

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA’LIM
VAZIRLIGI

JIZZAX POLITEKNIKA INSTITUTI

AHMEDOV BURHON IKROMOVICH

QURILISH MEXANIKASI
FANIDAN AMALIY MASHG‘ULOTLAR UCHUN
O‘QUV QO‘LLANMA

5340200 - Bino va inshootlar qurilishi,
5340500 - Qurilish materiallari, buyumlari va konstruksiyalarini ishlab chiqarish,
5340400 - Muhandislik kommunikatsiyalarining qurilishi va montaji bakalavriat
ta’lim yo‘nalishlaridagi talabalar uchun mo‘ljallangan.



JIZZAX - 2020

QURILISH MEXANIKASI

FANIDAN AMALIY MASHG‘ULOTLAR UCHUN

AHMEDOV BURHON IKROMOVICH

O‘quv qo‘llanmada inshootlarning hisoblash sxemalari, shuningdek, ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni doimiy va harakatlanuvchi kuchlar ta‘siriga hisoblash, ta‘sir chiziqlar yordamida zo‘riqlashlarni aniqlash, statik aniq tekis fermalarni doimiy va harakatlanuvchi kuchlar ta‘siriga hisoblash, uch sharnirli arka va ramalarni doimiy va harakatlanuvchi kuchlar ta‘siriga hisoblash, tortqichli arkalar hisobi, statik aniq oddiy sistemalarda ko‘chishlarni aniqlash mavzulari bayon qilingan.

O‘quv qo‘llanma O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan namunaviy dasturi asosida, 5340200 - Bino va inshootlar qurilishi, 5340500 - Qurilish materiallari, buyumlari va konstruksiyalarini ishlab chiqarish va 5340400 - Muhandislik kommunikatsiyalarining qurilishi va montaji bakalavriat ta‘lim yo‘nalishlaridagi talabalar uchun mo‘ljallangan.

Taqrizchilar:

Ubaydullaev S. – *Jizzax Davlat pedagogika instituti “Mehnat ta’limi texnologiyasi” kafedrasida dotsenti, texnika fanlari nomzodi.*

Igamberdiev X.H. – *Jizzax politexnika instituti “Umumtexnika fanlari” kafedrasida dotsenti, texnika fanlari nomzodi.*

Kirish.

Qurilish mexanikasi “Bino va inshootlar qurilishi”, “Qurilish materiallari, buyumlari va konstruksiyalarini ishlab chiqarish” va “Muhandislik kommunikatsiyalarining qurilishi va montaji” bakalavriat ta’lim yo’nalishlarida tahsil olayotgan talabalar uchun asosiy umumkasbiy fanlardan biri hisoblanadi. Qurilish mexanikasi – konstruksiya va inshootlarni mustahkamligi bikirligi va ustivorligini hisoblash prinsiplari hamda, inshootlarni mustahkamligini hisoblash yo’li bilan uzoq muddatga chidamligini ta’minlaydigan fandır.

Bino va inshootlarni loyihalashda konstruksiya elementlarining o’lchamlarini aniqlash kerak bo’ladi. Qurilish mexanikasida asosiy e’tibor bino va inshootlarning asosiy elementi hisoblangan alohida sterjenlarning mustahkamligi, bikirligi va ustivorligi masalalariga qaratilgan.

Qurilish mexanikasi fanining maqsadi bino va konstruksiyalarning alohida elementlarida tashqi yuklardan hosil bo’ladigan deformatsiya va zo’riqishlarni aniqlab, ularning mustahkamligi, bikirligi va ustivorligini ta’minlashdan iboratdir.

Hisoblashlar bajarilayotganda bino va inshootlarning ishonchli ishlashi bilan birga uning tejamliligi bo’lishiga e’tibor berish, ya’ni materiallar eng kam sarflangan holda zarur mustahkamlik, bikirlik va ustivorlikka erishish lozim.

“Qurilish mexanikasi” fani asosiy umumkasbiy fanlaridan biri bo’lib, bakalavriat ta’lim yo’nalishlari o’quv rejasida 2-3 bosqichlarida o’qitiladi. Dasturni to’laqonli amalga oshirish uchun talabalardan o’quv rejasida rejalashtirilgan matematik-tabiiy (oliy matematika, fizika, nazariy mexanika) fanlaridan yetarli bilim va ko’nikmalarga ega bo’lish talab etiladi.

Qurilish mexanikasida inshoot elementlarining materiali ma’lum bo’lsa ichki zo’riqish kuchlari va deformatsiyasiga ko’ra har bir element va inshootning mustahkamligi, bikirligi va ustivorligi tekshiriladi. Agar inshoot elementlarining o’lchamlari noma’lum bo’lsa, u holda aniqlangan ichki kuchlar va deformatsiyalar miqdoriga ko’ra, shundagina elementning mustahkamligini, bikirligi va ustivorligini qanoatlantiruvchi o’lchamlarini aniqlash mumkin. Bunday hisoblash usulini loyihalash usuli deb ataladi.

Talabalarning “Qurilish mexanikasi” fanini o‘zlashtirishlari uchun o‘qitishning ilg‘or va zamonaviy usullaridan foydalanish, yangi informatsion-pedagogik texnologiyalarni tatbiq qilish muhim ahamiyatga ega. Fanni o‘zlashtirishda darslik, o‘quv va uslubiy qo‘llanmalar, ma’ruza matnlari, tarqatma materiallar, elektron materiallar va ilg‘or pedagogik texnologiyalardan foydalaniladi.

“Qurilish mexanikasi” fanini o‘zlashtirish jarayonida bakalavr olgan bilimni fan sohalarida, ishlab chiqarish va ta’limda qo‘llash xususiyatlari, kompyuterning dasturiy ta’minoti, kompyuter texnologiyalari yutuqlarini zamonaviy hisoblash tizimlarining matematik va dasturiy ta’minotida qo‘llash, dasturlash texnologiyalarini, tatbiqiy masalalarni yechish algoritmini tuzish ko‘nikmalariga ega bo‘ladi.

Maskur o‘quv qo‘llanma to‘g‘ridan-to‘g‘ri, ya’ni bevosita o‘qituvchi-talaba muloqotidan tashqari Oliy ta’lim tizimidagi Moodle platformasi adabiyotlari ro‘yxatiga kiritilib, undan noan’anaviy sanalgan masofaviy ta’lim jarayonida ham samarali foydalanish maqsadga muvofiq bo‘ladi.

O‘quv qo‘llanma to‘g‘risidagi barcha fikr va mulohazalarni muallif mamnuniyat bilan qabul qiladi.

1- BOB. STATIK ANIQ SISTEMALAR

1.1-§. Inshootlar hisoblash sxemalarining kinematik tahlili.

Inshootlar elementlarida tashqi yuklar ta'siridan hosil bo'ladigan, zo'riqishlar, M_{eg} -eguvchi moment, Q_k -ko'ndalang kuch, N_b -bo'ylama kuch epyuralarini qurish, tayanch reaksiyalarini aniqlash uning hisoblash sxemasini tanlashdan boshlanadi. Sistema yoki uning alohida qismlari yuk ta'sirida qo'zg'almasligi va geometrik o'zgarmasligi, oniy o'zgarmasligi (o'zgaruvchanligi)ni tekshirish, erkinlik darajalari sonini aniqlash masalasini hal qilish *kinematik tahlil* deyiladi.

Hisoblash sxemasi deb, haqiqiy inshootlarni soddalashtirilgan tasviri tushuniladi.

Yassi sterjenli sistemalarning *erkinlik darajasi* deb, uning yerga nisbatan tekislikda olgan holatini aniqlovchi bir-biriga bog'liq bo'lmagan geometrik parametrlar soniga aytiladi.

Agar sistemaning shakli, faqat uni tashkil etuvchi elementlarning deformatsiyasi tufayli o'zgarsa, *geometrik o'zgarma* sistema deyiladi.

Agar sistema o'z shaklini uni tashkil etuvchi elementlarning deformatsiyalarisiz o'zgartirsa, *geometrik o'zgaruvchan* sistema deyiladi.

Agar sistema elementlarining deformatsiyalarisiz, uning nuqtalari cheksiz kichik ko'chishlarga erishsa, *oniy o'zgaruvchan* sistema deyiladi. Ko'chishlar to'xtaganidan so'ng u o'zgarmas sistemaga aylanadi.

O'zlarining shakli va o'lchamlarini o'zgartirmaydigan mutlaq bikir element yoki elementlar sistemasi *disk* deyiladi. Disk tekislikda uchta erkinlik darajasiga ega bo'ladi.

Cheksiz uzunlikka ega bo'lgan disk yer deyiladi. Jism yoki sistemalarning bir erkinlik darajasini chegaralovchi qurilma *kinematik bog'lanish* deyiladi.

1. Statik aniq sistemalarda issiqlik ta'siridan, tayanchlar siljishidan va yig'ishdagi noanqliklardan tayanch reaksiyalari va ichki zo'riqishlar (M, Q, N) hosil bo'lmaydi.

2. Statik aniq sistemalarning reaksiyalari va elementlaridagi zo`riqishlar, ko`ndalang kesim shakli va o`lchamlariga hamda inshoot materialining elastik xususiyatlariga bog`liq emas.
3. Statik aniq sistemalarda ko`pincha, xususiy qo`zg`almaslikka va geometrik o`zgarmaslikka ega bo`lgan asosiy qismini ajratish mumkin, sistemaning qolgan qismi esa unga tayanib o`zining qo`zg`almasligi va geometrik o`zgarmasligiga ega bo`ladi.
4. Statik aniq sistemaning muayyan geometrik o`zgarmas qismiga qo`yilgan muvozanatlashgan yuk faqat shu qismida zo`riqish hosil qiladi, sistemaning barcha qolgan qismida esa zo`riqishlar nolga teng.

1.2-§. Ko`p oraliqli statik aniq balkalar.

Ko`p oraliqli statik aniq balkalar bir oraliqli konsolli balkalarni sharnirlar vositasida biriktirish yo`li bilan hosil qilinadi.

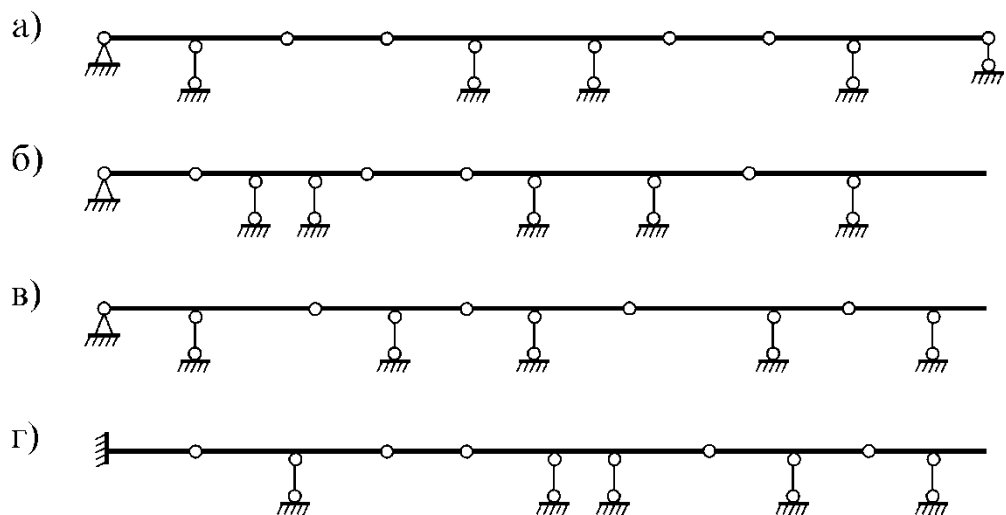
Ko`p oraliqli sharnirli balkalar yondosh oraliqlarni yopishda qo`llaniladi. Ko`p oraliqli balkalarda sharnirlar bo`lmasa, sistema statik noaniq uzluksiz balkalarga aylanib qoladi. Ularni bir-biridan farqlab turadigan element sharnirdir. Ko`p oraliqli balkani statik aniq sistemaga aylantirib beradigan element ham sharnirdir. Demak, sharnirlar sonini shunday tanlash kerakki, hosil bo`lgan sistema statik aniq, geometrik o`zgarmas bo`lsin.

Sharnirlarni to`g`ri joylashtirishning uch xil usuli mavjud:

1. Sharnirlarni ikkinchi oraliqdan boshlab juft joylashtirish.
2. Sharnirlarni ikkinchi oraliqdan boshlab yakka tartibda joylashtirish.
3. Yuqoridagi ikki usulga asoslangan aralash usul, ya`ni sharnirlarni juft va yakka tartibda joylashtirish (1-rasm,6,r).

Juft sharnirlar ikkinchi oraliqdan boshlab oraliq osha qo`yiladi (1-rasm,a).

Yakka sharnirlar birinchi oraliqdan boshqa har bir oraliqqa bittadan qo`yib chiqiladi. (1-rasm,b).



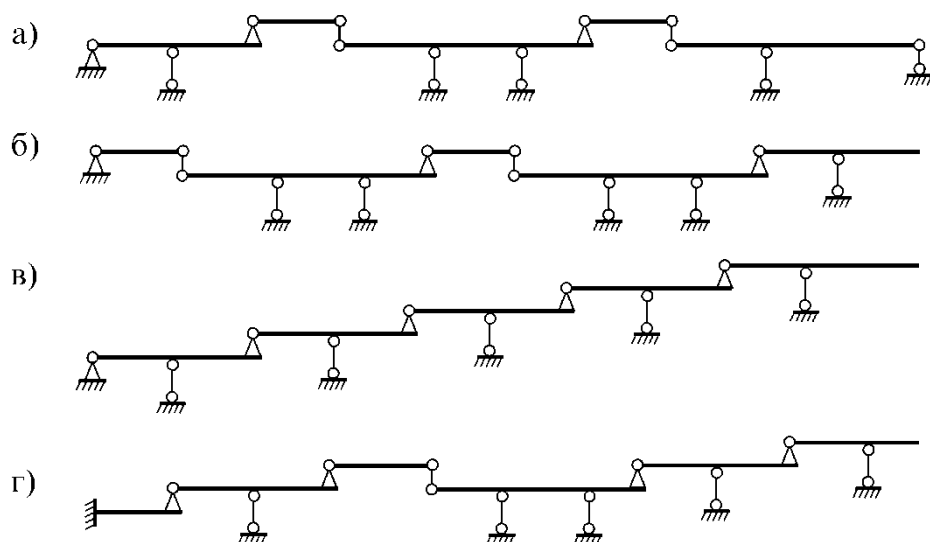
1 - rasm

Ko‘p oraliqli balkaning geometrik o‘zgarmasligi masalasini to‘g‘ri hal etish sistemalarning ishlashi to‘g‘risida to‘laroq tasavvurga ega bo‘lish maqsadida etaj sxemasi quriladi. Etaj sxemasi balkaning alohida elementlari orasidagi bog‘lanishni o‘zida aks ettiradi (2-rasm).

Asosiy balkalar o‘ziga qo‘yilgan yuklardan tashqari osma balkalarga qo‘yilgan yuklarni ham qabul qiladi. Asosiy balkalarga tayanib (opichib) turuvchi balkalarga *osma balkalar* deyiladi. Osma balka ishdan chiqsa, asosiy balkaning ishiga ta’sir qilmaydi. Asosiy balka ishdan chiqsa, osma balka ham qulab tushadi.

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

Ko‘p oraliqli balkalarning hisobi qavatlar sxemasini qurishdan boshlanadi. Mustaqil ravishda avval ikkinchi darajali (osma) balkalar, so‘ngra asosiy balkalar hisoblanadi. Osma balkalar bir nechta bo‘lsa, hisob eng ustki qavatdan boshlanadi. Buning sababi shuki, ustki qavatdagi yukning ta’siri pastki qavatdagi balkalarga ham ta’sir qiladi. Buni hisobga olish uchun ustki balkaning tayanch reaksiyasini pastki balkaga teskari yo‘nalishda qo‘yiladi va pastki balkani hisoblashda uni tashqi kuchlardan biri deb qaraladi. Hisob oxirida alohida qurilgan epyuralar bir o‘q ustida joylashtiriladi.



2 - rasm

Ko‘p oraliqli balkalarning ta’sir chiziqlarini chizish balkaning etaj sxemasini qurishdan boshlanadi. Ta’sir chiziqlarini chizishda balkaga faqat harakatlanuvchi birlik kuch $P = 1$ ta’sir etadi, deb faraz qilinadi. Grafikni chizish jarayonida doimiy yuklar ta’siri e’tiborga olinmaydi.

Osma balkalarda zo‘riqish ularga kuch qo‘yilgan taqdirdagina paydo bo‘ladi. Asosiy balkalarga qo‘yilgan kuch osma balkalarda zo‘riqishlarni hosil qilmaydi.

Asosiy balkalarda sharoit butunlay boshqacha: osma balkalarga qo‘yilgan kuchlar asosiy balkada ham zo‘riqish hosil qiladi. Shu qoidadan kelib chiqib, ko‘p oraliqli balkaning ta’sir chiziqlarini quramiz.

1.3-§. Ko‘p oraliqli statik aniq sharnirli balkalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash.

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

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

Ko'p oraliqli balkalarning hisobi qavatlar sistemasini qurishdan boshlanadi. Mustaqil ravishda avval ikkinchi darajali (osma) balkalar, so'ngra asosiy balka hisolanadi. Osmo balkalar bir netcha bo'lsa, hisob eng ustki qavatdan 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 qaraladi. Hisob oxirida alohida qurilgan epyuralar bir o'q ustida joylashtiriladi.

Misol uchun ko'p oraliqli statik aniq balkaning M va Q epyurasini qurishni ko'rib chiqaylik (3-rasm, a).

Berilgan balkaning qavatlar sistemasini quramiz (3-rasm, b) va hisoblash tartibini belgilaymiz.

Hisob ishlari EF balkadan boshlanadi. Uni asosiy balkadan ajratib olib, mustaqil ravishda M va Q epyurasini quramiz.

Shundan so'ng CD balkasi hisoblanadi. EF balkasiga qo'yilgan yuklarning CD balkasiga bo'lgan ta'siri R_B reaksiyasi orqali hisobga olinadi. O'z navbatida CD va EF balkalariga qo'yilgan yuklarning AB balkasiga bo'lgan ta'siri R_C reaksiyasi orqali hisobga olinadi (3-rasm, v).

Ikkkinchi darajali balkalar hisobi tugagach, asosiy balka AB hisoblanadi. Hisob oxirida alohida hisoblangan epyuralar umumiy o'q ustiga joylashtiriladi (3-rasm, g).

1-Misol: Ko'p oraliqli statik aniq balkaning M va Q epyurasi qurilsin (3-rasm).

Echish: Berilgan balkaning etaj sxemasini quramiz (3-rasm, b) va hisoblash tartibini belgilaymiz. Hisoblash ishlari EF balkadan boshlanadi. Uni asosiy balkadan ajratib olib, mustaqil ravishda M va Q epyuralari quriladi. Shundan so'ng CD balkasida hisoblash olib boriladi. EF balkasiga qo'yilgan yuklarning CD balkasiga bo'lgan ta'siri R_E reaksiyasi orqali hisobga olinadi. O'z navbatida CD

va EF balkalariga qo'yilgan yuklarning AB balkasiga bo'lgan ta'siri R_C reaksiyasi orqali hisobga olinadi (3-rasm, c).

Ikkinchi darajali balkalar hisobi tugagach, asosiy balka AB hisoblanadi. Hisob oxirida alohida hisoblangan epyuralar umumiy o'q ustiga joylashtiriladi (3-rasm, d).

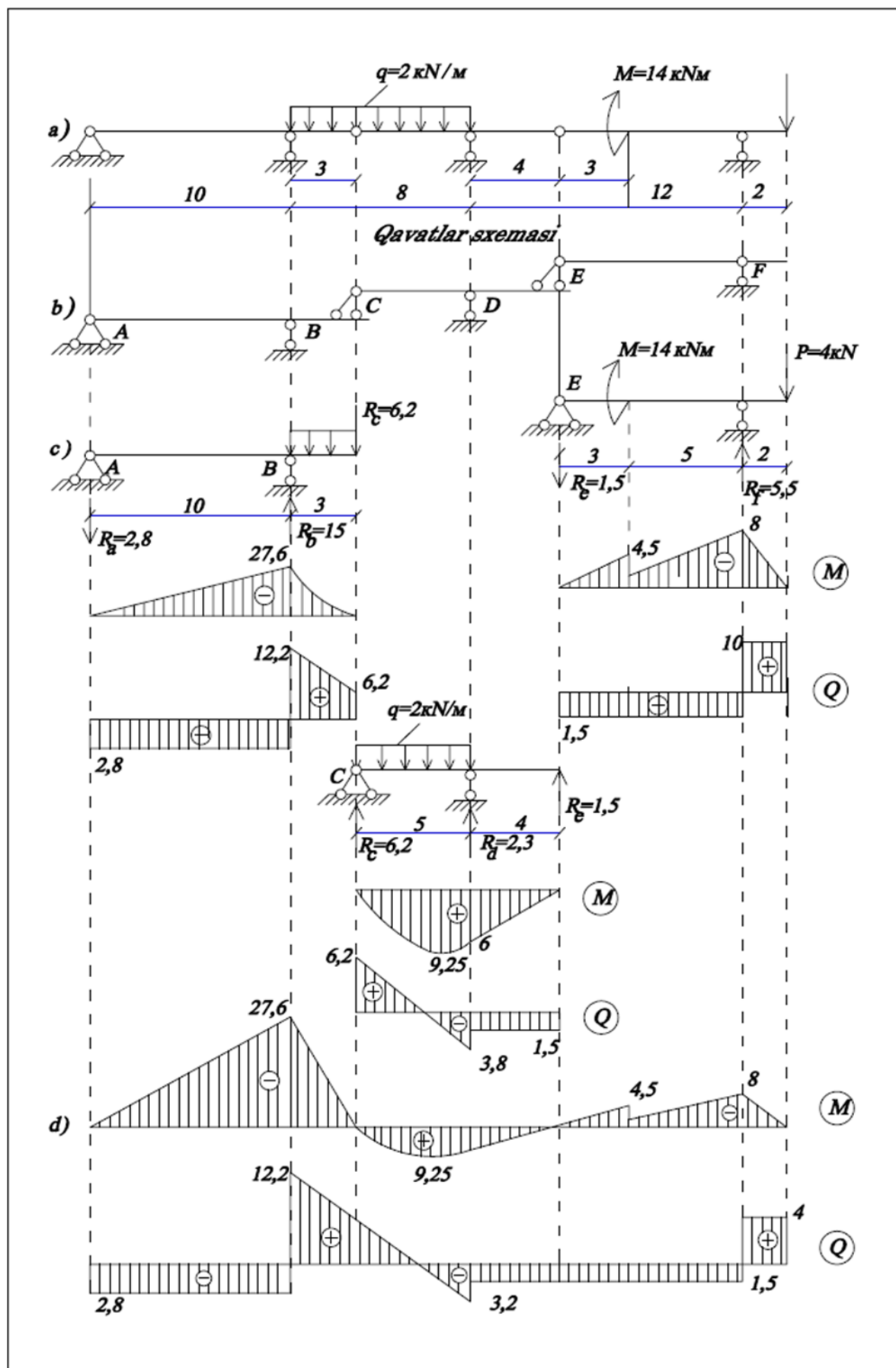
1.4-§. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar uchun zo'riqlarning ta'sir chiziqlarini qurish.

Ko'p oraliqli balka zo'riqlarining ta'sir chiziqlarini qurish birlik ko'chma yuk ($P=1$) ta'siridagi oddiy va konsolli balkalarni hisoblash qoidalariga asoslangan. Ta'sir chizig'ini qurishdan oldin ko'p oraliqli balka elementlarining o'zaro bog'lanish sxemasi chizib olinadi.

Asosiy va osma (ikkinchi darajali) balkalar uchun ta'sir chizig'ini qurish konsolli yoki oddiy balkalar uchun ta'sir chizig'ini qurishdan farq qilmaydi. Asosiy balka uchun ta'sir chizig'ini qurishda avval ($P=1$) ko'chma yukning shu asosiy balka ustida, so'ngra o'nga tayangan osma balkalar ustida harakatlanishi ko'rib chiqiladi. Bunda asosiy balkaga tayangan osma balkalarning ta'sirini etiborga olish uchun ta'sir chizig'ining ikki tugun orasidagi to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgarish xossasidan foydalaniladi.

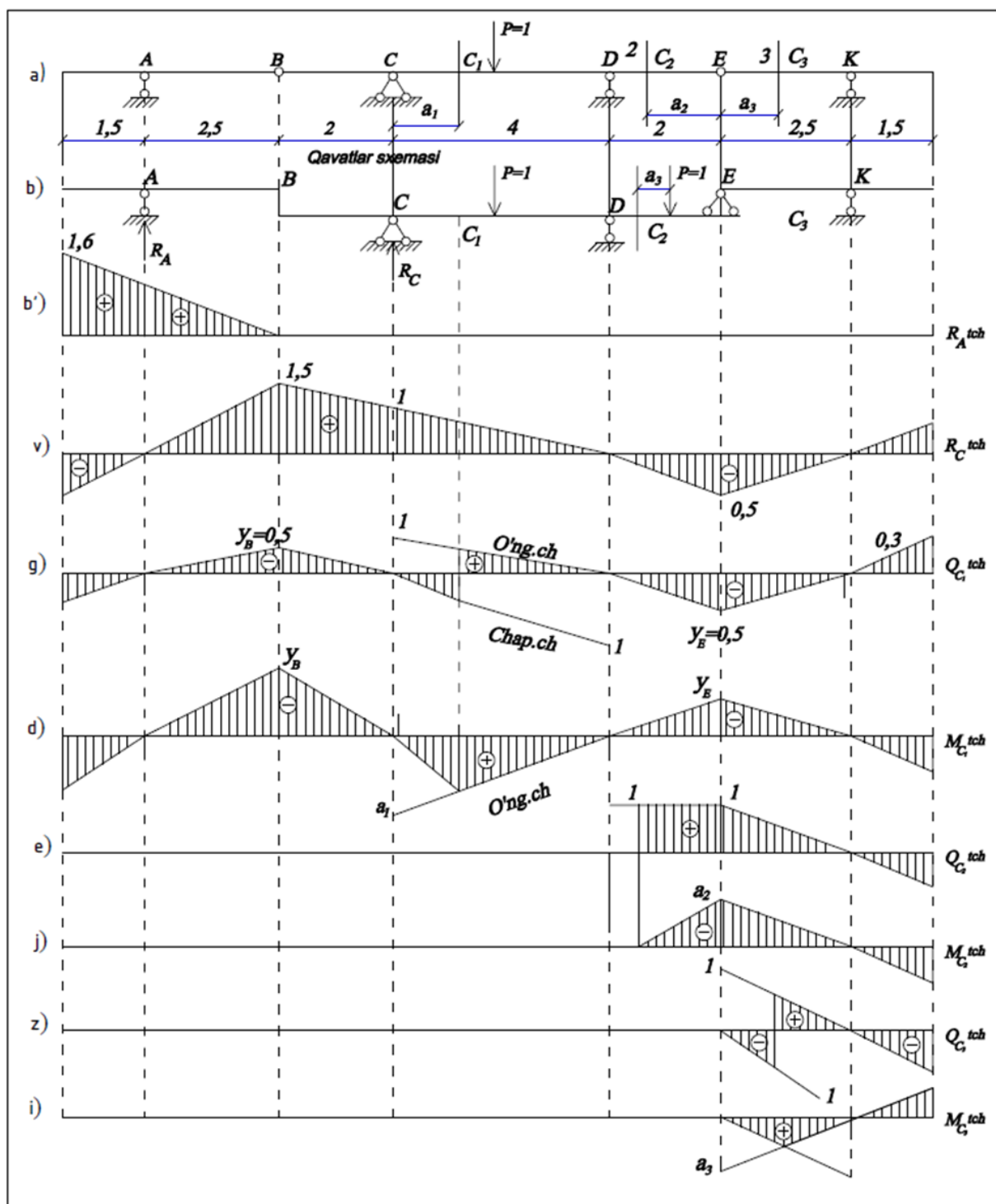
Osma balka zo'riqlarining ta'sir chizig'ini chizishda ko'chma birlik yukning ($P=1$) shu balka ustida harakat qilgan holati tekshiriladi, chunki ($P=1$) yuk asosiy balka ustiga o'tganida uning zo'riqlari nolga teng bo'ladi.

Misol: Ko'p oraliqli balkaning R_A , R_C tayanch reaksiyalari va rasmda ko'rsatilgan C_1 , C_2 va C_3 ko'ndalang kesimlari uchun Q_C , M_C ta'sir chiziqlari chizilsin (4 a – rasm). Balka elementlarining o'zaro bog'lanish sxemasi (4.b- rasm) da ko'rsatilgan.



3-rasm

R_A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizish. AB element osma balka bo'lgani sababli, $P=1$ ko'chma yuk bu element ustida harakatlanganda A tayanchda reaksiya hosil bo'ladi. Demak, R_A ning ta'sir chizig'ini chizish bir konsolli balka uchun ta'sir chizig'ini chizishdan farq qilmaydi (4. b-rasm).



4-rasm

BCDE element asosiy balka bo'lganligi uchun avval $P=1$ ko'chma yukning shu ikki konsolli balka bo'ylab harakatlanishini ko'rib chiqamiz va bu hol uchun R_C reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizamiz, so'ngra $P=1$ yukning ikkinchi darajali balkalar ustida harakatlanish holatini tekshiramiz. $P=1$ yuk AB element bo'ylab B sharnirdan chap tomonga uzoqlashsa, R_C reaksiyasining qiymati kamayib boradi va u A tayanchning ustiga keladigan R_C reaksiyasining qiymati nolga teng bo'ladi. $P=1$ ko'chma yuk AC osma balka bo'ylab harakatlansa, asosiy balkadagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgarib boradi. Bu o'zgarish chap tomonidagi konsolning oxirigacha davom etadi (4. v – rasm).

$P=1$ ko'chma yuk ikkinchi EK osma balka bo'ylab o'ng tomonga harakatlanganda R_C reaksiyasining qiymati kamayib borib, yuk K tayanch ustida bo'lganda nolga teng bo'ladi. Demak, E sharnir bilan K tayanch orasidagi R_C reaksiyasining ta'sir chizig'i to'g'ri chiziq bo'ylab o'zgarishi sababli, bu kesimlar ostidagi ordinatalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtirib uni konsol oxirigacha davom ettiramiz (4. v – rasm).

Q_{c_1} ta'sir chizig'ini qurish (4. g – rasm). C_1 kesim asosiy balkaning ko'ndalang kesim bo'lganligi uchun, avval $P=1$ yukning asosiy balka bo'ylab harakatlanishini tekshiramiz. $P=1$ ko'chma yuk I – I kesimning chap tomonida bo'lganda $Q_{c_1}^{chap} = -R_D$; o'ng tomonida bo'lganda esa $Q_{c_1}^{o'ng} = -R_c$ bo'ladi. Bu chap va o'ng chiziqlarini chizamiz (4. e – rasm). Endi $P=1$ yukning EK osma balka bo'ylab harakatlanishini tekshiramiz. $P=1$ yuk E sharnir ustida bo'lganda esa $Q_{c_1}^{o'ng} = YE = 0,5$; K tayanch ustida bo'lganda esa $Q_{c_1}^{o'ng} = 0$ bo'ladi. Bu ordinatalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtirib, uni konsol oxiriga davom ettiramiz.

$P=1$ yuk AB osma balkaning B sharniri ustida bo'lganda $Q_{c_1}^{o'ng} = YB = -0,5$.

Zo'riqishlarni hisoblash

Harakatlanuvchi yuklar ta'sirida bo'lgan ko'p oraliqli statik aniq balkalarni yuqoridagi oddiy balkalar uchun bayon etilgan usullardagi kabi hisoblanadi.

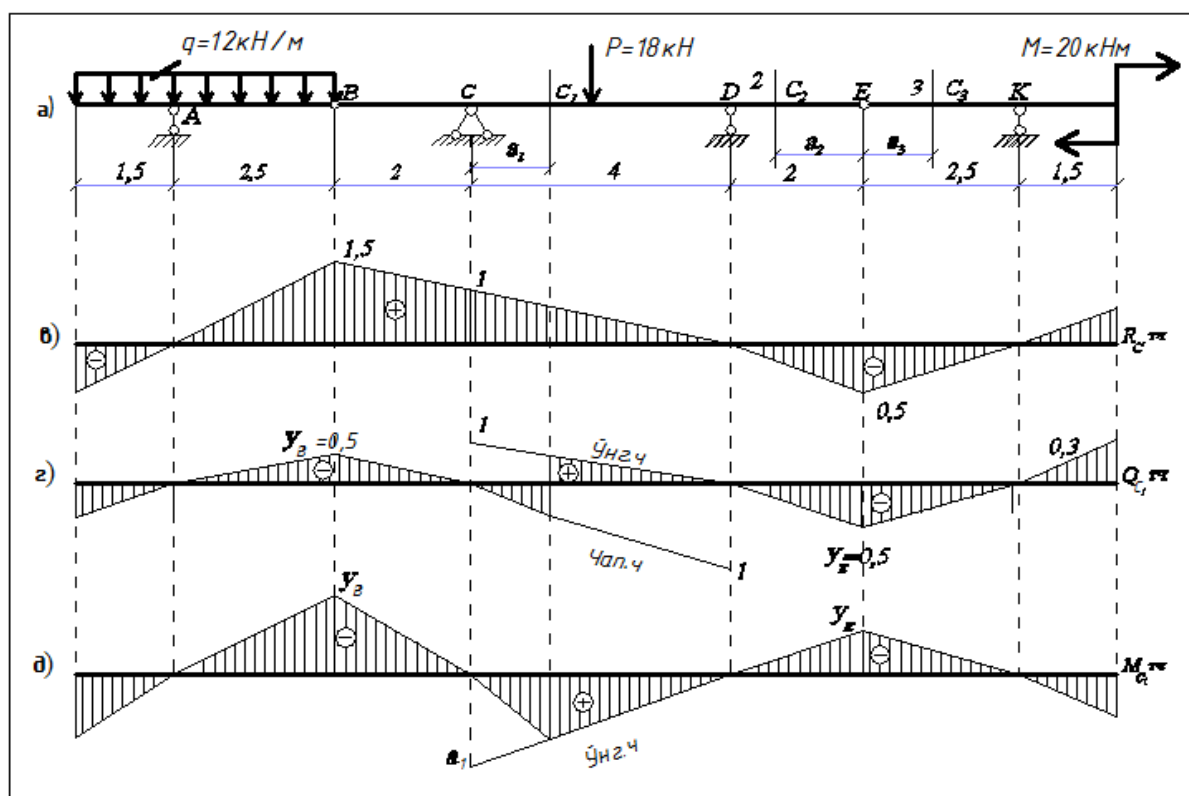
Buning uchun dastlab zo'riqlari aniqlanadigan kesimlar uchun ta'sir chiziqlari quriladi (4– rasm).

Misol tariqasida 4 – rasmda berilgan balka uchun R_B reaksiyasini, M va Q zo'riqlarni hisoblashni ko'raylik. Buning uchun ta'sir chiziqlari yordamida hisoblash formulasidan foydalanamiz.

$$S = \sum P_i \cdot y_i + \sum q_i \cdot \varpi_i + \sum M_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i :$$

$$\begin{aligned} R_c = P \cdot y + q(\varpi_2 - \varpi_1) + M \operatorname{tg} \alpha &= 18 \cdot 0,5 + 12\left(\frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 2,5 - \frac{1}{2} \cdot 0,9 \cdot 1,5\right) + 20 \cdot \frac{0,3}{1,5} = \\ &= 9 + 14,4 + 4 = 27,4 \text{ kH} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{C_1} = P \cdot y + q \varpi + M \cdot \operatorname{tg} \alpha &= 18 \cdot 0,6 + 12\left(\frac{1}{2} \cdot 0,94 \cdot 1,5 - \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot 2,5\right) - 20 \cdot \frac{0,36}{1,5} = \\ &= 10 + 12(0,06 - 1,75 + 4,8) = 2,16 \text{ kH} \cdot \text{m} \end{aligned}$$



5-rasm

$$\begin{aligned} Q_{C_1} = P \cdot y + q \varpi + M \cdot \operatorname{tg} \alpha &= 18 \cdot 0,5 + 12\left(\frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 2,5 - \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot 1,5\right) + \\ &+ 20 \cdot \frac{0,3}{1,5} = 9 + 4,8 + 4 = 17,8 \text{ kH} \end{aligned}$$

Ko'p oraliqli balkalarning ta'sir chiziqlarini chizish balkaning etaj sxemasini qurishdan boshlanadi (5-rasm, a, b). Ta'sir chiziqlarini chizishda balkaga faqat harakatlanuvchi birlik kuch $P=1$ ta'sir etadi, deb faraz etiladi. Grafikni chizish jarayonida doimiy yuklar ta'siri e'tiborga olinmaydi.

Osma balkalarda zo'riqish ularga kuch qo'yilgan taqdirdagina paydo bo'ladi. Asosiy balkalarga qo'yilgan kuch osma balkalarda zo'riqishlarni uyg'otmaydi.

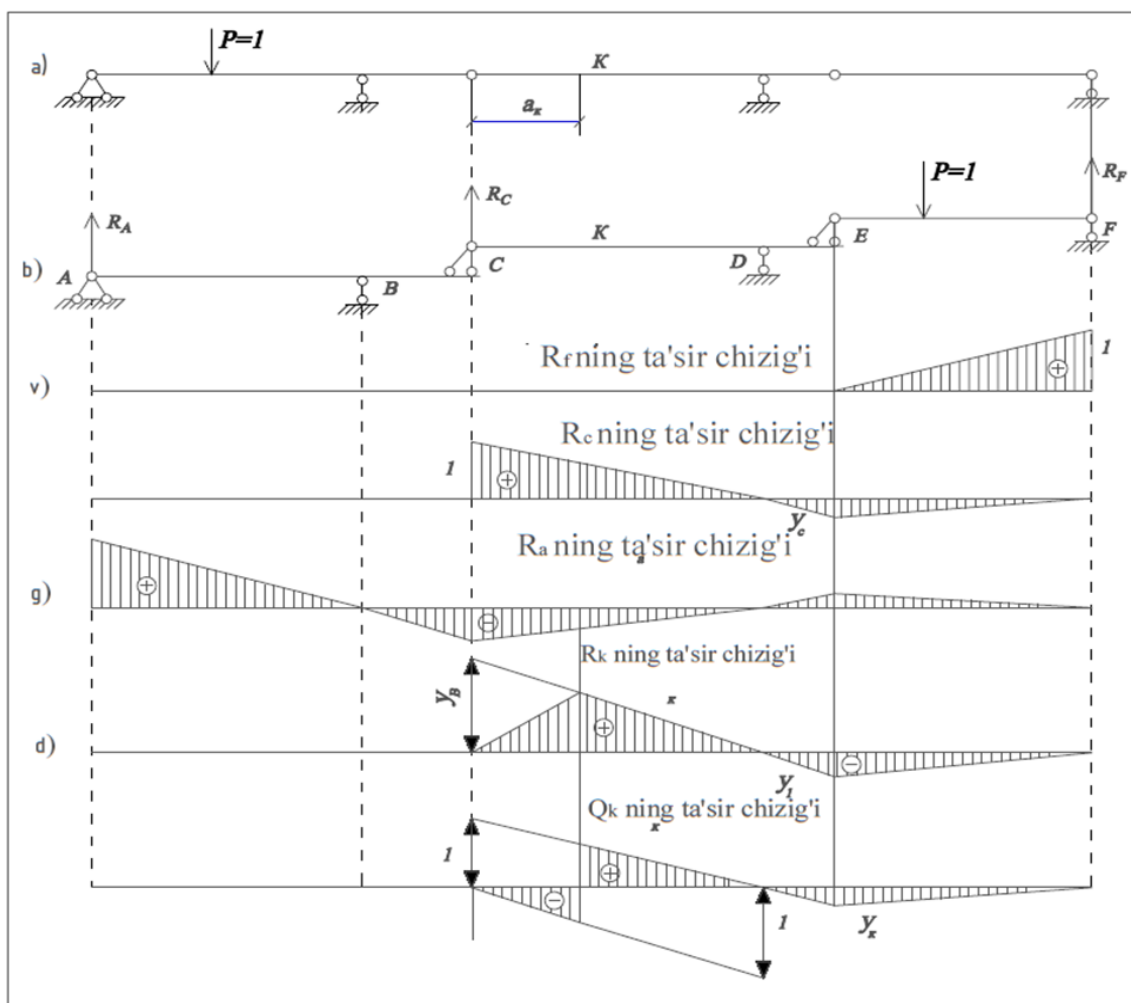
Asosiy balkalarda sharoit butunlay boshqacha: osma balkalarga qo'yilgan kuchlar asosiy balkada ham zo'riqish uyg'otadi. Shu qoidadan kelib chiqib, ko'p oraliqli balkaning ta'sir chiziqlarini quramiz.

