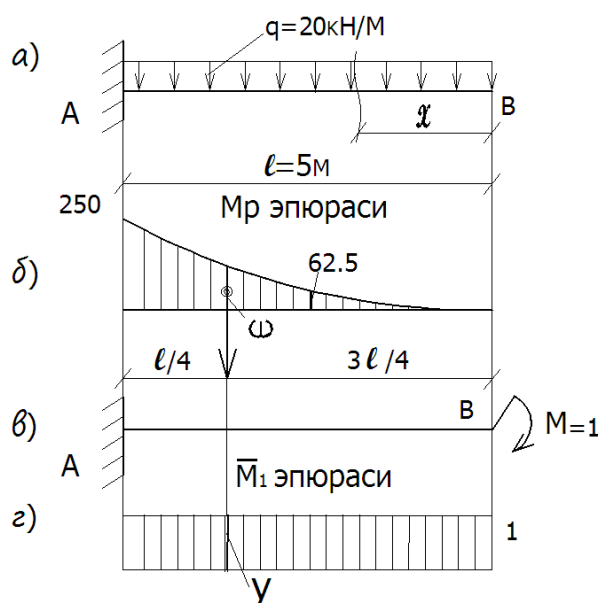
$$M_x = -\frac{qx^2}{2} = -\frac{20x^2}{2} = -10x^2 ;$$

$x = 0$ boʻlganda $M_x = 0$ boʻladi;

$x = 2,5\text{ m}$ boʻlganda $M_x = -10 \cdot 2,5^2 = -62,5 \text{ kNm}$ boʻladi;

$x = 5\text{ m}$ boʻlganda $M_A = -10 \cdot 5^2 = -250 \text{ kNm}$ boʻladi.

Bu qiymatlar asosida M_r epyurasini quramiz (7.9 b – rasm).



7.9 – rasm.

Balkaning ikkinchi holatini chizamiz va xarakterli kesimlar uchun eguvchi momentlarni aniqlaymiz:

$$\bar{M}_B = -M = -1; \quad \bar{M}_A = -M = -1.$$

M_p epyurasining yuzasi ω ni topamiz:

$$\omega = \frac{lh}{3} = \frac{5 \cdot 250}{3} = 417 \text{ kNm}^2.$$

Ordinata y ni $\bar{M}_1$ epyurasidan olamiz: $y = 1$.

Har ikkala epyura oʻqning bir tomonida yotganligi uchun (ishoralari bir xil boʻlganligi uchun) izlanayotgan koʻchish musbat boʻladi:

$$\Delta_{1p} = \varphi_B = \frac{1}{EI} 417 \cdot 1 = \frac{417}{EI}.$$

7.1 – misolda ham xuddi shu natijaga erishgan edik.

7.8 – misol. 7.10 *a* – rasmda berilgan balkaning erkin uchi solqiligi aniqlansin. Balkaning bikirligi o‘zgarmas.

Yechish.

Berilgan kuchdan hosil bo‘ladigan eguvchi momentlarni aniqlaymiz:

$$M_B = 0; \quad M_C = -Pb = -20 \cdot 2 = -40 \text{ кНМ};$$

$$M_A = -P\ell - Pa = -20(5 + 3) = -160 \text{ кНМ}.$$

M_p epyurasi 7.10 *б* – rasmda berilgan.

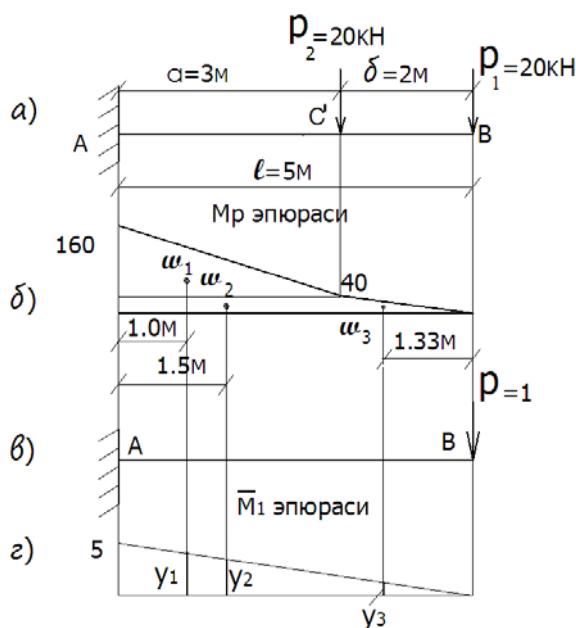
Balkaning ikkinchi holati uchun eguvchi momentlarni aniqlaymiz (7.10 *в* – rasm):

$$\bar{M}_B = 0; \quad \bar{M}_A = -1 \cdot \ell = -5 \text{ М}.$$

$\bar{M}_1$ epyurasi 7.10 *г* – rasmda keltirilgan.

M_p epyurasini oddiy shakllarga ajratamiz va ularning yuzalarini aniqlaymiz:

$$\omega_1 = \frac{3 \cdot 120}{2} = 180 \text{ кНМ}; \quad \omega_2 = 40 \cdot 3 = 120 \text{ кНМ}; \quad \omega_3 = \frac{40 \cdot 2}{2} = 40 \text{ кНМ}.$$



7.10 – rasm.

Shu yuzalarning og‘irlik markazlari ostidagi y_1 , y_2 va y_3 ni topamiz. Buning uchun $\bar{M}_1$ epyurasidagi uchburchaklarning o‘xshashligidan foydalanamiz. Masalan, $\frac{y_3}{1,33} = \frac{h}{\ell} = \frac{5}{5}$, bundan $y_3 = 1,33 \text{ М}$. Qolgan ikki ordinata ham shu yo‘sinda aniqlanadi:

$$y_1 = 4 \text{ М}; \quad y_2 = 3,5 \text{ М}.$$

Izlanayotgan ko'chish:

$$\Delta_{1P} = y_B = f = \frac{1}{EI} (\omega_1 y_1 + \omega_2 y_2 + \omega_3 y_3) = \frac{1}{EI} (180 \cdot 4 + 120 \cdot 3,5 + 40 \cdot 1,33) = \frac{1193,3}{EI}$$

7.2 –misolda ham xuddi shu natijaga erishgan edik.

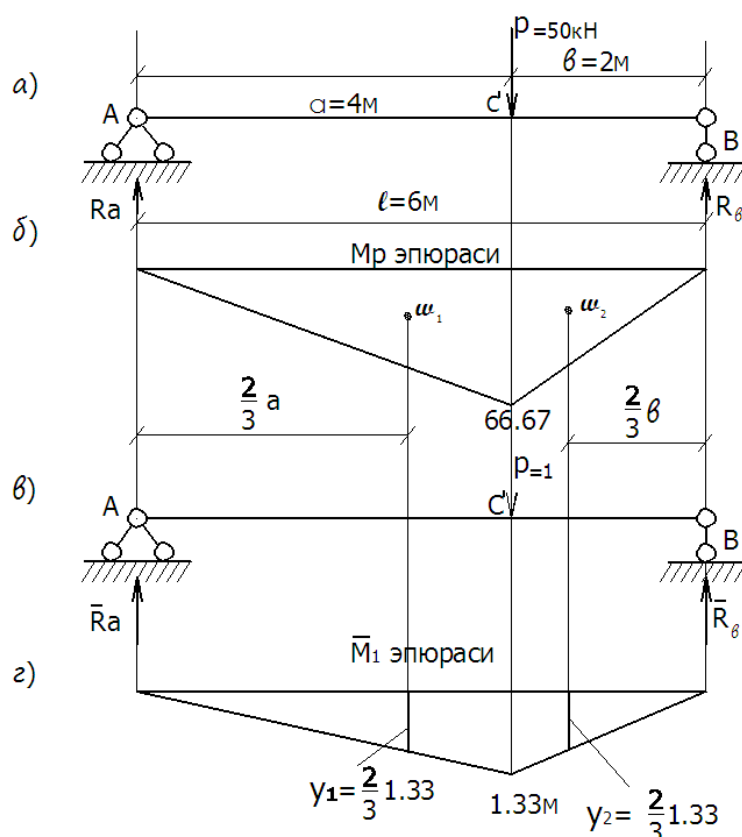
7.9 – misol. 7.11 *a*– rasmda berilgan balkaning kuch qo'yilgan nuqtai solqiligi y_c aniqlansin. Balkaning bikirligi o'zgarmas.