Osma balkaga tegishli R_f tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i oddiy balkalarnikidan farq qilmaydi (6-rasm, v).

R_c reaksiyasining ta'sir chizig'ini qurishda CD konsolli balkaning o'zi berilgan (unga tutashgan AB va EF balkalari yo'q deb) faraz qilamiz va shu balkaning o'zi uchun ta'sir chizig'ini quramiz.

R_c harakatlanuvchi birlik kuch $P=1$ C nuqtaga kelganda, R_c reaksiyasining qiymati birga teng bo'ladi ($R_c = 1$). Kuch E nuqtasiga kelganda, ($R_c = V_c$) bo'ladi. Endi birlik kuch AB va EF balkalari bo'ylab harakat qilganda, R_c reaksiyasini qay tariqa o'zgarishini ko'rib o'tamiz.

Kuch AB balkasida yurganda R_c ga ta'sir etmaydi, ya'ni $R_c = 0$ bo'ladi. Kuch EF balkasida yurganda R_c ga ta'sir etadi. Kuch E nuqtasida bo'lganda R_c ning qiymati V_e ga teng ekanligini bilamiz. Birlik kuch F tayanchga yaqinlashgan sari uning R_c ga bo'lgan ta'siri kamayib boradi. $P=1$ kuchi F nuqtasiga kelganda $R_c = 0$ bo'ladi, chunki kuchning ta'sirini F tayanchi to'liq o'ziga qabul qilib oladi. Shuning uchun, V_e ordinatasi F tayanchi ostidagi nol nuqta bilan tutashtiriladi (5-rasm, v). R_c ning ta'sir chizig'i AB balkasidan boshlanib to'g'ri chiziqlar konsol qismiga davom etkaziladi (5-rasm, v).



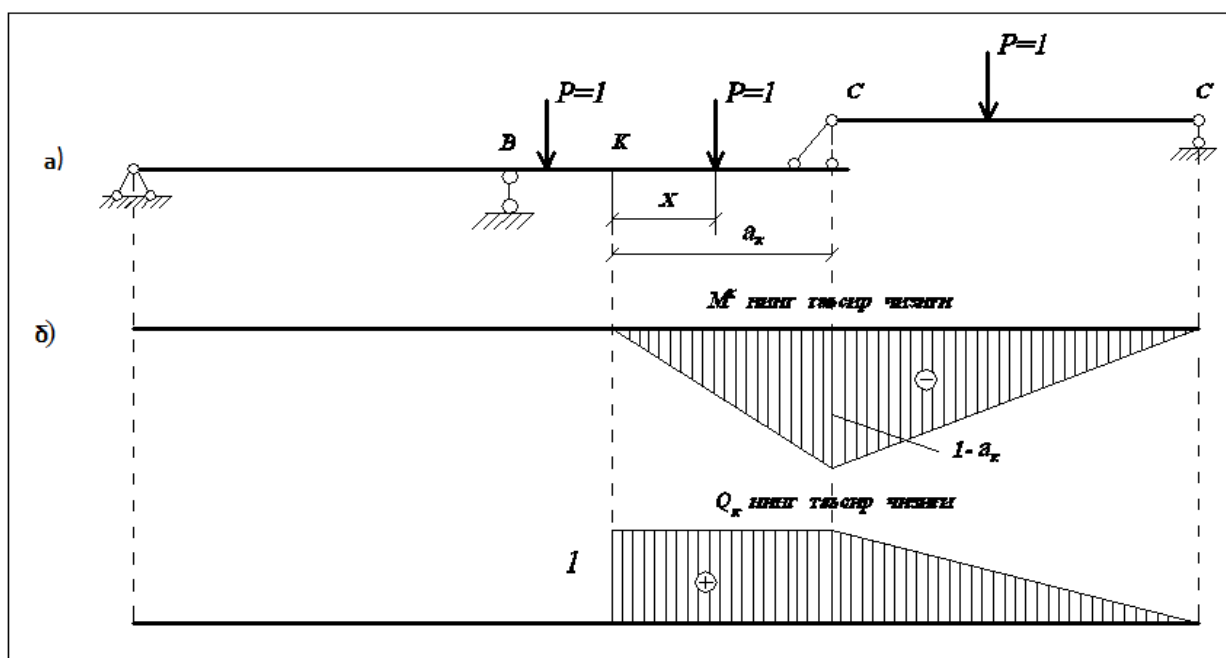
6-rasm

Endi eguvchi moment va qirquvchi kuchlarning ta'sir chizig'ini quramiz. K kesimi uchun M_K va Q_K ta'sir chizig'ini qurish talab etilsin (6-rasm, a). K kesimi CD balkaga qarashli. CD balka AB balkaga nisbatan ikkinchi darajali, EF nisbatan esa asosiy balka hisoblanadi. Bu shuni anglatadiki, $P=1$ kuchi AB balkasi bo'ylab harakatlanganda K kesimida M va Q ham hosil bo'lmaydi. Konsolli CD balkasi uchun ta'sir chiziqlari oddiy balkadagi singari quriladi. Kuch EF balkasida harakatlanganda, CD balkasining K kesimidagi ichki kuchlarga ta'sir etadi. Kuch E nuqtasida turganda $Q_K = y_2$; $M_K = y_1$ bo'ladi. Kuch F nuqtasiga ta'sir etganda, $M_K = 0$; $Q_K = 0$ bo'ladi.

Shunga ko'ra, u ham y_2 , ham nol bilan tutashtiriladi. Hosil bo'lgan grafik M_K va Q_K ning ta'sir chiziqlari deb ataladi (6-rasm, g).

Ba'zan K kesimi balkaning konsol qismida berilishi mumkin (7-rasm, a). U holda M_K va Q_K ning ta'sir chizig'i kesimning konsolda yotganligini hisobga olgan holda quriladi. Birlik kuch kesimdan chapda harakatlansa, K kesimda hech qanday zo'riqish hosil bo'lmaydi.

Kuch KC oralig'ida bo'lsa, $M_K = 1 \cdot x$ va $Q_K = 1$ bo'ladi. Kuch CD balkasi ustida harakatlansa, M_K va Q_K uchburchak qonuni bo'yicha o'zgaradi. (7-rasm, b).



7-rasm

1.5-§. Ta'sir chiziqlar yordamida zo'riqishlarni aniqlash.

Tashqi yuklar sistema sterjenlarida ichki kuchlanish holatini keltirib chiqaradi, ular har bir ko'ndalang kesimda ma'lum kattalik va ishoradagi ichki zo'riqishlar: eguvchi moment, kesuvchi va bo'yлама kuchlar ko'rinishida ifodalanadi.

Kesimdagi eguvchi moment M , shu kesim og'irlik markaziga nisbatan, uning chap yoki o'ng qismiga qo'yilgan barcha kuchlardan momentlarning algebraik yig'indisiga teng. Bu yerda va bundan buyon, tayanch reaksiyalarini tashqi kuchlar deb hisoblaymiz.

Kesuvchi kuch Q , kesim o'qiga perpendikulyar o'tkazilgan o'qqa, kesimning chap yoki o'ng tomonidagi barcha kuchlar proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng.

Bo‘ylama kuch N , kesimning chap yoki o‘ng tomonidagi barcha kuchlarning kesim o‘qiga proeksiyalarining algebrik yig‘indisiga teng.

Agar biror C kesimning eguvchi momenti M , kesuvchi kuchi Q va bo‘ylama kuchi N chap qismining muvozanat tenglamalaridan topilsa, u holda quyidagi umumiy formulalardan aniqlanadi

$$M_C = \sum M^{chap}; Q_C = \sum Y^{chap}; N_C = \sum X^{chap} \quad (1)$$

Agarda o‘ng qismining muvozanat shartidan topilsa, keltirilgan formulalar teskari ishoralar bilan olinadi:

$$M_C = -\sum M^{o'ng}; Q_C = -\sum Y^{o'ng}; N_C = -\sum X^{o'ng} \quad (2)$$

Sistema har bir elementi uzunligi bo‘yicha ichki zo‘riqlishlarni o‘zgarishini ifodalovchi grafik eguvchi moment M , kesuvchi kuch Q va bo‘ylama kuch N larning epyuralari bo‘ladi.

Ramalarni (balkalarni) hisoblashda, tayanch reaksiyalari aniqlangandan so‘ng, rama tugunlarida uchrashuvchi sterjenlarning chekka kesimlaridagi, tashqi to‘plangan kuchlar (M epyurasining sinish nuqtasi) va momentlar (M epyurasidagi sakrash) qo‘yilgan nuqtalarda eguvchi momentlar aniqlanadi: intensivligi q ga teng yassi yoyilgan yuk qo‘yilgan bo‘lakda egri chiziqli epyura olish uchun, chekka kesimlari bo‘yicha olingan epyuraga o‘rta kesimida $\frac{ql^2}{8}$ ordinatali parabola shaklidagi M epyurasi hosil bo‘ladi.

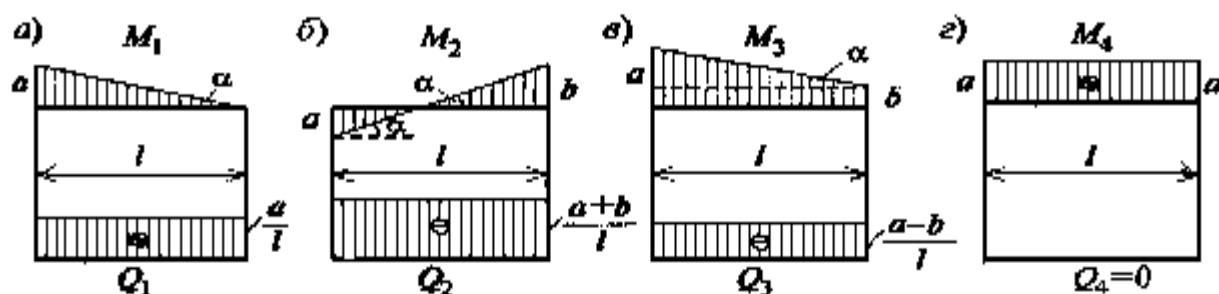
Ramalar uchun M epyurasida ishoralar qo‘yilmaydi, eguvchi moment epyurasining o‘zi *cho‘zilgan* tolalar tomoniga quriladi.

Agar balkaga ta’sir qiluvchi eguvchi moment uning ostki tolalarini cho‘zsa, musbat ishorali bo‘ladi. Ramaning M epyurasini qurishda cho‘zilgan tolaga avtomatik ravishda tushish uchun uning har bir elementini gorizonta deb yoki o‘zingizni, rama ichida yuzi bilan uning har bir elementiga navbati bilan burilayotgan, kuzatuvchi sifatida tasavvur qiling. Bu va boshqa holatlarda, olingan, eguvchi momentning musbat qiymatini sterjen o‘qidan pastga (kuzatuvchiga), manfiy qiymatni esa yuqoriga (kuzatuvchidan) qo‘yamiz. Agar berilgan ramani

xarakterli nuqtalar orqali qirqim berish yordamida qator konsol balka va siniq o'qli konsol balkalarga ajratilsa, bizni qiziqtirgan kesimlardagi cho'zilgan tolalarni shu kesimning momentiga eng katta hissa qo'shgan bitta yukdan aniqlash mumkin. Q epyurasini M epyurasi bo'yicha $Q = dM / dx = tg\alpha$ bog'lanishni hisobga olib quriladi, ya'ni kesuvchi kuch miqdor jihatidan shu kesimdagi moment epyurasiga urinmaning qiyalik burchagi tangensiga teng. Agar M epyurasi to'g'ri chiziqli bo'lsa, u holda α -epyura chizig'i bilan sterjen o'qi orasidagi burchak. Q ning ishorasini aniqlash uchun sterjen o'qini M epyurasi bilan ustma-ust kelguncha burish kerak. Agar burilish soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha bo'lsa, ishora «musbat», teskari bo'lsa «manfiy».

Boshqa qoida: agar sterjenning qirqilgan qismi qarama-qarshi tomonga nisbatan soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha buralsa, kesuvchi kuch musbat hisoblanadi. 8, a...g-rasmlarda to'g'ri chiziqli moment epyuralari va ularga mos kesuvchi kuch epyuralari keltirilgan.

Yassi yoyilgan yukli bo'lakda eguvchi moment qabariqli q yuki yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan kvadrat parabola qonuniyati bo'yicha, kesuvchi kuch esa chiziqli qonuniyat bo'yicha (sterjen o'qiga og'ma to'g'ri chiziq) o'zgaradi.



8-rasm

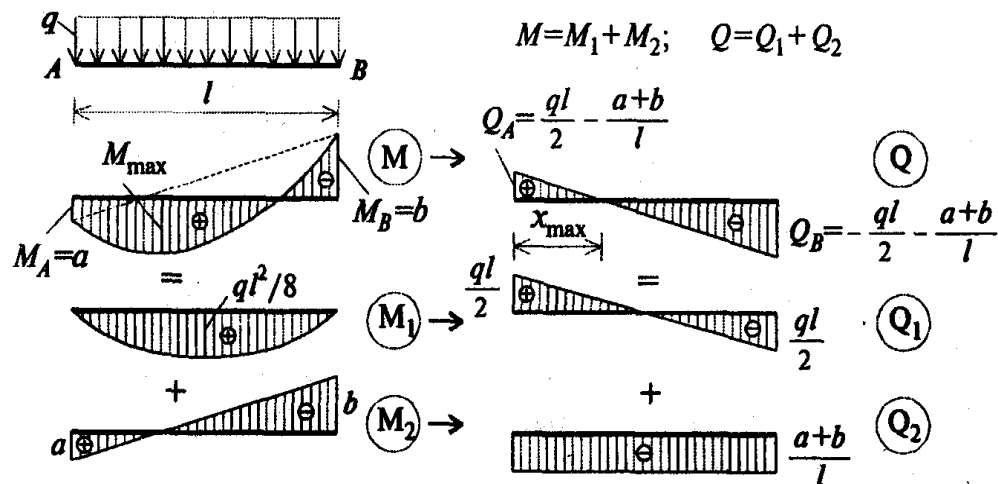
Shunday holatlarda kesuvchi kuch epyularini qurishda qulay bo'lishi uchun M epyurasini ikkita tashkil etuvchilarga ajratish tavsiya qilinadi: kvadrat parabola va trapetsiyaga yoki uchburchakka.

Har bir tashkil etuvchilar uchun o'zining Q epyurasi quriladi, ularning yig'indisi shu bo'lak uchun yakuniy epyura bo'ladi (8-rasm).

Q epyurasi sterjen o'qini kesib o'tgan ($Q = 0$) kesimlarda eguvchi moment eng katta yoki eng kichik qiymatlarga teng bo'ladi. Materiallar qarshiligi kursidan

ma'lumki, $x_{\max} = QA/q$, $M_{\max} = M_A + \Omega_Q$, bu erda $\Omega_Q = Q_A x_{\max}/2 - A$ dan $X_{\max}$ gacha bo'lakdagi Q epyurasining maydoni; M_A o'z ishorasi bilan olinadi.

Agar bo'ylama kuch N sterjenni cho'zsa, ya'ni tugundan ketuvchi yo'nalishda bo'lsa musbat hisoblanadi. Bo'ylama kuch epyurasi kesuvchi kuch epyurasi bo'yicha tugun kesish usulida quriladi, tugun kesish ikki sterjenli tugundan boshlanadi.



9-rasm

Kesilgan tugun har bir sterjeniga Q epyurasidan olingan kesuvchi kuchlar qo'yiladi. «Musbat» ishorali kesuvchi kuch tugunni soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha, «manfiy» ishorali esa teskari buraydi. Shundan so'ng sterjen bo'ylab tugundan ketuvchi musbat bo'ylama kuchlar qo'yiladi va barcha kuchlarning x va y o'qlariga proeksiyalarining yig'indisi ko'rinishida ikkita muvozanat tenglamalari tuziladi. Agar tugunga tashqi to'plangan kuch qo'yilgan bo'lsa, albatta $\sum X = 0$ va $\sum Y = 0$ tenglamalarini tuzishda hisobga olinadi.

Uch sterjenli (to'rt sterjenli va hokazo) tugunlar qaralganda, albatta bo'ylama kuchlardan biri (ikkitasi va hokazo) oldindan topilgan bo'lishi kerak.

Juda ko'p hollarda izlanuvchi bo'ylama kuchlar, tugun uchun muvozanat tenglamalarini yozmasdan, dilda aniqlanishi mumkin (mantiqiy mulohazalar yo'li bilan). Har bir sterjen uchun ikki qo'shni tugunlar orasida N epyurasi to'g'ri to'rtburchak ko'rinishida bo'ladi (bo'ylama yuk qo'yilmaganda).

M , Q , N epyuralarini qurishda va ularning to'g'riligini tekshirish uchun quyida keltirilgan qoidalar qo'llaniladi:

1. Sterjenning yuklanmagan bo'lagida M epyurasi to'g'ri chiziqli, Q epyurasi doimiy (to'rt burchakli ko'rinishda) bo'ladi.

2. Sterjen bo'lagining to'plangan kuchlar F qo'yilgan nuqtasida M epyurasida kuch ta'siri tomoniga yo'nalgan sinish bo'lishi kerak, Q epyurasida esa qo'yilgan F kuchi kattaligi bo'yicha teng sakrash bo'ladi. N epyurasida buning ta'siri bo'lmaydi (8, a-rasm).

3. Sterjen bo'lagining to'plangan moment m qo'yilgan nuqtasida qo'yilgan moment m kattaligi bo'yicha teng sakrash bo'lishi kerak, m epyurasining bu nuqtadan chap va o'ng tarmoqlari parallel bo'lishi kerak.

Bu Q va N epyuralariga ta'sir qilmaydi (8, b-rasm).

4. Yassi yoyilgan yuk bilan yuklangan bo'lakda M va Q epyurasining holati yuqorida yozilgan (8-rasm).

5. To'plangan moment bilan yuklanmagan ikki sterjenli tugunning muvozanat shartidan, momentlar epyurasi tashqi toladan tashqariga, ichki toladan ichkariga ko'chiriladi (8, c-rasm).

6. Agar sharnirga cheksiz yaqin kesimga tashqi to'plangan moment qo'yilmagan bo'lsa, sharnirda moment nolga teng.

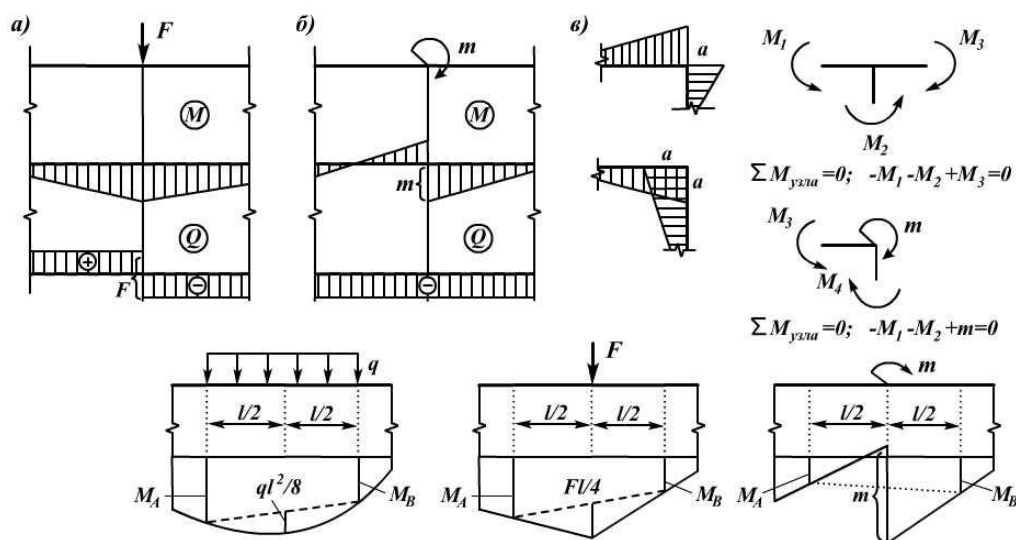
7. Agar sterjen uchiga tashqi to'plangan moment m qo'yilgan bo'lsa, u holda ichki eguvchi moment shu moment m ga teng, qo'yilmagan taqdirda esa ichki moment nolga teng.

8. Ramaning hamma tugunlari uchun (8, d-rasm) quyidagi shart bajarilishi kerak

$$\sum M_{tugun} = 0.$$

9. Agar q yuki yoki F , yoki m bilan yuklangan l uzunlikdagi sterjenning to'g'ri chiziqli bo'lagida momentlar epyurasining ikki chekka ordinatalari ma'lum bo'lsa, u holda unga balkaning ma'lum moment epyurasini qurish kerak.

10. Q va N epyuralarini tekshirish uchun ramani tayanchlardan ajratiladi, ularning ta'siri Q va N epyuralaridan olingan ichki kuchlar bilan almashtiriladi. So'ngra tashqi yuklarni ham hisobga olib $\sum X = 0$, $\sum Y = 0$ muvozanat tenglamalari tuziladi.

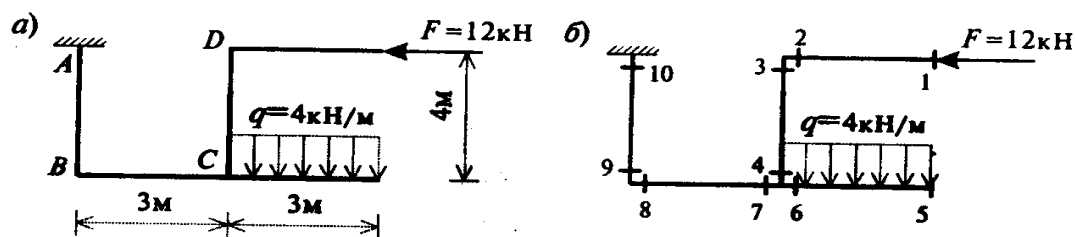


10-rasm

Oxirida, materiallar qarshiligi kursida qaralgan, oddiy balkalar uchun ichki zo'riqishlar epyuralarining jadvalini keltiramiz (balkalarning deformatsiyasi punktir chiziqda ko'rsatilgan), III-jadval. Turli sistemalarda ichki zo'riqish epyuralarini qurishga bir necha misollar ko'ramiz.

1.6-§. Eguvchi moment epyuralarini qurish.

2-Misol. Siniq o'qli konsol balkaning M , Q , N epyuralari qurilsin (11, a-rasm).

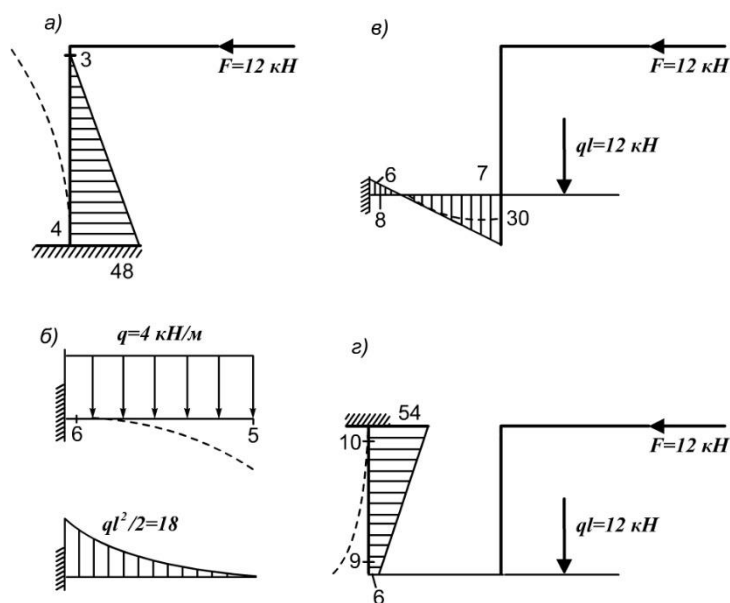


11-rasm

Siniq o'qli konsol balkalarda M epyurasi qistirib mahkamlangan tayanchdagi reaksiyalarni aniqlanmasdan quriladi. Uni qurish uchun eguvchi momentning bir

necha xarakterli kesimlardagi qiymatlarini topish zarur (11, 6-rasm).

1-2 sterjenda $F=12\text{ kN}$ kuchi unga bo'ylama ta'sir qilganligi sababli $M_1=M_2=0$ (F kuchining 1 va 2 nuqtalarga nisbatan yelkasi nolga teng) D tugunning muvozanatidan $M_3=0$ kelib chiqadi. 3–4 sterjenida yuk yo'qligi



12-rasm

sababli M epyurasi to'g'ri chiziqli bo'ladi. To'g'ri chiziqni qurish uchun sterjen uchlaridagi momentlarni topish kerak. 3-nuqtadagi moment ma'lum va u nolga teng. 4-nuqtadagi momentni aniqlash uchun u orqali kesim o'tkazamiz va pastki qismini qistirilgan tayanch bilan birgalikda tashlab yuboramiz, kesimning o'zini esa hayolan qistirilgan tayanch qilib mahkamlaymiz (12, a-rasm).

Dastlab 4-nuqtadagi momentning son qiymatini aniqlaymiz:

$M_4 = F \cdot 4 = 12 \cdot 4 = 48 \text{ kN}\cdot\text{m}$. F kuchi ta'siridan vertikal sterjen 12, a-rasmda ko'rsatilganidek egiladi, ya'ni o'ng tolalar cho'ziluvchi bo'ladi. Shunday ta'sir va fikrlashdan so'ng ustunning o'ng tomoniga M epyurasini chizish mumkin (12, a-rasm). Bu epyurani darhol chizish mumkin edi (1-jadval, 5-vaziyat).

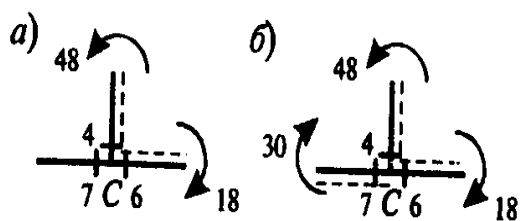
So'ngra 6-nuqta orqali kesim o'tkazamiz, qistirilgan tayanch bilan chap qismini tashlab yuboramiz, kesimning o'zini yuqoridagidek hayolan mahkamlaymiz (12, 6-rasm). Konsol balkaning deformatsiyasini ifodalovchi punktir chiziq yuqorigi tolalar cho'ziluvchi bo'lishini ko'rsatadi, shunday balka uchun moment ma'lum formula bo'yicha hisoblanadi:

$$M_6 = -\frac{ql^2}{2} = -\frac{4 \cdot 3^2}{2} = -18 \text{ kN}\cdot\text{m}.$$

5-6 sterjen uchun jadvaldan olingan moment epyurasi (I-jadval, 4-vaziyat) 12, b-rasmda keltirilgan.

№ д/л	юкланиш шакллари M, Q эюралари	№ д/л	юкланиш шакллари M, Q эюралари	№ д/л	юкланиш шакллари M, Q эюралари		
1	q $R_A = R_B = ql/2$ $ql^2/8$ $ql/2$	2	F $R_A = R_B = F/2$ $Fl/4$ $F/2$	3	m $R_A = R_B = m/2$ $ml/2$ $m/2$	4	m $R_A = 0, R_B = m$ ml m
5	F $R_A = 0, R_B = F$ Fl F	6	m $R_A = 0, R_B = m$ ml m				

7 va 8-kesimlar orasidagi sterjen bo'lagida yuk bo'lmaganligi sababli, M epyurasi to'g'ri chiziqli bo'ladi va uni qurish uchun ikki nuqtada (7 va 8) momentlar qiymatini hisoblash yetarli bo'ladi. 7-kesimdagi momentni uch sterjenli S tugunining muvozanat shartidan topamiz (13-rasm).



13-rasm

3-4 sterjenida o'ng tolalar cho'ziluvchi bo'ladi. Tugunda buni yoysimon strelka ko'rinishida grafik tasvirlanadi, uning boshlanishi sterjenning cho'ziluvchi tomonidan joylashadi. So'ngra, faqat shu sterjenni kesib o'tmay aylanamiz, yoysimon strelka oxirini ko'rsatuvchi strelka qo'yiladi va moment qiymati yoziladi (13, a-rasm).

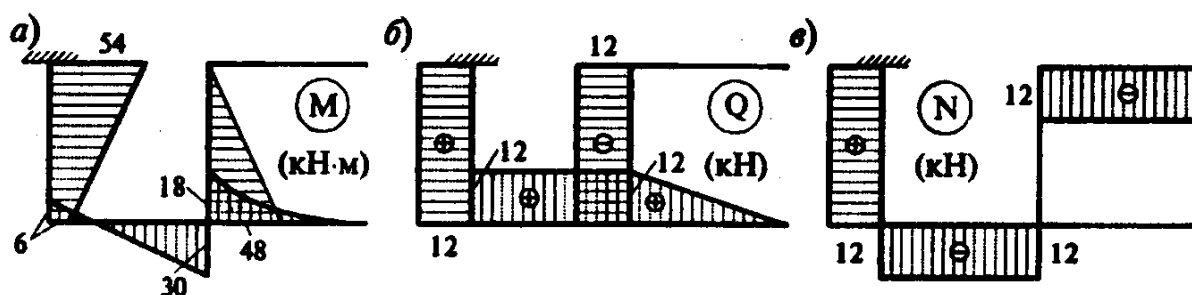
5-6 gorizontaal sterjenida yuqori tolalar cho'ziluvchi bo'ladi. Shuning uchun yoysimon strelka boshlanishini sterjen tepasidan qo'yamiz va uni kesmay soat strelkasi harakati bo'yicha aylanamiz (13, a-rasm). C tugundagi muvozanatlashmagan momentning algebraik yig'indisi 30 kN·m ga teng va soat strelkasi harakatiga teskari yo'nalgan. $\sum M_{\text{tyr}} = 0$ shartini bajarish uchun, C tuguniga (aniqrog'i 7-8 sterjenining 7-kesimiga) 30 kN·m ga teng va soat strelkasi harakati bo'yicha yo'nalgan moment qo'yish kerak. Buni bajarish mumkin, agar yoysimon strelka boshlanishini 7-8 sterjenining ostiga joylashtirib uni kesmay, soat strelkasi harakati bo'yicha aylantirilsa. Yoysimon strelka boshlanishi sterjen ostida bo'lganligi sababli ham pastki tolalar cho'ziluvchi bo'ladi (13, b-rasm). Tugunga tutashuvchi sterjenning cho'ziluvchi tolalari punktir q bilan belgilangan.

Shunday qilib, $M_7 = 30 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 14, b-rasmdan $M_8 = F \cdot 4 - ql \cdot 4,5 = 12 \cdot 4 - 4 \cdot 3 \cdot 4,5 = -6 \text{ kN} \cdot \text{m}$ kelib chiqadi. M_8 momentning qiymatiga eng katta hissani yassi yoyilgan q yuki qo'shdi. Shuning uchun, F kuchini hayolan olib tashlash mumkin, qolgan q yuki ta'siridan 7-8 sterjeni 14, b-rasmda ko'rsatilganidek egiladi, ya'ni 8- kesim yaqinida yuqorigi tolalar cho'ziluvchi bo'ladi. Shu rasmning o'zida 7-8 sterjenidagi M epyurasi ham keltirilgan.

Nihoyat, yuksiz 9-10 sterjeniga to'g'ri chiziqli M epyurasini qurishni ko'ramiz. Ikki sterjenli B tugunining muvozanat shartidan $M_9 = M_8 = -6 \text{ kN} \cdot \text{m}$ kelib chiqadi va ichki tolalar cho'ziluvchi bo'ladi.

14, z -rasmni ko‘rib chiqishdan 10-nuqtadagi momentni topamiz. F kuchi 10-nuqta orqali o‘tadi va undan moment nolga teng bo‘ladi. $M_{10} = ql \cdot 4,5 = 4 \cdot 3 \cdot 4,5 = 54 \text{ kN} \cdot \text{m}$ Teng ta‘sir etuvchi $ql = 12 \text{ kN/m}$ kuchi ta‘siridan 9-10 sterjeni 14, z -rasmda punktir chiziq bilan ko‘rsatilgandek egiladi, ya‘ni 10- kesim yaqinida o‘ng tolalar cho‘ziluvchi bo‘ladi. M_9 va M_{10} momentlari topilganidan so‘ng 9-10 sterjenining cho‘zilgan tolalar tomoniga to‘g‘ri chiziqli M epyurasini quramiz (14, z -rasm).

Alohida sterjenlar uchun 5-rasmda keltirilgan barcha M epyuralarini bitta sxemaga ko‘chiramiz (14, a -rasm).



14-rasm

1.7-§. Kesuvchi kuch epyuralarini qurish

Kesuvchi kuch epyurasini, $Q = dM / dx$ ifodasidan foydalanib, eguvchi moment M epyurasi bo‘yicha quramiz.

M epyurasining to‘g‘ri chiziqli bo‘lagida Q ning sonli qiymatini $Q = tg\alpha$ formulasi bo‘yicha, ishorani esa sterjen o‘qini M epyurasi bilan ustma-ust kelguncha buralishi bo‘yicha aniqlaymiz.

$$3-4 \text{ sterjeni: } Q_{3-4} = -48/4 = -12 \text{ kN.}$$

Q_{3-4} kesuvchi kuchidagi «minus» ishorasi, 3-4 sterjen o‘qini M epyurasi bilan ustma-ust tushishi uchun burilish soat strelkasi harakatiga teskari bo‘lganligini ko‘rsatadi.

5-6 sterjenning Q epyurasi hisoblanadi va uning shakli oddiy balkalar jadvalidan ko‘chiriladi (I-jadval, 4-vaziyat).

$$7-8 \text{ sterjeni: } Q_{7-8} = (30 + 6)/3 = 12 \text{ kN.}$$

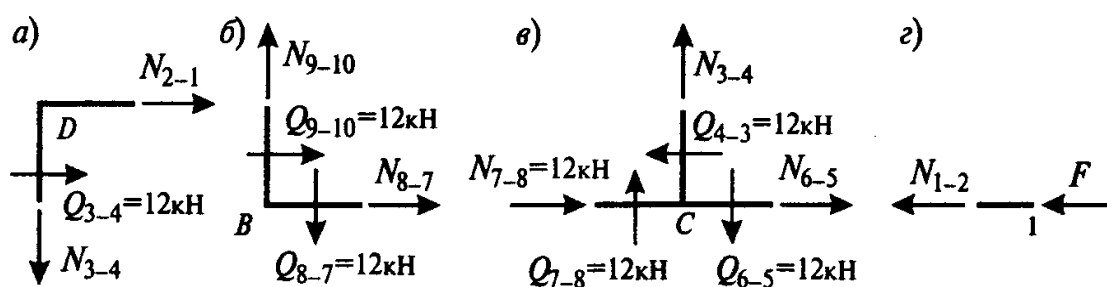
7-8 sterjeni o'qi M epyurasi bilan ustma-ust bo'lishi uchun soat strelkasi harakati bo'yicha aylanganligi sababli kesuvchi kuch Q_{7-8} musbat.

9-10 sterjeni: $Q_{9-10} = (54 - 6) / 4 = 12 \text{ kN}$.

Sterjenning qaysi tomoniga Q epyurasini qurishning ahamiyati yo'q, asosiysi-ishora qo'yish. Biroq, balkaga o'xshash, gorizontal sterjen uchun musbat ordinatalarni yuqoriga, manfiy ordinatalarni pastga qo'yishni tavsiya etish mumkin. Kesuvchi kuch Q epyurasi 14, 6-rasmda ko'rsatilgan.

1.8-§. Bo'ylama kuch epyuralarini qurish.

Bo'ylama kuch N epyurasini kesuvchi kuch Q epyurasi bo'yicha, tugun kesish usulida quramiz. Tugun kesishni ikki sterjenli tugundan boshlaymiz. Dastlab D tugunini kesamiz. 1-2 sterjenida kesuvchi kuch nolga teng, 3-4 sterjenida esa manfiy va 12 kN ga teng. Chizmada uni D tugunidagi 3-4 sterjeniga perpendikulyar (ko'ndalang) va tugunni soat strelkasi harakatiga teskari yo'nalishda ($Q < 0$) burovchi kuchlar ko'rinishida ko'rsatiladi. So'ngra sterjen bo'ylab tugunda uchrashuvchi, undan ketuvchi yo'nalishda bo'ylama kuchlar qo'yiladi va $\sum X = 0$, $\sum Y = 0$ (15, a-rasm) ko'rinishidagi muvozanat tenglamalari tuziladi, ulardan izlanuvchi bo'ylama kuchlar N topiladi.



15-rasm

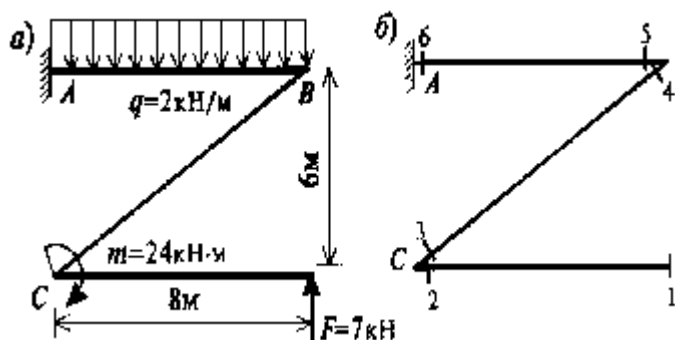
D tuguni: $\sum X = 0$; $12 + N_{2-1} = 0$, $N_{2-1} = -12 \text{ kH}$, $\sum Y = 0$, $N_{3-4} = 0$.

B tuguni: $\sum X = 0$; $12 + N_{8-7} = 0$, $N_{2-1} = -12 \text{ kH}$, $\sum Y = 0$, $-12 + N_{9-10} = 0$, $N_{9-10} = 12 \text{ kH}$.

C tuguni: $\sum X = 0$; $12 - 12 + N_{6-5} = 0$, $N_{6-5} = 0$, $\sum Y = 0$, $-12 + 12 + N_{3-4} = 0$, $N_{3-4} = 0$.

18, d-rasmdan: $\sum X = 0$; $-N_{1-2} - F = 0$, $N_{1-2} = -12 \text{ kH}$.