Yechish.

Berilgan kuchdan hosil bo'lgan eguvchi momentlar

$$M_A = 0; \quad M_C = \frac{Pab}{\ell} = \frac{50 \cdot 4 \cdot 2}{6} = 66,67 \text{ kHM}; \quad M_B = 0.$$

Bu qiymatlar asosida qurilgan M_P epyurasi 7.11 *b*– rasmda tasvirlangan.



7.11 – rasm.

Balkaning ikkinchi holatida (7.11 *b*– rasm) qo'yilgan birlik kuchdan hosil bo'ladigan eguvchi momentlar:

$$\bar{M}_A = 0; \quad \bar{M}_C = \frac{1 \cdot a \cdot b}{\ell} = \frac{1 \cdot 4 \cdot 2}{6} = 1,33 \text{ M}; \quad \bar{M}_B = 0.$$

Bu qiymatlar asosida qurilgan $\bar{M}_1$ epyurasi 7.11 *c*– rasmda berilgan.

Qurilgan ikkala epyura ham siniq chiziqlardan iborat. Ularning cho'qqilari bir vertikalda joylashganligi sababli, ularni ikkita to'g'ri burchakli uchburchakka ajratamiz.

Bu holda har ikkala epyura bir uchastka chegarasida to'g'ri chiziqli qismga ega bo'ladi. M_p epyurasida hosil bo'lgan ikkita ω_1 va ω_2 yuzalarning qiymatini topamiz:

$$\omega_1 = \frac{4 \cdot 66,67}{2} = 133,33 \text{ kNm}^2;$$

$$\omega_2 = \frac{2 \cdot 66,67}{2} = 66,67 \text{ kNm}^2.$$

ω_1 yuzaning og'irlik markazigacha bo'lgan masofa $\frac{2}{3} a$ ga, ω_2 yuzaning og'irlik markazigacha bo'lgan masofa $\frac{2}{3} b$ ga teng bo'lganligi sababli, $\bar{M}_1$ epyuradan olingan ordinatalar o'zaro teng bo'ladi (7.11 δ – rasm), ya'ni

$$y_1 = y_2 = \frac{2}{3} 1,33 = 0,89 \text{ m}.$$

R kuchi qo'yilgan nuqtaning solqiligi

$$\Delta_{1p} = y_C = \frac{1}{EI} (\omega_1 y_1 + \omega_2 y_2) = \frac{(133,33 + 66,67) \cdot 0,89}{EI} = \frac{178}{EI}.$$

7.3 – misolda ham solqilikning qiymati shunday chiqqan edi.

7.10 – misol. 7.12a- rasmda berilgan balkaning o'rtasidagi solqilik aniqlansin. Balkaning bikirligi o'zgarmas.

Yechish.

Berilgan kuchdan hosil bo'ladigan eguvchi momentlarni aniqlaymiz:

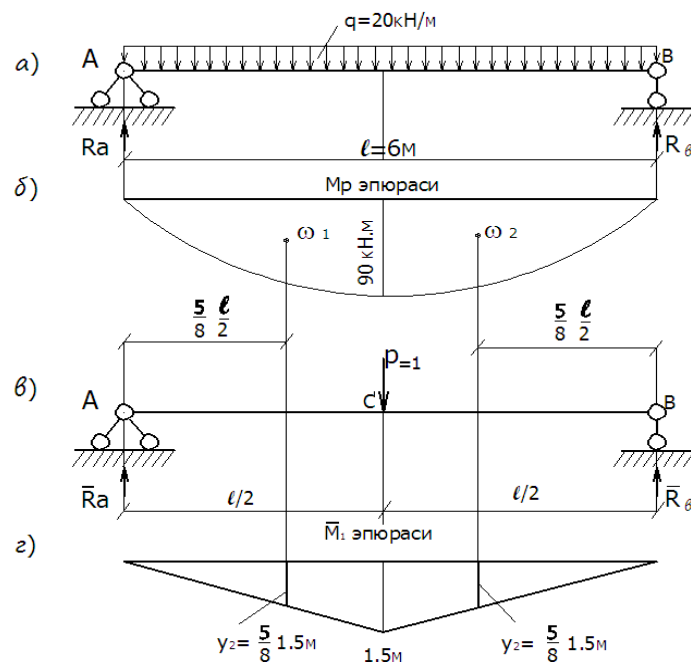
$$M_A = 0; \quad M_{max} = \frac{q\ell^2}{8} = \frac{20 \cdot 6^2}{8} = 90 \text{ kNm}; \quad M_B = 0.$$

M_p epyurasi 7.12 δ – rasm da keltirilgan.

Balkaning maksimal solqiligi uning o'rtasida vujudga kelishi sababli, birlik kuchni vertikal yo'nalishda balkaning o'rtasiga qo'yamiz va uning ta'sirida hosil bo'ladigan eguvchi momentlarni aniqlaymiz (7.12 ϵ – rasm):

$$\bar{M}_A = 0; \quad \bar{M}_C = \bar{M}_{max} = \frac{1 \cdot \ell}{4} = \frac{1 \cdot 6}{4} = 1,5 \text{ m}; \quad \bar{M}_B = 0.$$

$\bar{M}_1$ epyurasi 7.12 ζ – rasmda keltirilgan.



7.12 – rasm.

$\bar{M}_1$ epyurasi siniq chiziqdan iborat bo'lganligi sababli, uni ikkita uchburchakka ajratamiz. Shunga mos ravishda $\bar{M}_p$ epyurasini ham ikki qismga bo'lamiz. Yuzalarni egri chiziqli epyuradan olamiz. Yuzalarning qiymatini aniqlash uchun 7.1 – jadvaldan foydalanamiz:

$$\omega_1 = \omega_2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\ell}{2} h = \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 90 = 180 \text{ kHm}^2.$$

Yuzalarning og'irlik markazigacha bo'lgan masofa $\frac{\ell}{2}$ ning $\frac{5}{8}$ qismiga teng, binobarin, y_1 va y_2 ordinatalar 1,5 ning $\frac{5}{8}$ qismini tashkil etadi,

$$y_1 = y_2 = \frac{5}{8} \cdot 1,5 = 0,938 \text{ m}$$

Izlanayotgan solqilik

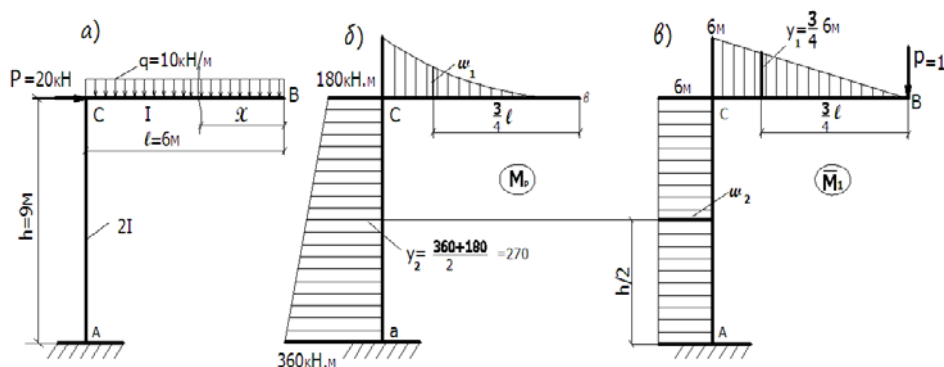
$$\Delta_{1p} = f = 2 \frac{1}{EI} \cdot 180 \cdot 0,938 = \frac{338}{EI}.$$

Misolni Mor formulasi orqali echganimizda ham xuddi shu qiymat chiqqan edi.