Navbatdagi ikki sterjenli B tugunni kesamiz (15, 6-rasm). Unga Q epyurasidan musbat qiymatli, tugunni soat strelkasi harakati yoʻnalishi boʻyicha burovchi $Q_{8-7} = 12 \kappa H$ va $Q_{9-10} = 12 \kappa H$ kesuvchi kuchlarni qoʻyamiz. Musbat yoʻnalishli boʻylama kuchlar qoʻyilgandan soʻng $\sum X = 0$, $\sum Y = 0$ muvozanat tenglamalarini yozamiz va ularning yechimidan izlanuvchi boʻylama kuchlar N ni topamiz.



16-rasm

Berilgan siniq konsol balka hisob sxemasidan boʻylama kuch $N_{5-6} = 0$ kelib chiqadi.

Uch sterjenli C tugunni (15, 6-rasm) va cheksiz kichik elementni 1-kesim (15, 2-rasm) yaqinida kesish yordamida bajarilgan tekshirishlar, izlanuvchi boʻylama kuchlar toʻgʻri

topilganini koʻrsatdi. Q epyuradagi kabi, sterjen oʻqidan qaysi tomonga N epyurasi qiymatlarini qoʻyishning ahamiyati yoʻq, asosiysi ishorani qoʻyishdir. Boʻylama kuchlar N epyurasi 14, 6-rasmida koʻrsatilgan.

Bundan keyin, tugunda uchrashuvchi oʻzaro perpendikulyar sterjenlar uchun kesuvchi va boʻylama kuchlar boʻyicha tugunlar muvozanatini ongimizda bajaramiz.

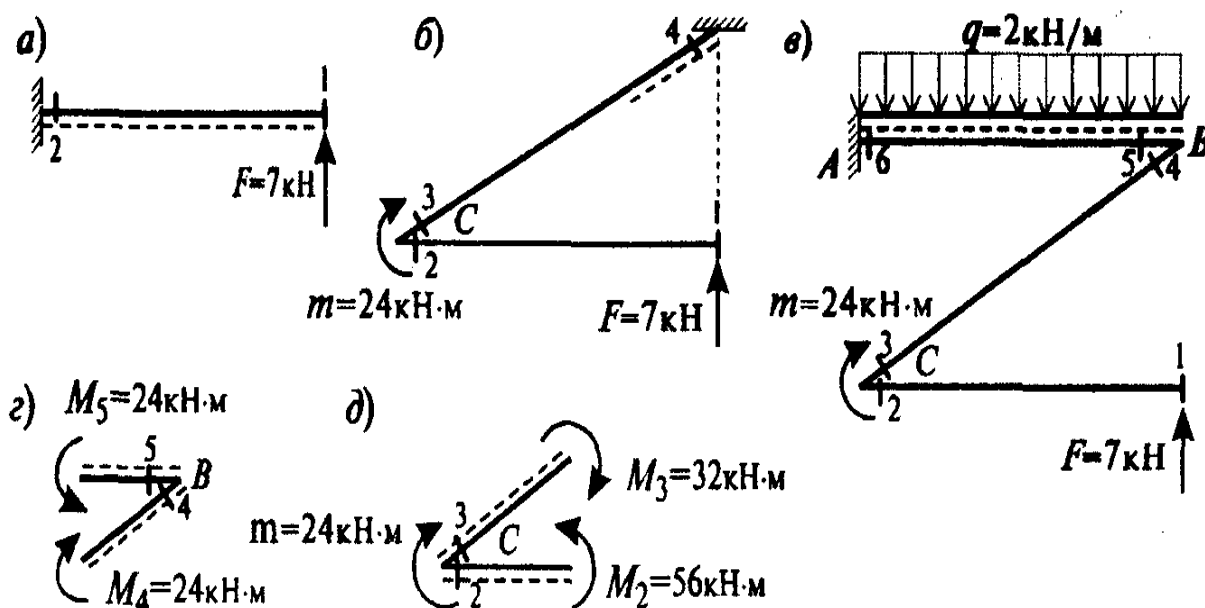
Keyingi misollar unchalik toʻliq koʻrsatilmaydi, oʻquvchi zarurat tugʻilganda yuqorida ifoda etilgan misoldagi mulohazalarga murojaat qilish mumkin.

3-Misol. Siniq oʻqli balkada M , Q , N epyuralari qurilsin (16, a-rasm).

M epyurasini qurish uchun, 16, 6-rasmida koʻrsatilgan xarakterli kesimlar uchun momentning son qiymatlarini topish va bu kesimlarda qaysi tolalar choʻziluvchi boʻlishini aniqlash zarur.

Buning uchun oldingi misollardagidek, berilgan siniq oʻqli konsol balkani 2,4,6 nuqtalar orqali kesim oʻtkazib, bir necha oddiy balkalarga ajratamiz. Navbati

bilan chap qismini qistirilgan tayanchi bilan tashlab yuborib va xayolda kesimlarni mahkamlab quyidagi oddiylashgan hisob sxemalarini olamiz (17-rasm).



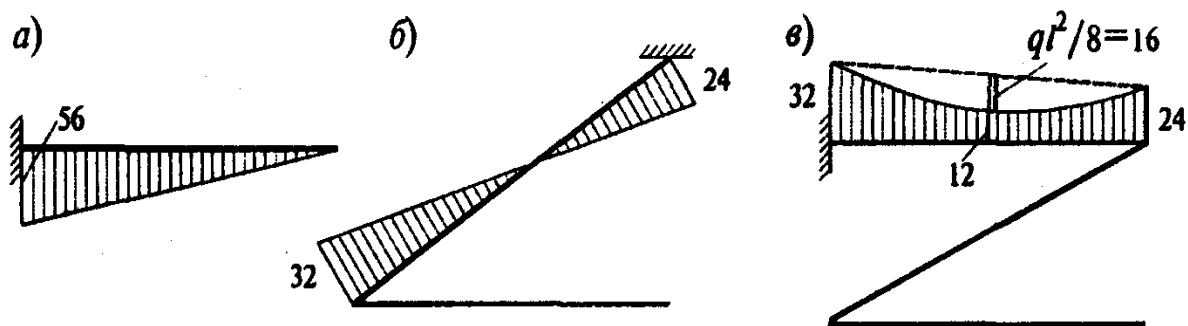
17-rasm

1-2 sterjenida (17, a-rasm) M va Q epyuralari jadvalga oid (I-jadval, 5-vaziyatga qarang) bo'ladi. $F = 7 \text{ kN}$ kuchi pastki tolalarni cho'zadi (punktir chiziqda ko'rsatilgan) va $M_2 = 7 \cdot 8 = 56 \text{ kN} \cdot \text{m}$ momentni hosil qiladi (18, a-rasm). Agar 3-4 sterjenining 3-kesimiga soat strelkasi harakati bo'yicha yo'nalgan va yuqorigi tolalarni cho'zuvchi (chunki yoysimon strelka boshlanishi tepada joylashgan) $M_3 = 32 \text{ kN} \cdot \text{m}$ momenti qo'yilsa, C tuguni (18, b-rasm) muvozanat holatida bo'ladi. 4-kesimdagi momentni hisoblaymiz (18, b-rasm): $M_4 = 24 + 7 \cdot 0 = 24 \text{ kN} \cdot \text{m}$. C tuguniga qo'yilgan faqat to'plangan moment $m = 24 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ta'siridan 4-kesimda pastki tolalar cho'ziluvchi (kesim yaqinida punktir bilan ko'rsatilgan) bo'ladi.

18, b-rasmda 3-4 sterjenidagi moment epyurasi ko'rsatilgan.

B tugun (18, c-rasm) muvozanatidan, $M_5 = M_4 = 24 \text{ kN} \cdot \text{m}$ va 5-kesim yaqinida yuqorigi tolalar cho'ziluvchi bo'lishligi kelib chiqadi.

5-6 sterjenida momentlar epyurasi kvadrat parabola bo'yicha chiziladi, 6-kesimida esa moment $M_6 = 7 \cdot 8 - 24 - 2 \cdot 8 \cdot 4 = -32 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$ ga teng bo'ladi.



18-rasm

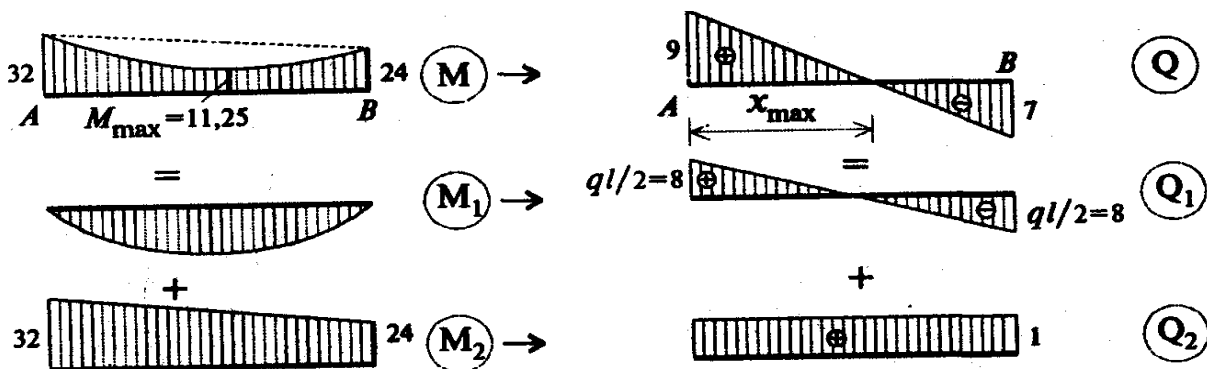
Eguvchi momentlar uchun ishoralar qoidasiga ko'ra balkalardagi (gorizontal sterjenlardagi) «manfiy» ishorasi 6-kesimda yuqorigi tolalar cho'zilishini (punktir chiziq bilan ko'rsatilgan) bildiradi. Cho'zilgan tolalarni boshqacha ham aniqlash mumkin. $M_6 = -32$ kN·m momentiga eng ko'p yassi yoyilgan q yuki va kesilgan qismini bir yo'nalishda (soat strelkasi harakati bo'yicha) burovchi to'plangan moment m hissa qo'shdilar. Shu sababli, hayolan $F = 7$ kN kuchini olib tashlash mumkin, q yuki ta'siridan, esa 6-kesim bo'lagida yuqorigi tolalar cho'zilgan bo'ladi.

5-6 sterjenidagi momentlar epyurasi 16, e-rasmda ko'rsatilgan.

Alohida sterjenlar uchun 19-rasmda ko'rsatilgan moment epyuralarini bitta sxemaga (19, a-rasm) ko'chiramiz.

Kesuvchi kuch Q epyuralarini qurish uchun momentlar va unga mos kesuvchi kuch Q larning epyuralaridan foydalanamiz (19-rasm) $Q_{2-1} = 56/8 = -7$ kN; $Q_{3-4} = (32 + 24)/10 = 5,6$ kN.

5-6 bo'lakdagi Q epyuralarini qurish 14-rasmda ko'rsatilgan.

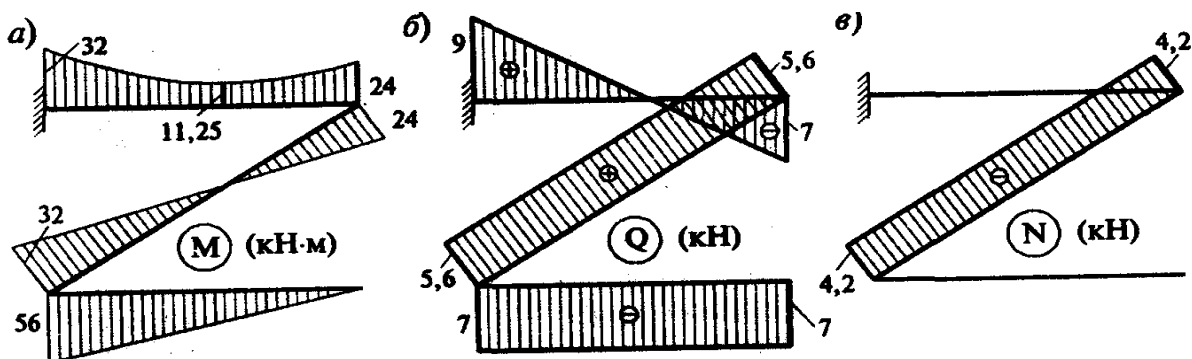


19-rasm

$$x_{\max} = Q_A / q = 9 / 2 = 4,5 \text{ (m)};$$

$$M_{\max} = M_A + \Omega_Q = -32 + Q_A \cdot x_{\max} / 2 = -32 + 9 \cdot 4,5 / 2 = -11,25 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad Q$$

epyrasi to'liq 19, 6-rasmda ko'rsatilgan.



20-rasm

I-Hisob grafik ishini bajarilishiga doir namuna

1.9-§. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni mustahkamlikka hisoblash

Berilgan ko'p oraliqli statik aniq balka uchun quyidagilar talab qilinadi:

1. Berilgan ko'p oraliqli balkaning statik aniqligi va geometrik o'zgarmasligini tekshirish;

2. Eguvchi moment M va ko'ndalang kuch Q larning epyuralarini analitik ravishda qurish;

3. Berilgan kesim uchun eguvchi moment M va ko'ndalang kuch Q larning ta'sir chizig'ini qurish, xuddi shuningdek, tayanch reaksiyalaridan birining ham ta'sir chizig'ini qurish;

4. Qurilgan ta'sir chizig'idan foydalanib berilgan kesim uchun eguvchi moment M va ko'ndalang kuch Q hamda reaksiya kuchlari R larning qiymatini hisoblash;

5. Analitik va ta'sir chizig'i natijalarini solishtirish;

Berilgan:

1) $l_1 = 8 \text{ m}; \quad q = 1,8 \text{ kN/m}; \quad b = 1,9 \text{ m}$

2) $l_2 = 8 \text{ m}; \quad P = 3 \text{ kN}; \quad N_01;$

3) $a = 1,9 \text{ m}; \quad c = 1,3 \text{ m}; \quad M = 3 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Yechish: 1. Avvalam bor masalaning berilganlarini e'tiborga olib hisob sxemasini chizib olamiz. Bu berilgan sxema 21-rasmda keltirilgan.

Bu berilgan ko'p oraliqli balkaning statik aniqligi va geometrik o'zgarmasligini tekshiramiz. Bu quyidagi formula yordamida amalga oshiriladi.

$$W = 3D - 2III - C_m$$

Bu formulada W-sistemaning erkinlik darajasi, D-sistemadagi disklar soni, III-Sharnirlar soni, C_m - tayanch sterjenlar soni.

$D=2$ ta, $III=1$ ta, $C_T=4$ ta bo'lgani uchun

$$W = 3D - 2III - C_T = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 4 = 0$$

Demak, qarayotgan ko'p oraliqli balka statik aniq va geometrik o'zgarmas ekan.

2. Endi bu qarayotgan ko'p oraliqli balkaning etaj sxemasini quramiz. Buning uchun balkani **B** sharnirdan ozod qilib ta tayanch bilan almashtiramiz, ikkinchi bo'sh uchi tushib ketadigan qismini, ya'ni **BD** qismini I-osma balka deb belgilaymiz.

Bir uchi qistirib mahkamlangan, lekin bo'sh uchi tushib ketmaydigan **AB** balkani II-asosiy balka deb belgilaymiz. Etaj sxemasini I-osma balkani II-asosiy balkaga osiltirib yoki opichtirib hosil qilamiz. Bu etaj sxemasi 21-rasmda keltirilgan.

Hisoblashni har doim I-osma balkadan boshlash kerak, chunki u faqat tashqi kuchlar ta'sirida bo'ladi. Keyin esa II-asosiy balkaga I-asosiy balka reaksiyasini ta'sir ettirib hisoblanadi.

I-osma balkani alohida chizib olib uning tayanch reaksiyalarini hisoblab topamiz. Bu chizmada tasvirlangan.

$$\sum M_B = M + R_C \cdot l_2 - P(l_2 + a) = 0; R_C = \frac{P \cdot (l_2 + a) - M}{l_2} = \frac{3 \cdot 9,9 - 3}{8} = \frac{29,7 - 3}{8} = \frac{26,7}{8} = 3,3375$$

$$\sum M_C = M - R_B \cdot l_2 - P \cdot a = 0; R_B = \frac{M - P \cdot a}{l_2} = \frac{3 - 3 \cdot 1,9}{8} = \frac{3 - 5,7}{8} = \frac{-2,7}{8} = -0,3375$$

Tekshirish:

$$\sum Y = R_B + R_C - P = 0$$

$$-0,3375 + 3,3375 - 3 = 0$$

$$3 - 3 = 0$$

$$0 \equiv 0$$

Demak, biz I-osma balka tayanch reaksiyalarini to'g'ri hisoblab topibmiz.

Endi bu osma balka ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment M va kesuvchi kuch Q ifodalarini yozib xarakterli nuqtalaridagi ordinatalarini hisoblaymiz.

I-uchastka uchun

$$\begin{aligned} \sum Y &= 0; & R_B = Q_K^I &= 0; & Q_K^I &= R_B = -0,3375 \\ \sum M_{I-I} &= 0; & M_{\text{oz}}^{I-I} - R_B \cdot x_1 &= 0; & M_{\text{oz}}^{I-I} &= R_B \cdot x_1; & 0 \leq x_1 \leq 1,3m \\ x_1 &= 0; & M_{\text{oz}}^{I-I} &= 0; \\ x_1 &= 1,3; & M_{\text{oz}}^{I-I} &= -0,3375 \cdot 1,3 = -0,4387; \end{aligned}$$

II-uchastka uchun

$$\begin{aligned} \sum Y &= 0; & R_B = Q_K^{II} &= 0; & Q_K^{II} &= R_B = -0,3375 \\ \sum M_{II-II} &= 0; & M_{\text{oz}}^{II-II} = R_B \cdot (1,3 + x_2) - M &= 0; & & & 0 \leq x_2 \leq 6,7m \\ x_2 &= 0; & M_{\text{oz}}^{II-II} &= -0,3375 \cdot 1,3 - 3 = -3,4387; \\ x_2 &= 6,7; & M_{\text{oz}}^{II-II} &= -0,3375 \cdot 8 - 3 = -5,7; \end{aligned}$$

III-uchastka uchun

$$\begin{aligned} \sum Y &= 0; & R_B = Q_K^{III} - P &= 0; & Q_K^{III} &= P = 3 \\ \sum M_{III-III} &= 0; & -M_{\text{oz}}^{III-III} - P \cdot x_3 &= 0; & M_{\text{oz}}^{III-III} &= -P \cdot x_3; & 0 \leq x_3 \leq 1,9m \\ x_3 &= 0; & M_{\text{oz}}^{III-III} &= 0; \\ x_3 &= 1,9; & M_{\text{oz}}^{III-III} &= -3 \cdot 1,9 = -5,7; \end{aligned}$$

Bu hisoblangan ordinatalardan foydalanib I-osma balka eguvchi moment M va kesuvchi kuch Q ning epyurasini quramiz. Bu epyuralar (21-rasm, e) da keltirilgan.

Endi asosiy II-balka ixtiyoriy kesimi uchun M va Q ifodasini yozib ordinatalarini hisoblaymiz:

$$\sum Y = 0; \quad Q_K^I - q \cdot x_1 - R_B = 0; \quad Q_K^I = q \cdot x_1 + R_B = 0; \quad 0 \leq x_1 \leq 8m$$

$$x_1 = 0; \quad Q_K^I = -0,3375$$

$$x_1 = 4; \quad Q_K^I = 1,8 \cdot 4 - 0,3375 = 6,8615$$

$$x_1 = 8; \quad Q_K^I = 1,8 \cdot 8 - 0,3375 = 14,0615$$

$$\sum M_{I-I} = 0; \quad -M_{\text{эз}}^{I-I} - q \cdot x_1 \left(\frac{x_1}{2} \right) - R_B \cdot x_1 = 0; \quad M_{\text{эз}}^{I-I} = -\frac{q \cdot x_1^2}{2} - R_B \cdot x_1; \quad 0 \leq x_1 \leq 8m$$

$$x_1 = 0; \quad M_{\text{эз}}^{I-I} = 0;$$

$$x_1 = 4; \quad M_{\text{эз}}^{I-I} = -\frac{1,8 \cdot 4^2}{2} + 0,3375 \cdot 4 = -13,05$$

$$x_1 = 8; \quad M_{\text{эз}}^{I-I} = -\frac{1,8 \cdot 8^2}{2} + 0,3375 \cdot 8 = -54,9$$

Bu hisoblangan ordinatadan foydalanib qurilgan II-asosiy balkaning eguvchi moment M va kesuvchi kuch Q epyurasi (21-rasm, z) da keltirilgan.

Berilgan ko‘p oraliqli balkaning eguvchi moment M va kesuvchi kuch Q epyurasi I-osma va II-asosiy balka M va Q epyuralarini bitta koordinataga keltirish yo‘li bilan olinadi. Bunday qilib hosil qilingan ko‘p oraliqli balkaning eguvchi moment va kesuvchi kuch epyuralari mos ravishda (21-rasm, ∂ , e) rasmlarda keltirilgan.

Yuqorida qurilgan eguvchi moment va kesuvchi kuch epyuralarini aniq formulalardan foydalanib, hisob kitobga asoslanib qurilgani uchun analitik usulda qurilgan ko‘p oraliqli balkaning M va Q epyurasi deyiladi.

3. Ko‘p oraliqli balkaning berilgan №1 kesimi uchun M va Q ning ta’sir chizig‘ini quramiz. Buning uchun berilgan ko‘p oraliqli balkaning etaj sxemasini tashqi kuchlarsiz xarakatlanuchi birlik kuch $R=1$ ning berilgan kesim №1 dan chap va o‘ng tomonda harakat qilayotgan ikki holatini bitta chizmada tasvirlab chizib olamiz. Bu (21-rasm, u) da keltirilgan.

Berilgan №1 kesimdagi M_1 va Q_1 ta'sir chiziqlarini qurish uchun harakatlanuvchi birlik yuk $R=1$ ning 2-xolatini tekshiramiz:

1-xol: $R=1$ №1 kesimdan chap tomonda harakat qilyapti. O'ng tomon uchun muvozanatini tekshiramiz.

Birlik kuch $R=1$ №1 kesimdan chap tomonda, ya'ni A tayanchda bo'lganda bu kesimda hech qanday zo'riqish kuchi bo'lmaydi.

Ya'ni

$$M_1^{chap} = 0$$

$$Q_1^{chap} = 0$$

Demak, II-asosiy balkada $R=1$ kuchi №1 kesimdan chapda bo'lganda M_1 va Q_1 ta'sir chizig'ining chap chizig'i sanoq chizig'i bilan ustma-ust tushar ekan.

2-xol: $R=1$ kesim №1 dan o'ngda harakatlansin. O'ng tomon uchun muvozanatini tekshiramiz

$$M_1^{o'ng} = -P \cdot x = -x$$

$$Q_1^{o'ng} = P$$

$$x = 0 \text{ da } M_1^{o'ng} = 0; \quad Q_1^{o'ng} = 1$$

$$x = 8 \text{ da } M_1^{o'ng} = -8; \quad Q_1^{o'ng} = 1$$

Bu hisoblangan ordinatalardan foydalanib №1 kesim joylashgan II-asosiy balka uchun qurilgan M_1 va Q_1 ta'sir chizig'i (21-rasm, κ , l) da mos ravishda keltirilgan.

Berilgan ko'p oraliqli balkadagi №1 kesimdagi M_1 va Q_1 ning to'la ta'sir chizig'ini olish uchun B sharnir ostidagi ordinatani S tayanch ostidagi nollik ordinata bilan to'g'ri chiziq orqali tutashtiramiz va bu to'g'ri chiziqni o'ng konsol uchigacha davom ettirib M_1 va Q_1 ta'sir chizig'ini to'laligicha hosil qilamiz. Bu ta'sir chizig'i (21-rasm, k , l) da to'laligicha keltirilgan.

4. Yuqorida qurilgan M_1 va Q_1 ta'sir chiziqlaridan foydalanib berilgan №1 kesimdagi eguvchi moment M_1 ni va kesuvchi kuch Q_1 ni hisoblaymiz.

Avvalambor, tashqi M moment ostidagi ta'sir chizig'idagi unga o'tkazilgan urinmaning og'ish burchagi tangensini hisoblaymiz:

$$M_1 \text{ ta'sir chizig'idan } tg\alpha_M = \frac{8}{8} = 1 \text{ ishorasi manfiy}$$

$$Q_1 \text{ ta'sir chizig'idan } tg\alpha_Q = \frac{1}{8}$$

$$M_1 = \sum_{i=1}^n P_i y_i + \sum_{i=1}^n q_i \omega_i + \sum_{i=1}^n M_i tg\alpha_i = 3 \cdot 1,9 - 8 \cdot 8 \cdot 0,5 - 3 \cdot 1 = 5,7 - 3 = 5,7 - 60,6 = -54,9;$$

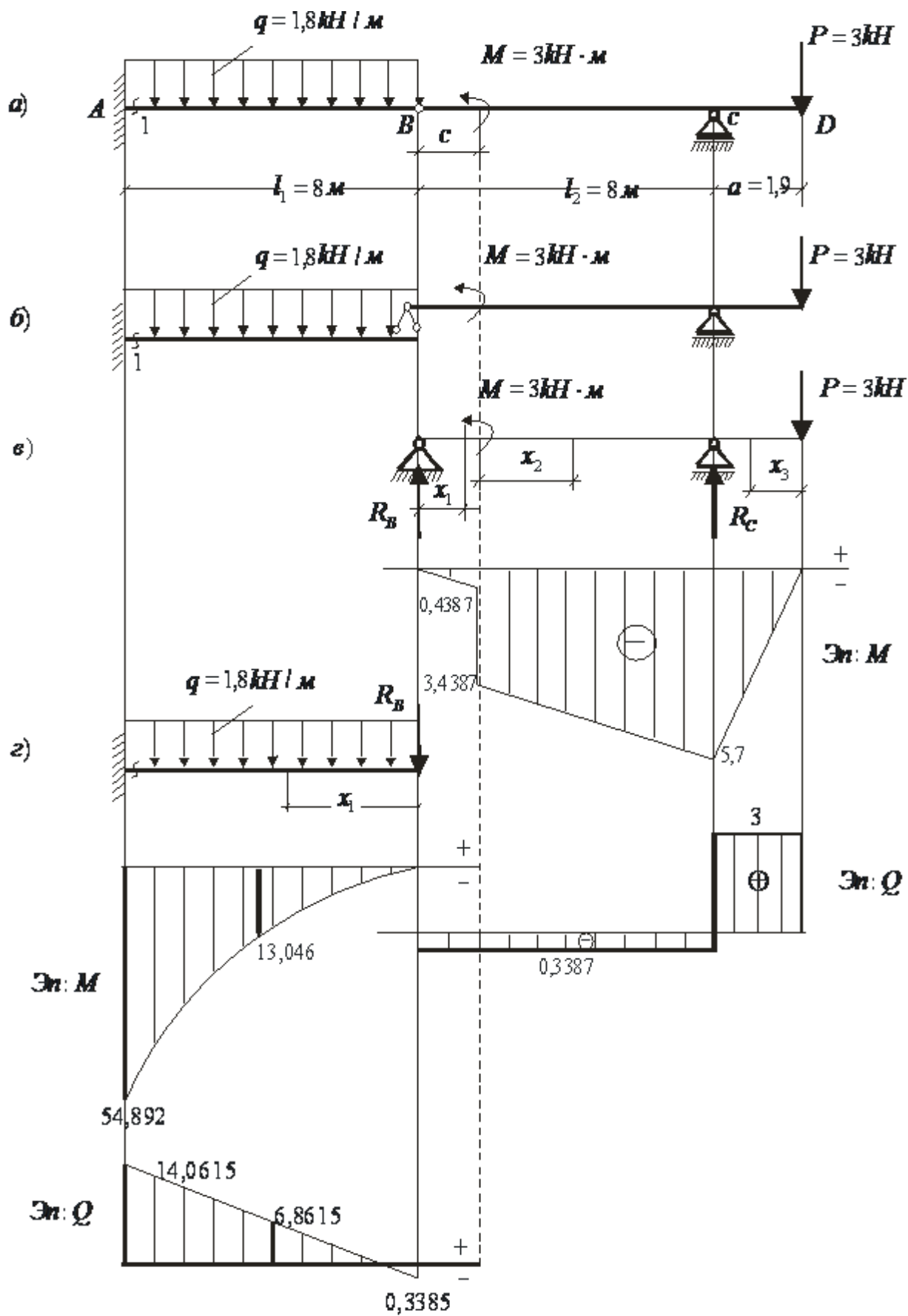
$$Q_1 = -3 \cdot 0,2375 + 1,8 \cdot 1 \cdot 8 + 3 \cdot \frac{1}{8} = -0,7125 + 14,4 + 0,375 = -0,7125 + 14,775 = 14,0625;$$

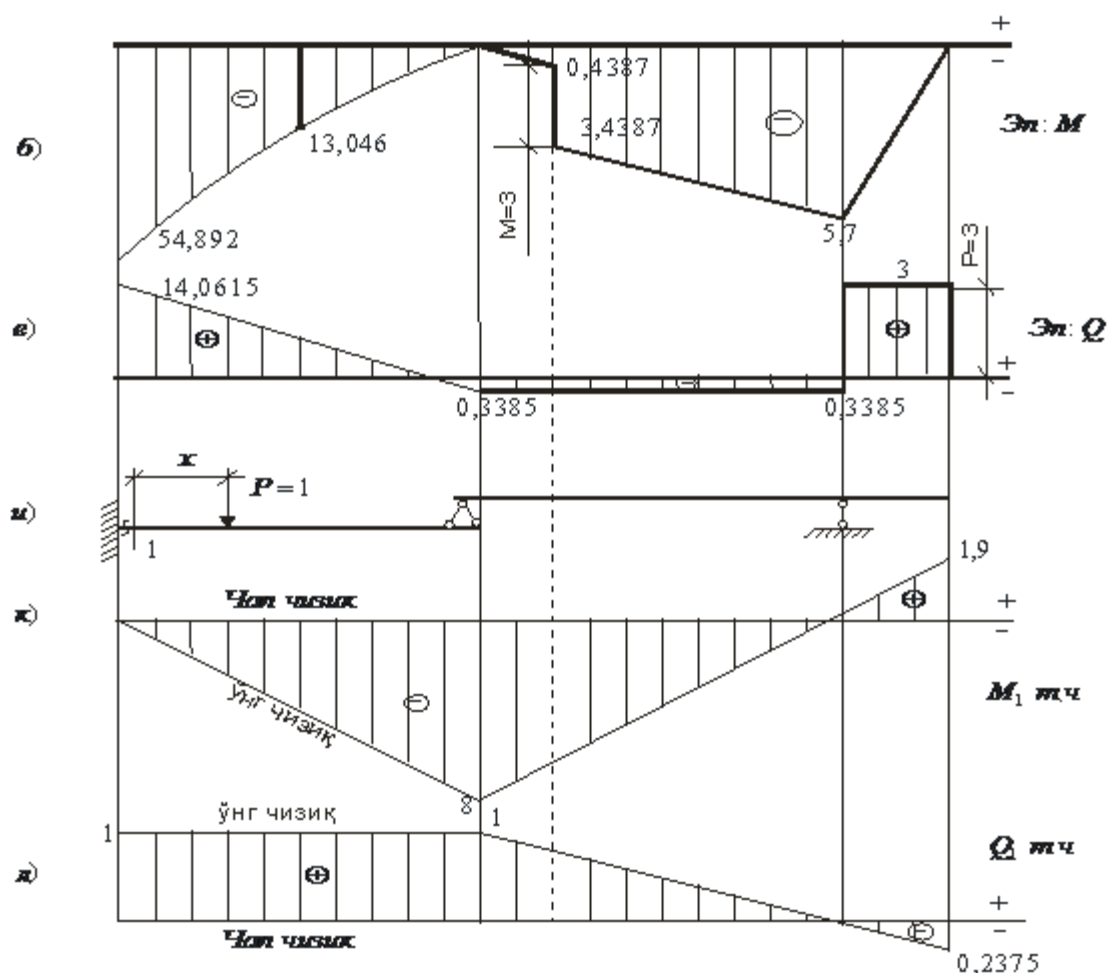
1. Analitik va ta'sir chizig'i natijalarini solishtiramiz.

$$1) \frac{(M_1^{anal} - M_1^{t.ch}) \cdot 100\%}{M_1^{t.ch}} = \frac{(54,892 - 54,9) \cdot 100\%b}{54,9} = 0,0145\% \quad \text{xatolik}$$

$$2) \frac{(Q_1^{anal} - Q_1^{t.ch}) \cdot 100\%}{Q_1^{t.ch}} = \frac{(14,0615 - 14,0625) \cdot 100\%b}{14,0625} = 0,0071\% \quad \text{xatolik}$$

Demak, hisoblashlar yuqori aniqlikda bajarilibdi.





21-rasm

1.10-§. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni doimiy kuchlar ta'siriga hisoblash

Berilgan ko'p oraliqli statik aniq balka uchun quyidagilar talab qilinadi:

1. Berilgan ko'p oraliqli balkaning statik aniqligi va geometrik o'zgarmasligini tekshiring;
2. Eguvchi moment M va ko'ndalang kuch Q larning epyuralarini analitik ravishda quring;
3. Berilgan kesim uchun eguvchi moment M va ko'ndalang kuch Q larning ta'sir chizig'ini quring, xuddi shuningdek tayanch reaksiyalaridan birining ham ta'sir chizig'ini quring;

4. Qurilgan ta'sir chizig'idan foydalanib berilgan kesim uchun eguvchi moment M va ko'ndalang kuch Q hamda reaksiya kuchlari R larning qiymatini hisoblang;

5. Analitik va ta'sir chizig'i natijalarini solishtiring;

Berilgan:

1) $\ell_1 = 12,0 \text{ m}; \quad q = 3,0 \text{ kN/m}; \quad b = 1,4 \text{ m}$

2) $\ell_2 = 11,0 \text{ m}; \quad P = 7,0 \text{ kN}; \quad N \neq 1;$

3) $a = 1,4 \text{ m}; \quad c = 2,0 \text{ m}; \quad M = 2,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Yechish: 1. Avvalambor masalaning berilganlarini e'tiborga olib hisob sxemasini chizib olamiz. Bu berilgan sxema chizmada keltirilgan.

Bu berilgan ko'p oraliqli balkaning statik aniqligi va geometrik o'zgarmasligini tekshiramiz. Bu quyidagi formula yordamida amalga oshiriladi.

$$W = 3D - 2III - C_m$$

Bu formulada W -sistemaning erkinlik darajasi, D -sistemadagi disklar soni, III -sharnirlar soni, S_m - tayanch sterjenlar soni.

$D=2$ ta, $III=1$ ta, $C_m=4$ ta bo'lgani uchun

$$W = 3D - 2III - C_m = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 4 = 0$$

Demak, qaralayotgan ko'p oraliqli balka statik aniq va geometrik o'zgarmas ekan.

2. Endi bu qaralayotgan ko'p oraliqli balkani etaj sxemasini quramiz. Buning uchun uni B sharnirdan uzamiz va 1 ta tayanchda bo'lib, ikkinchi bo'sh uchi tushib ketadigan qismini, ya'ni AB qismini I-osma balka deb belgilaymiz.

Bir uchi qistirib mahkamlangan, lekin bo'sh uchi tushib ketmaydigan CD balkani II-asosiy balka deb belgilaymiz. Etaj sxemasini I-osma balkani II-asosiy balkaga osiltirib yoki opichtirib hosil qilamiz. Bu etaj sxemasi chizmada keltirilgan.

Hisoblashni har doim I-osma balkadan boshlash kerak, chunki u faqat tashqi kuchlar ta'sirida bo'ladi. Keyin esa II-asosiy balkaga I-asosiy balka reaksiyasini ta'sir ettirib (u hisoblab topilgan bo'ladi) hisoblanadi.

I-osma balkani alohida chizib olib uning tayanch reaksiyalarini hisoblab topamiz. Bu chizmada tasvirlangan.

A va B nuqtalar orasidagi masofani ℓ deb, B va P kuch qo'yilgan nuqta oralig'idagi masofani d deb, ular orasidagi masofani quyidagicha aniqlab olamiz;

$$d = \ell_1 - b + c = 12 - 1,4 + 1,1 = 9,5$$

$$\ell = \ell_1 - c = 12 - 1,1 = 10,9$$

$$\sum M_A = -P \cdot b + R_B \cdot \ell = 0; \quad R_B = \frac{P \cdot b}{\ell} = \frac{7,0 \cdot 1,4}{10,9} = 0,90$$

$$\sum M_B = R_A \cdot \ell + P \cdot d = 0; \quad R_A = \frac{P \cdot d}{\ell} = \frac{7,0 \cdot 9,5}{10,9} = 6,10$$

Tekshirish:

$$\sum Y = R_A - P + R_B = 0$$

$$6,10 - 7,0 + 0,90 = 0$$

$$7,0 - 7,0 = 0$$

$$0 \equiv 0$$

Demak, biz I-osma balka tayanch reaksiyalarini to'g'ri hisoblab topibmiz. Endi bu osma balka ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment M va kesuvchi kuch Q ifodalarini yozib 3 tadan nuqtasida ordinatalarini hisoblaymiz.

I-uchastka uchun

$$\sum Y = 0; \quad Q_K^I = R_A = 6,10; \quad 0 \leq x_1 \leq b = 1,4m$$

$$\sum M_{I-I} = 0; \quad M_{eg}^{I-I} = R_A \cdot x_1; \quad x_1 = 0; \quad M_{eg}^{I-I} = 0;$$

$$x_1 = 1,4; \quad M_{eg}^{I-I} = 6,10 \cdot 1,4 = 8,54;$$

II-uchastka uchun

$$\sum Y = 0; \quad Q_K^{II} = R_B = 0,90; \quad 0 \leq x_1 \leq d = 9,5m$$

$$\begin{aligned}\sum M_{II-II} &= 0; & M_{eg}^{II-II} &= R_B \cdot x_2; & x_2 &= 0; & M_{eg}^{II-II} &= 0; \\ x_1 &= 9,5; & M_{eg}^{II-II} &= 0,90 \cdot 9,5 = 8,54;\end{aligned}$$

Bu hisoblangan ordinatadan foydalanib qurilgan II-asosiy balkaning eguvchi moment **M** va kesuvchi kuch **Q** epyurasi chizmada keltirilgan.

II-balkani alohida chizib olib uning tayanch reaksiyalarini hisoblab topamiz. Bu chizmada tasvirlangan.

$$\sum M_C = -q \cdot \frac{\ell_2^2}{2} + R_B \cdot c + R_D \cdot \ell_2 + M = 0;$$

$$R_D = \frac{q \cdot \ell_2^2 / 2 - R_B \cdot c - M}{\ell_2} = \frac{3,0 \cdot 11,0^2 / 2 - 0,90 \cdot 11 - 2,6}{11,0} = \frac{177,91}{11,0} = 16,17$$

$$\sum M_D = q \cdot \frac{\ell_2^2}{2} + R_C \cdot \ell_2 + R_B \cdot (c + \ell_2) + M = 0;$$

$$R_C = \frac{q \cdot \ell_2^2 / 2 - R_C \cdot (c + \ell_2) + M}{\ell_2} = \frac{3,0 \cdot 60,5 + 0,90 \cdot 13 + 2,6}{11,0} = \frac{194,98}{11,0} = 17,73$$

Tekshirish:

$$\sum Y = -R_B + R_C - q \cdot \ell_2 + R_D = 0$$

$$-0,90 + 17,73 - 3,0 \cdot 11,0 + 16,17 = 0$$

$$-33,90 + 33,90 = 0$$

$$0 \equiv 0$$

Demak, biz tekshirib ko‘rilgan II-osma balka tayanch reaksiya kuchlari to‘g‘ri hisoblab topilgan ekan.