7.11 – misol. 7.5 misolda berilgan rama Vereshchagin usulida echilsin.

Yechish.

7.13 a– rasmda ramaning haqiqiy holati tasvirlangan. $\bar{M}_p$ epyurasini qurish uchun uning elementlaridagi kesimlarda vujudga keladigan eguvchi momentlarni aniqlaymiz.



7.13 – rasm.

SV rigeli

$$M_x = -\frac{qx^2}{2} = -\frac{10 \cdot x^2}{2} = -5x^2;$$

$$x = 0 \quad \text{bo'lganda} \quad M_B = 0 \quad \text{bo'ladi};$$

$$x = 3 \text{ m} \quad \text{bo'lganda} \quad M_x = -5 \cdot 3^2 = -45 \text{ kHM};$$

$$x = 6 \text{ m} \quad \text{bo'lganda} \quad M_C = -5 \cdot 6^2 = -180 \text{ kHM}.$$

AS ustuni

$$M_C = -q\ell \cdot \frac{\ell}{2} = -\frac{q\ell^2}{2} = -\frac{10 \cdot 6^2}{2} = -180 \text{ kHM};$$

$$M_A = -\frac{q\ell^2}{2} - Ph = -180 - 20 \cdot 9 = -360 \text{ kHM}.$$

M_r epyurasi 7.13 δ - rasmda berilgan.

Ramaning ikkinchi (soxta) holatida V nuqtasiga vertikal yo'nalishda birlik kuch qo'yamiz. Shu holat uchun eguvchi momentlarni aniqlaymiz.

SV rigeli

$$\bar{M}_B = 0; \quad \bar{M}_C = -1 \cdot \ell = -6 \text{ m}.$$

AS ustuni

$$\bar{M}_C = -1 \cdot \ell = -6 \text{ m}; \quad \bar{M}_A = -1 \cdot \ell = -6 \text{ m}.$$

$\bar{M}_1$ epyurasi 7.13 ϵ - rasmda tasvir etilgan.

SV rigelidagi epyuralarni ko'paytiramiz.

Yuzani M_p epyurasidan olamiz.

$$\omega_1 = \frac{6 \cdot 180}{3} = 360 \text{ kHM}^2.$$

Bu yuzaning og'irlik markazi v nuqtasidan $\frac{3}{4}\ell$ masofada yotadi. Shunga mos bo'lgan ordinatani $\bar{M}_1$ epyurasidan olamiz, ya'ni

$$y_1 = \frac{3}{4} \cdot 6 = 4,5 \text{ m}.$$

Endi AS ustunidagi epyuralarni ko'paytiramiz.

M_p epyurasi ham, $\bar{M}_1$ epyurasi ham to'g'ri chiziqlardan tashkil topgani bois, yuzani qaysi biridan olishning farqi yo'q. Yuzani $\bar{M}_1$ epyurasidan olamiz:

$$\omega_2 = 9 \cdot 6 = 54 \text{ m}^2.$$

Mazkur yuzaning og'irlik markazi $\frac{h}{2}$ masofada yotganligi sababli, M_p epyurasidan olinadigan ordinata y_2 trapetsiyaning o'rta chizig'ini tashkil etadi va quyidagi formuladan topiladi:

$$y_2 = \frac{360 + 180}{2} = 270 \text{ kHM}.$$

Izlanayotgan ko'chishni aniqlaymiz:

$$\Delta_{21} = y_B = \frac{1}{EI} \omega_1 y_1 + \frac{1}{2EI} \omega_2 y_2 = \frac{360 \cdot 4,5}{EI} + \frac{54 \cdot 270}{2EI} = \frac{8910}{EI}.$$

Chiqqan natija 7.5 – misoldagi bilan bir xil.

7.12 – misol. 7.6 – misolda berilgan rama Vereshchagin usulida echilsin.

Yechish.

Ramaning haqiqiy holatini chizamiz (7.14a–rasm). Tayanch reaksiyalari umumiy ko'rinishda 7.6 – misolda berilgan. Ularning son qiymatlarini topamiz:

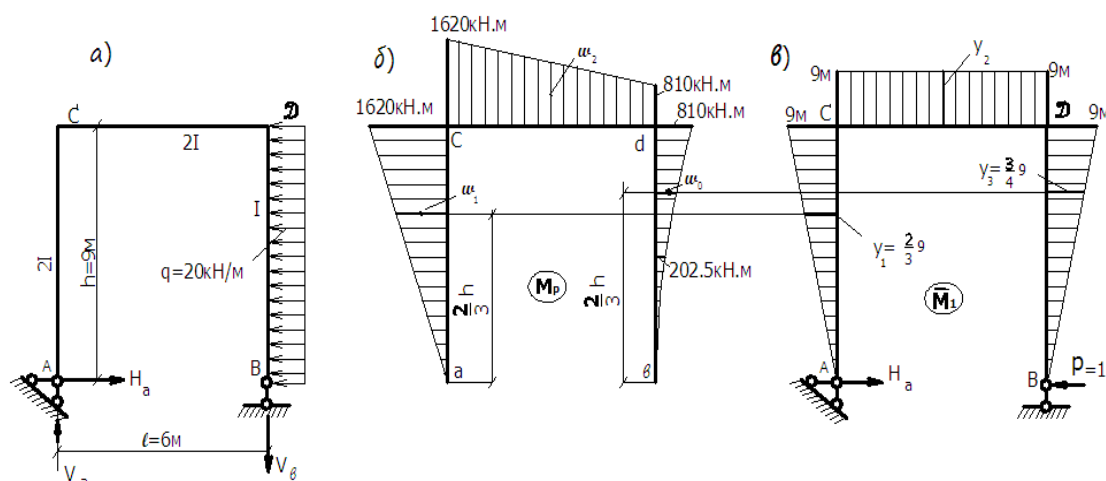
$$H_a = qh = 20 \cdot 9 = 180 \text{ kH}; \quad V_a = V_b = \frac{qh^2}{2\ell} = \frac{20 \cdot 9^2}{2 \cdot 6} = 135 \text{ kH}.$$

V_a reaksiyasi yuqoriga, V_b reaksiyasi pastga yo'nalgan.

Ramaning xarakterli kesimlaridagi eguvchi momentlarni aniqlaymiz.

AS ustuni

$$M_A = 0; \quad M_C = -H_a h = -180 \cdot 9 = -1620 \text{ kHM}.$$



7.14 – rasm.

SD rigeli

$$M_C = -H_a h = -1620 \text{ kHM}; \quad M_D = V_a \ell - H_a h = 135 \cdot 6 - 1620 = -810 \text{ kHM}.$$

VD ustuni

$$M_x = -\frac{qx^2}{2} = -\frac{20x^2}{2} = -10x^2;$$

$x = 0$ бўлганда $M_B = 0$ бўлади;

$$x = \frac{h}{2} \text{ бўлганда } M_x = -10 \cdot 4,5^2 = -202,5 \text{ кНм};$$

$$x = h = 9 \text{ м бўлганда } M_D = -10 \cdot 9^2 = -810 \text{ кНм}.$$

Olingan qiymatlar asosida M_P epyurasini quramiz (7.14 б– rasm).

Ramaning 2 – holatida (7.14 в– rasm) V nuqtasiga gorizontal yo‘nalishda birlik kuch qo‘yamiz. Bu kuchdan hosil bo‘lgan tayanch reaksiyalari

$$\bar{V}_a = \bar{V}_b = 0, \quad \bar{H}_a = 1.$$

Eguvchi momentlarni hisoblaymiz va $\bar{M}_1$ epyurasini quramiz (7.14 в– rasm):

AS ustuni

$$\bar{M}_A = 0; \quad \bar{M}_C = -\bar{H}_a h = -1 \cdot 9 = -9 \text{ м}.$$

SD rigeli

$$\bar{M}_C = \bar{M}_D = -\bar{H}_a h = -1 \cdot 9 = -9 \text{ м}.$$

VD ustuni

$$\bar{M}_B = 0; \quad \bar{M}_D = 1 \cdot h = -1 \cdot 9 = -9 \text{ м}.$$

M_P epyurasidan yuzalarni aniqlaymiz:

$$\omega_1 = \frac{9 \cdot 1620}{2} = 7290 \text{ кНм}^2; \quad \omega_2 = \frac{1620 + 810}{2} \cdot 6 = 7290 \text{ кНм}^2;$$

$$\omega_3 = \frac{9 \cdot 810}{3} = 2430 \text{ кНм}^2.$$

epyurasidan yuqoridagi yuzalarning og‘irlik markazlariga mos bo‘lgan ordinatalarni

$$y_3 = \frac{3}{4} \times 9 = 6,75 \text{ м},$$

aniqlaymiz. a nuqtasidan ω_1 yuzaning og‘irlik markazigacha bo‘lgan masofa $\frac{2}{3} \cdot h$ ga teng, binobarin, $\bar{M}_1$ epyurasida shunga mos ordinata ham

$y_1 = \frac{2}{3} \cdot 9 = 6 \text{ м}$ bo‘ladi. ω_2 yuzaning og‘irlik markazini aniqlashga xojat

yo‘q, chunki, $\bar{M}_1$ epyurasidagi barcha ordinatalar bir xil. Shuning uchun,

$y_2 = 9 \text{ м}$. ω_3 yuzaga mos ordinata, chunki v nuqtadan ω_3 yuzaning

og‘irlik markazigacha bo‘lgan masofa $\frac{3}{4} \cdot h$ ga teng. Izlanayotgan ko‘chish:

$$\begin{aligned} \Delta_{1P} = x_B &= \frac{1}{2EI} (\omega_1 y_1 + \omega_2 y_2) + \frac{1}{EI} \omega_3 y_3 = \\ &= \frac{1}{2EI} (7290 \cdot 6 + 7290 \cdot 9) + \frac{1}{EI} 2430 \cdot 6,75 = \frac{71077,5}{EI}. \end{aligned}$$

Avval ham aynan shu natijaga erishgan edik.

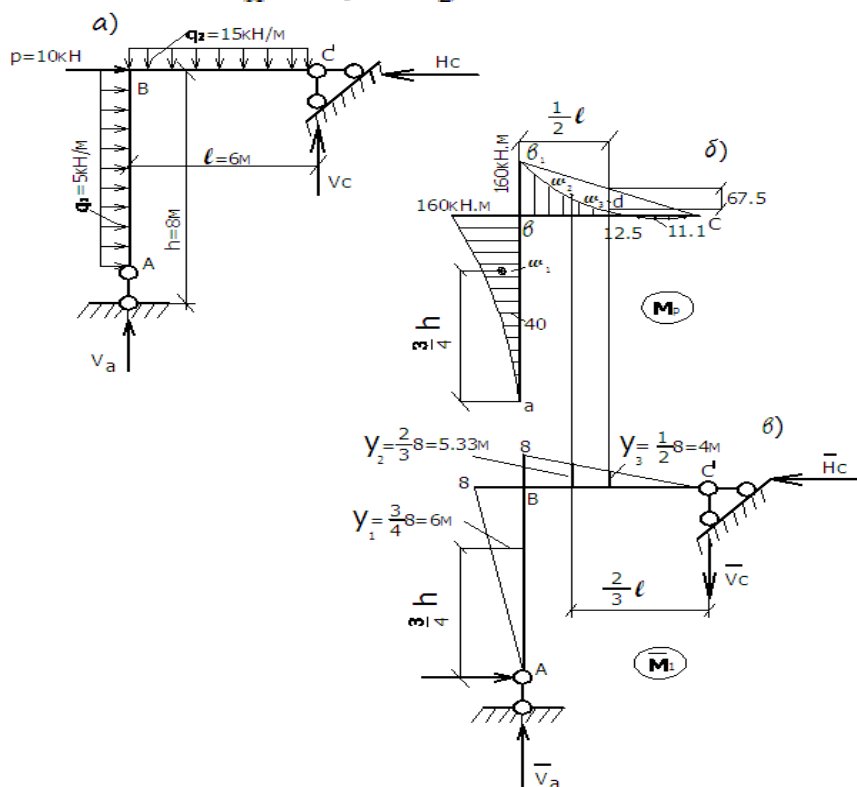
7.13 – misol. 7.15 а– rasmda tasvirlangan ramaning A nuqtasi gorizontal ko‘chishi aniqlansinyu Rama elementlarining bikirligi o‘zgarmas va EI ga teng.

Yechish.

6.2 δ – rasmda shunday yuk, shunday o'lchamli rama uchun eguvchi momentlar epyurasini qurgan edik. Shu epyurani 7.15a – rasimga ko'chiramiz; bu M_P epyurasi bo'ladi.

$\bar{M}_1$ epyurasini chizish uchun ramani 2 – holatda tasvirlaymiz. Buning uchun tashqi kuchlarni olib tashlab, A nuqtasiga gorizontal yo'nalishda birlik kuch qo'yamiz (7.15 b – rasm). V_a reaksiyasi AV ustunida eguvchi moment hosil qilmaydi, shuning uchun:

$$\bar{M}_A = 0; \quad \bar{M}_B = -1 \cdot h = -h = -8 \text{ m}.$$



7.15 – rasm.

Rigelning V kesimida ham eguvchi moment -8 m bo'ladi. S sharnirda moment nol bo'ladi, ya'ni $\bar{M}_C = 0$. Shular asosida qurilgan $\bar{M}_1$ epyurasi 7.15 v – rasmda tasvirlangan.

Endi izlanayotgan ko'chishni aniqlashga o'tamiz.

Avval M_P va $\bar{M}_1$ epyuralarning ustun qismini ko'paytiramiz. M_P epyurasi kvadrat paraboladan iborat bo'lib, uning yuzasi $\omega_1 = \frac{1}{3} \cdot 8 \cdot 160 = 426,67 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ ga teng. A nuqtasidan shu epyura og'irlik markazigacha bo'lgan masofa $\frac{3}{4} \cdot h$ bo'lgani uchun, $\bar{M}_1$ epyurasidan olinadigan shunga mos ordinata $y_1 = \frac{3}{8} \cdot 8 = 6 \text{ m}$ bo'ladi. Har ikkala epyura ustunning

bir tomonida yotibdi, shuning uchun $\omega_1 y_1$ ko'paytmaning ishorasi musbat bo'ladi:

$$\omega_1 y_1 = 426,67 \cdot 6 = 2560 \text{ } \kappa H \cdot M^3.$$

M_P epyurasining rigeldagi qismi murakkab shaklga ega, shuning uchun uning yuzasini hisoblash ancha qiyin. Shu boisdan bu epyuraning yuzasini oddiy shakllar bilan almashtiramiz. Oddiy shakllarning yuzalarini hisoblash uchun 7.1 – jadvalda tayyor formulalar berilgan. v_1 s shtrix chizig'ini o'tkazib ikki shakl hosil qilamiz: biri vv_1 s uchburchagi (uning yuzini ω_2 deb belgilaymiz), ikkinchisi $v_1 dsv_1$ parabolasini (uning yuzi ω_3 bo'lsin). SHu yuzalarni topamiz:

$$\omega_2 = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 160 = 480 \text{ } \kappa H \cdot M^2; \quad \omega_3 = \frac{2}{3} \cdot 6 \cdot 67,5 = 270 \text{ } \kappa H \cdot M^2.$$

ω_2 yuzaning og'irlik markaziga $\bar{M}_1$ epyurasida $y_2 = \frac{2}{3} \cdot 8 = 5,33 \text{ } M$, ω_3 ning og'irlik markaziga $y_3 = \frac{1}{2} \cdot 8 = 4 \text{ } M$ to'g'ri keladi.