Endi bu osma balka ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment **M** va kesuvchi kuch **Q** ifodalarini yozib xarakterli nuqtalaridagi ordinatalarini hisoblaymiz.

III-uchastka uchun

$$\sum Y = 0; \quad Q_K^{III} = -R_B = -0,90; \quad 0 \leq x_3 \leq c = 1,1m$$

$$\sum M_{III-III} = 0; \quad M_{eg}^{III-III} = -R_B \cdot x_3 \quad x_3 = 0; \quad M_{eg}^{III-III} = 0;$$

$$x_3 = 1,1; \quad M_{eg}^{III-III} = -0,90 \cdot 1,1 = -0,99;$$

IV-uchastka uchun

$$\sum Y = 0; \quad Q_K^{IV} = 0; \quad 0 \leq x_4 \leq a = 1,4$$

$$\sum M_{IV-IV} = 0; \quad M_{eg}^{IV-IV} = M = 2,6;$$

V-uchastka uchun

$$\sum Y = 0; \quad Q_K^V = R_D - q \cdot x_5; \quad 0 \leq x_1 \leq \ell_2 = 11,0m$$

$$x_5 = 0; \quad Q_K^V = 16,17; \quad x_5 = 5,5; \quad Q_K^V = 16,17 - 3,0 \cdot 5,5 = -0,33;$$

$$x_5 = 11,0; \quad Q_K^V = 16,17 - 3,0 \cdot 11,0 = -16,83;$$

$$\sum M_{V-V} = 0; \quad M_{eg}^{V-V} = M + R_D \cdot x_5 - q \cdot \frac{x_5^2}{2} = 0; \quad x_5 = 0; \quad M_{eg}^{V-V} = 2,6;$$

$$x_5 = 5,5; \quad M_{eg}^{V-V} = 2,6 + 16,17 \cdot 5,5 - 3,0 \cdot 15,125 = 43,56;$$

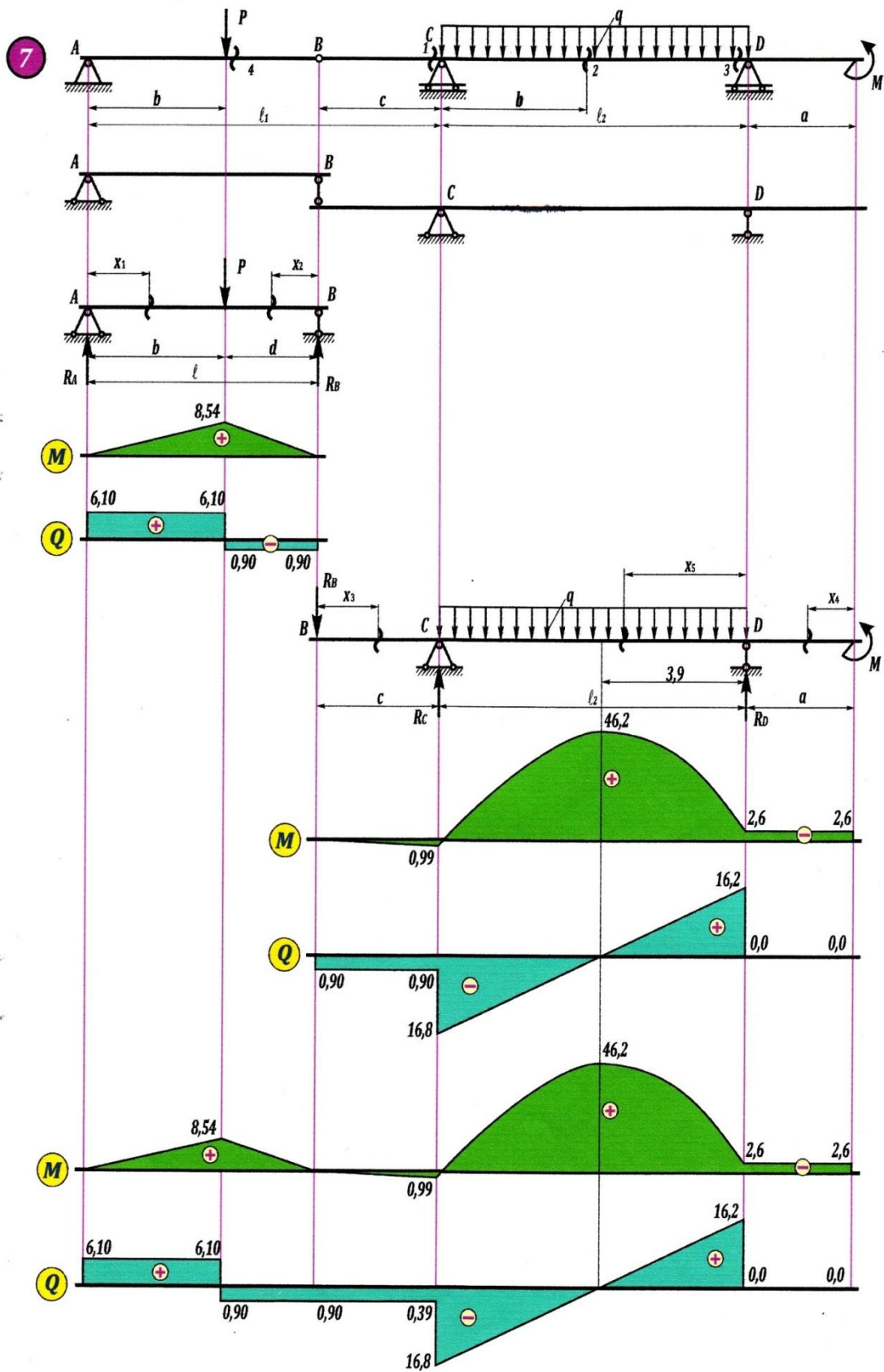
$$x_5 = 11,0; \quad M_{eg}^{V-V} = 2,6 + 16,17 \cdot 11,0 - 3,0 \cdot 60,5 = -1,0;$$

Bu hisoblangan ordinatadan foydalanib qurilgan II-asosiy balkaning eguvchi moment **M** va kesuvchi kuch **Q** epyurasi chizmada keltirilgan.

Endi asosiy II-balka ixtiyoriy kesimi uchun **M** va **Q** ifodasini yozib ordinatalarini hisoblaymiz:

Berilgan ko'p oraliqli balkaning eguvchi moment **M** va kesuvchi kuch **Q** epyurasi I-osma va II-asosiy balka **M** va **Q** epyuralarini bitta koordinataga keltirish yo'li bilan olinadi. Bunday qilib hosil qilingan ko'p oraliqli balkaning eguvchi moment va kesuvchi kuch epyuralari mos ravishda chizmalarda keltirilgan.

Yuqorida qurilgan eguvchi moment va kesuvchi kuch epyuralarini aniq formulalardan foydalanib, hisob-kitobga asoslanib qurilgani uchun analitik usulda qurilgan ko'p oraliqli balkaning **M** va **Q** epyurasi deyiladi.



22-rasm

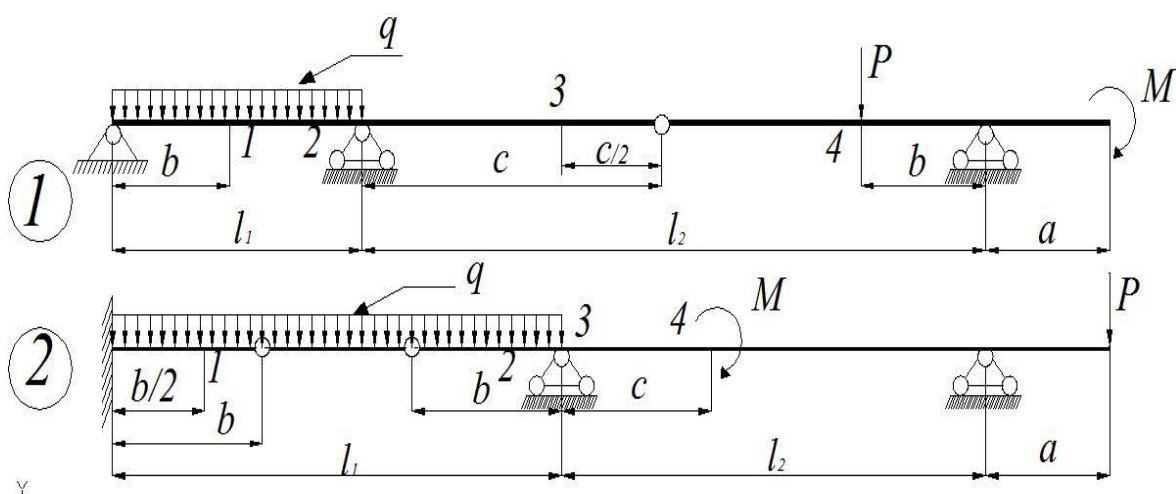
Bajariladigan hisob-grafik ishlarining variantlari.

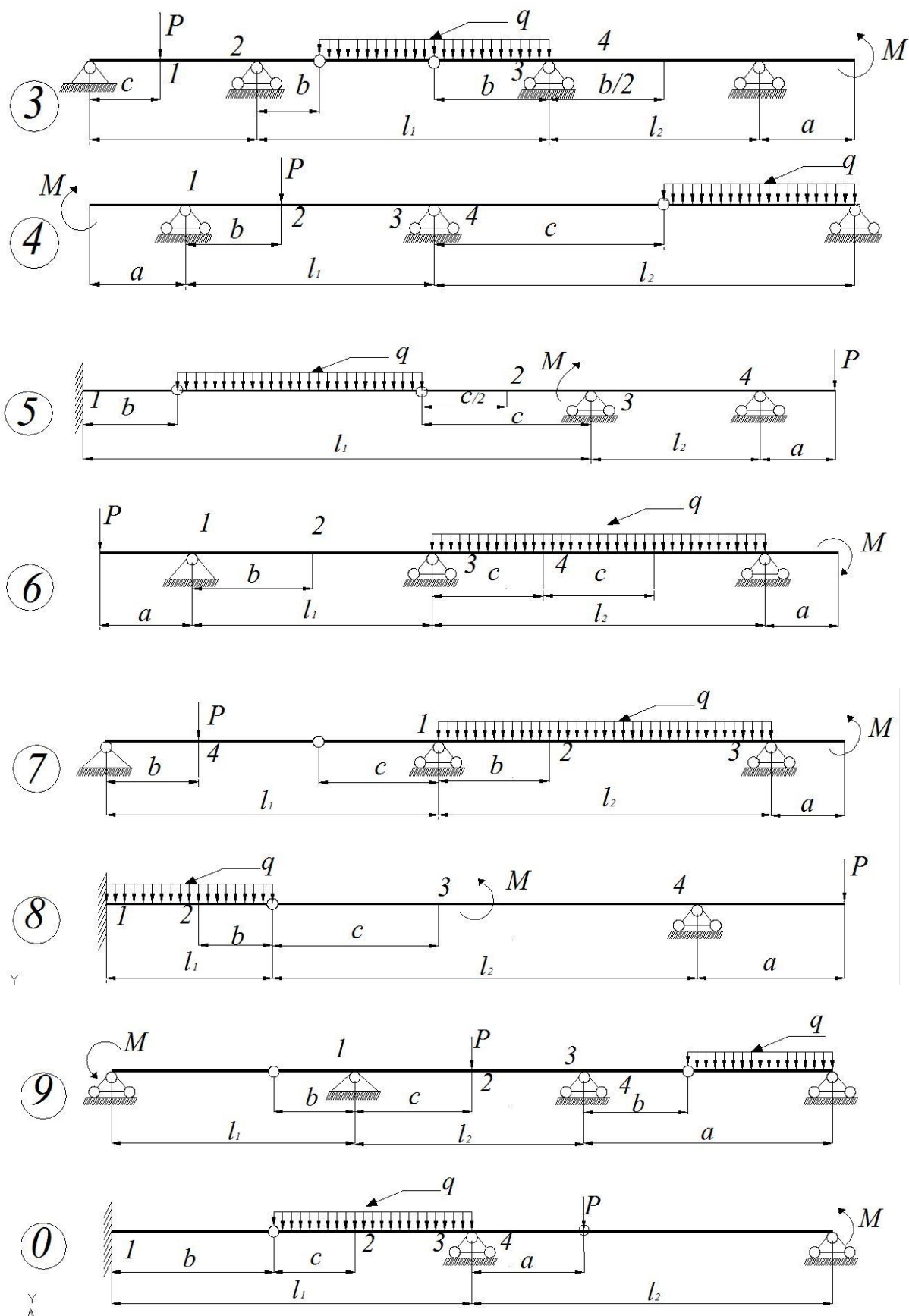
Masalaning berilganlari shifr asosida II-jadvaldan yozib olinadi. Shifrnining oxirgi soni 23-rasmda keltirilgan hisob sxemalarining nomerini biladiradi.

1-HISOB-GRAFIK ISHINING TOPSHIRIQLARI

II-jadval

Shifrnining birinchi soni	l_1, m	$q, kN/m$	b, m	Shifrnining ikkinchi soni	l_2, m	p, kN	kesm №	Shifrnining uchunchi soni	a, m	c, m	$M, kN \cdot m$
1	10	1.2	1.0	1	8	3.0	1	1	1.0	1.0	2.0
2	14	2.0	0.8	2	7	2.5	2	2	1.2	2.2	2.2
3	8	1.8	1.9	3	9	6	3	3	2.0	1.4	2.7
4	12	3.0	1.4	4	6	2.8	4	4	2.2	1.6	2.4
5	9	1.5	1.6	5	11	7	1	5	1.3	1.8	2.5
6	11	2.5	2.1	6	10	3.3	2	6	2.1	2.0	1.1
7	7	1.4	1.2	7	12	5	3	7	1.4	1.1	2.6
8	6	0.8	1.8	8	15	8	4	8	1.9	1.3	3.0
9	5	1.0	1.5	9	14	4	1	9	1.5	1.5	2.8
0	13	2.2	2.0	0	14	3.2	3	0	0.8	1.7	1.5





23-rasm

Tayanch iboralar:

Mustahkamlik, bikirlik, ustuvorlik, ichki zo'riqish kuchlari, kuchlanishlar, sterjen, balka, plastinka, qobiq, massiv, berilgan konstruksiya, hisob sxemasi, tekis va fazoviy konstruksiyalar, tayanch va tayanch reaksiyalari, tayanch turlari, statik va dinamik kuchlar, to'plangan va yoyilgan kuch, sterjenli sistemalar, sterjenli sistemalarning eriklik darajasi, eriklik darajasini hisoblash formulalari, kuchlar ta'sirining mustaqillik qoidasi, harakatlanuvchi kuch, zo'riqish kuchi, eguvchi moment, kesuvchi kuch, tayanch reaksiyalari, ta'sir chizig'I, tugun, tugunli balka, tugunli balka uchun ta'sir chizig'i qurish, zo'riqish kuchi, ta'sir chizig'i qurishning kinematik usuli, oddiy balka, ko'p oraliqli balka, ko'p oraliqli balka etaj sxemasi, statik aniq ko'p oraliqli balka, kinematik o'zgaruvchi ko'p oraliqli balka, kinematik o'zgarmas ko'p oraliqli balka, ko'p oraliqli balkalarni doimiy kuch ta'siriga analitik hisoblash.

Test savollari:

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

qurilish mexanikasi

materiallar qarshiligi

inshootlar dinamikasi

inshootlar zilzilabardoshligi

2. Qurilish mexanikasi fani nimani o'rganadi?

inshootlarni hisoblash usullarini ishlab chiqish

inshootlarni loyihasini ishlab chiqish

inshootlarni hisoblash sxemalarini ishlab chiqish

inshootlarni shakllarini ishlab chiqish

3. Qurilish mexanikasining asosiy vazifalaridan biri-bu:

inshootlarda hosil bo'ladigan zo'riqishlar va deformatsiyalarni aniqlash

inshootlarda hosil bo'ladigan jarayonlarni aniqlash

inshoot elementlarining ko'ndalang kesimlarini tanlash

inshoot elementlarining hisobiy sxemalarini tanlash

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

mustahkamlik

ustuvorlik

bikirlik

barqarorlik

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

bikirlik

mustahkamlik

ustuvorlik

chidamlilik

6. Inshootlarni mustahkamlikka hisoblashdan maqsad nima?

inshootlarni tashqi yuklar ta'siriga chidamli bo'lishini ta'minlash

inshootlarni zilzilaga chidamliligini ta'minlash

tebranishlarga chidamli bo'lishini ta'minlash

inshootlarni muvozonat holatini saqlash

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

ustuvorlik

bikirlik

mustahkamlik

zo'riqish

8. Tayanchlar qanday turlarga ajratiladi?

sharnirli qo'zg'aluvchan, sharnirli qo'zg'almas va bikir mahkamlangan

sharnirli qo'zg'aluvchan

sharnirli qo'zg'almas

bikir

9. Tayanchlar qanday klassifikatsiyalanadi?

kinematik bog'lanishlar soniga qarab

dinamik bog‘lanishlar soniga qarab

statik bog‘lanishlar soniga qarab

optik bog‘lanishlar soniga qarab

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

bitta

ikkita

uchta

to‘rtta

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

ikkita

uchta

to‘rtta

bitta

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

uchta

to‘rtta

bitta

ikkita

13. Qurilish mexanikasi hisoblarida nechta turdagi tayanchlardan foydalaniladi?

uchta

ikkita

bitta

to‘rtta

14. Yuklar deb nimaga aytiladi?

inshootga ta’sir etadigan tashqi kuchlar

inshootga ta’sir etadigan ichki kuchlar

inshootga ta’sir etadigan birlik ko‘chishlar

inshootda hosil bo‘ladigan zo‘riqishlar

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

statik va dinamik

garmonik va dinamik

yoyilgan va to'plangan

doimiy va muvaqqat

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

yoyilgan va to'plangan

doimiy va muvaqqat

garmonik va dinamik

statik va dinamik

17. To'plangan yuklar deb qanday yuklarga aytiladi?

inshoot kichik sirtiga yoki nuqtasiga to'plangan yuklar

inshootning butun sirtiga ta'sir etuvchi yuklar

inshootning uzunlik birligiga to'g'ri kelgan yuklar

inshootning birlik yuzasiga ta'sir etuvchi yuklar

18. Yoyilgan yuklar deb qanday yuklarga aytiladi?

inshootning sirti yoki uzunligi bo'ylab tarqalgan yuklar

inshootning kichik sirtiga ta'sir etuvchi yuklar

inshootning uzunlik birligiga to'g'ri kelgan yuklar

inshootning kichik qismiga to'plangan yuklar

19. Vazifasiga ko'ra yuklar qanday turlarga ajratiladi?

doimiy, muvaqqat va qo'zg'aluvchan

yoyilgan va to'plangan

statik va dinamik

sirt va hajmiy

20. Tashqi kuchlar qanday klassifikatsiyalanadi?

sirtqi va hajmiy kuchlar

to'plangan va yoyilgan kuchlar

hajmiy kuchlar va yoyilgan kuchlar

to'plangan va hajmiy kuchlar

21. Intensivlik deganda nima tushuniladi?

uzunlik birligiga to'g'ri kelgan yuk miqdori

inshootning kichik sirtiga ta'sir etuvchi yuklar miqdori

inshootning birlik yuzasiga ta'sir etuvchi yuklar miqdori

kuchlarning teng ta'sir etuvchisi miqdori

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

inshoot materialining ishlash xususiyati va bog'lanishiga qarab

inshoot materialiga qarab

inshoot bog'lanishiga qarab

mexanik xususiyatiga qarab

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

elementlar o'lchamlari bo'yicha

elementlar mustahkamligi bo'yicha

elementlar bikirligi bo'yicha

elementlar ustuvorligi bo'yicha

24. Qanday kuchlar yuklar deb ataladi?

tashqi kuchlar

statik kuchlar

dinamik kuchlar

ichki kuchlar

25. Plastina deb nimaga aytiladi?

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

barcha o'lchamlari bir tartibda bo'lgan elementlar

inshootning soddalashtirilgan elementlari

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

26. Massiv deb nimaga aytiladi?

barcha o'lchamlari bir tartibda bo'lgan elementlar

inshootning soddalashtirilgan elementlar

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

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

27. Qanday sistemalar geometrik o'zgaras sistemalar deyiladi?

tashqi kuchlar ta'sirida o'zining shakli va holatini o'zgartirmaydigan sistema

kuchlar ta'sirida bo'lgan jismning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgarmaydigan jismlar

tashqi kuchlar ta'sirida o'z holatini o'zgartiradigan sistema

ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunlik o'lchamiga qaraganda juda kichik bo'lgan konstruksiya qismlari

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

ta'sir chizig'i

chap to'g'ri chizig'i

o'ng to'g'ri chizig'i

harakatlanuvchi yuklar grafigi

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

ko'p oraliqli statik aniq balkalar

uzluksiz balkalar

ko'p oraliqli statik noaniq balkalar

bir oraliqli sharnirli arkalar

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

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

statik noaniq bir oraliqli balkalardan tashkil topib, tayanchlar cho‘kishi yoki harorat o‘zgarishidan qo‘shimcha zo‘riqishlar paydo bo‘lmaydi

statik aniq alohida balkalardan iborat bo‘lib, tayanchlar cho‘kishi yoki harorat o‘zgarishidan qo‘shimcha zo‘riqishlar paydo bo‘ladi

statik noaniq bir oraliqli balkalardan tashkil topib, tayanchlar cho‘kishi yoki harorat o‘zgarishidan qo‘shimcha zo‘riqishlar paydo bo‘ladi

31. Balka deb nimaga aytiladi?

egilishga ishlaydigan brus

cho‘zilishga ishlaydigan brus

siljishga ishlaydigan brus

buralishga ishlaydigan brus

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

hisoblash ikkinchi darajali (osma) balkadan boshlanadi

hisoblash istalgan balkadan boshlanishi mumkin

avval asosiy balka, keyin ikkinchi darajali balka hisoblanadi

hisoblashni istalgan balkadan boshlash mumkin

33. Qavatlar sxemasi qanday balkalardan tashkil topadi?

asosiy va ikkinchi darajali (osma) balkalar

osma va kran osti balkalar

oddiy va murakkab balkalar

Oddiy va uzlukli balkalar

34. Sharnirlarni yakka tartibda joylashtirish qoidasi qanday?

sharnirlarni ikkinchi oraliqdan boshlab bittadan joylashtiriladi

sharnirlarni birinchi oraliqdan boshlab bittadan joylashtiriladi

sharnirlarni ixtiyoriy oraliqdan boshlab ikkitadan joylashtiriladi

sharnirlarni oxirgi oraliqdan boshlab uchtdan joylashtiriladi

35. Sharnirlarni juft tartibda joylashtirish qoidasi qanday?

juft sharnirlarni ikkinchi oraliqdan boshlab oraliq osha joylashtiriladi

sharnirlarni birinchi oraliqdan boshlab joylashtiriladi

sharnirlarni ixtiyoriy oraliqdan boshlab joylashtiriladi

sharnirlarni oxirgi oraliqdan boshlab joylashtiriladi

36. Sharnirlarni to‘g‘ri joylashtirish usullari keltirilgan qatorni aniqlang?

yakka, juft va aralash

yakka va juft

yakka va aralash

juft va aralash

Nazorat savollari

1. Qurilish mexanikasining asosiy vazifalari nimadan iborat?
2. Tayanch turlari va ularda paydo bo‘ladigan tayanch reaksiyalari.
3. Geometrik o‘zgarmas sistema deb qanday sistemaga aytiladi?
4. Geometrik o‘zgaruvchan sistema deb qanday sistemaga aytiladi?
5. Geometrik o‘zgarmaslik sharti formulasini keltiring?
6. Kuchlar ta’siri mustaqillik qoidasi qanday tushuniladi?
7. Oddiy balka tayanch reaksiyasi ta’sir chizig‘i.
8. Oddiy balka eguvchi moment va kesuvchi kuchi ta’sir chizig‘i.
9. Konsol uchun ta’sir chizig‘i qanday quriladi?
10. Zo‘riqishlar ta’sir chiziq yordamida qanday aniqlanadi?
11. Tugunlar orqali yuk uzatilganda balka ta’sir chiziqlari qanday quriladi?
12. Oddiy balka deb qanday balkaga aytiladi?
13. Konsol balka deb qanday balkaga aytiladi?
14. Ikki konsolli balka deb qanday balkaga aytiladi?
15. Ko‘p oraliqli statik aniq balka deb qanday balkalarga aytiladi?
16. Ko‘p oraliqli balka etaj sxemasi qanday quriladi?
17. Ko‘p oraliqli balkalarning statik aniqligi va geometrik o‘zgarmasligi qanday tekshiriladi?
18. Ko‘p oraliqli balkalarni analitik usulda hisoblash deganda nimani tushunasiz?
19. Asosiy va osma balkalar deb qanday balkalarga aytiladi?
20. Ko‘p oraliqli balkalarni analitik hisoblash deganda nimani tushunasiz?

Onlayn masofaviy o'qitish usullari

Talaba tomonidan I-BOB ga doir mavzular o'zlashtirililib bo'lgach tyutor tomonidan topshiriqlarni har bir talabaga individual tarzda (pdf yoki doc) fayl tarzida tayyorlanadi. Tayyorlangan topshiriq tizimga joylashtiriladi. Buning uchun tizimga kirib tahrirlashga o'tiladi so'ng kerakli mavzuni tugash qismida element yoki resurs qo'shish tugmasini bosib, topshiriq elementi tanlanadi va qo'shish tugmasi bosiladi. Shundan so'ng topshiriq joylashish oynasi ochiladi. Topshiriq nomi (Названные)da biror nom kiritiladi. (Описание)da topshiriq haqida qisqa ma'lumotlar kiritiladi, topshiriqlarni bajarish ko'rsatmalar yozish maqsadga muvofiqdir. Undan pastda tayyorlangan faylni qo'shish oynasi joylashgan bo'lib shu oynaga joylashtiriladi. Undan pastda vaqt reglamenti (синхронизация), baholashi (оценки)lar to'g'rilanadi va saqlash tugmasi bosiladi. Shundan so'ng topshiriq barcha talabalarga ko'rinadi.

Jo'natilgan topshiriqni talaba qabul qilib oladi. Belgilangan mavzu bo'yicha talaba topshiriqni yuklab oladi va aytilgan tarzda bajaradi.

Bajarilgan topshiriqni (pdf yoki doc) fayl shaklida jo'natadi.

Tyutor talaba tomonidan bajarib jo'natilgan topshiriq taqdimnomasini ochadi, uni tekshiradi, kamchilik va mulohazalarni yozish joyida bildiradi va jo'natiladi. Tyutor tomonidan baholanadi va saqlash uchun (сохранит все оценки) tugmasi bosiladi.

II- BOB.

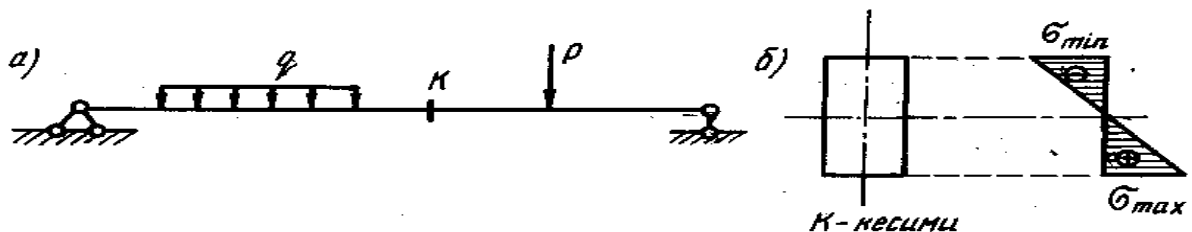
STATIK ANIQ ODDIY FERMALAR.

2.1-§. Fermalar haqida tushunchalar. Fermalarning turlari.

Bikir tugunlarni sharnirlar bilan almashtirganda, o'zining geometrik o'zgarmasligini saqlab qoluvchi sterjenli sistemalar **fermalar** deb ataladi.

Fermalar balkalarning takomillashgan bir ko'rinishi bo'lib, balkalar o'taydigan vazifani bajaradi: balkalar kichik oraliqlarni yopishda qo'llanilsa, fermalar katta oraliqlarni yopishda qo'llaniladi.

Balkadan fermaga o'tish g'oyasi uning ishlash sharoitini tahlil qilish oqibatida paydo bo'lgan.

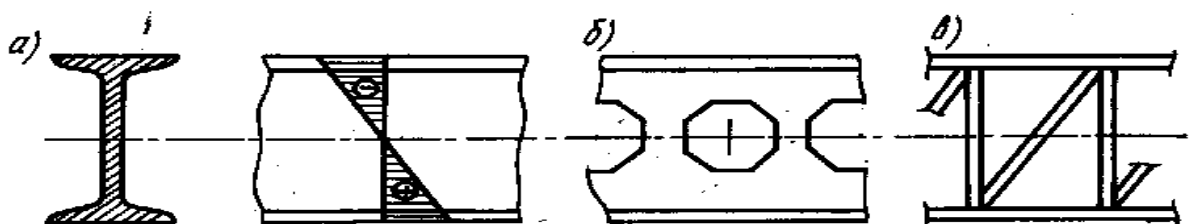


24-rasm

Ma'lumki balka egilishga ishlaydi (24-rasm, b) ko'rinib turibdiki, balkaning materialidan to'liq foydalanilmaydi. Normal kuchlanish neytral o'qda nol, o'qdan uzoqlashgan sari uning qiymati ortib boradi.

Hattoki, prokat profillar (qo'shtavr, shveller va burchakliklar)da ham materiallarning atigi 60-70% foydalaniladi.

Dastlab to'g'ri to'rtburchakli yaxlit kesim o'rniga qo'shtavr paydo bo'ldi (21-rasm, a), keyinchalik qo'shtavr devorlari o'yiqlar hisobiga yengillashtiriladi (21-rasm, b) va nihoyat bu izlanishlarning mantiqiy davomi sifatida ferma konstruksiyasi yaratiladi (25-rasm, v).

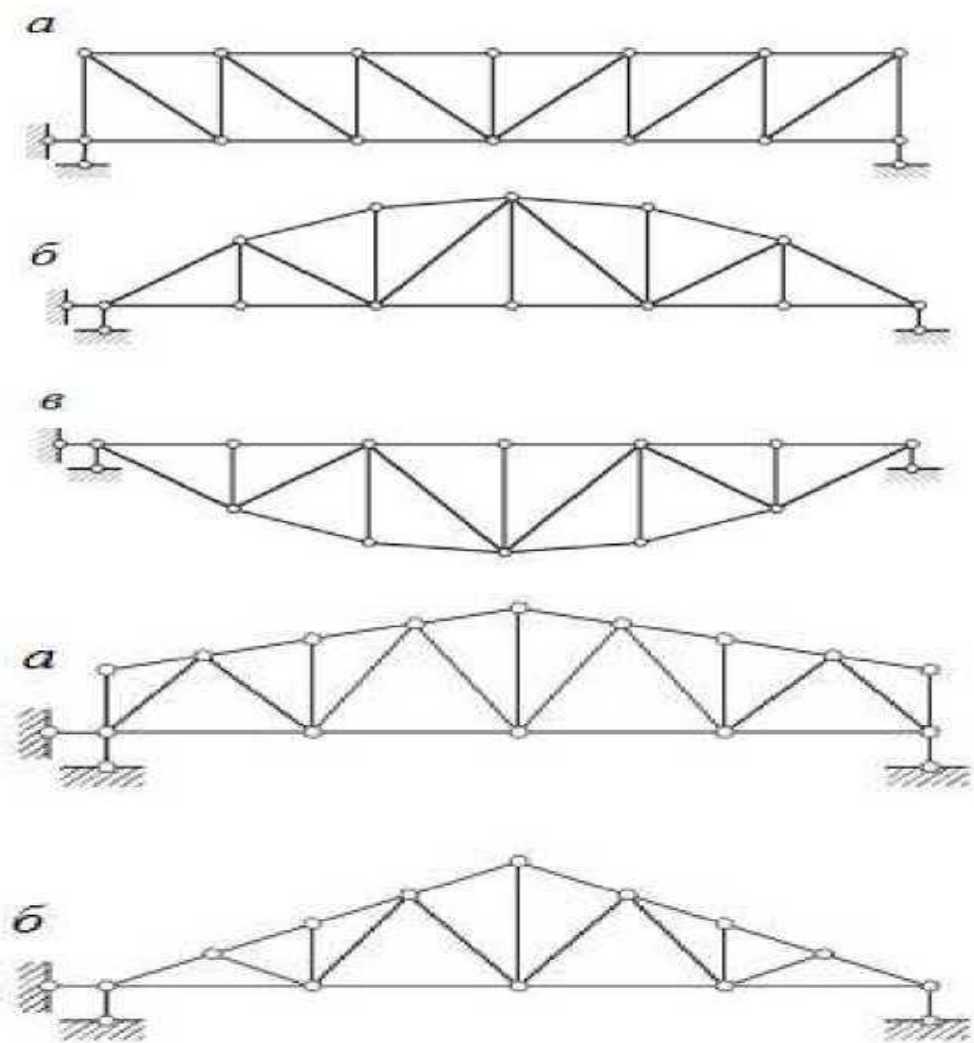


25-rasm

Oddiy statik aniq fermaning hisoblash sxemasi (26-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.

Fermaning barcha sterjenlari yoki ularning o'qlari bir tekislikda joylashsa, *tekis* yoki **yassi fermalar** deb, agar bir tekislikda joylashmasa, **fazoviy fermalar** deb ataladi. Fazoviy fermalar ko'pincha alohida tekis fermalarga ajratilgan holda hisoblanadi. Ikki tayanch orasidagi masofaga **oraliq (prolyot)** deb ataladi. Fermaning tashqi, ustki va pastki chegarasida joylashgan sterjenlarga **tasmalar (belbog'lar)** deb atalib, ular orasida joylashgan sterjenlar ferma panjaralarini tashkil etadi.



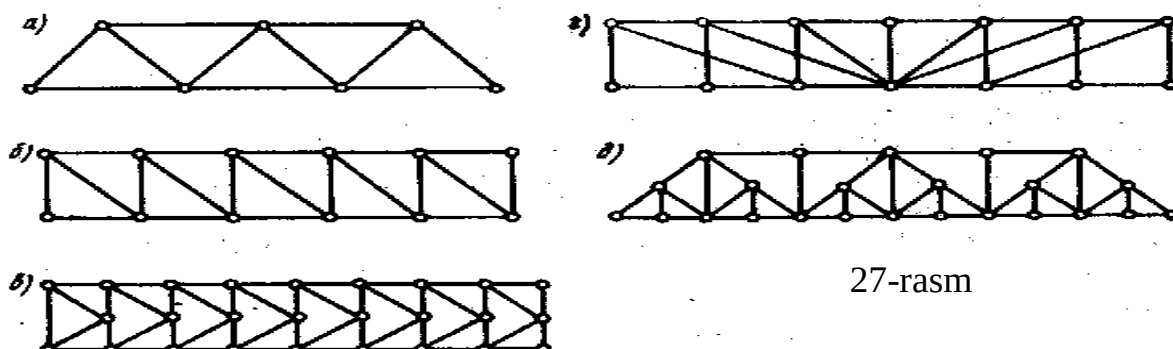
26-rasm

Panjaraning tik elementlari **ustun**, og‘ma elementlari esa **havon** deb ataladi. Ferma tugunlari orasidagi gorizontal masofa **panel** deb ataladi.

Ferma tashqi ko‘rinishi, panjara shakli, tayanch xillari va o‘taydigan vazifasiga qarab bir necha turga bo‘linadi:

1. Ferma tashqi konturining shakliga ko‘ra parellel belbog‘li fermalar, uchburchak shaklli fermalar, poligon belbog‘li fermalarga bo‘linadi (26-rasm).

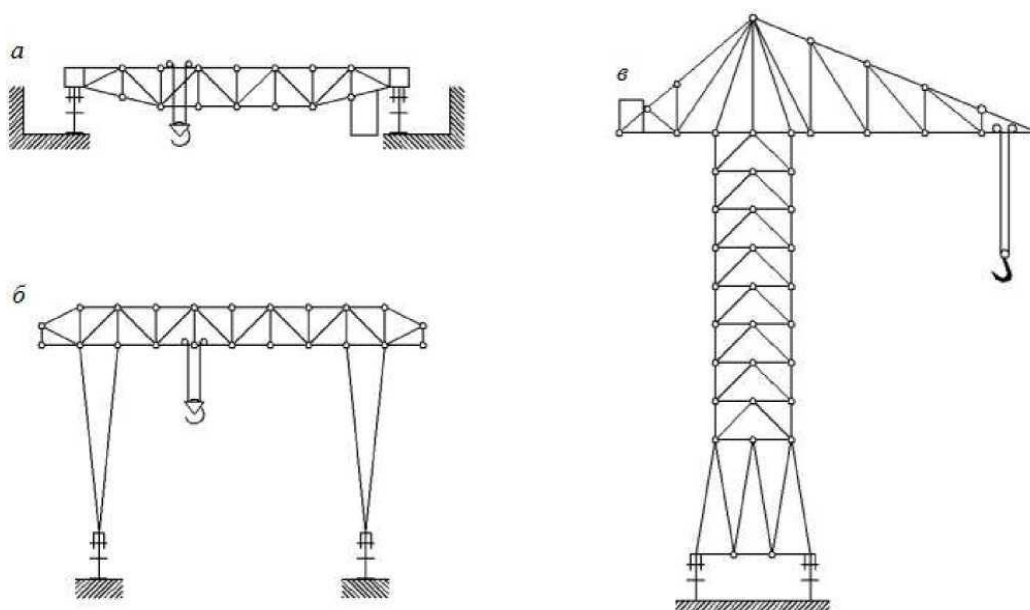
2. Panjarasining tuzilishiga ko‘ra: uchburchak panjarali fermalar (27-rasm, a), havon panjarali fermalar (27-rasm, b), yarim havon panjarali fermalar (27-rasm, v), qo‘shhavon panjarali fermalar (27-rasm, g), qo‘sh panjarali fermalar (27-rasm, g), qo‘sh panjarali (shprengelli) fermalar (27-rasm, d).



27-rasm

3. Tayanch xillariga qarab balkasimon yoki konsol balkalar.

4. O‘taydigan vazifasiga ko‘ra ko‘prik va kran fermalar (28-rasm).



28-rasm

5. Ko‘prik fermalarida yukning harakatlanish sathiga qarab ustki yoki pastki belbog‘dan harakatlanadigan fermalar bo‘ladi.

Statik aniq yassi fermalarni hisoblash deganda har bir sterjendagi zo‘riqishlarni aniqlash tushuniladi. Zo‘riqishlarni aniqlashning analitik, grafik va ta’sir chiziqlari usuli mavjud.

Analitik usulning o‘zi bir-birini to‘ldiruvchi uchta: moment nuqtasi (Ritter), proyeksiyalash va tugunlarni kesib ajratish usuliga bo‘linadi. Bulardan eng qulayi Ritter usuli bo‘lib hisoblanadi, lekin undan har doim ham foydalanib bo‘lmaydi. Shunday hollarda proeksiyalash yoki tugunlarni kesib ajartish usulidan foydalaniladi.

2.2-§. Fermalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash.

Fermalarni hisoblash, ya’ni ularning sterjenlarida tashqi yuk ta’siridan hosil bo‘ladigan zo‘riqishlarni topish uchun odatda muvozanat tenglamalaridan foydalanib, ularning tayanch reaksiyalari aniqlanadi. (29 – rasm)

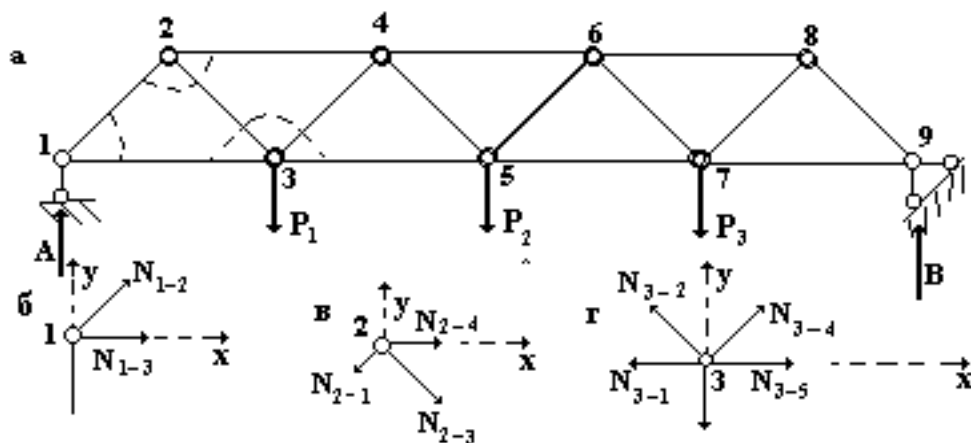
Ferma sterjenlaridagi zo‘riqishlar asosan quyudagi usullar bilan aniqlanadi:

- 1.Ferma tugunlarini ajratish;
2. Fermani kesish;
- 3.Sterjenlarni almashtirish;
- 4.Grafik usul (Maksvel-Kremona diagrammasi);

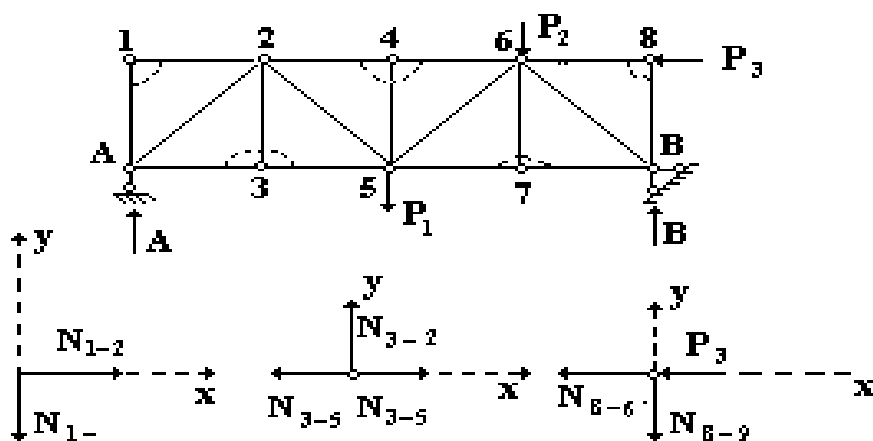
Har bir usulni alohida-alohida ko‘rib chiqamiz.

1.Tugunlarni ajratish usuli.Tashqi kuchlar va tayanch reaksiyalari ta’sirida muvozanatda bo‘lgan fermadan (30-rasm, a) ketma-ket kesib ajratib olingan tugunlari bir nuqtada kesishuvchi zo‘riqish kuchlar sistemasi bor. Bu holda sterjenlardagi zo‘riqishlarni tpish uchun istalgan tugunga oid ikkita muvozanat tenglamasini tuzish mumkin:

$$\sum X=0 ; \quad \sum Y=0 ;$$



29 – rasm



30 - rasm

Bu tenglamalarni tuzish faqat ikkita sterjen tutashgan tugundan boshlanib, undagi noma'lum zo'riqishlar topiladi. So'ngra noma'lum zo'riqishlari ikkitadan ortiq bo'lmagan tugunlar uchun navbatma - navbat muvozanat tenglamalari yozish bilan fermaning boshqa sterjenlaridagi zo'riqishlar aniqlanadi. Umuman, har bir tugun uchun ikkita noma'lumli ikkita tenglamadan iborat sistemani hosil qilamiz. Koordinata o'qlarining yo'nalishlarini tegishlicha tanlab har gal ikkita ikki noma'lumli ikkita tenglamadan iborat sistemani hosil qilimiz. Koordinata o'qlarining yo'nalishlarini tegishlicha tanlab har gal ikki noma'lumli tenglamalar sistemasini o'rniga bitta noma'lumli mustaqil tenglamalar hosil qilish mumkin; bu ba'zi hollarda hisoblashni ancha osonlashtiradi.

Tugunlar muvozanatining ayrim hollarini tekshirib, nollik sterjenlarining belgilarini aniqlaymiz. 29-rasm, a da ko'rsatilgan ferma elementlaridagi zo'riqishlarni aniqlash uchun tugunlarni kesish usulini tatbiq etamiz. Fermadan bir tugunni ajratib, unda tutashgan sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlaymiz (29-rasm,b)

$$\sum X = 0, \sum X = N_{1-2} = 0, \text{ demak, } N_{1-2} = 0;$$

$$\sum Y = 0, \sum Y = -N_{0-1} = 0, \text{ demak, } N_{0-1} = 0$$

Demak, bir chiziqda yotmagan ikki sterjen uchlari tutashgan tuguniga yuk qo'yilmagan bo'lsa, fermaning bu sterjenlaridagi zo'riqishlar 0 ga teng bo'ladi (29 rasm, a):

$$N_{0-1} = 0, \quad N_{1-2} = 0.$$

Shu shart 0 chi sterjenlarning birinchi belgisidir.

Fermaning 3 tugunini ajratib, uning uchun muvozanat tenglamalarini yozamiz (29 rasm, v):

$$\sum X = 0, \sum X = -N_{3-0} + N_{3-5} = 0,$$

bundan

$$N_{3-0} = N_{3-5};$$

$$\sum Y = 0, \sum Y = N_{3-2} \text{ ya'ni } N_{3-2} = 0.$$

Demak, fermaning yuklanmagan tugunida 3 ta sterjen tutashgan bo'lib, ulardan ikkitasi bir to'g'ri chiziqda yotsa, ulardagi zo'riqishlar bir-biriga teng, uchinchi sterjendagi (yakka sterjen deb ataladi) zo'riqish esa nolga teng bo'ladi $N_{3-0} = N_{3-5}$, $N_{3-2} = 0$. Bu nolinchii sterjenlarning ikkinchi belgisidir. Bu belgiga asosan, 26-rasm,a da ifodalangan fermaning 4-5 va 6-7 -ustunlaridagi zo'riqishlar ham nolga teng bo'ladi:

$$N_{4-5} = 0, N_{6-7} = 0.$$

Tugunda ikkita sterjen tutashgan bo'lib,unga qo'yilgan yuk biror sterjenning o'qi bo'yicha yo'nalgan bo'lsa, bu sterjendagi zo'riqish qo'yilgan yukka teng, ikkinchi sterjendagi (yakka sterjen deyish mumkin) zo'riqish esa nolga teng bo'ladi.

Masalan, 29-rasm, a da ko'rsatilgan fermadan 8-tugunni kesib (29-rasm,g) quyidagi tenglamalarni tuzamiz:

$$\sum X = 0, \sum X = -N_{8-6} - R_3 = 0,$$

bundan

$$N_{8-6} = R_3$$

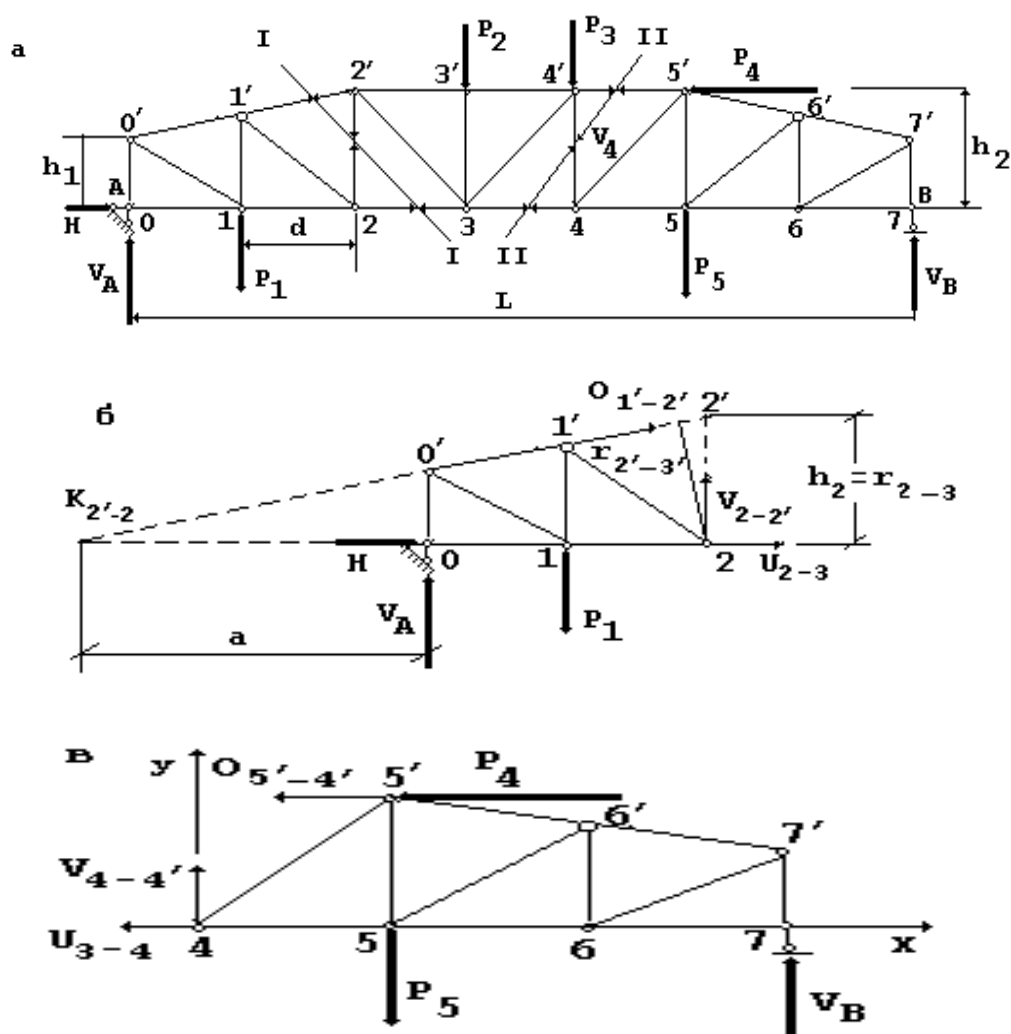
$$\sum Y = 0, N_{8-9} = 0.$$

2. Fermani kesish usuli. Fermaning ayrim sterjenlarida hosil bo'ladigan zo'riqishlarni aniqlash uchun fermani kesish usulidan foydalaniladi. Fermani kesish usulini tatbiq etish tugunlarni ajratish usuliga nisbatan ancha oson va bu usul quyidagi tartibda bajariladi. Ferma zo'riqish aniqlanadigan sterjenni kesib o'tuvchi biror 1-1 kesim bilan fikran ikki qismga ajratilib, uning chap yoki o'ng qismining muvozanati tekshiriladi (30-rasm,a). Lekin ferma bu kesim bilan fikran ikki qismga ajratilganda kesilgan sterjenlarning soni uchtdan oshmasligi kerak, agar uchtdan oshsa tegishli noma'lum zo'riqishlarning soni statikaning tekislikdagi muvozanat tenglamalari sonidan ortiqcha bo'lib, uni hisoblash mumkin bo'lmay qoladi. Muvozanat tenglamalarini tuzishdan avval kesilgan sterjenlar cho'zilishga ishlaydi deb faraz qilib, zo'riqishlar fermaning tugunlaridan tashqi tomonga yo'naltiriladi.

Aniqlangan zo'riqishlardan biri manfiy ishorada bo'lsa, uning yo'nalishi avval qabul qilingan yo'nalishga qarama-qarshi bo'lib, sterjen siqilgan bo'ladi. Fermaning ajratilgan qismidagi uchta noma'lum zo'riqishlarni aniqlash uchun statikaning uchta muvozanat tenglamasini yozib ularni birga yechish kerak.

Buning uchun har qaysi sterjendagi zo'riqish boshqa ikkita noma'lum zo'riqishning yo'nalishlari kesishgan nuqtaga nisbatan tuzilgan momentlar tenglamasidan foydalanib aniqlanadi. Agar kesilgan sterjenlardan ikkitasi o'zaro parallel bo'lsa, u holda 3-chi sterjendagi zo'riqish parallel bo'lgan sterjenlarga tik yo'nalgan o'qqa tushirilgan proyeksiyalar yigindisining 0 tengligi shartidan foydalanib aniqlanadi.

Masalan, 31- rasmda ko'rsatilgan ferma elementlaridagi zo'riqishlarni aniqlash talab qilinsin.



31 – rasm

Fermaning 2-3 elementidagi U_{2-3} zo'riqishini aniqlash uchun ikki elementni kesib o'tuvchi I - I kesimni olib, uni ikki (chap va o'ng) qismga ajratamiz. Bulardan bir qismini, masalan, o'ng qismini tashlab yuborib uning chap tomonga ko'rsatadigan ta'sirini kesilgan sterjenlar bo'yicha yo'nalgan noma'lum zo'riqishlar bilan almashtiramiz (31-rasm, b). Fermaning qolgan chap qismi uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz. U_{2-3} zo'riqishni aniqlash uchun boshqa ikki kesimlgan sterjenlardagi zo'riqishlarni kesishgan nuqtasi 2 ni belgilab, bu nuqtaga nisbatan

momentlar tenglamasi ($\sum M_2 = 0$) ni yozamiz. U holda 20 nuqtaga nisbatan U_{2-3} zo‘riqishning moment nuqtasi deyiladi.

$$\sum M_2 = V_A \cdot 2d - H \cdot h_2 - U_{2-3} \cdot 2d - P \cdot d = 0, \quad \text{bundan}$$

$$U_{2-3} = 1/r_{2-3} = (V_A \cdot 2d - H \cdot h_2 - P \cdot d),$$

bu yerda r_{2-3} - zo‘riqish U_{2-3} ning 20 nuqtaga nisbatan yelkasi. O_{10-20} zo‘riqishni topish uchun hamma ferma chap qismining muvozanatini tekshiramiz. Buning uchun boshqa ikkita U_{2-3} va V_{2-2} zo‘riqishlarning yo‘nalishi kesishgan 2-tugunga (moment nuqtasi ikki tugunga mos keladi) nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_2 = V_A \cdot 2d - P_1 \cdot d + O_{1-2} \cdot r_{1'-2} = 0, \quad \text{bundan}$$

$$O_{1'-2} = -1/r_{1'-2} (V_A \cdot 2d - P_1 \cdot d)$$

V_{2-2} zo‘riqishni topish uchun U_{2-3} va O_{10-20} zo‘riqishlarning yo‘nalishi kesishgan nuqta K_{2-2} ga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz (31- rasm ,b):

$$\sum M_{2-2'} = -V_A \cdot a + P_1(a + d) - V_{2-2'} \cdot (a + 2d) = 0 \quad \text{bundan}$$

$$V_{2-2'} = \frac{1}{(a + 2d)} [V_A \cdot a + P_1 \cdot (a + d)]$$

V_{4-40} zo‘riqishni topish uchun fermanni II - II bo‘yicha kesib ikki qismga ajratamiz (27-rasm,a) va uning o‘ng tomonidagi ajratilgan qismining muvozanatini tekshiramiz (31- rasm , v). Fermaning bu qismiga ta’sir etayotgan kuchlar soni uning chap qismiga ta’sir etayotgan kuchlar sonidan kam. Fermadan ajratilgan o‘ng qismga ta’sir qilayotgan U_{3-4} va O_{40-50} noma’lum zo‘riqishlar o‘zaro parallel bo‘lgani uchun V_{4-40} zo‘riqishni aniqlashda ham kuchlarining vertikal o‘qqa tushirilgan proyeksiyalari yig‘indisining 0 ga tengligi shartidan foydalaniladi.

$$\sum Y = 0, \sum Y = -N_{4-4'} - P_5 + V_B = 0, \quad \text{bundan}$$

$$N_{4-4'} = P_5 - V_B \quad \text{bo‘ladi.}$$

Xuddi shu tartibda fermaning boshqa sterjenlaridagi zo‘riqishlarni ham aniqlash mumkin.

2.3-§. Oddiy fermalar zo‘riqishlarining ta’sir chiziqlarini chizish

Ferma elementlarida harakatlanuvchi yuklar ta’siridan hosil bo‘ladigan zo‘riqish kuchlarini aniqlash uchun ta’sir chiziqlar nazariyasidan foydalaniladi.

Yo‘nalishi vertikal, miqdori esa birga teng ($P=1$) ko‘chma yuk ferma bo‘yicha harakatlanayotganda ferma elementidagi zo‘riqish qiymatining o‘zgarishini ifodalovchi grafik shu zo‘riqish ta’sir chizig‘i deb ataladi.

Tashqi yuklar fermaning sharnirli tugunlariga qo‘yilganligi sababli, uning elementlaridagi zo‘riqish ta’sir chiziqlarini qurishda yuklarni tugun orqali asosiy balkaga uzatishdagi ta’sir chizig‘ini qurish qoidalarini tatbiq qilish kerak. Ta’sir chizig‘ini qurish tartibini quyidagi misollarda ko‘ramiz:

1. Parallel belbog‘li ferma elementlaridagi zo‘riqishning ta’sir chiziqlarini quramiz (32-rasm). pastki belbog‘ning 2-3 elementidagi U_{2-3} zo‘riqishning ta’sir chizig‘ini qurish uchun fermani I-I kesim bo‘yicha kesib, ko‘chma birlik yukning ikki holatini tekshiramiz:

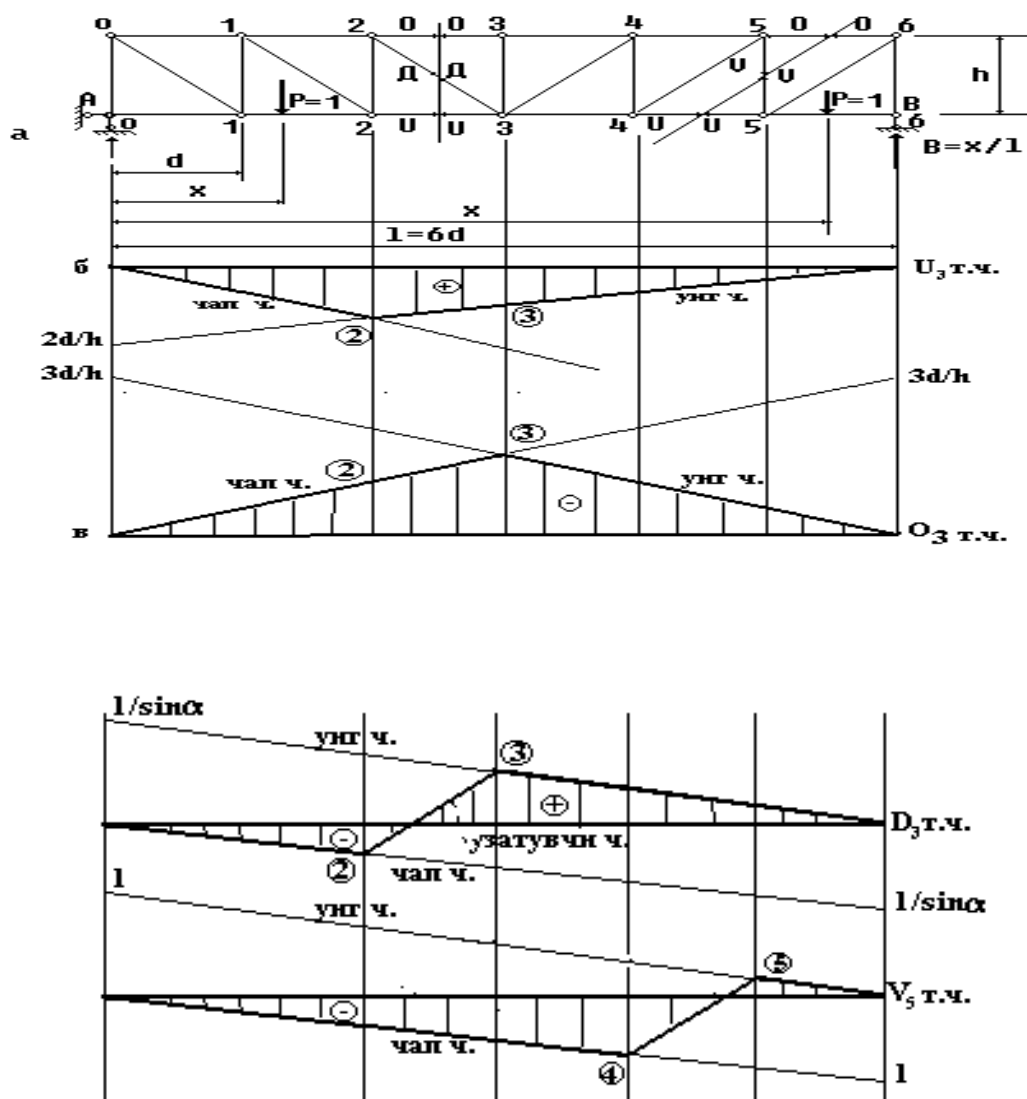
Birinchi holat. Birlik yuk ($P=1$) kesim o‘tkazilgan paneldan chap tomonda harakatlanadi, ya’ni $0 \leq X \leq 2d$. Fermaning chap yoki o‘ng qismi uchun muvozanat tenglamalarini yozamiz. Tenglamalar fermaga ta’sir qilayotgan kuchlar soni kamroq qismi uchun yozilsa, tenglama soddaroq ko‘rinishga ega bo‘ladi. U_{2-3} zo‘riqishning moment nuqtasi ikki zo‘riqish D_{20-3} va O_{20-30} ning yo‘nalishlari kesishgan 20 nuqta (tugun) da bo‘ladi. I - I kesimning bir tomonida (fermaning o‘ng qismi uchun) yotgan kuchlarning moment nuqtasi 20 ga nisbatan momentlarining yig‘indisi nolga tengligi shartidan foydalanib, tenglama tuzamiz:

$$\sum M_{20} = B \cdot 4d + Y_{2-3}^{o'ng} \cdot h = 0$$

$$\text{bundan} \quad Y_{2-3}^{chap} = B \cdot \frac{4d}{h} \quad (a)$$

$$\text{bu yerda} \quad B = \frac{x}{l}$$

Demak, U_{2-3} ning ta’sir chizig‘i V tayanch reaksiyasining ta’sir chizig‘i kabi chizilib, uning ordinatalari o‘zgarmas $\frac{4d}{P}$ miqdorga ko‘paytirilgan bo‘ladi.



32-rasm

(a) tenglama U_{2-3} ning chap chiziq tenglamasi deyiladi va u $P=1$ yuk kesim o'tkazilgan paneldan chap tomonda harakatlanganida U_{2-3} ning o'zgarishini ifodalaydi. Chap chiziq A tayanchi tagidagi nol ordinata bilan B tayanch ostidagi $1 \cdot \frac{4d}{P}$ ordinatani birlashtiruvchi to'g'ri chiziqdan iborat. Uning kerakli qismi $0 \leq X \leq 2d$ oraliqda bo'lib, 32-rasm ,b da shtrixlab ko'rsatilgan.

Ikkinchi holat. $P=1$ ko'chma yuk kesim o'tkazilgan paneldan o'ng tomonda harakatlanadi $3d \leq X \leq 6d$. Bu hol uchun ham moment nuqtaga nisbatan bir tomonda (fermaning chap qismi uchun) yotgan kuchlar momentlarining yig'indisi nolga tengligi shartidan foydalanamiz, ya'ni

$$\sum M_{20} = A2d - Y_{2-3}^{o'ng} \cdot h = 0,$$

bundan
$$U_{2-3}^{o'ng} = \frac{A2d}{h}, \quad (b)$$

Demak, $P=1$ yuk uchinchi paneldan o'ng tomonda bo'lganida, U_{2-3} ning ta'sir chizig'i oddiy balka A reaksiyasining ta'sir chizig'iga o'xshash, lekin uning ordinatalari o'zgarmas $\frac{2d}{h}$ miqdorga ko'paygan bo'ladi. (b) tenglama o'ng chiziq tenglamasi deyiladi va u $P=1$ yuk kesim o'tkazilgan paneldan o'ng tomonda harakatlanayotganda zo'riqishning o'zgarishini xarakterlaydi. (b) ga asosan, o'ng chiziq B tayanch ostidagi nol ordinata bilan A tayanch tagidagi $1 \cdot \frac{2d}{h}$ ordinatalarini birlashtirib hosil qilinadi. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 6d$ oraliqda bo'ladi. $P=1$ yuk 2-3 panelda (ya'ni kesilgan panel bo'yicha) harakatlanayotganda U_{2-3} zo'riqishning o'zgarish qonunini ifodalovchi uzatish chizig'i 2-3 o'ng chiziq ustida yotadi.

Chap va o'ng chiziqlar doim moment nuqtasi tagida kesishadi. U_{2-3} zo'riqishning ta'sir chizig'i 32 rasm, b da ko'rsatilgan.

Endi yuqoridagi belbog'dagi 20-30 sterjenda hosil bo'ladigan zo'riqishning ta'sir chizig'ini ko'ramiz.

Birinchi holat. Ko'chma $P=1$ yuk I-I kesim o'tkazilgan paneldan chap tomonda harakatlanadi. $0 \leq X \leq 2d$. Kesilgan fermaning o'ng qismi uchun muvozanat tenglamasini yozamiz. 0_{2-3} ning moment nuqtasi 3-tugunda bo'ladi. Bu tugunga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_3 = 0; \quad -B \cdot 3d - M_{2'-3'}^{chap} \cdot h = 0,$$

bundan
$$M_{2'-3'}^{chap} = -B \frac{3d}{h}. \quad (v)$$

(v) ifoda chap chiziq tenglamasidir. Bu chiziq oddiy balka V tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i kabi quriladi. Uning ordinatalari A tayanch ostida 0 ga, B tayanch ostida $-3d/h$ ga teng va kerakli qismi $0 \leq X \leq 2d$ oraliqda bo'ladi. (32 rasm, v).

Ikkinchi holat. Ko'chma $P=1$ yuk 3-tugundan o'ng tomonda harakatlanadi ($3d \leq X \leq 1$). Kesilgan fermaning chap qismiga qo'yilgan hamma kuchlar uchun moment nuqtasiga nisbatan $\sum M_3 = 0$ muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$\sum M_3 = A_3 d = M_{2'-3}'^{o'ng} \cdot h = 0.$$

$$\text{bundan} \quad M_{2'-3}'^{o'ng} = -A \frac{3d}{h}. \quad (g)$$

Bu o'ng chiziq tenglamasidir. O'ng chiziq B tayanch ostida 0 ga va A tayanch ostida $-\frac{3d}{h}$ bo'lgan ordinatalar orqali o'tadi. Chap va o'ng chiziqlar moment nuqtasi 3- tugun ostida kesishadi. Uzatuvchi chiziq (2-3) esa chap chiziq ustida yotadi (32-rasm,v)

Shunday qilib, chap chiziq $P=1$ ko'chma yuk A tayanchdan 3-tugunchaga harakatlaganda, o'ng chiziq esa ko'chma yuk 3- tugundan fermaning oxirgi tugunigacha harakatlanganda O_{20-30} zo'riqishning ta'sir chizig'ini ifodalaydi.

Fermaning yuqorigi yoki pastki belbog' sterjenlardagi zo'riqish ta'sir chiziqlarini shu fermaga mos keladigan oddiy balka kesimlaridagi eguvchi moment ta'sir chiziqlariga o'xshashligidan foydalanib ham qurish mumkin. Haqiqatdan, (a), (b), (v) va (g) formulalarni birlashtirib umumiy holda quyidagicha yozish mumkin.

$$S_1 = \pm \frac{M_k^o}{r_1}, \quad (3)$$

chunki (a), (b), (v) va (g) formulalarning surati oddiy balka eguvchi momentining ta'sir chizig'i tenglamasini va maxraji esa, zo'riqish yelkasini ifodalaydi. Bunda S_1 pastki yoki yuqoriga belbog' sterjenlaridagi zo'riqish. (3.4 formula bo'yicha S_1 ta'sir chizig'i qurish uchun, avval fermaning K nuqtasiga mos kelgan oddiy balka kesmidagi eguvchi momentining ta'sir chizig'ini qurib, so'ngra uning ordinatalarini o'zgarmas miqdor $\frac{1}{r_1}$ ga ko'paytirish kerak.

Ferma panjarasini tashkil etuvchi sterjenlarda hosil bo'ladigan zo'riqishlar ta'sir chiziqlarini qurishni ko'raylik I-I kesim bilan kesilgan 20-3 sterjendagi D_{20-3} zo'riqishning ta'sir chizig'ini quramiz:

a) Ko'chma $P=1$ yuk 2-chi tugundan chap tomonda $0 \leq X \leq 2d$ harakatlanadi deb ferma o'ng qismini muvozanatini tekshiramiz. D_{20-3} zo'riqishning moment nuqtasini cheksizlikda bo'lganligi uchun fermaning o'ng qismiga qo'yilgan kuchlarning vertikal o'qqa proeksiyalari yig'indisi 0 ga tengligidan foydalanamiz:

$$\sum Y = 0. \quad V + D_{2'-3'}^{chap} \sin \alpha = 0, \quad \text{bundan} \quad D_{2'-3'}^{chap} = -\frac{V}{\sin \alpha}.$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, o'ng chiziqni qurish uchun oddiy balka A tayanch reaksiyasini ta'sir chizig'ini qurib uning ordinatalarini o'zgarmas miqdor $1/\sin \alpha$ ga ko'paytirish kerak. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 1$ oraliqda bo'ladi. $P=1$ yuk 3-panel bo'yicha harakatlanayotganda, D_{20-3} zo'riqish 2-3 uzatuvchi chiziq qonuni bo'yicha o'zgaradi. Demak, $P=1$ yuk uchinchi paneldan o'ng tomonda bo'lganida, U_{2-3} ning ta'sir chizig'i oddiy balka A reaksiyasining ta'sir chizig'iga o'xshash, lekin uning ordinatalari o'zgarmas $\frac{2d}{h}$ miqdorga ko'paygan bo'ladi. (b) tenglama o'ng chiziq tenglamasi deyiladi va u $P=1$ yuk kesim o'tkazilgan paneldan o'ng tomonda harakatlanayotganda zo'riqishning o'zgarishini xarakterlaydi. (b) ga asosan, o'ng chiziq B tayanch ostidagi nol ordinata bilan A tayanch tagidagi $1 \cdot \frac{2d}{h}$ ordinatalarini birlashtirib hosil qilinadi. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 6d$ oraliqda bo'ladi. $P=1$ yuk 2-3 panelda (ya'ni kesilgan panel bo'yicha) harakatlanayotganda U_{2-3} zo'riqishning o'zgarish qonunini ifodalovchi uzatish chizig'i 2-3 o'ng chiziq ustida yotadi.

Chap va o'ng chiziqlar doim moment nuqtasi ostida kesishadi. U_{2-3} zo'riqishning ta'sir chizig'i 32- rasm, b da ko'rsatilgan.

Endi yuqoridagi belbog'dagi 20-30 sterjenda hosil bo'ladigan zo'riqishning ta'sir chizig'ini ko'ramiz.

Birinchi holat. Ko'chma $P=1$ yuk I-I kesim o'tkazilgan paneldan chap tomonda harakatlanadi $0 \leq X \leq 2d$. Kesilgan fermaning o'ng qismi uchun muvozanat tenglamasini yozamiz. O_{2-3} ning moment nuqtasi 3- tugunda bo'ladi. Bu tugunga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_3 = 0; \quad -B \cdot 3d - M_{2'-3'}^{chap} \cdot h = 0, \quad \text{bundan}$$

$$M_{2'-3'}^{chap} = -B \frac{3d}{h}. \quad (v)$$

(v) ifoda chap chiziq tenglamasidir. Bu chiziq oddiy balka B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i kabi quriladi. Uning ordinatalari A tayanch ostida 0 ga, B tayanch ostida $-\frac{3d}{h}$ ga teng va kerakli qismi $0 \leq X \leq 2d$ oraliqda bo'ladi.(32-rasm,v).

Ikkinchi holat. Ko'chma $P=1$ yuk 3-tugundan o'ng tomonda harakatlanadi $3d \leq X \leq 1$. Kesilgan fermaning chap qismiga qo'yilgan hamma kuchlar uchun moment nuqtasiga nisbatan $\sum M_3 = 0$ muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$\sum M_3 = A \cdot 3d + O_{2'-3'}^{o'ng} \cdot h = 0.$$

$$\text{bundan} \quad O_{2'-3'}^{o'ng} = -A \frac{3d}{h}. \quad (g)$$

Bu o'ng chiziq tenglamasidir. O'ng chiziq B tayanch ostida 0 ga va A tayanch ostida $-\frac{3d}{h}$ bo'lgan ordinatalar orqali o'tadi. Chap va o'ng chiziqlar moment nuqtasi 3-tugun ostida kesishadi. Uzatuvchi chiziq (2-3) esa chap chiziq ustida yotadi (32-rasm,v)

Shunday qilib, chap chiziq $P=1$ ko'chma yuk A tayanchdan 3-tugungacha harakatlanganda, o'ng chiziq esa ko'chma yuk 3-tugundan fermaning oxirgi tugunigacha harakatlanganda O_{20-30} zo'riqishning ta'sir chizig'ini ifodalaydi.

Fermaning yuqorigi yoki pastki belbog'i sterjenlardagi zo'riqish ta'sir chiziqlarini shu fermaga mos keladigan oddiy balka kesimlaridagi eguvchi moment ta'sir

chiziqlariga o'xshashligidan foydalanib ham qurish mumkin. Haqiqatan, (a), (b), (v) va (g) formulalarni birlashtirib umumiy holda quyidagicha yozish mumkin:

$$S_1 = \pm \frac{M_k^o}{r_1}, \quad (4)$$

chunki (a), (b), (v) va (g) formulalarning surati oddiy balka eguvchi momentining ta'sir chizig'i tenglamasini va maxraji esa, zo'riqish yelkasini ifodalaydi. Bunda S_1 pastki yoki yuqorigi belbog' sterjenlaridagi zo'riqish. (3.4 formula bo'yicha S_1 ta'sir chizig'i qurish uchun, avval fermaning K nuqtasiga mos kelgan oddiy balka kesmidagi eguvchi momentining ta'sir chizig'ini qurib so'ngra uning ordinatalarini o'zgaras miqdor $1/r_1$ ga ko'paytirish kerak. Ferma panjarasini tashkil etuvchi sterjenlarda hosil bo'ladigan zo'riqishlar ta'sir chiziqlarini qurishni ko'raylik I-I kesim bilan kesilgan 20-3 sterjendagi D_{20-3} zo'riqishning ta'sir chizig'ini quramiz:

a) Ko'chma $P=1$ yuk 2-tugundan chap tomonda $0 \leq X \leq 2d$ harakatlanadi deb ferma o'ng qismini muvozanatini tekshiramiz. D_{20-3} zo'riqishning moment nuqtasini cheksizlikda bo'lganligi uchun fermaning o'ng qismiga qo'yilgan kuchlarning vertikal o'qqa proyeksiyalari yig'indisi 0 ga tengligidan foydalanamiz:

$$\sum Y = 0. \quad B + D_{2'-3}^{chap} \sin \alpha = 0,$$

bundan

$$D_{2'-3}^{chap} = -\frac{B}{\sin \alpha}.$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, o'ng chiziqni qurish uchun oddiy balka A tayanch reaksiyasini ta'sir chizig'ini qurib uning ordinatalarini o'zgaras miqdor $1/\sin \alpha$ ga ko'paytirish kerak. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 10$ oralig'ida bo'ladi. $P=1$ yuk 3 chi panel bo'yicha harakatlanayotganda, D_{20-3} zo'riqish 2-3 uzatuvchi chiziq qonuni bo'yicha o'zgaradi. Demak, $P=1$ yuk uchinchi paneldan o'ng tomonda bo'lganida, U_{2-3} ning ta'sir chizig'i oddiy balka A reaksiyasining ta'sir chizig'iga o'xshash, lekin uning ordinatalari o'zgaras $\frac{2d}{h}$ miqdorga ko'paygan bo'ladi. (b) tenglama o'ng chiziq tenglamasi deyiladi va u $P=1$ yuk kesim o'tkazilgan paneldan o'ng tomonda harakatlanayotganda zo'riqishning o'zgarishini xarakterlaydi. (b) ga

asosan, o'ng chiziq B tayanch ostidagi nol ordinata bilan A tayanch tagidagi $1 \cdot \frac{2d}{h}$ ordinatalarini birlashtirib hosil qilinadi. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 6d$ oraliqda bo'ladi. $P=1$ yuk 2-3 panelda (ya'ni kesilgan panel bo'yicha) harakatlanayotganda U_{2-3} zo'riqishning o'zgarish qonunini ifodalovchi uzatish chizig'i 2-3 o'ng chiziq ustida yotadi. Chap va o'ng chiziqlar doim moment nuqtasi tagida kesishadi. U_{2-3} zo'riqishning ta'sir chizig'i 32- rasm, b da ko'rsatilgan.

Endi yuqoridagi belbog'dagi 2-3sterjenda hosil bo'ladigan zo'riqishning ta'sir chizig'ini ko'ramiz.

Birinchi holat. Ko'chma $P=1$ yuk I-I kesim o'tkazilgan paneldan chap tomonda harakatlanadi. $0 \leq X \leq 2d$. Kesilgan fermaning o'ng qismi uchun muvozanat tenglamasini yozamiz. O_{2-3} ning moment nuqtasi 3-tugunda bo'ladi. Bu tugunga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_3 = 0; \quad -B \cdot 3d - O_{2-3}^{chap} \cdot h = 0, \quad \text{bundan}$$

$$O_{2-3}^{chap} = -B \frac{3d}{h}. \quad (v)$$

(v) ifoda chap chiziq tenglamasidir. Bu chiziq oddiy balka B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i kabi quriladi. Uning ordinatalari A tayanch ostida 0 ga, B tayanch ostida $-\frac{3d}{h}$ ga teng va kerakli qismi $0 \leq X \leq 2d$ oraliqda bo'ladi. (32-rasm,v).

Ikkinchi holat. Ko'chma $P=1$ yuk 3-tugundan o'ng tomonda harakatlanadi $3d \leq X \leq 1$. Kesilgan fermaning chap qismiga qo'yilgan hamma kuchlar uchun moment nuqtasiga nisbatan $\sum M_3 = 0$ muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$\sum M_3 = A \cdot 3d + O_{2-3}^{o'ng} \cdot h = 0$$

$$\text{bundan} \quad Q_{2-3}^{o'ng} = -A \frac{3d}{h}. \quad (g)$$

Bu o'ng chiziq tenglamasidir. O'ng chiziq B tayanch ostida 0 ga va A tayanch ostida $-\frac{3d}{h}$ bo'lgan ordinatalar orqali o'tadi. Chap va o'ng chiziqlar moment nuqtasi 3- tugun ostida kesishadi. Uzatuvchi chiziq (2-3) esa chap chiziq ustida yotadi (32-rasm,v)

Shunday qilib, chap chiziq $P=1$ ko'chma yuk A tayanchdan 3-tugungacha harakatlanganda, o'ng chiziq esa ko'chma yuk 3-tugundan fermaning oxirgi tugunigacha harakatlanganda O_{20-30} zo'riqishning ta'sir chizig'ini ifodalaydi.