Ramaning rigel qismida M_P bilan $\bar{M}_1$ ni ko'paytiramiz. M_P epyurasining uchburchakli qismi bilan $\bar{M}_1$ epyurasida unga mos bo'lgan ordinata rigel o'qidan bir tomonda (tepada) yotganligi uchun $\omega_2 y_2$ ko'paytma musbat ishorali bo'ladi:

$$\omega_2 y_2 = 480 \cdot 5,33 = 2560 \text{ } \kappa H \cdot M^3.$$

ω_3 yuza o'qdan pastda, unga mos ordinata y_3 o'qdan yuqorida deb qabul qilamiz; natijada $\omega_3 y_3$ ko'paytma manfiy ishoraga ega bo'ladi:

$$\omega_3 y_3 = -270 \cdot 4 = -1080 \text{ } \kappa H \cdot M^3.$$

Izlanayotgan ko'chish

$$\Delta_{21} = x_A = \frac{2560 + 2560 - 1080}{EI} = \frac{4040}{EI}.$$

Ko'chishning musbat chiqishi ko'chishning yo'nalishi bilan birlik kuchning yo'nalishi bir xil ekanligini anglatadi, ya'ni A nuqta gorizontal yo'nalishda o'ng tomonga siljiydi.

*

*

*

Epyuralarni o'zaro ko'paytirish amalini yanada qulaylashtirish maqsadida jadval ishlab chiqilgan. Ushbu jadvalda ko'p uchraydigan shakllarni o'zaro ko'paytirish formulalari berilgan. Jadvaldan foydalanish tartibi bilan quyidagi misolda tanishib chiqamiz.

7.14 – misol. 7.2-jadval formulalaridan foydalanib, 7.16 *a* – rasmda berilgan ramaning V nuqtasi gorizontal ko'chishi aniqlansin. AS va SD elementlarining bikirligi - $2EI$, DV elementining bikirligi - EI deb olinsin.

Yechish.

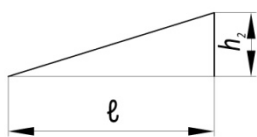
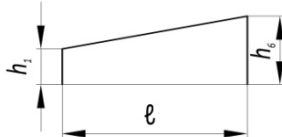
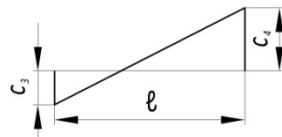
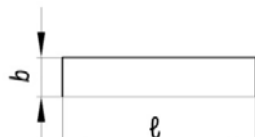
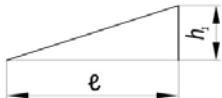
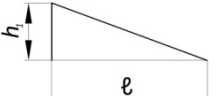
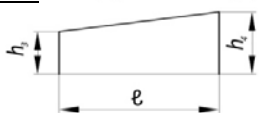
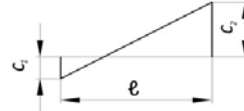
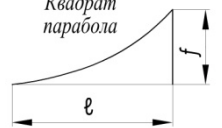
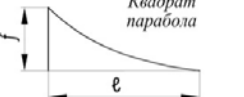
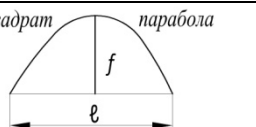
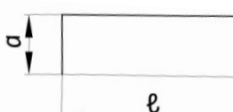
A tayanchida hosil bo'lgan reaksiya kuchlarini aniqlaymiz:

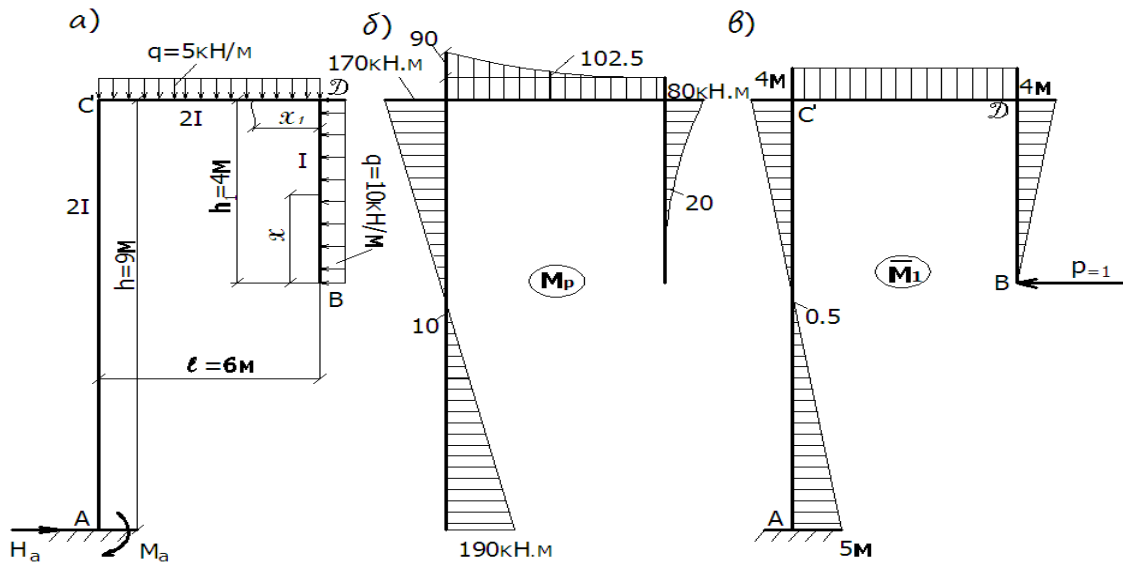
$$H_a = qh_1 = 10 \cdot 4 = 40 \text{ } \kappa H;$$

$$M_a = qh_1 \left(h - \frac{h_1}{2} \right) - \frac{q_1 \ell^2}{2} = 10 \cdot 4 \cdot 7 - \frac{5 \cdot 6^2}{2} = 280 - 90 = 190 \text{ } \kappa H \cdot m.$$

Rama elementlari kesimlarida berilgan kuchlardan hosil bo'lgan eguvchi momentlarni aniqlaymiz.

7.2 - jadval

№ t.r.	Epyura M_m					
	Epyura M_m					
1		$\frac{\ell h_1 h_2}{3}$	$\frac{\ell h_1}{6} (2h_6 + h_5)$	$\frac{\ell h_1}{6} (2c_4 + c_3)$	$\frac{\ell h_1 b}{2}$	
2		$\frac{\ell h_1 h_2}{6}$	$\frac{\ell h_1}{6} (2h_5 + h_6)$	$\frac{\ell h_1}{6} (-2c_3 + c_4)$	$\frac{\ell h_1 b}{2}$	
3		$\frac{\ell h_2}{6} (2h_4 + h_3)$	$\frac{\ell}{6} [2(h_3 h_5 + h_4 h_6) + h_3 h_6 + h_4 h_5]$	$\frac{\ell}{6} [2(-h_3 c_3 + h_4 c_4) + h_3 c_4 + h_4 c_3]$	$\frac{\ell b}{2} (h_3 + h_4)$	
4		$\frac{\ell h_2}{6} (2c_2 + c_1)$	$\frac{\ell}{6} [2(-c_1 h_5 + c_2 h_6) - c_1 h_6 + c_2 h_5]$	$\frac{\ell}{6} [2(c_1 c_3 + c_2 c_4) - c_2 c_3 + c_1 c_4]$	$\frac{\ell b}{2} (-c_1 + c_2)$	
5		$\frac{\ell f h_2}{4}$	$\frac{\ell f}{12} (3h_6 + h_5)$	$\frac{\ell f}{12} (3c_4 + c_3)$	$\frac{\ell f b}{3}$	
6		$\frac{\ell f h_2}{12}$	$\frac{\ell f}{12} (3h_5 + h_6)$	$\frac{\ell f}{12} (-3c_3 + c_4)$	$\frac{\ell f b}{3}$	
7		$\frac{\ell f h_2}{3}$	$\frac{\ell f}{3} (h_5 + h_6)$	$\frac{\ell f}{3} (-c_3 + c_4)$	$\frac{2 \ell f b}{3}$	
8		$\frac{\ell h_2 a}{2}$	$\frac{\ell f}{2} (h_5 + h_6)$	$\frac{\ell a}{2} (-c_3 + c_4)$	$\ell a b$	



7.16 – rasm.

VD elementi

$$M_x = -\frac{qx^2}{2} = -\frac{10 \cdot x^2}{2} = -5x^2;$$

$$x = 0 \quad \text{bo'lganda:} \quad M_B = 0 \quad \text{b'yladi};$$

$$x = 2 \text{ m} \quad \text{bo'lganda:} \quad M_x = -5 \cdot 2^2 = -20 \text{ κH.M};$$

$$x = 4 \text{ m} \quad \text{bo'lganda:} \quad M_D = -5 \cdot 4^2 = -80 \text{ κH.M.}$$

CD elementi

$$M_{x_1} = -\frac{qx_1^2}{2} - \frac{q_1 x_1^2}{2} = -\frac{10 \cdot 4^2}{2} - \frac{5 \cdot x_1^2}{2} = -80 - 2,5x_1^2;$$

$$x_1 = 0 \quad \text{bo'lganda:} \quad M_D = -80 \quad \text{b'yladi};$$

$$x_1 = 3 \text{ m} \quad \text{bo'lganda:} \quad M_{x_1} = -80 - 2,5 \cdot 3^2 = -102,5 \text{ κH.M};$$

$$x_1 = 6 \text{ m} \quad \text{bo'lganda:} \quad M_C = -80 - 2,5 \cdot 6^2 = -170 \text{ κH.M.}$$

AS elementi

$$M_{x_2} = -H_a x_2 + M_a = -40x_2 + 190;$$

$$x_2 = 0 \quad \text{bo'lganda:} \quad M_A = 190 \text{ κH.M} \quad \text{b'yladi};$$

$$x_2 = 9 \text{ m} \quad \text{bo'lganda:} \quad M_C = -40 \cdot 9 + 190 = -170 \text{ κH.M};$$

M_P epyurasi 7.16 б – rasmda berilgan.

V nuqtasiga gorizontaal birlik kuch qo'yib, ramaning 2 –holatini barpo etamiz (7.16 в – rasm). Shu holatda xarakterli kesimlar uchun eguchi momentlarni aniqlaymiz.

VD elementi

$$\bar{M}_B = 0; \quad \bar{M}_D = -1 \cdot h_1 = -1 \cdot 4 = -4 \text{ m.}$$

SD elementi

$$\bar{M}_D = -1 \cdot h_1 = -4 \text{ m}; \quad \bar{M}_C = -1 \cdot h_1 = -4 \text{ m.}$$

AS elementi

$$\bar{M}_C = -1 \cdot h_1 = -4 \text{ м}; \quad \bar{M}_A = 1 \cdot (h - h_1) = 1 \cdot (9 - 4) = 5 \text{ м}.$$

epyurasi 7.16 b- rasm da berilgan.

Izlanayotgan ko'chishni aniqlaymiz. VD elementidagi eyuralarni ko'paytirishda 7.2 – jadvalning 5 – qator 1 – ustunida berilgan formuladan foydalanamiz. SD elementidagi M_P epyurasini ikkiga ajratamiz: to'g'ri to'rtburchak va parabola. Ularning birinchisini $\bar{M}_1$ epyura bilan ko'paytirishda 8 – qator 4 – ustunda berilgan formuladan foydalanamiz; keyingi shaklni ko'paytirishda o'sha ustun 6 – qatorda keltirilgan formula qo'llaniladi. AS elementidagi epyuralarni ko'paytirishda jadvalning 4 - qator 3 - ustunidagi formulani qo'llaymiz. Shunday qilib, izlanayotgan ko'chish:

$$\Delta_{1p} = x_B = \frac{1}{EI} \cdot \frac{4 \cdot 80 \cdot 4}{4} + \frac{1}{2EI} \left(6 \cdot 80 \cdot 4 + \frac{6 \cdot 90 \cdot 4}{3} \right) + \frac{1}{2EI} \cdot \frac{9}{6} [2(190 \cdot 5 + 170 \cdot 4) - 170 \cdot 5 - 190 \cdot 4] = \frac{2877,5}{EI}.$$

7.4. Ko'chishlarni Simpson usulida aniqlash

Ko'chishlarni aniqlashning ushbu usuli ham, Vereshchagin usuliga o'xshab, ikki xil epyurani ko'paytirishga asoslangan. Epyuralarning biri – tashqi kuchlardan qurilgan M_p epyurasi, ikkinchisi birlik kuchdan qurilgan $\bar{M}_i$ epyurasi. Ammo Simpson usulining o'ziga xos qulayliklari bor. Masalan, epyuralarni ko'paytirish jarayonida, Vereshchagin usulida talab etilganidek, yuzalarni va og'irlik markazlarini albatta egri chiziqli yuzalardan olish shart emas. Epyuralarning egri yoki to'g'ri chiziqliligi, shuningdek ularning shakli, hech qanday rol o'ynamaydi. Izlanayotgan ko'chishning qiymati epyuralarning chap va o'ng chekkalardagi hamda o'rta kesimdagi momentlar qiymatiga bog'liq (7.17 - rasm).

Ko'chishlarni aniqlash uchun Simpson formulasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\Delta_{ip} = \frac{\ell}{6EI} [M_p^{\text{chap}} \bar{M}_i^{\text{chap}} + 4M_p^{\text{orta}} \bar{M}_i^{\text{orta}} + M_p^{\text{ong}} \bar{M}_i^{\text{ong}}] . \quad (7.5)$$

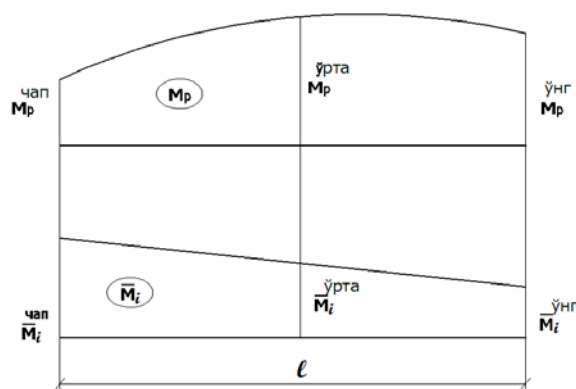
Bu yerda ℓ - ko'rilayotgan oraliq uzunligi ;

M_p^{chap} - M_p epyurasida chap kesimdagi eguvchi moment ;

M_p^{ong} - M_p epyurasida o'ng kesimdagi eguvchi moment ;

M_p^{orta} - M_p epyurasida o'rta kesimdagi eguvchi moment ;

$\bar{M}_i^{\text{chap}}, \bar{M}_i^{\text{ong}}, \bar{M}_i^{\text{orta}}$ - birlik epyuraning chap, o'ng va o'rta kesimlaridagi eguvchi momentlar



7.17 – rasm.

7.15 – misol. 7.9 – rasmda berilgan balkaning V uchidagi burilish burchagi φ_B aniqlansin. Balkaning bikirligi o'zgarmas.

Yechish.

Tashqi kuchdan qurilgan M_p va birlik kuchdan qurilgan $\bar{M}_1$ epyuralari 7.9 – rasm b va g da berilgan.

(7.5) formuladan foydalanib, izlanayotgan burchakli ko'chishni aniqlaymiz:

$$\Delta_{1P} = \varphi_B = \frac{5}{6EI} [250 \cdot 1 + 4 \cdot 62,5 \cdot 1 + 0 \cdot 1] = \frac{416,67}{EI}.$$

7.1 va 7.7 – misollarda ham xuddi shu natija chiqqan edi.

7.16 – misol. 7.10 a – rasmda berilgan balkaning erkin uchi solqiligini aniqlaymiz. Balkaning bikirligi o'zgarmas.

Yechish.