Fermaning yuqorigi yoki pastki belbog'i sterjenlardagi zo'riqish ta'sir chiziqlarini shu fermaga mos keladigan oddiy balka kesimlaridagi eguvchi moment ta'sir chiziqlariga o'xshashligidan foydalanib ham qurish mumkin. Haqiqatan, (a), (b), (v) va (g) formulalarni birlashtirib umumiy holda quyidagicha yozish mumkin:

$$S_1 = \pm \frac{M_k^o}{r_1}, \quad (5)$$

chunki (a), (b), (v) va (g) formulalarning surati oddiy balka eguvchi momentining ta'sir chizig'i tenglamasini va maxraji esa, zo'riqish yelkasini ifodalaydi. Bunda S_1 pastki yoki yuqoriga belbog' sterjenlaridagi zo'riqish. (3.4 formula bo'yicha S_1 ta'sir chizig'i qurish uchun, avval fermaning K nuqtasiga mos kelgan oddiy balka kesimidagi eguvchi momentining ta'sir chizig'ini qurib so'ngra uning ordinatalarini o'zgarmas miqdor $\frac{1}{r_1}$ ga ko'paytirish kerak.

Ferma panjarasini tashkil etuvchi sterjenlarda hosil bo'ladigan zo'riqishlar ta'sir chiziqlarini qurishni ko'raylik I-I kesim bilan kesilgan 20-3 sterjendagi D_{20-3} zo'riqishning ta'sir chizig'ini quramiz:

a) Ko'chma $P=1$ yuk 2-tugundan chap tomonda $0 \leq X \leq 2d$ harakatlanadi deb ferma o'ng qismini muvozanatini tekshiramiz. D_{20-3} zo'riqishning moment nuqtasini cheksizlikda bo'lganligi uchun fermaning o'ng qismiga qo'yilgan kuchlarning vertikal o'qqa proyeksiyalari yig'indisi 0 ga tengligidan foydalanamiz:

$$\sum Y = 0. \quad B + D_{2'-3'}^{chap} \sin \alpha = 0,$$

bundan

$$D_{2'-3'}^{chap} = -\frac{B}{\sin \alpha}.$$

Bu ifodadan ko‘rinib turibdiki, o‘ng chiziqni qurish uchun oddiy balka A tayanch reaksiyasini ta’sir chizig‘ini qurib uning ordinatalarini o‘zgaras miqdor $\sin \alpha$ ga ko‘paytirish kerak. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 6d$ oraliqda bo‘ladi. P=1 yuk 3-panel bo‘yicha harakatlanayotganda, D_{2-3} zo‘riqish 2-3 uzatuvchi chiziq qonuni bo‘yicha o‘zgaradi. Demak, P=1 yuk uchinchi paneldan o‘ng tomonda bo‘lganida, U_{2-3} ning ta’sir chizig‘i oddiy balka A reaksiyasining ta’sir chizig‘iga o‘xshash, lekin uning ordinatalari o‘zgaras $\frac{2d}{h}$ miqdorga ko‘paygan bo‘ladi. (b) tenglama o‘ng chiziq tenglamasi deyiladi va u P=1 yuk kesim o‘tkazilgan paneldan o‘ng tomonda harakatlanayotganda zo‘riqishning o‘zgarishini xarakterlaydi. (b) ga asosan, o‘ng chiziq B tayanch ostidagi nol ordinata bilan A tayanch tagidagi $1 \cdot \frac{2d}{h}$ ordinatalarini birlashtirib hosil qilinadi. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 6d$ oraliqda bo‘ladi. P=1 yuk 2-3 panelda (ya’ni kesilgan panel bo‘yicha) harakatlanayotganda U_{2-3} zo‘riqishning o‘zgarish qonunini ifodalovchi uzatish chizig‘i 2-3 o‘ng chiziq ustida yotadi.

Chap va o‘ng chiziqlar doim moment nuqtasi tagida kesishadi. U_{2-3} zo‘riqishning ta’sir chizig‘i 32-rasm, b da ko‘rsatilgan. Endi yuqori belbog‘dagi 2-3 sterjenda hosil bo‘ladigan zo‘riqishning ta’sir chizig‘ini ko‘ramiz.

Birinchi holat. Ko‘chma P=1 yuk I-I kesim o‘tkazilgan paneldan chap tomonda harakatlanadi. $0 \leq X \leq 2d$. Kesilgan fermaning o‘ng qismi uchun muvozanat tenglamasini yozamiz. O_{2-3} ning moment nuqtasi 3- tugunda bo‘ladi. Bu tugunga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_3 = 0; \quad -B \cdot 3d - M_{2'-3'}^{chap} \cdot h = 0,$$

$$\text{bundan} \quad M_{2'-3'}^{chap} = -B \frac{3d}{h}. \quad (v)$$

(v) ifoda chap chiziq tenglamasidir. Bu chiziq oddiy balka B tayanch reaksiyasining ta’sir chizig‘i kabi quriladi. Uning ordinatalari A tayanch ostida 0 ga,

B tayanch ostida $-\frac{3d}{h}$ ga teng va kerakli qismi $0 \leq X \leq 2d$ oraliqda bo'ladi.(32-rasm,v).

Ikkinchi holat. Ko'chma $P=1$ yuk 3 chi tugundan o'ng tomonda harakatlanadi $3d \leq X \leq 1$. Kesilgan fermaning chap qismiga qo'yilgan hamma kuchlar uchun moment nuqtasiga nisbatan $\sum M_3 = 0$ muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$\sum M_3 = A \cdot 3d + M_{2'-3}' \cdot h = 0.$$

$$\text{bundan} \quad M_{2'-3}' = -A \frac{3d}{h}. \quad (g)$$

Bu o'ng chiziq tenglamasidir. O'ng chiziq B tayanch ostida 0 ga va A tayanch ostida $-\frac{3d}{h}$ bo'lgan ordinatalar orqali o'tadi. Chap va o'ng chiziqlar moment nuqtasi 3- tugun ostida kesishadi. Uzatuvchi chiziq (2-3) esa chap chiziq ustida yotadi (28-rasm, v)

Shunday qilib, chap chiziq $P=1$ kuchma yuk A tayanchdan 3-tugungacha harakatlaganda, o'ng chiziq esa ko'chma yuk 3-tugundan fermaning oxirgi tugunigacha harakatlanganda O_{20-30} zo'riqishning ta'sir chizig'ini ifodalaydi.

Fermaning yuqorigi yoki pastki belbog'i sterjenlaridagi zo'riqish ta'sir chiziqlarini shu fermaga mos keladigan oddiy balka kesimlaridagi eguvchi moment ta'sir chiziqlariga o'xshashligidan foydalanib ham qurish mumkin. Haqiqatan, (a), (b), (v) va (g) formulalarni birlashtirib umumiy holda quyidagicha yozish mumkin:

$$S_1 = \pm \frac{M_k^o}{r_1}, \quad (7)$$

chunki (a), (b), (v) va (g) formulalarning surati oddiy balka eguvchi momentining ta'sir chizig'i tenglamasini va maxraji esa, zo'riqish yelkasini ifodalaydi. Bunda S_1 pastki yoki yuqorigi belbog' sterjenlaridagi zo'riqish. (3.4 formula bo'yicha S_1 ta'sir chizig'i qurish uchun, avval fermaning K nuqtasiga mos kelgan oddiy balka kesmidagi eguvchi momentining ta'sir chizig'ini qurib so'ngra uning ordinatalarini o'zgarmas miqdor $\frac{1}{r_1}$ ga ko'paytirish kerak.

Ferma panjarasini tashkil etuvchi sterjenlarda hosil bo'ladigan zo'riqishlar ta'sir chiziqlarini qurishni ko'raylik I-I kesim bilan kesilgan 2-3 sterjendagi D_{20-3} zo'riqishning ta'sir chizig'ini quramiz:

a) Ko'chma $P=1$ yuk 2-chi tugundan chap tomonda $0 \leq X \leq 2d$ harakatlanadi deb ferma o'ng qismini muvozanatini tekshiramiz. D_{20-3} zo'riqishning moment nuqtasini cheksizlikda bo'lganligi uchun fermaning o'ng qismiga qo'yilgan kuchlarning vertikal o'qqa proyeksiyalari yig'indisi 0 ga tengligidan foydalanamiz:

$$\sum Y = 0. \quad B + D_{2'-3'}^{chap} \sin \alpha = 0,$$

$$\text{bundan} \quad D_{2'-3'}^{chap} = -\frac{B}{\sin \alpha}.$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, o'ng chiziqni qurish uchun oddiy balka A tayanch reaksiyasini ta'sir chizig'ini qurib uning ordinitalarini o'zgarmas miqdor $\sin \alpha$ ga ko'aytirish kerak. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 10$ raliqda bo'ladi. $P=1$ yuk 3 chi panel bo'yicha harakatlanayotganda, D_{20-3} zo'riqish 2-3 uzatuvchi chiziq qonuni bo'yicha o'zgaradi. Bu uzatuvchi chiziqni chizish uchun kesimdan chap tomondagi 2- tugunni chap chiziqqa, 3 chi tugunni o'ng chiziqqa proyektsiyalab, olingan nuqtalar to'g'ri chiziq bilan birlashtiriladi (32- rasm, g)

V_{5-50} ustun zo'riqishining tasir chizig'ini quramiz. Fermaning II-II kesim bilan ikki qismga bo'lamiz. V_{5-50} zo'riqishlarining moment nuqtasi cheksizlikda bo'ladi.

Birinchi holat. $P=1$ yuk kesimidan chap tomonda ($0 \leq X \leq 4d$) harakatlanadi deb, fermaning chap qismi uchun muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$\sum Y = 0, \quad V_{5-5'}^{chap} + B = 0 \quad \text{va} \quad V_{5-5'}^{chap} = -B,$$

ya'ni V_{5-50} ning chap chizig'i B tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ining teskari ishora bilan olinganiga teng.

Ikkinchi holat. $P=1$ yuk kesimdan o'ng tomonda ($5d \leq X \leq 10$) harakatlanadi. Fermaning chap qismi uchun muvozanat tenglamasi.

$$\sum Y = 0, \quad A - V_{5-5'}^{o'ng} = 0 \quad \text{va} \quad V_{5-5'}^{o'ng} = A.$$

Demak, o'ng chiziq oddiy balka A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i kabi chiziladi. Chap va o'ng chiziqlarga fermaning tegishli tugunlarini tushurib, uzatuvchi chiziqni o'tkazamiz (32- rasm, d).

Endi 29-rasmda ko'rsatilgan ferma sterjenlaridagi zo'riqlarning ta'sir chiziqlarini quramiz. D_{1-20} zo'riqlarning ta'sir chizig'ini qurish uchun fermanni I-I kesim bo'yicha kesamiz. D_{1-20} zo'riqlarning moment nuqtasi O_{10-20} va U_{1-2} zo'riqlarning yo'nalishlari kesishgan K_{1-20} nuqtada bo'ladi (32- rasm, a);

a) $P=1$ yuk kesmdan chap tomonda ($0 \leq X \leq d$) harakatlanadi, deb fermaning o'ng qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$M_{k_{1-2'}} = 0, \quad D_{1-2'}^{chap} r_{1-2'} - B(6d + a) = 0 \quad \text{va} \quad D_{1-2'}^{chap} = B \frac{(6d + a)}{r_{1-2'}}$$

Bu ifodaga asosan, A tayanch ostidagi 0 va B tayanch tagidagi $\frac{(6d + a)}{r_{1-2'}}$ ordinatalarini birlashtirib, D_{1-20} zo'riqlarning chap chizig'i hosil qilinadi. Uning ish qismi $0 \leq X \leq d$ oraliqda bo'ladi;

b) $P=1$ yuk kesmdan o'ng tomonda ($2d \leq X \leq 1$) harakatlanadi deb, fermaning chap qismi muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$M_{k_{1-2'}} = 0, \quad -D_{1-2'}^{ong} r_{1-2'} - A\epsilon = 0$$

Bu tenglamadan $D_{1-2'}^{ong} = -A \frac{\epsilon}{r_{1-2'}}$.

Bu ifodaga asosan, D_{1-20} ning o'ng chizig'i B tayanch ostidagi 0 ordinata bilan A tayanch ostida olingan $-\frac{a}{r_{1-2'}}$ ordinatani birlashtiradi va u ($2d \leq X \leq 1$) oraliqda bo'lib davomi K_1 moment nuqtasi ostida chap chiziq bilan kesishadi (33- rasm, b). Chap va o'ng chiziqlarga fermaning tegishli tugunlarini proyeksiyalab, uzatuvchi chiziqni hosil qilamiz.

V_{5-50} ustun zo'riqlarning ta'sir chizig'ini qurishni ko'ramiz. Fermanni II-II kesim bo'yicha kesamiz. $P=1$ ko'chma yuk fermaning pastki belbog'i bo'yicha harakatlansin. V_{5-50} zo'riqlarning moment nuqtasi K_2 bo'ladi.

a) $P=1$ yuk kesimdan chap tomonda ($0 \leq X \leq 4d$) deb, fermaning o'ng qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$\sum M_{k_2} = 0, \quad Bb + V_{5-5''}^{chap} r_{5-5'} = 0$$

yoki

$$V_{5-5''}^{chap} = -B \frac{b}{r_{5-5'}}$$

Bu ifodaga asosan A tayanch ostiga 0, B tayanch ostiga esa $-\frac{b}{r_{5-5'}}$ ordinatalarni qo'yamiz va ularni birlashtirib, chap chiziqni o'tkazamiz (33- rasm,v).

b) $P=1$ yuk kesimdan ung tomonda harakatlanadi ($5d \leq X \leq 1$) deb, fermaning chap qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_{k_2} = 0, \quad -A(b + 6d) + V_{5-5''}^{o'ng} \cdot r_{5-5'} = 0$$

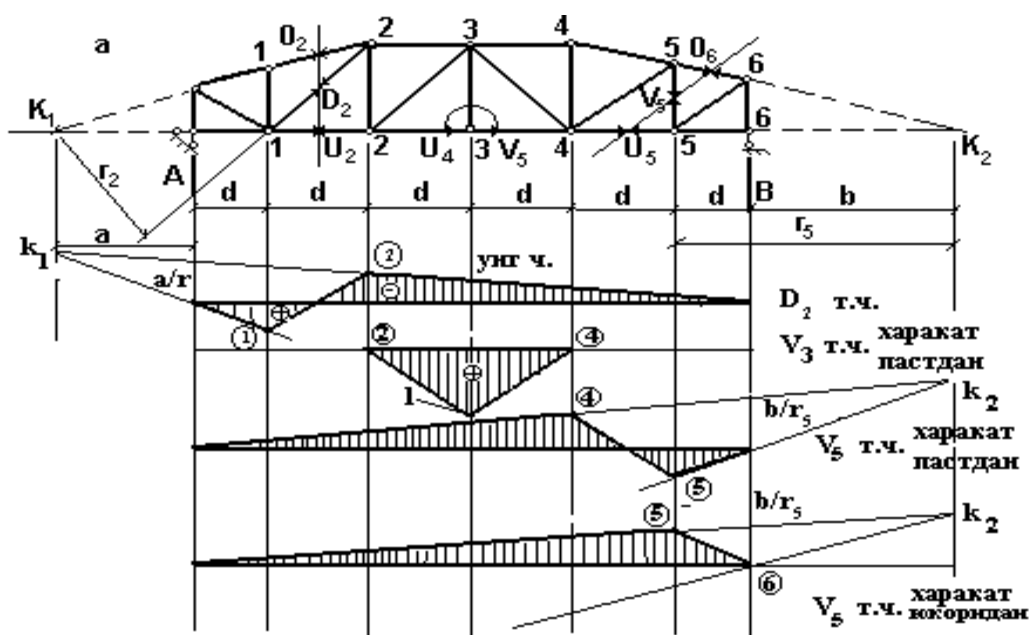
bundan

$$V_{5-5''}^{o'ng} = A \frac{(b + 6d)}{r_{5-5'}}$$

Bu ifodaga asosan, o'ng chiziqni o'tkazamiz. Chap va o'ng chiziqlar moment nuqtasining ostida kesishadi.(33- rasm, v).

Yuk fermaning pastki belbog'i bo'yicha harakatlangani uchun, II-II kesimning chap va o'ng tomonlaridagi fermaning pastki tugunlariga tegishli chiziqlarga proyeksiyalanadi va 4-5 uzatuvchi chiziq o'tkaziladi. Ta'sir chizig'ining kerakli qismi (33- rasm, v) da shtrixlangan. Bu ta'sir chiziq $P=1$ yuk pastki belbog'i bo'yicha harakat qilingan hol uchun chizilgan .

Agar $P=1$ yuk fermaning yuqorigi belbog'i bo'yicha harakat qilsa, V_{5-50} zo'riqishning ta'sir chizig'i avvalgi qurilgan ta'sir chizig'idan faqat uzatuvchi chiziqning holati bilan farq qiladi, ya'ni bu hol uchun II-II kesimdan chap va o'ng tomondagi fermaning yuqorigi tugunlarini ularga mos chap va o'ng chiziqlarga proyeksiyalaymiz hamda 5-6 uzatuvchi chiziqni o'tkazamiz. Harakat yuqoridan



33- rasm

bo'lgan hol uchun qurilgan V_{5-50} zo'riqishning ta'sir chizig'i 33-rasm, g da ko'rsatilgan.

V_{3-30} zo'riqishning ta'sir chizig'ini ko'ramiz. Bunday sterjenlardagi zo'riqishlarning ta'sir chizig'ini qurishda tugunlarni kesish usulidan foydalanamiz. Fermaning 3- tugunini kesib, uning ikki holatini tekshiramiz (33-rasm, d):

Birinchi holat. $P=1$ yuk 2-3 va 3-4 panellardan tashqarida harakatlanadi. Bu hol uchun muvozanat tenglamasi $\sum Y=0$, ni yozib , V_{3-30} ni olamiz.

Ikkinchi holat. $P=1$ yuk 3- tugun ustiga qo'yilgan holni ko'ramiz (33- rasm, b) $\sum Y=0$, bundan $V_{3-30}=1$. Demak, $P=1$ yuk 0,1,2,4,5,6 va yuqorigi belbog'dagi hamma tugunlarga qo'yilganda ham V_{3-30} zo'riqish 0 ga teng. 3-tugunga qo'yilganda esa $V_{3-30} =1$ bo'ladi. Tugunlar ostiga V_{3-30} ning hisoblangan ordinatalarini qo'yib , uzatuvchi chiziqlar bilan birlashtiramiz. Hosil bo'lgan V_{3-30} zo'riqishning ta'sir chizig'i 33- rasm, e da ko'rsatilgan.

2.4-§. Moment nuqtasi usuli.

Fermalarning hisobi uning tayanch reaksiyalarini aniqlashdan boshlanadi. Ferma tayanch reaksiyolari ham xuddi oddiy balka tayanch reaksiyolari kabi topiladi.

Sterjenlardagi zo‘riqlashlarni aniqlash uchun ferma hayolan qirqladi (34-rasm, a), hisoblash uchun qirqlangan fermaning bir qismi ajratib olinadi (34-rasm, b) va ajratilgan bo‘lak uchun muvozanat tenglamasi tuziladi. Muvozanat tenglamasi tarkibiga tashqi kuchlar va tayanch reaksiyalaridan tashqari noma’lum zo‘riqlashlar kiradi.

Moment nuqtasi usulida kesim shunday o‘tkaziladiki, bunda kesimga kirgan sterjenlarning soni uchtdan oshmasligi va uchala sterjen bir nuqtada kesishmasligi kerak. Kesimga kirgan sterjenlar juft-juft bo‘lib, bir nuqtada kesishadi. Kesimga kirgan, zo‘riqlashi izlanayotgan ikki sterjenning kesishuv nuqtasi **moment nuqtasi** deb ataladi. Muvozanat tenglamalari ana shu moment nuqtalariga nisbatan tuziladi. Bu usulning afzalligi shundan iboratki, tuziladigan tenglamalar har doim bir noma’lumli bo‘ladi.

Zo‘riqlash yo‘nalishi har doim tashqariga cho‘zuvchi musbat qilib yo‘naltiriladi. Hisob natijasida ishora manfiy chiqsa, sterjen siqiluvchan bo‘ladi.

Zo‘riqlash kuchlari N_{46} kabi belgilanadi. Bu 4- va 6- tugunlar orasidagi sterjenning zo‘riqlash kuchi hisoblanadi.

Fermaning kesib ajratib olingan chap qismi tashqi yuklar ($R_a, P/2, P$) hamda ichki kuchlar (N_{35}, N_{45}, N_{46}) ta’sirida muvozanat holatida bo‘lishi kerak. Nom’alum ichki kuchlar N_{46} ning tashlab yuborilgan o‘ng qismining ta’sirini o‘zida aks ettiradi.

Noma’lum N_{35} zo‘riqlashni aniqlash uchun shu 4-tugun moment nuqtasiga nisbatan barcha kuchlarning momentlari yig‘indisini nolga tenglab yozamiz:

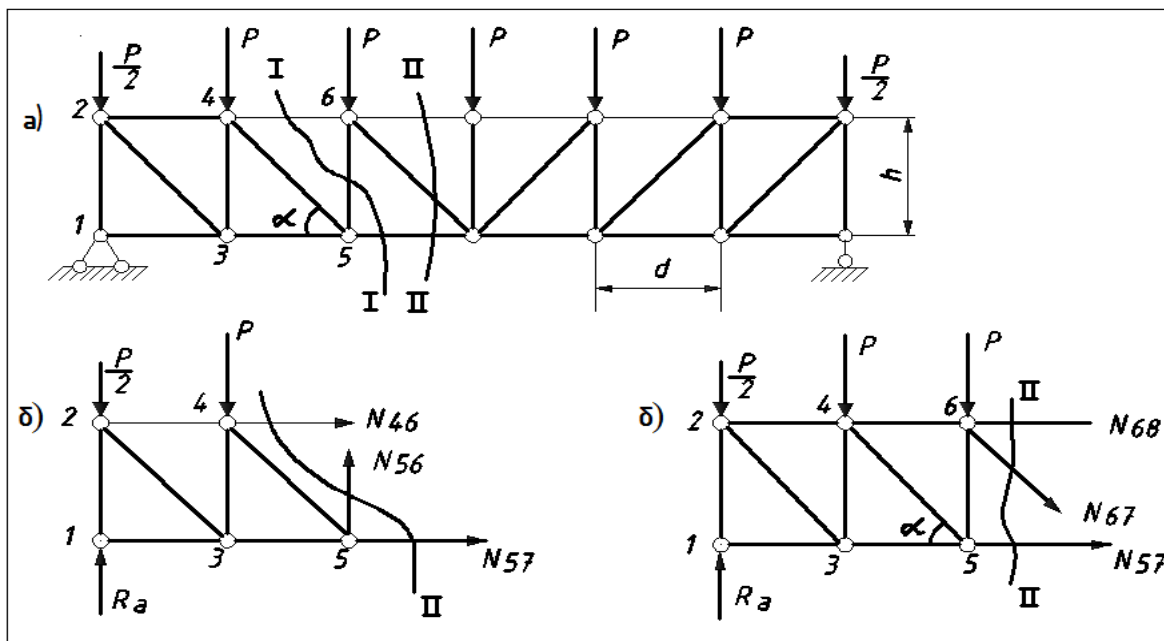
$$N_{35} = (R_a \cdot d - 0,5 \cdot P \cdot d) / h_{35} = M_4 / h_{35}$$

$$\sum M_4 = R_a \cdot d - P/2 \cdot d - N_{35} \cdot h_{35} = 0; \quad \text{bundan};$$

N_{46} zo‘riqlash kuchi uchun 5-tugun moment nuqtasi bo‘ladi. Unda:

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

dan $N_{46} = -[2d(P - R_a)] / h_{46} = -M_5^0 / h_{46} = 0$ ni olamiz. N_{45} zo‘riqlashning moment nuqtasi K nuqta bo‘ladi.



34-rasm

$$N_{45} = (R_a \cdot c - 0,5 \cdot P \cdot c - P(c + d)) / h_{45} = M_{\kappa}^0 / h_{45};$$

$$\text{dan } \sum M_{\kappa} = -R_a \cdot c + P/2 \cdot c + P(c + d) + N_{45} \cdot h_{45} = 0;$$

ni olamiz. Bu yerda h va α - yelkalardir.

4-Misol. Konsolli-balkasimon fermaning 2-3, A-6 sterjenlaridagi bo‘ylama zo‘riqlari aniqlansin (35, a-rasm).

Tayanch reaksiyalarini topamiz:

$$\sum X = 0; \quad H_A = 0;$$

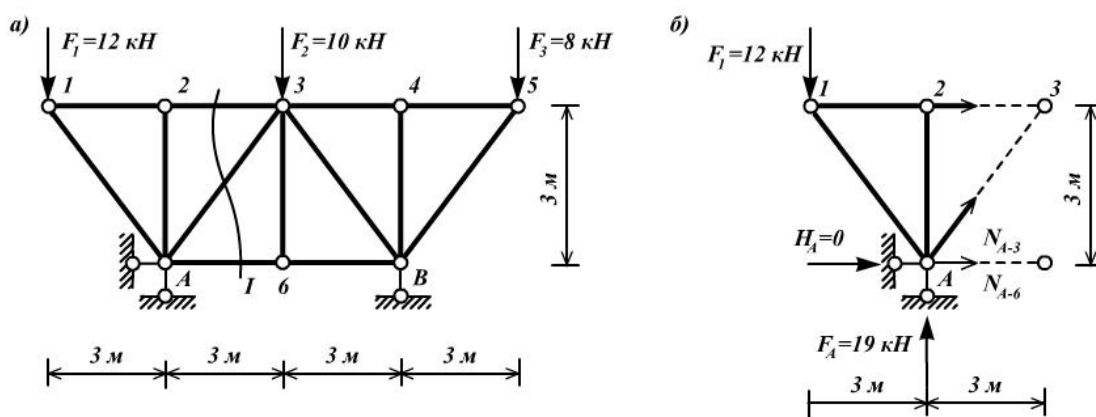
$$\sum M_B = 0; \quad F_1 \cdot 9 - F_2 \cdot 3 + F_3 \cdot 3 + R_A \cdot 6 = 0, \quad R_A = (12 \cdot 9 + 10 \cdot 3 - 8 \cdot 3) / 6 = 19 \text{ kH};$$

$$\sum M_A = 0; \quad F_1 \cdot 3 - F_2 \cdot 3 + F_3 \cdot 9 + R_B \cdot 6 = 0, \quad R_B = (-2 \cdot 3 + 10 \cdot 3 + 8 \cdot 9) / 6 = 11 \text{ kH}.$$

$$\text{Tekshirish: } \sum Y = 0; \quad 9 + 1 - 12 - 10 - 8 = 30 - 30 = 0$$

Fermani I-I kesim bilan qirqamiz, o‘ng qismini tashlab yuborib, uning qolgan chap qismiga ta’sirini tugundan ketuvchi N_{2-3} , N_{A-3} , N_{A-6} noma’lum kuchlari bilan almashtiramiz (35, b-rasm).

N_{2-3} zo‘riqlashini aniqlash uchun moment nuqtasi A-3 va A-6 sterjenlarining kesishgan joyida, ya’ni A nuqtasida joylashgan. A moment nuqtasiga nisbatan chap



35-rasm

qismidagi barcha kuchlarning momentlari yig'indisi tenglamasini tuzamiz.

$$\sum M_A^{chap} = 0; \quad F_1 \cdot 3 + N_{2-3} \cdot 3; \quad N_{2-3} = F_1 = 12 \text{ kN}$$

N_{2-3} oldidagi «musbat» ishorasi, 2-3 sterjeni cho'ziluvchi ekanligi bildiradi.

N_{A-6} zo'riqlashini aniqlash uchun moment nuqtasi 2-3 va A-3 sterjenlarining kesishgan joyi, ya'ni 3-tugunda joylashgan. 3-moment nuqtasiga nisbatan chap qismidagi barcha kuchlarning momentlari yig'indisi ko'rinishidagi muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$\sum M_A^{chap} = 0; \quad F_1 \cdot 3 + N_{2-3} \cdot 3 = 0; \quad N_{2-3} = F_1 = 12 \text{ kN}$$

$$\sum M_A^{chap} = 0; \quad -F_1 \cdot 6 + R_A \cdot 3 - N_{A-6} \cdot 3 = 0; \quad N_{A-6} = (-12 \cdot 6 + 19 \cdot 3) / 3 = -5 \text{ kN}$$

N_{A-6} ning «manfiy» ishorasi, A-6 sterjenining siqiluvchi ekanligini bildiradi.

Hisoblar, R_B reaksiyasini aniqlash shart emasligini ko'rsatdi.

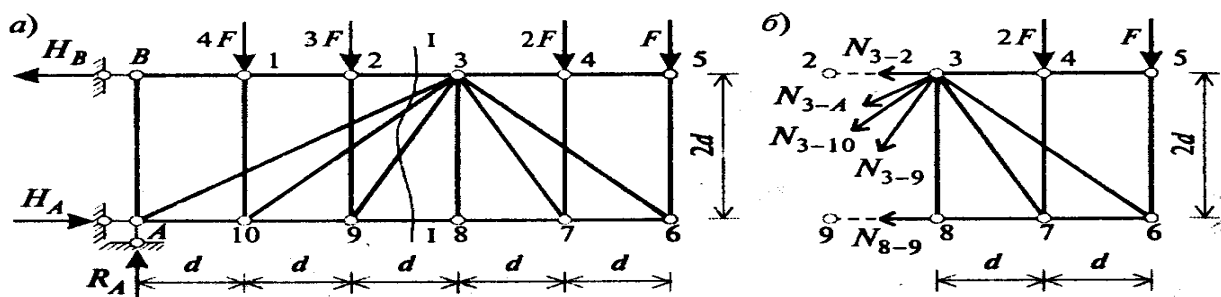
Javob: $N_{2-3} = 12 \text{ kN}$; $N_{A-6} = -5 \text{ kH}$.

Moment nuqtalarini aniqlashdan kelib chiqadiki, ba'zi xususiy hollarda, kesim uchtdan ortiq sterjenlarni kesganda ham bu usulni qo'llash mumkin.

5-Misol. Konsol fermaning 8-9 sterjenidagi bo'ylama zo'riqlashi aniqlansin (36, a-rasm).

Konsol fermalarda tayanch reaksiyalari odatda aniqlanmaydi. Fermani I-I, kesimi bilan qirqamiz, chap qismini uning tayanch bog'lanishlari bilan tashlab yuborib, uning qolgan o'ng tomoniga ta'sirini tugunlardan ketuvchi noma'lum kuchlar N_{3-2} , N_{3-A} , N_{3-10} , N_{3-9} , N_{8-9} noma'lumlari bilan almashtiramiz (36, b-rasm).

N_{8-9} zo'riqishini aniqlash uchun moment nuqtasi 3-2, 3-A, 3-10 va 3-9 sterjenlarining kesishgan nuqtasi, ya'ni 3-tugunda joylashgan. O'ng qismidagi barcha kuchlarning 3-moment nuqtasiga nisbatan momentlarining yig'indisi



36-rasm

ko'rinishidagi muvozanat tenglamasini tuzib, izlanayotgan zo'riqishni topamiz:

$$\sum M_3^{o'ng} = 0; \quad F \cdot 2d + 2F \cdot d + N_{8-9} \cdot 2d = 0; \quad N_{8-9} = -2F.$$

Javob: $N_{8-9} = -2F$.

Proyeksiya usuli parallel tasmali fermalarning hisoblarida qo'llaniladi. Bu holatda uchta sterjen orqali (agar buning imkoni bo'lsa), o'tkazilgan kesim, yuqoridagidek fermanni ikki qismga ajratadi, ulardan birini tashlab yuboriladi va qolgan qismining muvozanati qaraladi. Parallel tasmali fermalarda hovon va ustunlar uchun moment nuqtalari cheksizlikda yotadi, shuning uchun bu sterjenlarning zo'riqishlari fermaning chap yoki o'ng qismiga qo'yilgan kuchlarni ferma tasmalariga perpendekulyar o'qlarga proeksiyalarining yig'indisini nolga tenglash yo'li bilan aniqlanadi. Qolgan ishlar moment nuqtasi usulidagi kabi qaytariladi.

6-Misol. Tirgakli fermaning N_{A-3} , N_{3-7} va N_{B-C} bo'ylama zo'riqishlari aniqlansin (37, a-rasm).

Tirgakli fermaning tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz:

$$\sum M_B = 0; \quad V_A \cdot 20 - 9 \cdot 16 - 6 \cdot 8 - 7 \cdot 4 = 0 \quad V_A = 11 \text{ kH};$$

$$\sum M_A = 0; \quad -V_B \cdot 20 + 7 \cdot 16 + 6 \cdot 12 + 9 \cdot 4 = 0 \quad V_B = 11 \text{ kH};$$

$$\sum M_C^{chap} = 0; \quad 11 \cdot 12 - 9 \cdot 8 - H_A \cdot 6 = 0 \quad H_A = 10 \text{ kN}$$

$$\sum M_C^{o'ng} = 0; \quad 11 \cdot 8 - 7 \cdot 4 - H_B \cdot 6 = 0 \quad H_B = 10 \text{ kN}$$

Tekshirish : $\sum Y = 0$; $11 - 9 - 6 - 7 + 11 = 22 - 22 = 0$

N_{A-3} zo'riqlashini aniqlash uchun I-I kesimini o'tkazamiz (37,a-rasmga qarang), o'ng tomonini tashlab yuboramiz (33, b-rasm) va chap qismining muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$\sum Y^{chap} = 0; V_A - F_1 + N_{A-3} \cdot \sin \alpha = 0; N_{A-3} = (9 - 11) / 0,6 = -3,333 \text{ kN}.$$

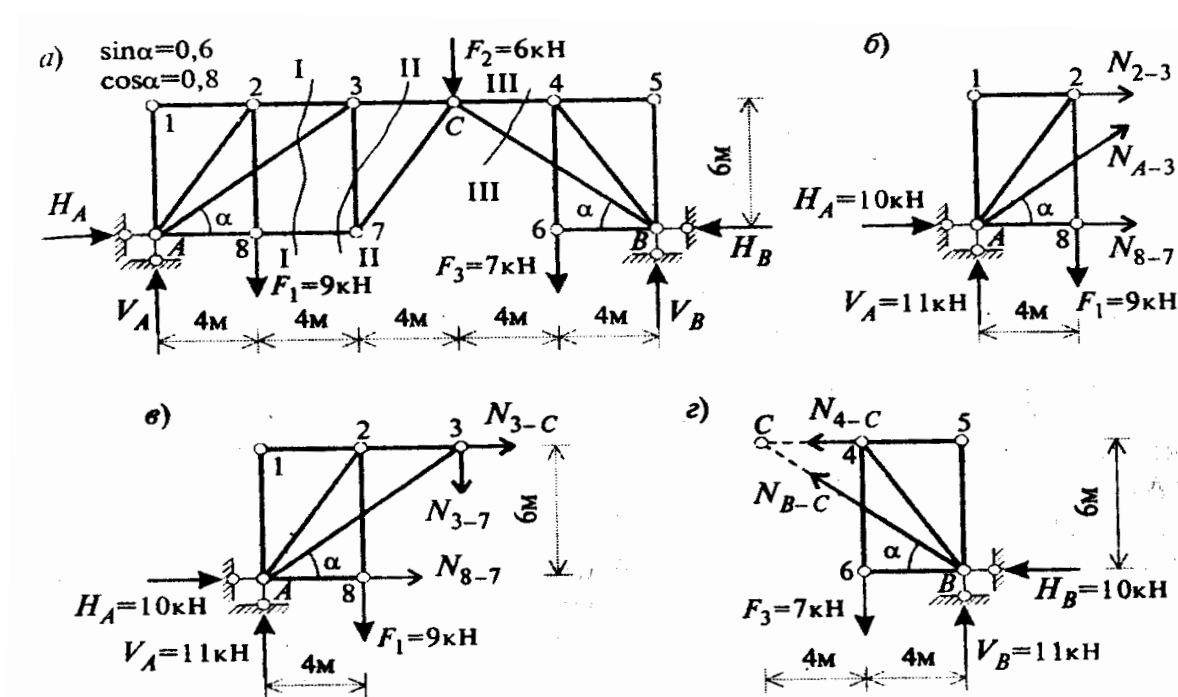
N_{3-7} zo'riqlashini aniqlash uchun II-II kesim o'tkazamiz (37,a-rasmga qarang), o'ng tomonini tashlab yuboramiz va chap qismidagi barcha kuchlarning o'qiga proyeksiyalarining yig'indisi ko'rinishidagi muvozanat tenglamasini yozamiz (37, v-rasm):

$$\sum Y^{chap} = 0; V_A - F_1 - N_{3-7} = 0; N_{3-7} = 11 - 9 = 2 \text{ kN}.$$

N_{B-C} zo'riqlashini aniqlash uchun III-III kesim o'tkazamiz (37, a-rasmga qarang), chap qismini tashlab yuboramiz va o'ng qismidagi barcha kuchlarning u o'qiga proyeksiyalarining yig'indisi ko'rinishidagi muvozanat tenglasini yozamiz (37, g-rasmga qarang):

$$\sum Y^{o'ng} = 0; N_{B-C} \cdot \sin \alpha - F_3 + V_B = 0; N_{B-C} = (7 - 11) / 0,6 = -6,667 \text{ kN}.$$

Javob: $N_{A-3} = -3,333 \text{ kH}$; $N_{3-7} = 2 \text{ kH}$; $N_{B-C} = -6,667 \text{ kH}$.



37-rasm

2.5-§. Tugun kesish usuli

Tugun kesish usuli pryoeksiya usulining xususiy holi hisoblanadi, bunda har bir qirqim fermaning tugunlarini ketma-ket kesish orqali proyeksiya usulidan farq qiladi. Bunday qirqim o'tkazilganidan keyin ferma qolgan qismi tashlab yuboriladi, uning ta'siri esa tugundan ketuvchi kesilgan sterjenlarning o'qi bo'ylab yo'nalgan noma'lum kuchlar bilan almashtiriladi. Tugunlarni kesishni ikki sterjenli tugundan boshlash kerak. Ulardagi zo'riqishlar tugunlarda uchrashuvchi kuchlarni, x va y o'qlariga ($\Sigma X=0$, $\Sigma Y=0$) yoki zo'riqishi aniqlanuvchi sterjenga tik o'qlarga, proyeksiyalarining yig'indisi nolga tenglik shartidan topiladi. Tugundan tugunga o'tib, fermaning barcha sterjenlaridagi zo'riqishlar hisoblanadi.

Berilgan yuklanishlardan zo'riqishlari nolga teng bo'lgan sterjenlar nolinchi sterjenlar deyiladi.

Tugun kesish usulidan kelib chiqadigan va eslab qolish kerak bo'lgan, muvozanatlarining xususiy hollari:

1. Yuklanmagan ikki sterjenli tugun (38, a-rasm).

Qachon ikkala sterjen nolinchi bo'lsa ($N_1=0$; $N_2=0$), bunday tugun muvozanatda bo'lishi mumkin.

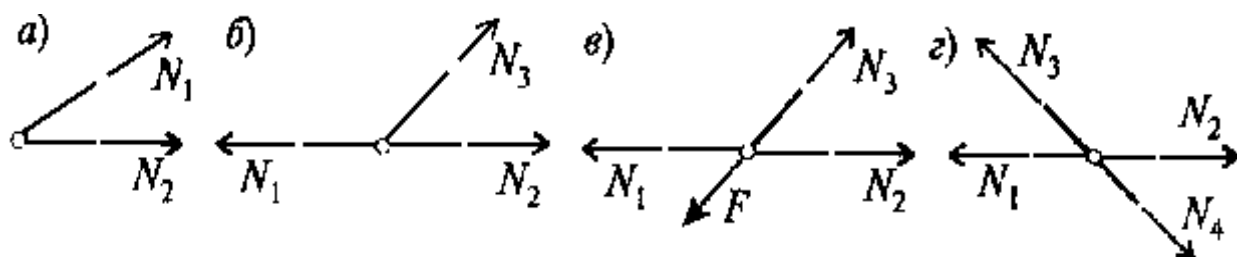
2. Ikki sterjeni bir o'qda yotuvchi yuklanmagan uch sterjenli tugun (38, b-rasm). Tugundagi uchinchi sterjen «Yakka» sterjen deyiladi va uning zo'riqishi nolga teng bo'ladi ($N_3=0$). Bir chiziqda yo'nalgan sterjenlarning zo'riqishlari esa o'zaro teng va qarama-qarshi yo'nalgan ($N_1=N_2$).

3. Ikki sterjen o'qi bir to'g'ri chiziqda yotgan, yakka sterjen o'qi bo'ylab F kuchi qo'yilgan, uch sterjenli tugun (38, v-rasm).

Bu holda $N_3=F$, bir to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan sterjenlarning zo'riqishlari, yuqoridagi holatdagi kabi o'zaro teng va qarama-qarshi yo'nalgan ($N_1=N_2$).

4. Sterjenlar o'qi ikki to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan yuklanmagan to'rt sterjenli tugun (38, g-rasm).

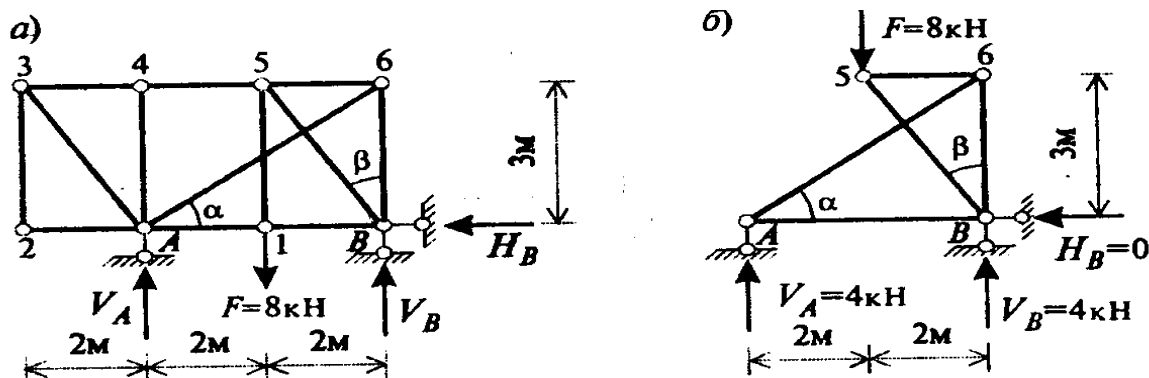
Bir to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan sterjenlarning zo'riqishlari o'zaro teng va qarama-qarshi yo'nalgan ($N_1=N_2$ va $N_3=N_4$).



38-rasm

7-Misol. 39, a-rasmda tasvirlangan ferma sterjenlarining zo'riqishlari aniqlansin.

Tugunlar muvozanatining xususiy holatlari asosida berilgan ferma uchun nolinchi sterjenlarni oson aniqlash mumkin. Shunday, yuklanmagan ikki sterjenli 2-tugunda ikkala sterjen 2-A va 2-3 nolinchi bo'ladi (1-hol), ya'ni $N_{2-A}=N_{2-3}=0$, va bu tugunni sterjenlari bilan hayolan olib tashlaymiz. Unda 3-tugun ham ikki sterjenli yuklanmagan tugun bo'lib qoladi va 3-4 va 3-A sterjenlaridagi zo'riqishlar nolinchi bo'ladi, ya'ni $N_{3-4}=N_{3-A}=0$. Xayolan 3-tugunni olib tashlab, 4-tugunga o'tamiz. Yuqoridagidek mulohazalardan $N_{4-5}=N_{4-A}=0$ ga kelamiz. Nihoyat, 1-tugunga tugunlar muvozanatining 3-holini qo'llab $N_{1-5}=F=8 \text{ kH}$, $N_{1-A}=N_{1-B}$ ni

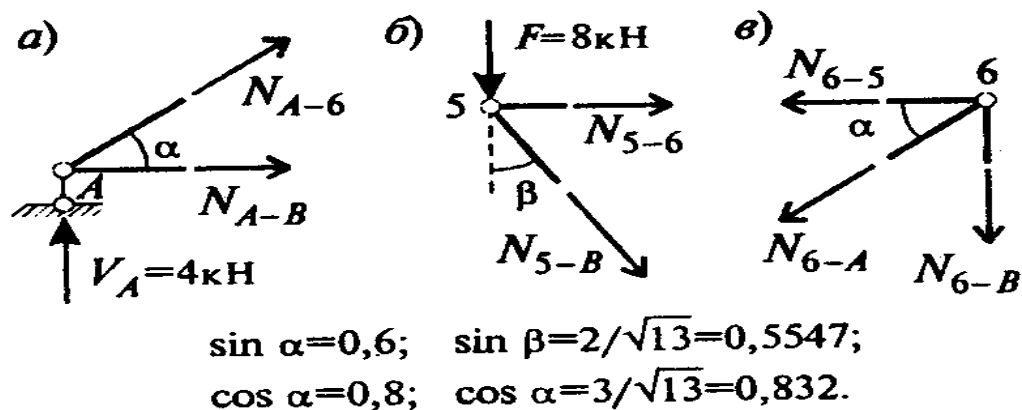


39-rasm

olamiz. Hisoblarni osonlashtirish uchun zo'riqishi ma'lum 1-5 sterjenini olib tashlab, $F=8 \text{ kH}$ kuchni yuqorigi 5-tugunga ko'chirish mumkin.

Nolinchi sterjenlari va 1-5 sterjeni olib tashlangandan so'nggi hisoblashga mo'ljallangan osonlashtirilgan ferma 36, b-rasmda ko'rsatilgan.

A, 5, 6 tugunlarini ketma-ket kesib, fermaning hamma sterjenlaridagi zo'riqishlarni topamiz.



40-rasm

A tugun (40,a-rasm):

$$\sum Y = 0; V_A + N_{A6} \cdot \sin \alpha = 0; N_{A-6} = -V_A / \sin \alpha = -4 / 0,6 = -6,6679 \text{ kH}$$

$$\sum X = 0; N_{A-B} + N_{A6} \cdot \cos \alpha = 0; N_{A-B} = -(-6,667) \cdot 0,8 = 5,333 \text{ kH};$$

5-tugun (40, b-rasm):

$$\sum Y = 0; -F - N_{5-B} \cdot \cos \beta = 0; N_{5-B} = -F / \cos \beta = -8 / 0,832 = -9,615 \text{ kH}$$

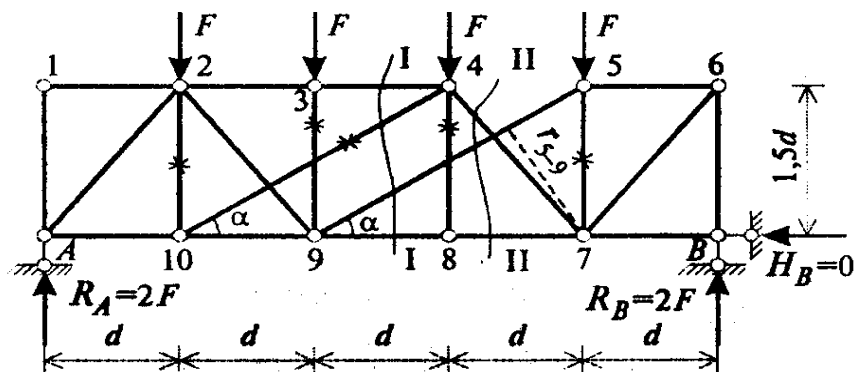
$$\sum X = 0; N_{5-6} + N_{5-B} \cdot \sin \beta = 0; N_{5-6} = -(-9,615) \cdot 0,5547 = 5,333 \text{ kH}.$$

6-tugun (40, v-rasm): $\sum Y = 0; -N_{6-A} \cdot \sin \alpha - N_{6-B} = -(-6,667) \cdot 0,6 = 4 \text{ kN}.$

Javob: $N_{1-5} = 8 \text{ kN}; N_{1-A} = N_{1-B} = 5,333 \text{ kN}; N_{A-6} = -6,667 \text{ kN}; N_{5-6} = 5,333 \text{ kN}; N_{5-B} = -9,615 \text{ kN}; N_{6-B} = 4 \text{ kN}.$ Qolgan sterjenlarda zo'riqishlar nolga teng.

8-Misol. 41-rasmda tasvirlangan ferma belgilangan elementlarining bo'ylama zo'riqishlari aniqlansin.

Tugunlar muvozanatining xususiy hollaridan $N_{8-4} = 0, N_{3-9} = -F$ kelib chiqadi.



41-rasm

N_{4-10} zo'riqishni aniqlash uchun I-I kesimini o'tkazamiz, o'ng tomonini tashlab yuborib, qolgan chap qismining muvozanatini qaraymiz. Yuqorida keltirilgan usullarning birortasidan ham, aniqlanadigan zo'riqishni ikkita noma'lumi bo'lgan bitta tenglamadan darhol topish imkoniyati bo'lmaydi. Bunday hollarda quyidagicha ish tutiladi. II-II yordamchi kesim o'tkazamiz, chap qismini tashlab yuboramiz va o'ng qismidagi hamma kuchlarni 7-moment nuqtasiga nisbatan momentlarining yig'indisi shaklidagi muvozanat tenglamasini tuzamiz (42,a-rasm).

$$\sum M_7^{o'ng} = 0; -2Fd - N_{5-9} \cdot r_{5-9} = 0,$$

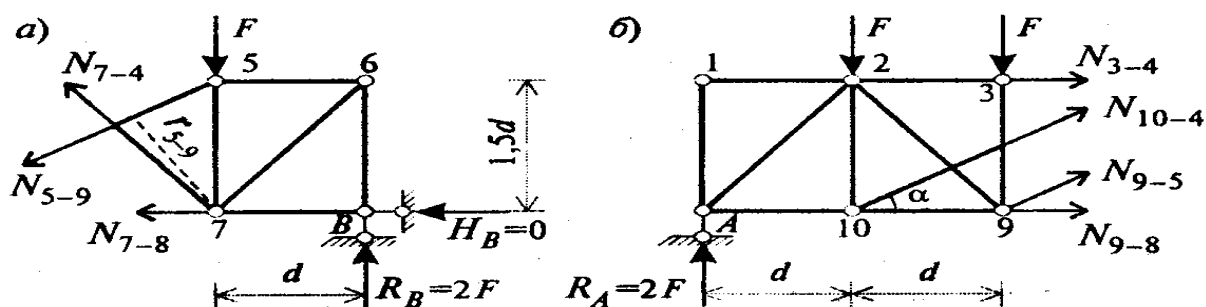
$$N_{5-9} = -\frac{2Fd}{r_{5-9}} = -\frac{2Fd}{2d\sin\alpha} = -\frac{F}{\sin\alpha} = -1,667F$$

bu yerda $r_{5-9} = N_{5-9}$ kuchining yelkasi va $\sin\alpha = 0,6$.

Shundan so'ng I-I kesimiga qaytib, barcha chap qismidagi kuchlarning N_{5-9} ning topilgan qiymatini hisobga olgan holda u o'qiga proyeksiyalarining yig'indisi ko'rinishidagi muvozanat tenglamasini tuzamiz (42, b-rasm).

$$\sum Y^{o'ng} = 0; 2F - F - F + N_{10-4} \cdot \sin\alpha + N_{9-5} \cdot \sin\alpha = 0; N_{10-4} = -N_{9-5} = -(-1,667)F$$

10-2 va 5-7 sterjenlaridagi zo'riqishlarni 10 va 5 tugunlarni kesish usulida aniqlaymiz (42-rasm).



42-rasm

10-tugun (43, a-rasm):

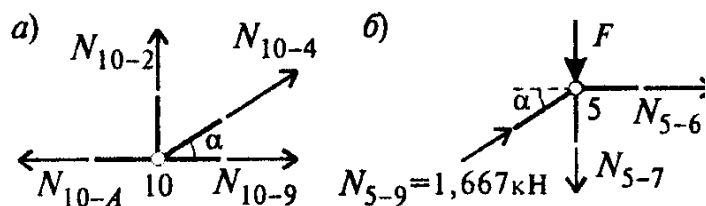
$$\sum Y = 0; N_{10-2} + N_{10-A} \cdot \sin\alpha; N_{10-2} = -1,667F \cdot 0,6 = -F.$$

5-tugun (43, b-rasm):

$$\sum Y = 0; -F - N_{5-7} + N_{5-9} \cdot \sin \alpha = 0; N_{5-7} = 1,667F \cdot 0,6 = -F = F - F = 0$$

Oldin topilgan N_{5-9} bo'ylama kuchi manfiy bo'lganligi sababli, 39, b-rasmda u tugunga yo'naluvchi bo'lib ko'rsatilgan.

Javob: $N_{8-4} = 0; N_{3-9} = -F; N_{10-4} = 1,667F; N_{10-2} = -F; N_{5-7} = 0$



43-rasm

Qurilishda shprengelli fermalar ham keng qo'llaniladi. Shprengel qurilmalarining (qo'shimcha ferma-shprengel) asosiy vazifasi, yuklangan tasma panellarining uzunligini kamaytirish va tugundan tashqari

yuklarni asosiy ferma elementlariga uzatishdan iborat. Qo'shimcha ferma-shprengellar asosiy ferma tugunlariga tayanadi va faqat qo'shimcha tugunlarga qo'yilgan mahalliy yuklarga ishlaydi.

II-Hisob grafik ishini bajarilishiga doir namuna

2.6-§. Statik aniq fermalarni hisoblash

Masala sharti: Shifr asosida 44-rasm va III-tablitsadan tanlab olingan variant uchun quyidagilar talab qilinadi:

1. Fermalarning statik aniqligi va geometrik o'zgarmasligini tekshirish;
2. Analitik usulda fermaning berilgan panel sterjenlaridagi zo'riqishlarini va o'ng ustun sterjendagi zo'riqishini ham hisoblash;
3. Tayanch reaksiya kuchlari va yuqorida hisoblangan zo'riqish kuchlarining ta'sir chiziqlarini qurish;
4. Qurilgan ta'sir chiziqlardan foydalanib berilgan panel sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlash;
5. Analitik hisob natijalarini ta'sir chiziq natijalari bilan solishtirish.

Berilgan:

- 1) $l = 27m; R = 1,2kN;$ 2) Panel №2; 3) $h = 4,5m;$ 23-rasmdagi I-sxema.

Echish: 1. Berilgan fermani masalaning berilganlarini e'tiborga olib chizib olamiz. Bu (44-rasm, a) da keltirilgan.

Berilgan fermaning statik aniqligi va geometrik o'zgarmasligini tekshiramiz:

$D = 21$ ta sterjen (disk);

$SH = 2 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 6 \cdot 3 + 1 \cdot 4 = 30$ ta oddiy sharnirlar

$St = 3$ ta tayanch sterjenli bo'lgani uchun

$$W = 3 \cdot D - 2 \cdot SH - S_t = 3 \cdot 21 - 2 \cdot 30 - 3 = 63 - 63 = 0$$

Demak qaralayotgan ferma statik aniq va geometrik o'zgarmas ekan.

2. Avvalambor ferma tayanch reaksiya kuchlarini hisoblab topamiz:

$$\sum M_A = -P \cdot l / [6(1+2+3+4+5)] + R_B \cdot l = 0$$

$$R_B = \frac{+P \cdot l / [6 \cdot (1+2+3+4+5)]}{l} = \frac{15Pl}{6l} = 2,5 \cdot 1,2 = 3$$

Ferma simmetrik bo'lgani uchun hamda tashqi kuchlar o'zaro teng bo'lgani uchun

$$R_A = R_B = 3;$$

$$\textbf{Tekshirish: } \sum Y = R_A + R_B - 5 \cdot P = 0$$

$$3 + 3 - 5 \cdot 1,2$$

$$6 - 6 = 0$$

$$0 = 0$$

Demak, biz ferma tayanch reaksiya kuchlarini to'g'ri hisoblab topibmiz.

Fermaning berilgan paneli №2 tugundan I-I kesimni o'tkazib, bu panel sterjenlaridagi zo'riqish kuchlarini hisoblaymiz. Bunda moment nuqtasi usulini qo'llaymiz.

1) $U_{2'3'}$ zo'riqish kuchini hisoblaymiz. Bu zo'riqish kuchining moment nuqtasi ikkinchi tugun nuqta bo'ladi. Bu tugun nuqtaga nisbatan ferma chap tomonining muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_2 = U_{2'3'} \cdot h/2 - R_A \cdot l/6 = 0$$

$$U_{2'3'} = \frac{R_A \cdot l \cdot 2}{6 \cdot h} = \frac{3 \cdot 27 \cdot 2}{6 \cdot 4,5} = \frac{162}{27} = 6;$$

2) $V_{2'3'}$ zo'riqish kuchini hisoblaymiz. Bu zo'riqish kuchining moment nuqtasi birinchi tugun nuqtasi bo'ladi. Bu tugun nuqtaga nisbatan ferma chap tomonining muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_1 = -V_{23'} \cos \alpha \cdot l/6 - V_{23'} \cdot \sin \alpha \cdot h/2 - P \cdot l/6 = 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l/6}{h/2} = \frac{l}{6} \cdot \frac{2}{h} = \frac{l}{3h} = \frac{27}{13,5} = 2;$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} 2 = 63^{\circ} 26';$$

$$\sin 63^{\circ} 26' = 0,8944;$$

$$\cos 63^{\circ} 26' = 0,4503$$

$$-V_{23'} (\cos \alpha \cdot l/6 + \sin \alpha \cdot h/2) = P \cdot l/6;$$

$$V_{23'} = -\frac{P \cdot l/6}{\cos \alpha \cdot l/6 + \sin \alpha \cdot h/2} = -\frac{1,2 \cdot 27/6}{0,4503 \cdot 27/6 + 0,8944 \cdot 4,5/2} = -\frac{5,4}{2,0263 + 2,0124} = -\frac{5,4}{4,0377} = -1,337;$$

3) O_{23} zo'riqish kuchini hisoblaymiz. Bu zo'riqish kuchining moment nuqtasi 3'-tugun nuqta bo'ladi. Bu tugun nuqtaga nisbatan ferma chap tomonining muvozanat tenglamasini yozamiz.

$$\sum M_{3'} = -O_{23} \cdot \cos \beta \cdot h/2 - O_{23} \cdot \sin \beta \cdot l/6 + P \cdot l/6 - R_A \cdot l/3 = 0$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h/2}{l/6} = \frac{h}{2} \cdot \frac{6}{l} = \frac{3h}{l} = \frac{3 \cdot 4,5}{27} = \frac{13,5}{27} = 0,5;$$

$$\beta = \operatorname{arctg} 0,5 = 26^{\circ} 34';$$

$$\sin 26^{\circ} 34' = 0,4472;$$

$$\cos 26^{\circ} 34' = 0,8954;$$

$$-O_{23} (\cos \beta \cdot h/2 + \sin \beta \cdot l/6) + P \cdot l/6 = R_A \cdot l/3;$$

$$O_{23} = -\frac{R_A \cdot l/3 - P \cdot l/6}{\cos \beta \cdot h/2 + \sin \beta \cdot l/6} = -\frac{3 \cdot 27/3 - 1,2 \cdot 27/6}{0,8954 \cdot 4,5/2 + 0,4472 \cdot 27/6} = -\frac{27 - 5,4}{2,0146 + 2,0124} = -\frac{21,6}{4,027} = -5,3637;$$

4) O'ng ustun sterjenining $V_{3'3}$ zo'riqish kuchini hisoblaymiz. Buning uchun 3'-tugunni kesib olamiz va uning muvozanatini tekshiramiz:

$$\sum Y = V_{3'3} + V_{23'} \cdot \cos \alpha = 0$$

$$V_{3'3} = -V_{23'} \cdot \cos \alpha = 1,3370 \cdot 0,4503 = 0,602;$$

3. Yuqorida hisoblab topilgan zo'riqish kuchlarining ta'sir chizig'ini quramiz. Buning uchun berilgan fermanni tashqi kuchlarsiz birlik harakatlanuvchi kuch $P=1$ ning I-I kesimdan chapda va o'ngda harakatlanayotgan 2 holatini bitta chizmada mujassamlashtirib fermanni qayta chizib olamiz. Bu (44-rasm, b) da tasvirlangan. Fermaning $P=1$ birlik kuchidan hosil bo'luvchi tayanch reaksiya kuchlari xuddi oddiy balkani kabi bo'lib, uning ta'sir chiziqlari (44-rasm, v) da keltirilgan.

1) $U_{2'3'}$ zo'riqish kuchining ta'sir chizig'ini quramiz. Bu zo'riqish kuchining moment nuqtasi 2-tugun nuqtadir.

1-hol: $P=1$ chapda. O'ng tomoni muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_2 = -U_{2'3'}^{o'ng} \cdot \frac{h}{2} + R_B^{P=1} \cdot \frac{5l}{6} = 0;$$

$$U_{2'3'}^{o'ng} = \frac{5l \cdot 2}{6 \cdot h} \cdot R_B^{P=1} = \frac{5l}{3h} \cdot R_B^{P=1} = 10 \cdot R_B^{P=1};$$

2-hol: $P=1$ o'ngda. Chap tomoni muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_2 = U_{2'3'}^{chap} \cdot \frac{h}{2} - R_A^{P=1} \cdot \frac{l}{6} = 0;$$

$$U_{2'3'}^{chap} = \frac{l \cdot 2}{6 \cdot h} \cdot R_A^{P=1} = \frac{l}{3h} \cdot R_A^{P=1} = 2 \cdot R_A^{P=1};$$

Demak, $U_{2'3'}$ zo'riqish kuchi tayasir chizig'i chap chizig'ini V tayanch reaksiya kuchi tayasir chizig'ini 10 marta, o'ng chizig'ini esa A tayanch reaksiya kuchi ta'sir chizig'i 2 marta oshirish yo'li bilan hosil qilish mumkin ekan. Bu aytilganlar asosida qurilgan $U_{2'3'}$ zo'riqish kuchi ta'sir chizig'i (44-rasm, g) rasmda keltirilgan. Ordinatalari esa uchburchaklar o'xshashligidan foydalanib topilgan.

2) $V_{23'}$ zo'riqish kuchi ta'sir chizig'ini quramiz:

1-hol: $P=1$ chapda. O'ng tomoni muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_1 = V_{23'}^{o'ng} \cos \alpha \cdot \frac{l}{3} + R_B^{P=1} \cdot l = 0;$$

$$V_{23'}^{o'ng} = \frac{-l \cdot 3}{l \cdot \sin \alpha} \cdot R_B^{P=1} = \frac{-3}{0,4503} \cdot R_B^{P=1} = -6,6622 \cdot R_B^{P=1};$$

2-hol: $P = 1$ o'ngda. Chap tomoni muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_1 = -V_{23'}^{chap} \cos \alpha \cdot \frac{l}{6} - V_{23'}^{chap} \sin \alpha \cdot \frac{h}{2} = 0;$$

Budan $V_{23'}^{chap} = 0$ ni olamiz.

Demak, $V_{23'}$ zo'riqish kuchi ta'sir chizig'ining chap chizig'ini B tayanch reaksiya kuchi ta'sir chizig'ini $-6,6622$ marta orttirish yo'li bilan hosil qilish mumkin ekan. O'ng chizig'i esa sanoq chizig'i bilan ustma-ust tushar ekan. Bu aytilganlar asosida qurilgan $V_{23'}$ zo'riqish kuchi ta'sir chizig'i (44-rasm, d) da keltirilgan $2' \hat{a} 3'$ tugunlar ostida $V_{23'}$ ta'sir chizig'i uzatish chizig'i qonuni asosida o'zgaradi.

3) O_{23} zo'riqish kuchi ta'sir chizig'ini ko'ramiz:

1-hol: $P = 1$ o'ngda. Chap tomoni muvozanat tenglamasini quramiz:

$$\sum M_{3'} = -O_{23'}^{chap} \cos \beta \cdot \frac{h}{6} - O_{23'}^{chap} \sin \beta \cdot \frac{l}{6} - R_A^{P=1} \cdot \frac{l}{3} = 0;$$

$$-O_{23'}^{chap} \left(\cos \beta \cdot \frac{h}{2} + \sin \beta \cdot \frac{l}{6} \right) = R_A^{P=1} \cdot \frac{l}{3}$$

$$O_{23'}^{chap} = \frac{-l}{3(\cos \beta \cdot h/2 + \sin \beta \cdot l/6)} \cdot R_A^{P=1} = \frac{-27}{3(0,8954 \cdot 4,5/2 + 0,7772 \cdot 27/6)} \cdot R_A^{P=1} =$$

$$= \frac{-27}{3(2,0146 + 2,0124)} \cdot R_A^{P=1} = \frac{-27}{12,081} \cdot R_A^{P=1} = -2,2349 \cdot R_A^{P=1}$$

2-hol: $P = 1$ Chapda. O'ng tomoni muvozanat tenglamasini quramiz:

$$\sum M_{3'} = O_{23'}^{o'ng} \cos \beta \cdot h + R_B^{P=1} \cdot \frac{2l}{3} = 0;$$

$$O_{23'}^{o'ng} \frac{-2l}{3h \cos \beta \cdot h} \cdot R_B^{P=1} = \frac{-54}{13,5 \cdot 0,8954} \cdot R_B^{P=1} = -4,4672 R_B^{P=1};$$

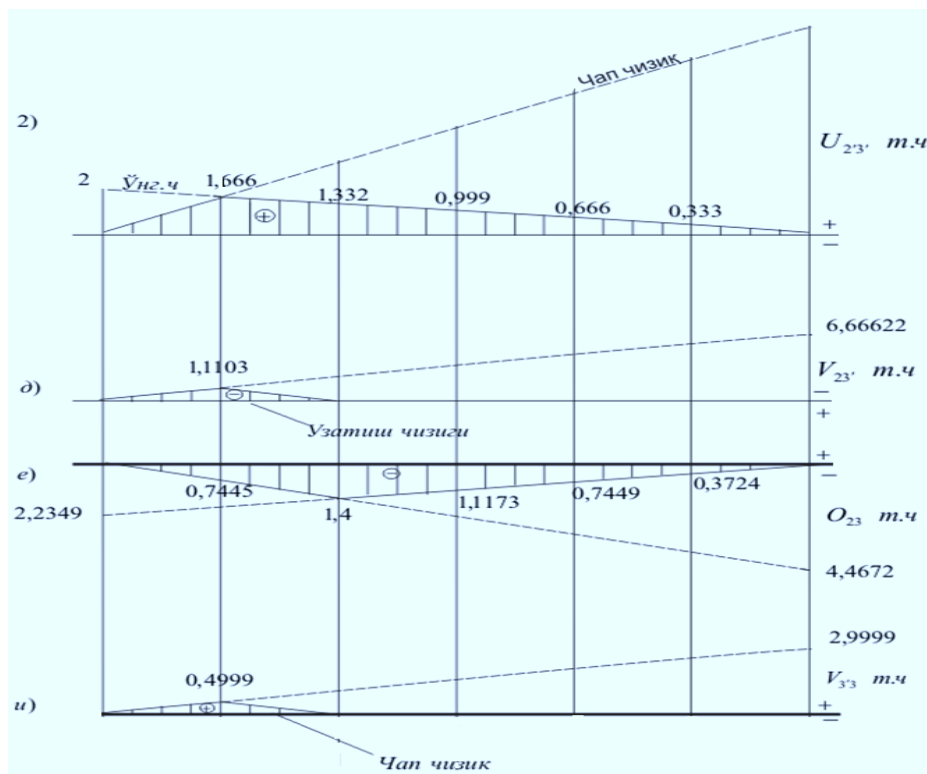
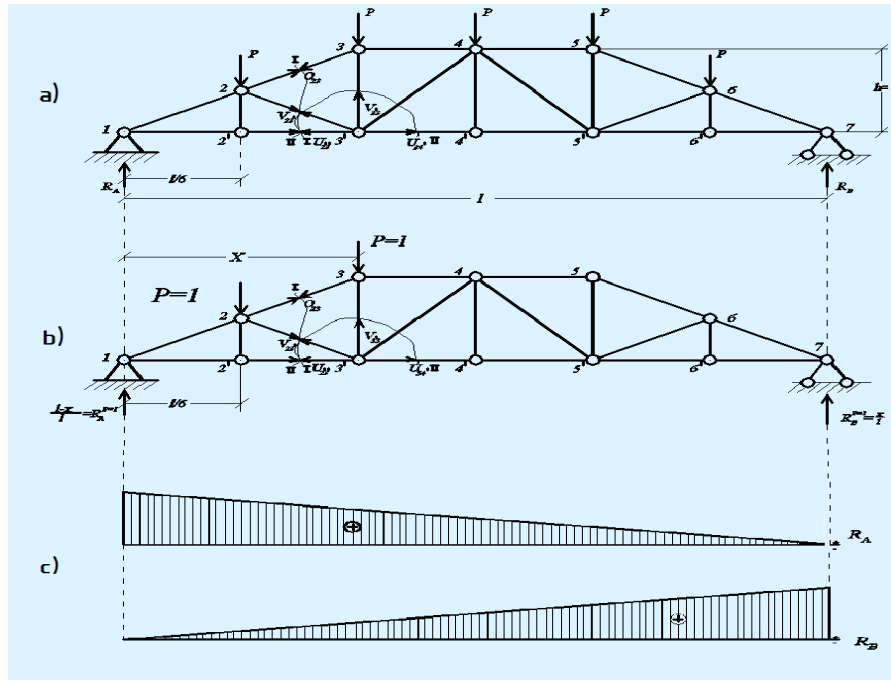
Bu tomilgan chap va o'ng chiziqlar tenglamasidan foydalanib qurilgan O_{23} zo'riqish kuchi ta'sir chizig'i (44-rasm, e) da keltirilgan.

4) $V_{23'}$ zo'riqish kuchi ta'sir chizig'ini quramiz:

Bu zo'riqish kuchini hisoblaganda

$$V_{3'3} = -V_{23'} \cos \alpha$$

formulani muvozanat tenglamasidan olgan edik.



44-rasm

Bu degani $V_{3'3}$ zo'riqish kuchi (ustun sterjendagi) ta'sir chizig'ini $V_{2'3'}$ zo'riqish kuchi ta'sir chizig'ini $-\cos \alpha$ ga ko'paytirish yo'li bilan hosil qilish deganidir.

Ya'ni:

$$-1,1103(-\cos \alpha) = -1,1103 \cdot (-0,4503) = 0,4999$$

$$-6,6622 \cdot (-\cos \alpha) = -6,6622 \cdot (-0,4503) = 2,9999$$

Bu ordinatalardan foydalanib qurilgan $V_{3'3}$ zo'riqish kuchi ta'sir chizig'i (u rasmda) keltirilgan.

Bu ta'sir chizig'i 2' va 3' tugunlar orasida uzatish chizig'i qonuni asosida o'zgaradi.

4. Yuqorida qurilgan ta'sir chizig'idan foydalanib berilgan №2-panelning sterjenlaridagi zo'riqishlarini hisoblaymiz:

$$1) U_{2'3'} = \sum P_i Y_i = 1,2(1,666 + 1,332 + 0,999 + 0,666 + 0,333) = 1,2 \cdot 4,9966 = 5,9959 \text{ ekan}$$

$$2) V_{2'3'} = \sum P_i Y_i = 1,2 \cdot (-1,1103) = -1,3324$$

$$3) O_{23} = \sum P_i Y_i = 1,2 \cdot (-0,7445 - 1,4 - 1,1173 - 0,7449 - 0,3724) = 1,2 \cdot (-4,3791) = -5,2549$$

$$4) V_{3'3} = \sum P_i Y_i = 1,2 \cdot (0,4999) = 0,5998$$

5. Analitik hisob natijasi va ta'sir chizig'i natijasini solishtiramiz:

$$1) \frac{U_{2'3'}^{Anal} - U_{2'3'}^{Ta's} \cdot 100\%}{U_{2'3'}^{Ta's}} = \frac{(6 - 5,9959) \cdot 100\%}{5,9959} = 0,0683\% \quad \text{xatolik}$$

$$2) \frac{(V_{2'3'}^{Anal} - V_{2'3'}^{Ta's} \cdot 100\%)}{V_{2'3'}^{Ta's}} = \frac{(-1,337 + 1,3324) \cdot 100\%}{1,3324} = 0,3452\% \quad \text{xatolik}$$

$$3) \frac{(O_{23}^{Anal} - O_{23}^{Ta's} \cdot 100\%)}{O_{23}^{Ta's}} = \frac{(5,3637 - 5,2549) \cdot 100\%}{5,2549} = 2,0704\% \quad \text{xatolik}$$

$$4) \frac{(V_{3'3}^{Anal} - V_{3'3}^{Ta's} \cdot 100\%)}{V_{3'3}^{Ta's}} = \frac{(0,602 - 0,5998) \cdot 100\%}{0,5998} = 0,3667\% \quad \text{xatolik}$$

Bu xatoliklar juda kichik bo'lib, hisoblashlar yuqori aniqlikda bajarilganligini bildiradi. Hamda bu xatoliklar taqribiy hisoblashlar mahsulidir.

II-Hisob grafik ishini bajarish uchun masalalar

Masala sharti:

Berilgan ferma uchun quyidagi ishlarni bajarish talab qilinadi:

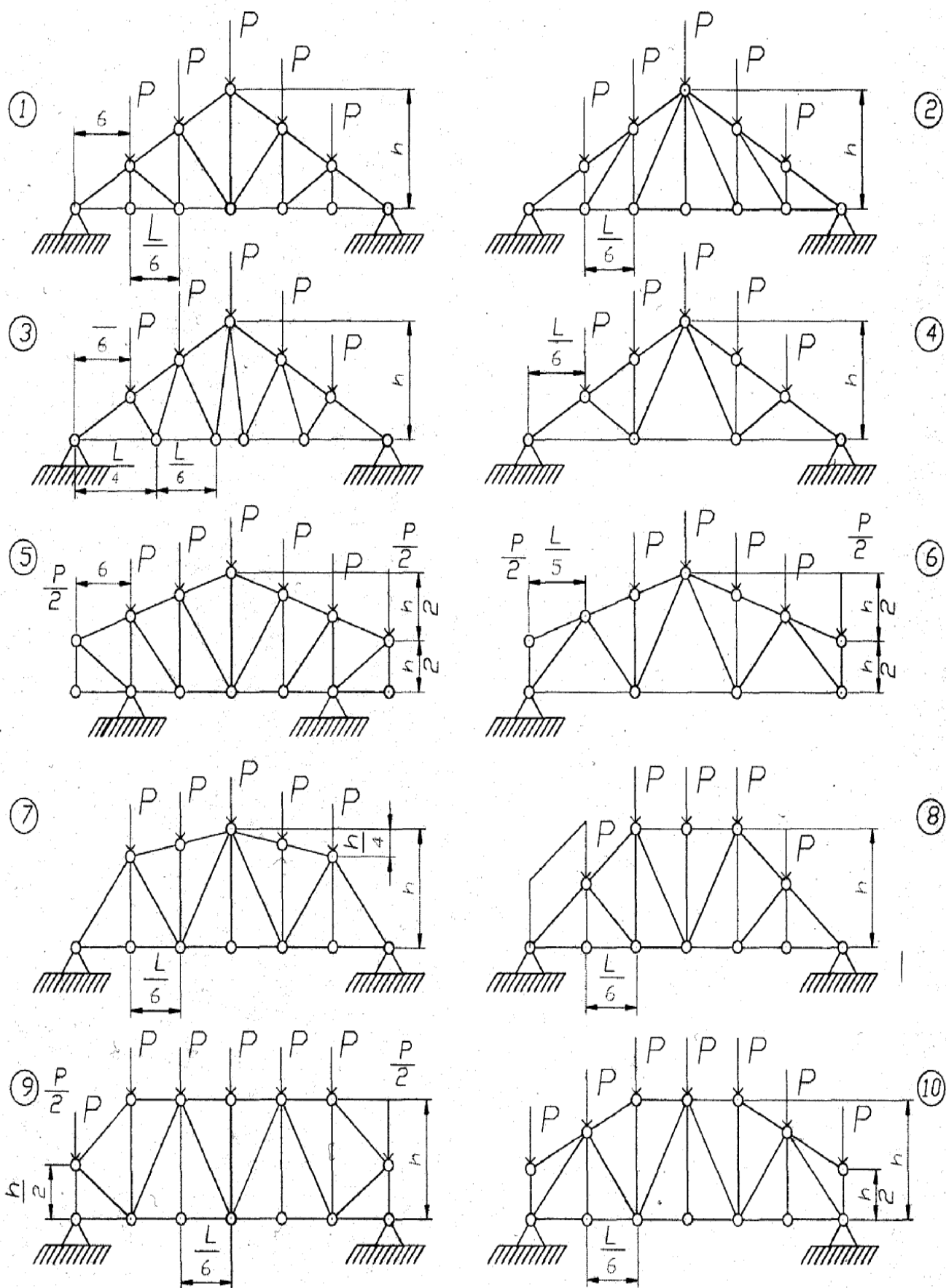
1. Analitik usulda berilgan panel va o'ng tomondagi ustun jami 4 ta sterjen uchun zo'riqishlar aniqlansin:
2. Shu sterjenlardagi zo'riqishlar uchun ta'sir chiziqlari qurilsin.
3. Ta'sir chiziqlari yordamida shu zo'riqishlarning qiymatlari aniqlansin va ular analitik usulda topilgan qiymatlar bilan solishtirib ko'rilsin.
4. Berilgan paneldan chap tomon uchun o'ng tomondagi ustungacha Maksvell–Kremona diagrammasi qurilsin.

METODIK KO'RSATMA

1-punktini bajarishda har bir sterjendagi zo'riqishni topish uchun o'ziga mos usulni topish uchun moment-nuqta; proyeksiyalash; tugunlarni kesish va boshqa usullarni qo'llash kerak, ya'ni bir zo'riqishni topishda ikkinchisidan foydalanmaslik kerak.