Balkaning M_p va $\bar{M}_1$ epyuralari 7.10 b va z – rasmda tasvirlangan. Berilgan balka ikki uchastkadan iborat. Simpson formulasini har bir uchastkaga alohida ravishda qo'llaymiz. M_p va $\bar{M}_1$ epyuralaridagi chekka momentlar ma'lum, biroq o'rta kesimlardagi momentlar noma'lum. Shularni topamiz.

M_p epyurasi bo'yicha

I – uchastka uchun: $M_p^{\text{ўрта}} = -P \cdot 1 = -20 \text{ кНм};$

II – uchastka uchun: $M_p^{\text{ўрта}} = -P \cdot 3,5 - P \cdot 1,5 = -100 \text{ кНм}.$

$\bar{M}_1$ epyurasi bo'yicha

I – uchastka uchun: $\bar{M}_1^{\text{ўрта}} = -P \cdot 1 = -1 \text{ м}$

II – uchastka uchun: $\bar{M}_2^{\text{ўрта}} = -P \cdot 3,5 = -3,5 \text{ м}$

(7.5) formuladan foydalanib, izlanayotgan ko'chishni aniqlaymiz:

$$\Delta_{1P} = y_B = \frac{2}{6EI} [40 \cdot 2 + 4 \cdot 20 \cdot 1 + 0 \cdot 0] + \frac{3}{6EI} [160 \cdot 5 + 4 \cdot 100 \cdot 3,5 + 40 \cdot 2] = \frac{53,33}{EI} + \frac{1140}{EI} = \frac{1193,33}{EI}$$

7.17 – misol. 7.11 *a* – rasmda berilgan balkaning kuch qo'yilgan nuqtasi y_c solqiligini aniqlaymiz. Balkaning bikirligi o'zgarmas.

Yechish.

7.11 *b* va *c* – rasmda tasvirlangan M_p va $\bar{M}_1$ epyuralaridan ikkita uchastkaning o'rta kesimidagi momentlarning qiymatlarini aniqlaymiz:

M_p epyurasi bo'yicha

$$\text{I – uchastka uchun: } M_P^{\text{ipma}} = R_a \cdot 2 = \frac{Pb}{\ell} \cdot 2 = \frac{50 \cdot 2}{6} \cdot 2 = 33,33 \text{ kHM};$$

$$\text{II – uchastka uchun: } M_P^{\text{ipma}} = R_b \cdot 1 = \frac{Pa}{\ell} \cdot 1 = \frac{50 \cdot 4}{6} \cdot 1 = 33,33 \text{ kHM}.$$

$\bar{M}_1$ epyurasi bo'yicha

$$\text{I – uchastka uchun: } \bar{M}_1^{\text{ipma}} = \bar{R}_a \cdot 2 = \frac{1 \cdot b}{6} \cdot 2 = \frac{2}{6} \cdot 2 = 0,67 \text{ M}$$

$$\text{II – uchastka uchun: } \bar{M}_2^{\text{ipma}} = \bar{R}_b \cdot 1 = \frac{1 \cdot a}{6} \cdot 1 = \frac{4}{6} \cdot 1 = 0,67 \text{ M}$$

Topilgan qiymatlarni Simpson formulasiga qo'yib, izlanayotgan ko'chishni aniqlaymiz:

$$\Delta_{1P} = y_c = \frac{4}{6EI} [0 \cdot 0 + 4 \cdot 33,33 \cdot 0,67 + 66,67 \cdot 1,33] + \frac{2}{6EI} [66,67 \cdot 1,33 + 4 \cdot 33,33 \cdot 0,67 + 0 \cdot 0] = \frac{178}{EI}.$$

7.18 – misol. 7.12 *a* – rasmda berilgan balkaning o'rtasidagi solqilikni aniqlaymiz. Balkaning bikirligi o'zgarmas.

Yechish.

7.12 *b* va *c* – rasmda M_p va $\bar{M}_1$ epyuralari tasvirlangan. M_p epyurasi bitta uchastkadan iborat bo'lsa ham, $\bar{M}_1$ epyurasi ikkita uchastkadan iboratdir. Shuning uchun ikkala epyuralarning A va V tayanchlaridan $\ell/4 = 6/4 = 1,5$ m masofada yotgan kesimidagi momentlarning qiymatlarini aniqlash zarur bo'ladi.

M_p epyurasi bo'yicha

I – uchastka uchun:

$$M_P^{\text{ipma}} = R_a \cdot 1,5 - q \cdot 1,5 \cdot 0,75 = \frac{q\ell}{2} \cdot 1,5 - 21,5 = 68,5 \text{ kHM};$$

II – uchastka uchun:

$$M_P^{\text{ipma}} = R_b \cdot 1,5 - q \cdot 1,5 \cdot 0,75 = \frac{q\ell}{2} \cdot 1,5 - 21,5 = 68,5 \text{ kHM};$$

$\bar{M}_1$ epyurasi bo'yicha

$$\text{I – uchastka uchun: } \bar{M}_1^{\text{ipma}} = \bar{R}_a \cdot 1,5 = \frac{P}{2} \cdot 1,5 = \frac{1}{2} \cdot 1,5 = 0,75 \text{ M};$$

$$\text{II – uchastka uchun: } \bar{M}_2^{\text{ipma}} = \bar{R}_b \cdot 1,5 = \frac{P}{2} \cdot 1,5 = \frac{1}{2} \cdot 1,5 = 0,75 \text{ M}.$$

M_p va $\bar{M}_1$ epyuralari simmetrik bo'lganligi sababli bitta uchastkaga Simpson formulasini qo'llab, uni 2 ga ko'paytirib, izlanayotgan solqilikni aniqlaymiz.

$$\Delta_{1P} = f = 2 \frac{3}{6EI} [0 \cdot 0 + 4 \cdot 68,5 \cdot 0,75 + 90 \cdot 1,5] = \frac{338}{EI}.$$

7.19 – misol. 7.13a – rasmda berilgan ramaning V nuqtasi vertikal ko‘chishini aniqlaymiz. Ramaning SV rigelining bikirligi – EI, AC ustunining bikirligi esa - 2EI ga teng.

Yechish.

7.13 б, в – rasmda berilgan ramaning M_p va $\bar{M}_1$ epyuralari keltirilgan. Ulardagi M_p^{ypTa} va $\bar{M}_i^{\text{ypTa}}$ eguvchi momentlarining qiymatlari 7.11- misolda keltirilgan.

VS rigelida: $M_p^{\text{ypTa}} = 45 \text{кНМ}; \bar{M}_i^{\text{ypTa}} = 3 \text{м}.$

AS ustunida: $M_p^{\text{ypTa}} = 270 \text{кНМ}; \bar{M}_i^{\text{ypTa}} = 6 \text{м}.$

Topilgan qiymatlarni (7.5) formulaga qo‘yib, izlanayotgan ko‘chishni aniqlaymiz. M_p va $\bar{M}_1$ epyuralar o‘qdan bir tomonda bo‘lganligi sababli ko‘chishning ishorasi musbat bo‘ladi.

$$\begin{aligned} \Delta_{1P} = y_B &= \frac{6}{6EI} [180 \cdot 6 + 4 \cdot 45 \cdot 3 + 0 \cdot 0] + \\ &+ \frac{9}{6EI \cdot 2} [360 \cdot 6 + 4 \cdot 270 \cdot 6 + 180 \cdot 6] = \frac{1620}{EI} + \frac{7290}{EI} = \\ &= \frac{8910}{EI}. \end{aligned}$$

7.20 – misol. 7.14 a– rasmda berilgan ramaning V nuqtasi gorizontal ko‘chishini aniqlaymiz. Ramaning SD rigeli va AS ustunining bikirligi – 2EI, VD ustunining bikirligi esa - EI ga teng.

Yechish.

7.14 б, в – rasmda berilgan ramaning tashqi kuch epyurasi M_p va V nuqtasiga qo‘yilgan gorizontal birlik kuchdan qurilgan birlik epyurasi $\bar{M}_1$ keltirilgan. Ulardagi M_p^{ypTa} va $\bar{M}_i^{\text{ypTa}}$ eguvchi momentlarining qiymatlarini aniqlaymiz.

AS ustunda, $M_p^{\text{ypTa}} = 810 \text{кНМ}; \bar{M}_i^{\text{ypTa}} = 4,5 \text{м}.$

DS rigelda: $M_p^{\text{ypTa}} = 1215 \text{кНМ}; \bar{M}_i^{\text{ypTa}} = 9 \text{м}.$

VD ustunda, $M_p^{\text{ypTa}} = 202,5 \text{кНМ}; \bar{M}_i^{\text{ypTa}} = 4,5 \text{м}.$

Berilgan rama uchta uchastkadan iborat bo‘lib, AS va VD ustunlarning uzunligi 9 m va SD rigelning uzunligi 6m ga teng. Epyuralar o‘qdan bir tomonda bo‘lganligi uchun ko‘chish musbat ishorada bo‘ladi. Topilgan qiymatlarni Simpson formulasiga qo‘yib, izlanayotgan ko‘chishni aniqlaymiz:

$$\Delta_{1P} = x_B = \frac{9}{6 \cdot 2EI} [0 \cdot 0 + 4 \cdot 810 \cdot 4,5 + 1620 \cdot 9] + \\ + \frac{6}{6 \cdot 2EI} [1620 \cdot 9 + 4 \cdot 1215 \cdot 9 + 810 \cdot 9] + \frac{9}{6EI} \times \\ \times [810 \cdot 9 + 4 \cdot 202,5 \cdot 4,5 + 0 \cdot 0] = \frac{21870}{EI} + \frac{32805}{EI} + \\ + \frac{16402,5}{EI} = \frac{71077,5}{EI}.$$

7.21 – misol. 7.15 *a*– rasmda berilgan ramaning A nuqtasi gorizontal ko‘chishini aniqlaymiz. Rama elementlarining bikirligi o‘zgarmas bo‘lib, EI ga tengdir.

Yechish.

7.15 *б, в* – rasmda berilgan ramaning tashqi kuch epyurasi M_p va A nuqtasiga qo‘yilgan gorizontal birlik kuchdan qurilgan birlik epyurasi $\bar{M}_1$ ko‘rsatilgan. Ulardagi M_p^{ypTa} va $\bar{M}_1^{\text{ypTa}}$ eguvchi momentlarining qiymatlarini aniqlaymiz.

AV ustunda, $M_p^{\text{ypTa}} = q_1 \cdot 4 \cdot 2 = 5 \cdot 4 \cdot 2 = 40 \text{кНм}; \quad \bar{M}_1^{\text{ypTa}} = 4 \text{м}.$

VS rigelda: $M_p^{\text{ypTa}} = 12,5 \text{кНм}; \quad \bar{M}_1^{\text{ypTa}} = 4 \text{м}.$

Berilgan rama ikkita uchastkadan iborat, birinchi uchastka AV ustun balandligi, ya’ni uchastka uzunligi $h = 8 \text{ м}$, ikkinchi uchastka VS rigelning uzunligi $\ell = 6 \text{ м}$.ga teng. Ko‘chishlarni aniqlashning Simpson formulasidan foydalanib, izlanayotgan qiymatni aniqlaymiz:

$$\Delta_{1P} = x_A = \frac{8}{6EI} [0 \cdot 0 + 4 \cdot 40 \cdot 4 + 160 \cdot 8] + \\ + \frac{6}{6EI} [160 \cdot 8 + 4 \cdot 12,5 \cdot 4 + 0 \cdot 0] = \frac{2560}{EI} + \frac{1480}{EI} = \frac{4040}{EI}.$$

M_p va $\bar{M}_1$ epyuralaridagi eguvchi momentlarning qiymatlari o‘qdan bir tomonda bo‘lganligi sababli ko‘chish musbat ishorada olindi.

7.22 – misol. 7.16 *a* – rasmda berilgan ramaning V nuqtasi gorizontal ko‘chishini aniqlaymiz. Rama elementlaridan AS va SD larning bikirligi 2EI, DV ning bikirligi EI ga tengdir.

Yechish.

7.16 *б, в* – rasmda berilgan ramaning tashqi kuch epyurasi M_p va A nuqtasiga qo‘yilgan gorizontal birlik kuchdan qurilgan birlik epyurasi $\bar{M}_1$ ko‘rsatilgan. Ulardagi M_p^{ypTa} va $\bar{M}_1^{\text{ypTa}}$ eguvchi momentlarining qiymatlari 7.14 – misolni yechish jarayonida keltirilgan bo‘lib, faqat AS ustunning o‘rta kesimidagi eguvchi moment qiymatini aniqlaymiz.

$$M_p^{\text{ypTa}} = M_\alpha - H_\alpha \cdot 4,5 = 190 - 40 \cdot 4,5 = 10 \text{кНм};$$

$$\bar{M}_i^{\bar{y}_{pta}} = 5 - 4,5 = 0,5 \text{ m.}$$

VD va SD elementlari o'rta kesimidagi eguvchi momentlarning qiymatlari quyidagicha:

$$\text{DV ustunda, } M_p^{\bar{y}_{pta}} = 20 \text{ kHM}; \quad \bar{M}_i^{\bar{y}_{pta}} = 2 \text{ m.}$$

$$\text{SD rigelda: } M_p^{\bar{y}_{pta}} = 102,5 \text{ kHM}; \quad \bar{M}_i^{\bar{y}_{pta}} = 4 \text{ m.}$$

Berilgan rama uchta uchastkadan iborat va ularning uzunliklari:

$h = 9 \text{ m}$; $\ell = 6 \text{ m}$; $h_1 = 4 \text{ m}$ ga teng.

(7.5) formuladan foydalanib, berilgan rama V nuqtasidagi gorizontal ko'chishni aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \Delta_{1P} = x_B = & \frac{9}{6 \cdot 2EI} [190 \cdot 5 + 4 \cdot 10 \cdot 0,5 + 170 \cdot 4] + \\ & + \frac{6}{6 \cdot 2EI} [170 \cdot 4 + 4 \cdot 102,5 \cdot 4 + 80 \cdot 4] + \frac{4}{6EI} \times \\ & \times [80 \cdot 4 + 4 \cdot 20 \cdot 2 + 0 \cdot 0] = \frac{1237,5}{EI} + \frac{1320}{EI} + \\ & + \frac{320}{EI} = \frac{2877,5}{EI}. \end{aligned}$$

Ko'chishlarning musbat chiqishi ko'chishlarning yo'nalishi bilan birlik kuchning yo'nalishi bir xil ekanligini anglatadi. Hisoblash natijalaridan ko'rinib turibdiki, ko'chishlarni aniqlashning uchchala usulida ham natijalar bir xil.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. K.S.Abdurashidov, B.A.Habilov, N.J.Tuychiyev, A.G.Rahimboyev – Qurilish mexanikasi, T., O'zbekiston, 1999 y.
2. E.A.Odilxo'jayev, T.G.G'ulomov, T.K.Abdukamilov - Qurilish mexanikasi, T., O'qituvchi, 1985 y.
3. E.A.Odilxo'jayev, T.G.G'ulomov, T.K.Abdukamilov - Qurilish mexanikasidan misol va masalalar, T., O'qituvchi, 1974 y.
4. А.В.Дарков, Г.Л.Клейн, В.И.Кузнецов и др. – Строительная механика, М., Высшая школа, 1976.
5. Н.К.Снитко – Строительная механика, М., Высшая школа, 1980.
6. X.Sh.To'rayeva, M.X.Ismatov, F.X.Yo'ldashev, B.K.Javliyev – Qurilish mexanikasi nazariy asoslari va amaliy masalalar, T., Moliya – 2001 y.
7. B.A.Habilov - Qurilish mexanikasi (to'ldirilgan va qayta ishlangan 2-nashr) I, II-qism, T., 2014 y.