III-jadval

Nº	ℓ(m)	P₁(kH)	Shifrning ikkinchi raqami	Panel № (chapdan sanaladi)	Shifrning oxirgi raqami	h (met)	
1	30	1,8	1	2	1	3	
2	28	1,5	2	3	2	5,5	
3	27	1,2	3	4	3	3,5	
4	24	1	4	5	4	4	
5	21	1,9	5	2	5	6	
6	18	2	6	3	6	4,2	
7	32	1,1	7	4	7	4,6	
8	33	1,3	8	5	8	4,5	
9	22	1,4	9	2	9	5	
0	23	1,6	0	3	0	4,4	



45-rasm

Tayanch iboralar:

Ferma, oddiy ferma, konsolli ferma, epyura, panel, tugun, ustki belbog‘, ostki belbog‘, prolyot, moment nuqtasi usuli, ustun, havon, proyeksiyalash usuli, tugunni kesib olish usuli, shprengel,

Test savollari:

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

ferma

arka

balka

rama

2. Ferma sterjenlarida tashqi kuchlar ta’sirida qaysi ichki kuchlar hosil bo‘ladi?

bo‘ylama kuchlar

eguvchi moment

ko‘ndalang kuchlar

tayanch reaksiyalari

3. Ferma elementlari asosan qaysi deformatsiya turiga ishlaydi?

cho‘zilish yoki siqilish

siljish

egilish

buralish

4. Fermalar tashqi konturining ko‘rinishiga ko‘ra qanday turlarga bo‘linadi?

uchburchak shaklli, parallel belbog‘li va poligonal shaklli

uchburchak, hovan, yarim hovan, qo‘sh hovan, shprengelli

balkasimon, konsolli, konsolli balkasimon

tom, ko‘prik va kran

5. Fermalar panjaralarining tuzilishiga ko‘ra qanday turlarga bo‘linadi?

uchburchak, hovan, yarim hovan, qo‘sh hovan, shprengelli

tom, ko‘prik va kran

uchburchak shaklli, parallel belbog‘li va poligonal shaklli

balkasimon, konsolli, konsolli balkasimon

6. Fermalar tayanch reaksiyalarining yo‘nalishiga va ularning joylanishiga ko‘ra qanday turlarga bo‘linadi?

balkasimon, konsolli, konsolli balkasimon

uchburchak shaklli, parallel belbog‘li va poligonal shaklli

tom, ko‘prik va kran

Uchburchak, hovon, yarim hovon, qo‘sh hovon, shprengelli

7. Fermalar qo‘llanish vazifasiga ko‘ra qanday turlarga bo‘linadi?

tom, ko‘prik va kran

balkasimon, konsolli, konsolli balkasimon

uchburchak, hovon, yarim hovon, qo‘sh hovon, shprengelli

uchburchak shaklli, parallel belbog‘li va poligonal shaklli

8. Ferma sterjenlaridagi zo‘riqlar asosan qaysi usullar bilan aniqlanadi?

tugun ajratish, kesish, grafik va ta’sir chizig‘i

kuch, ko‘chish, tugun ajratish

ko‘chish, moment nuqta, grafik va ta’sir chizig‘i

analitik, ko‘chish, tugun ajratish va kinematik

9. Ferma tugunlari orasidagi gorizontal masofa nima deb ataladi?

panel

ustun

oraliq

hovon

10. Fermalarning geometrik o‘zgarmaslik sharti keltirilgan qatorni toping?

$$S \geq 2t - 3$$

$$S < 2t - 3$$

$$S \geq 2t + 3$$

$$S \geq 2t - 6$$

11. Agar $S < 2t - 3$ bo'lsa, ferma qanday ataladi?

statik aniq, geometrik o'zgaruvchan

statik aniq, geometrik o'zgarvas

statik noaniq, geometrik o'zgarvas

statik noaniq, geometrik o'zgaruvchan

12. Agar $S = 2t - 3$ bo'lsa, ferma qanday ataladi?

statik aniq, geometrik o'zgarvas

statik noaniq, geometrik o'zgaruvchan

statik aniq, geometrik o'zgaruvchan

statik noaniq, geometrik o'zgarvas

13. Agar $S > 2t - 3$ bo'lsa, ferma qanday ataladi?

statik noaniq, geometrik o'zgarvas

statik aniq, geometrik o'zgaruvchan

statik noaniq, geometrik o'zgaruvchan

statik aniq, geometrik o'zgarvas

14. Ferma qanday elementlardan tashkil topadi?

yuqori va pastki belbog'lar, tirkak va hovonlardan

Belbog' va tirkaklardan

Tirkak va hovonlardan

Belbog' va hovonlardan

15. Ferma qanday yuklanadi?

tugunlar orqali

belbog'lar orqali

tirkaklar orqali

hovonlar orqali

16. Tugun ajratish usuli orqali ferma qismi uchun nechta muvozanat tenglamalarini tuzish mumkin?

2

1

3

4

17. Fermadan ajratib olingan tugun uchun nechtdan ortiq muvozanat tenglamalar tuzish mumkin emas?

2

1

3

5

18. Yuklanmagan tugunda tutashtirilgan ikki sterjenlardagi zo‘riqishlar o‘zaro qanday munosabatda?

ikkalasi ham nolga teng

bir- biriga teng

cheksizlikka teng

juda katta qiymatga teng

19. Fermani kesish usuli bilan hisoblashda nechta muvozanat tenglamasi tuzish mumkin?

3

1

2

4

20. Bir yarusli shprengelli fermalarni hisoblashda ularning elementlari nechta kategoriyaga bo‘linadi?

3

2

1

4

21. Ikki yarusli shprengelli fermalarni hisoblashda ularning elementlari nechta kategoriyaga bo'linadi?

4

1

3

2

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

$W = 0$

$W > 0$

$W \neq 0$

$W < 0$

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

$W > 0$

$W < 0$

$W = 0$

$W \leq 0$

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

$W < 0$

$W = 0$

$W > 0$

$W \neq 0$

25. Alohida elementlarining joylashuv tartibiga qarab inshootlar qanday sistemalariga bo'linadi?

yassi va fazoviy

yassi va qobiqli

fazoviy va hajmiy

tekis va hajmiy

26. Yassi sistemalar deb qanday sistemalariga aytiladi?

barcha sterjenlar bir tekislikda joylashsa

barcha sterjenlar murakkab shaklda biriktirlgan bo'lsa

barcha sterjenlar bir to'g'ri chiziqda yotsa

barcha sterjenlarning o'qi bir nuqtada kesishsa

27. Sistemaning erkinlik darajasi deb nimaga aytiladi?

sistemaning holatini belgilovchi geometrik parametrlar soni

sistemani tashkil etuvchi elementlar soni

sistemaning o'rnini belgilovchi dinamik parametrlar soni

sistemani tashkil etuvchi elementlar holatini belgilovchi nuqtalar soni

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

sistemaning erkinlik darajasi

sistemadagi sharnirlar soni

sistemadagi tayanchlar soni

sistemadagi disklar soni

Nazorat savollari

1. Ferma deb qanday sistemalar ga aytiladi?
2. Ferma elementlari nomlarini ayting bering.
3. Fermalarni analitik hisoblashda moment nuqtasi usulini tushuntirib bering.
4. Tugunlarni kesish usulini tushuntiring.
5. Fermalarni analitik usulda hisoblash usullarini aytib bering.
6. Proyeksiyalash usulini tushuntirib bering.
7. Tugunni kesib olish usulini tushuntirib bering.
8. Shprengelli fermalar hisobini tushuntirib bering.
9. Moment nuqtasi usulini tushuntirib bering.
10. Ferma zo'riqlarining ta'sir chizig'i nima uchun quriladi?

Onlayn masofaviy o'qitish usullari

Talaba tomonidan II-BOB ga doir mavzular o'zlashtirililib bo'lgach tyutor tomonidan topshiriqlarni har bir talabaga individual tarzda (pdf yoki doc) fayl tarzida tayyorlanadi. Tayyorlangan topshiriq tizimga joylashtiriladi. Buning uchun

tizimga kirib tahrirlashga o'tiladi so'ng kerakli mavzuni tugash qismida element yoki resurs qo'shish tugmasini bosib, topshiriq elementi tanlanadi va qo'shish tugmasi bosiladi. Shundan so'ng topshiriq joylashish oynasi ochiladi. Topshiriq nomi (Названные)da biror nom kiritiladi. (Описание)da topshiriq haqida qisqa ma'lumotlar kiritiladi, topshiriqlarni bajarish ko'rsatmalar yozish maqsadga muvofiqdir. Undan pastda tayyorlangan faylni qo'shish oynasi joylashgan bo'lib shu oynaga joylashtiriladi. Undan pastda vaqt reglamenti (синхронизация), baholashi (оценки)lar to'g'rilanadi va saqlash tugmasi bosiladi. Shundan so'ng topshiriq barcha talabalarga ko'rinadi.

Jo'natilgan topshiriqni talaba qabul qilib oladi. Belgilangan mavzu bo'yicha talaba topshiriqni yuklab oladi va aytilgan tarzda bajaradi.

Bajarilgan topshiriqni (pdf yoki doc) fayl shaklida jo'natadi.

Tyutor talaba tomonidan bajarib jo'natilgan topshiriq taqdimnomasini ochadi, uni tekshiradi, kamchilik va mulohazalarni yozish joyida bildiradi va jo'natiladi. Tyutor tomonidan baholanadi va saqlash uchun (сохранит все оценки) tugmasi bosiladi.

III- BOB.

UCH SHARNIRLI SISTEMALAR

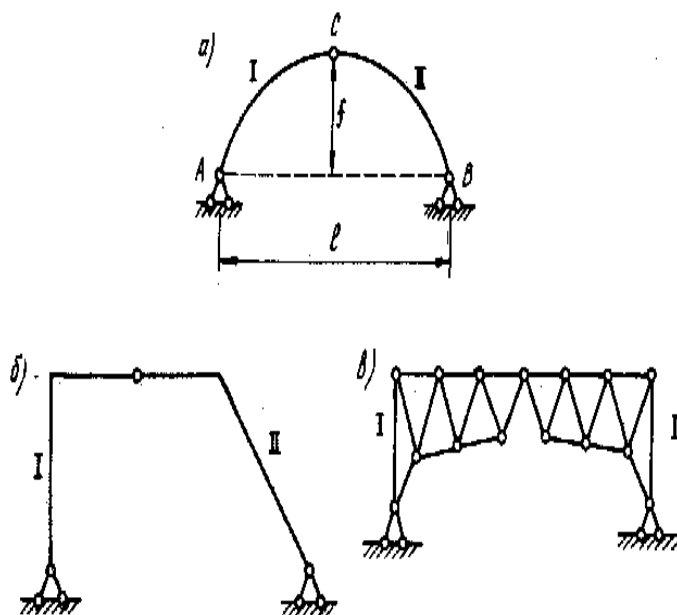
3.1-§. Uch sharnirli arkalar va ramalar haqida tushuncha.

Tayanch soʻz va iboralar:

Uch sharnirli arka, rama, vertikal reaksiya, keruvchi reaksiya, tortqichli arka, tortqichli rama, statika tenglamalari, kesimning momenti, oddiy balka uchun kesimning momenti, kesuvchi kuch, kesimning urinmasi, kesimning normali, oddiy balka kesimining kesuvchi kuchi, urinmaning gorizontal bilan hosil qilgan burchagi, ratsional oʻq, parabola.

Agar I va II disklar egri chiziqli sterjenlardan iborat boʻlsa, bunday sistema uch sharnirli arka deb ataladi (46 – rasm, a), agar I va II disk sinq toʻgʻri chiziqli sterjenlardan tashkil topgan boʻlsa, uch sharnirli rama deb ataladi. (46 – rasm, b), agar I va II ferma boʻlsa, u holda sistema uch sharnirli arkasimon ferma deb ataladi (46 – rasm, v).

Uch sharnirli sistemalar vertikal oʻqqa nisbatan simmetrik yoki nosimmetrik boʻlishi mumkin. Simmetrik sistemada S sharniri simmetriya oʻqi ustida joylashadi. A va B tayanch sharnirlari bir sathda yotadi. Nosimmetrik sistemada tayanchlar turli sathlarda joylashishi mumkin.

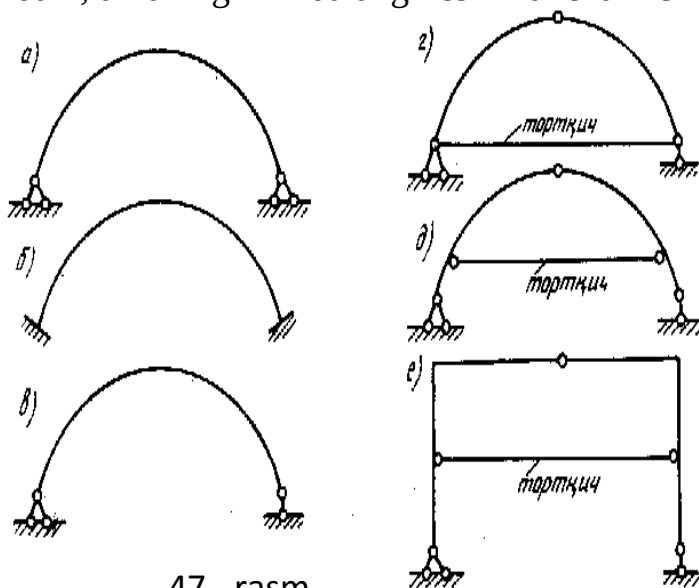


46 - rasm

Uch sharnirli sistema tayanchlarida vujudga keladigan gorizontal bosim va unga qarshi reaksiya kerki (raspor) nomi bilan yuritiladi, sistemaning oʻzi esa kerkili sistema 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 (47 – rasm, a) va sharnirsiz (47–rasm, b) arkalar qo'llaniladi. Arkalarda kerishish kuchining mavjudligi sababli



47 - rasm

ularning tayanchlari sharnirli yoki sharnirsiz qo'zg'almas tayanch ko'rinishida ishlatiladi.

Tayanchlardan biri sharnirli qo'zg'aluvchan bo'lsa, u arka emas, egri o'qli arka deb ataladi (47 – rasm, v). Binokorlikda ba'zan uch sharnirli arkalarining boshqacha xili ham uchrab turadi (47 – rasm, g). Tortqichlar sharoitiga qarab tayanchlardan yuqoriroq o'rnatilishi mumkin (47 – rasm, d). Qurilishlarda tortqichli ramalar ham keng tarqalgan (47 – rasm, e).

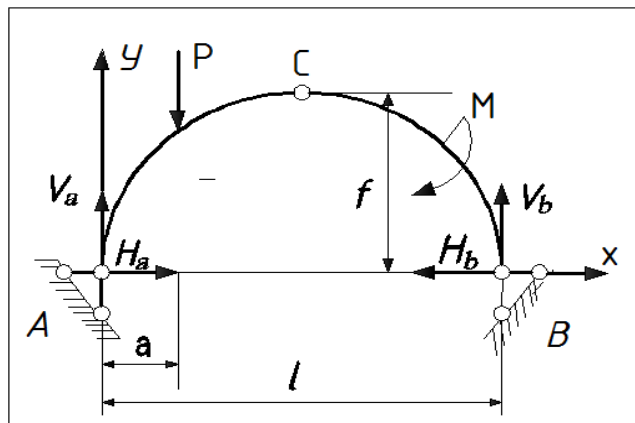
Uch sharnirli hamda tortqichli arkalar va ramalar statik aniq, ikki sharnirli va sharnirsiz arkalar statik noaniq sistemalariga kiradi. Arkalarining asosiy belgilari: prolyot uzunligi l va arka balandligi f dir. O'rtadagi C sharniriga qulf sharnir deb ataladi.

Sharnirsiz arkalar O'rta Osiyo binokorligida qadim zamonlardan bo'yon qo'llanilib kelingan. Masjid, madrasalar, hashamatli saroy va maqbaralar, hammom, sardoba va ko'priklarda ravoq va gumbaz ko'rinishidagi arka elementlarini ko'plab uchratish mumkin. Misol uchun, 1502 yili Shayboniyxon tomonidan Zarafshon daryosiga qurilgan suv ayirg'ich ko'prigining ayrim ravoqlari hozirga qadar saqlanib qolgan.

3.2-§. Uch sharnirli arkalarining tayanch reaksiyalarini aniqlash.

Ixtiyoriy kuchlar qo'yilgan uch sharnirli arkaning (48 - rasm) tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

Ma'lumki, uch sharnirli arkalar statik aniq bo'ladi. Shu boisdan ularning tayanch reaksiyalarini aniqlashda statikaning muvozonat tenglamalari yetarlidir. Uch sharnirli arkalarda tashqi kuchlar ta'siridan ikkita gorizontali H_a, H_b va ikkita vertikal V_a, V_b reaksiya kuchlari



48 - rasm

vujudga keladi. Bu noma'lum tayanch reaksiyalari quyidagi tenglamalardan aniqlanishi mumkin:

$$\sum M_A = 0; \quad \sum M_B = 0; \quad \sum M_C^{(chap)} = 0; \quad \sum X = 0;$$

Bizning misolimizda:

$$\sum M_A = P \cdot a + M - V_B \cdot l = 0 \quad \text{bunda} \quad V_B = \frac{P \cdot a + M}{l};$$

$$\sum M_B = M - P(l - a) + V_A \cdot l = 0 \quad \text{bunda} \quad V_A = \frac{P(l - a) - M}{l};$$

bunda $V_B = \frac{P \cdot a + M}{l} = \frac{\sum M_A^{tash}}{l}$ va $V_A = \frac{P(l - a) - M}{l} = \frac{\sum M_B^{tash}}{l}$ belgilashlardagi

$\sum M_A^{tash}$ va $\sum M_B^{tash}$ lar mos ravishda A va B nuqtalarga nisbatan tashqi kuchlar momentlari yig'indisini bildiradi.

Gorizontali reaksiya kuchi H_b ni aniqlash uchun S sharnirga nisbatan o'ng tomonda yotgan kuchlardan moment olamiz:

$$\sum M_C^{o'ng} = M - V_B \cdot \frac{l}{2} + H_B \cdot f = 0$$

bundan $H_B = \frac{V_B \cdot \frac{l}{2} - M}{f}$; yoki $H_B = \frac{\sum M_C^{0(o'ng)}}{f}$; bu yerda nol indeksi uzunligi va yuklanishi arka bilan bir xil bo'lgan oddiy balkadagi moment ekanligini bildiradi. A tayanchdagi gorizonta reaksiya kuchi H_A quyidagi $\sum M_C^{chap} = 0$ yoki $\sum X = 0$ tenglamalaridan biri yordamida aniqlanishi mumkin:

$$\sum X = H_A - H_B = 0;$$

bundan $H_A = H_B - H$ kelib chiqadi.

Oxirgi tenglik shuni ko'rsatadiki, agar arkaga vertikal kuchlar qo'yilgan bo'lsa, gorizonta reaksiyalar o'zaro teng bo'lar ekan.

Uch sharnirli arkalar uchun bayon etilgan qoidalar to'raligicha uch sharnirli ramalar uchun ham taalluqlidir.

3.3-§. Uch sharnirli arkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.

Hisoblashdan maqsad bu yerda ham boshqa konstruksiyalar singari ichki zo'riqish kuchlarini aniqlashdan iboratdir. Zo'riqish ichki kuchlari deganda tashqi kuch ta'siridan arka ko'ndalang kesimida paydo bo'ladigan eguvchi moment M kesuvchi 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 – ishora musbat, kesimga nisbatan kuch soat strelkasi bo'yicha aylansa – ishora musbat, teskari yo'nalishda aylansa – ishora manfiy olinadi.

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

Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy K kesimidagi vujudga keladigan eguvchi moment M_K ni aniqlaymiz (49 – rasm, a).

Buning uchun arkani kesim bo'yicha xayolan qirqamiz va kesimning chap yoki o'ng tamoni uchun momentlar yig'indisini yozamiz:

Agar arkaga qo'yilgan kuch og'ma emas, tik bo'lsa, u holda R kuchining gorizontatl proyeksiyasi $P_x = 0$ bo'lganligi uchun, $P_y = P$ va $H_a = H_b = H$ bo'ladi hamda (8) ifloda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$M_K = V_A \cdot X_H - H_A \cdot y_K - P_y \cdot (X_K - X_p) - P_x \cdot (y_K - y_p); \quad (8)$$

$$M_K = V_A \cdot x_K - P(x_K - x_p) - H \cdot y_K;$$

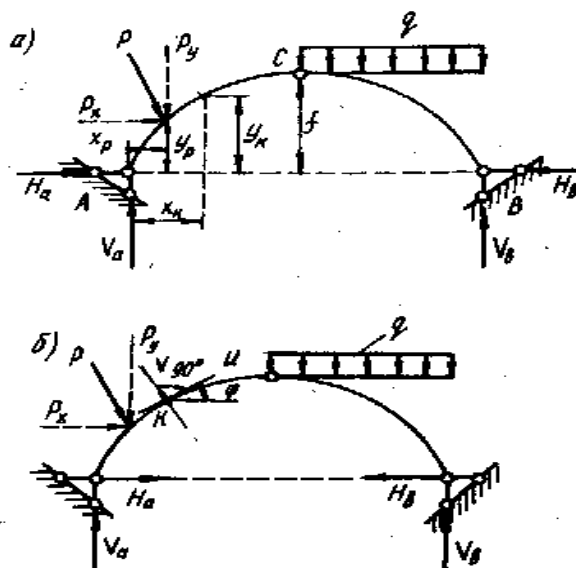
Bu formuladagi $V_A \cdot x_K - P(x_K - x_p)$ ifoda, uzunligi va yuklanishi jihatidan shu arka bilan bir xil bo'lgan oddiy balkaning eguvchi momenti M_K^0 ga tengdir. Agar buni e'tiborga olsak, yuqoridagi oxirgi formulani quyidagi sodda ko'rinishga keltirish mumkin:

$$M_K = M_K^0 - H \cdot y_K; \quad (9)$$

Ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlash uchun arkaning K kesimiga urinma (u) va shu urinmaga tik bo'lgan chiziq (v) o'tkazamiz (49 – rasm, b). Ko'ndalang kuchlarni aniqlash uchun (v) o'qiga, bo'ylama kuchlarni aniqlash uchun u o'qiga nisbatan kuchlar proyeksiyalarining yig'indisini olamiz:

$$Q_K = V_A \cdot \cos \varphi - H_A \cdot \sin \varphi - P_y \cdot \cos \varphi - P_x \cdot \cos \varphi;$$

$$N_K = V_A \cdot \sin \varphi - H_A \cdot \cos \varphi - P_y \cdot \sin \varphi + P_x \cdot \sin \varphi;$$



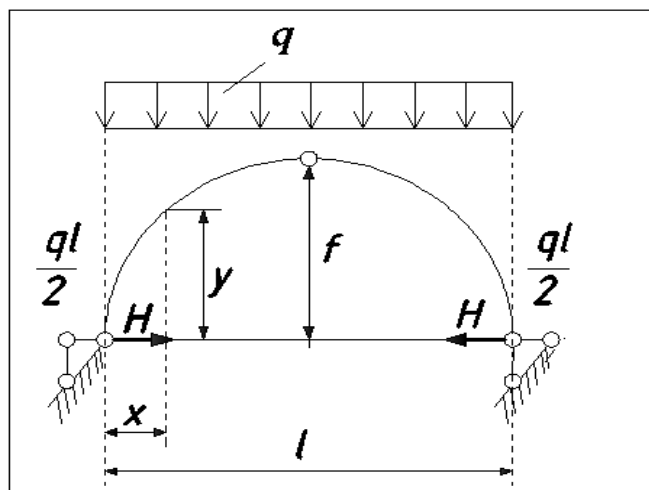
49-rasm

bu yerda φ - urinma bilan gorizontal orasidagi burchak. Agar arkaga qo'yilgan yuk tik bo'lsa, u holda yuqoridagi oxirgi formulalar qo'yidagi ko'rinishni oladi:

$$\begin{aligned} Q_{\kappa} &= (V_A - P) \cdot \cos\varphi - H \cdot \sin\varphi; \\ N_{\kappa} &= (V_A - P) \cdot \sin\varphi + H \cdot \cos\varphi; \end{aligned} \quad (10)$$

(9) va (10) formullardan foydalanib, arkaning bir qancha kesimlari uchun eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar aniqlanadi hamda M, Q va N epyuralari quriladi. Bunda ko'ndalang kesimdagi eguvchi moment, balka ko'ndalang kesimidagi eguvchi momentdan kichik bo'lishi (9) formuladan ko'rinish turibdi.

Agar arkaga vertikal yo'nalishda tekis yoyiq kuch qo'yilgan bo'lsa, arkaning o'qini shunday olish mumkinki, bunda arkaning barcha kesimlarida eguvchi moment nolga teng bo'ladi. Eguvchi momentlarning nolga teng bo'lgan arka o'qi maqbul (ratsional) o'q deb ataladi. Arkaning o'zi esa maqbul o'qli arka deb yuritiladi (50-rasm).



50 - rasm

Arkaning maqbul o'qi tenglamasi arka ixtiyoriy kesimi uchun yozilgan eguvchi moment ifodasini nolga tenglab hosil qilinadi, ya'ni:

$$M_{\kappa} = M_{\kappa}^0 - H \cdot Y_{\kappa} = 0 \quad (11)$$

6 – rasmdan $M_{\kappa}^0 = \frac{ql}{2} \cdot x - \frac{qx^2}{2} = \frac{qx}{2}(l - x);$

$$H = \frac{M_c^0}{f} = \frac{ql}{2} \left(l - \frac{l}{2} \right) \cdot \frac{1}{f} = \frac{ql^2}{8f} \quad (12)$$

(11) tenglamadan $y = \frac{M_x^0}{H}$ ni topib, unga (12) ifodasini qo'yamiz:

$$y = \frac{\left(\frac{qx}{2}\right) \cdot (l-x) \cdot 8f}{ql^2} = \frac{4f}{l^2} (l-x) \cdot x;$$

Shu tenglama yordamida chizilgan parabola arkaning maqbul o'qi bo'ladi, maqbul o'qli arkada eguvchi moment nolga tengdir.

3.4-§. Uch sharnirli arkalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

Balkalar va fermalar hisobida ko'rib o'tkanimizdek, inshootlarni qo'zg'aluvchi yuklar ta'siriga hisoblash uchun ta'sir chiziqlari deb ataluvchi grafik chizib olinadi. Ta'sir chiziqlari har bir tayanch reaksiyasi va har bir ichki kuch M , Q , va N uchun alohida ravishda quriladi.

Tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari.

Chap va o'ng tayanch sharnirlariga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz (51 – rasm, a):

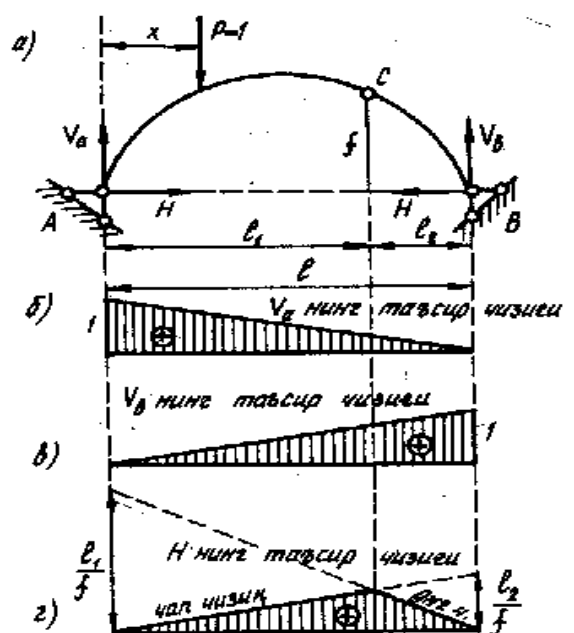
$$\sum M_B = V_A \cdot l - P(l-x) = 0; \quad \sum M_A = -V_B \cdot l + P \cdot x = 0;$$

Bu tenglamalardan vertikal V_A va V_B tayanch reaksiyalari topiladi.

Topilgan ifodalar tayanch reaksiyalarining ifodasidan farq qilmaydi. Demak, arka tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari ham balkaning ta'sir chiziqlaridan farq qilmasligi kerak (51 - rasm, b, v).

Ma'lumki, kerishish reaksiya kuchi

$$H = \frac{M_c^0}{f} \text{ tenglamasi yordamida aniqlanadi.}$$



51 - rasm

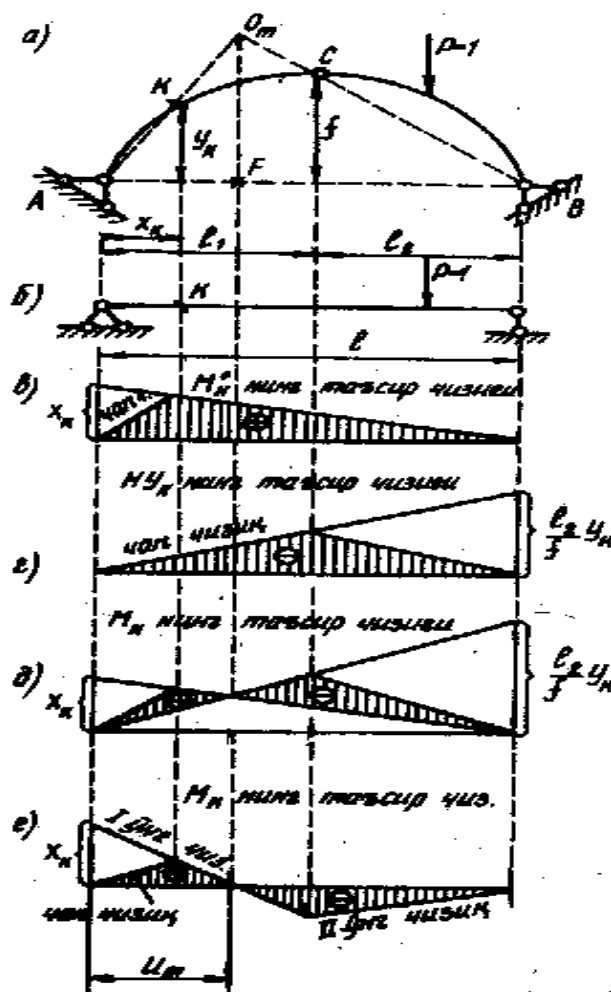
Bundan H ning ta'sir chizig'i balka momenti M_c^0 ni ta'sir chizig'idan $\frac{1}{f}$ marta kichik ekanligi ko'rinib turibdi. Shuning uchun H ta'sir chizig'ini qurishda A tayanchi ostiga l_1 ning o'rniga $\frac{l_1}{f}$ ni o'lchab qo'yamiz. Bu miqdorni B tayanch ostidagi nol bilan tutashtirsak, o'ng to'g'ri chiziq kelib chiqadi. Chap to'g'ri chiziqni o'tkazish uchun C sharnirni o'ng to'g'ri chiziqqa proyeksiyalaymiz, topilgan nuqtani A tayanchi ostidagi nol bilan tutashtiramiz. Shtrixlangan yuza kerishish reaksiya kuchi – ya'ni gorizontall reaksiya H ning ta'sir chizig'idir (51 – rasm, g). Agar $l_1 = l_2 = \frac{l}{2}$ bo'lsa, C sharnir ostidagi ordinata $\frac{l}{4f}$ bo'ladi.

Eguvchi moment M ning ta'sir chizig'i.

Arkaning istalgan kesimidagi eguvchi moment $M_K = M_K^0 - H \cdot y_K$ formulasi yordamida aniqlanishini yuqorida ko'rib o'tdik. Arkaning ixtiyoriy κ kesimidagi eguvchi moment M_K ning ta'sir chizig'ini qurishda ham shu formuladan foydalanamiz (52 – rasm, a).

Formulaga qaraganda, arkaning ta'sir chizig'i oddiy balkaning (52 – rasm, b) κ kesimidagi eguvchi moment M_K ning ta'sir chizig'i y_K marta kattalashtirilgan kerishish kuchi H ning ta'sir chiziqlari orasidagi farqqa teng bo'ladi. M_K^0 va $H \cdot y_K$ ning ta'sir chiziqlari (52–rasm, v, g) da tasvirlangan.

Har ikkala shaklni ustma –ust joylashtirish yo'li bilan izlanayotgan M_K



52–rasm

ta'sir chizig'ini hosil qilamiz (52 – rasm, d). Hosil bo'lgan ta'sir chizig'ini to'g'ri o'qqa joylashtirsa ham bo'ladi (52–rasm, e).

52–rasm, d, e – da tasvirlangan M_κ ta'sir chizig'ida M_κ^0 ning o'ng chizig'i bilan $H \cdot y_\kappa$ ning chap chizig'i nol nuqtasida kesishadi. Ushbu nuqtaning holatini grafik usulda aniqlasa bo'ladi.

Buning uchun BC va AK chiziqlarining kesushuv nuqtasi O_m ni aniqlaymiz (52 – rasm, a). Ta'sir chizig'ining O nuqtasi ana shu nuqtada yotadi.

M_κ ta'sir chizig'ini bevosita nol nuqtasi orqali qursa ham bo'ladi. Buning uchun ixtiyoriy o'qqa x_κ nuqtasi o'lchab qo'yiladi (52 – rasm, e). O_m nuqtasini o'qqa proyeksilab nol nuqtasi aniqlanadi. x_κ ning uchi 0 bilan birlashtiriladi va C sharnirning proeksiyasi bilan uchrashguncha davom ettiriladi. O'tkazilgan chiziq I – o'ng chiziq deb ataladi. II- o'ng chiziq shaklda ko'rastilgandek o'tkaziladi. Chap chiziq odatdagidek o'tkaziladi, ya'ni nol nuqta birlashtiriladi. Shtrixlangan yuza M_κ ning ta'sir chizig'i deyiladi.

Nol nuqtasining U_m absissasi AFO_m va BFO_m uchburchaklaridan topiladi:

$$FO_m = \frac{y_\kappa}{x_\kappa}; \quad U_m = \frac{f}{l_2}(l - \kappa); \quad \text{bundan:}$$

$$U_m = \frac{f \cdot l \cdot x_\kappa}{y_\kappa \cdot l_2 \cdot x_\kappa} \quad \text{kelib chiqadi.}$$

Ko'ndalang kuch Q_κ ning ta'sir chizig'i.

Uch sharnirli arkaning K kesimidagi kesuvchi kuch Q_κ ning ta'sir chizig'ini qurishda quyidagi formuladan foydalanamiz (53 – rasm, a):

$$Q_\kappa = Q_\kappa^0 \cdot \cos \varphi_\kappa - H \cdot \sin \varphi_\kappa;$$

Bu yerda Q_κ^0 - oddiy balkaning K kesimidagi ko'ndalang kuch (53 – rasm, b), φ_κ - K kesimiga o'tkazilgan urinma bilan gorizont o'q orasidagi burchak.

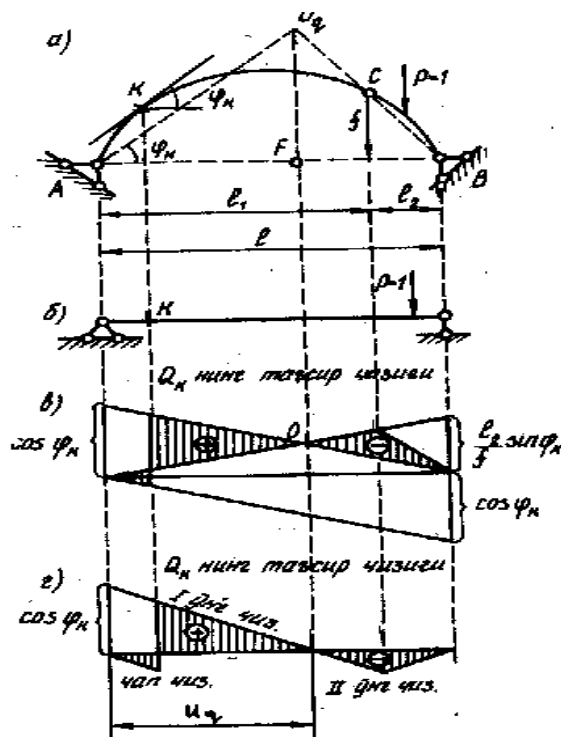
Arka bo'ylab birlik kuch harakat qilganda, Q_K^0 bilan H o'zgarib boradi, $\cos\varphi_K$ bilan $\sin\varphi_K$ esa o'zgarishsiz qoladi. Bunga ko'ra Q_K ning ta'sir chizig'i $Q_K^0 \cdot \cos\varphi_K$ bilan $H \cdot \sin\varphi_K$ ning ta'sir chiziqlari algebraik yig'indisi sifatida qursa bo'ladi. Ana shu yig'indi (53 – rasm, v) – da tasvirlangan, ya'ni ikki xil ta'sir chizig'i ustma – ust joylashtirilgan. Miqdorlari teng, ishorasi qarama - qarshi bo'lgan ordinatalar qisqarib ketgan, qolganlari shtrixlangan.

Ixtiyoriy gorizontal o'qqa $\cos\varphi_K$ masofasini o'lchab qo'yamiz (53 –rasm, g). Masofaning uchini nol nuqta bilan tutashtiramiz va uni C sharniri proeksiyasi bilan uchrashguncha davom ettiramiz. O'tkazilgan kesma I- o'ng chiziq bo'ladi. II- o'ng chiziq shaklda ko'rsatilgandek o'tkaziladi. Chap chiziqni I- o'ng chiziqqa parallel ravishda o'tkazilib K kesimning proeksiyasiga qadar davom etadi. Shtrixlangan yuza Q_K ning ta'sir chizig'i hisoblanadi. Nol nuqtasining absissasi

AFO_q va BFO_q uchburchaklari orqali $U_q = \frac{f \cdot l}{f + l_2 \cdot \operatorname{tg}\varphi_K}$ formuladan topiladi.

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

Uch sharnili arkaning K kesimidagi bo'ylama kuch N_K ning ta'sir chizig'ini qurishda $N_K = Q_K^0 \cdot \sin\varphi_K + H \cdot \cos\varphi_K$ formulasidan foydalanamiz (53 – rasm, a). Buning uchun avval $Q_K^0 \cdot \sin\varphi_K$ ning ta'sir chizig'ini quramiz, so'ngra buning ustiga $H \cdot \cos\varphi_K$ ning ta'sir chizig'ini teskari ravishda joylashtiramiz (53 – rasm, b). Shtrixlangan yuza N_K ning ta'sir chizig'i bo'ladi.



53-rasm

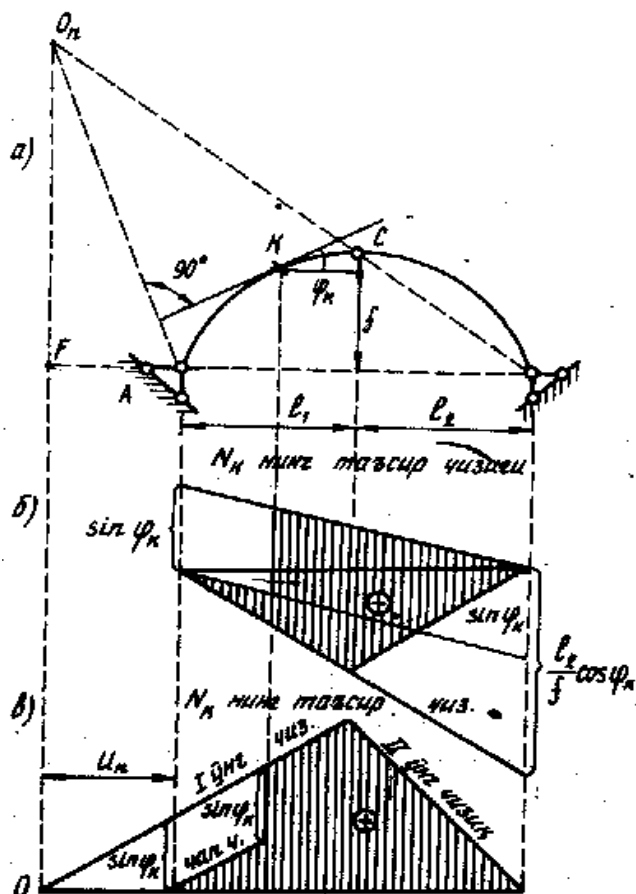
N_K ning ta'sir chizig'ini ham nol nuqtasi usulida qurish mumkin. O_n nuqtani topish uchun birinchi BC chiziqni o'tkazamiz, keyin K kesimidan o'tkazilgan urinmaga tik bo'lgan AO_n chizig'ini o'tkazamiz. Kesishgan nuqtasi O_n bo'ladi. O_n ni gorizontaal o'qqa proyeksiyalab, nol nuqtasini aniqlaymiz (53 – rasm, v).

A tayanch ostiga $\sin \varphi_K$ kesmasini o'lchab qo'yamiz. Kesmaning yuqori uchini nol nuqta bilan birlashtirib, C sharnirning proyeksiyasigacha davom ettiramiz.

Bu I- o'ng chiziq bo'ladi. Chap ta'sir chiziqni I- o'ng chiziqqa parallel ravishda o'tkaziladi. Shtrixlangan yuza N_K ning ta'sir chizig'idir.

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

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



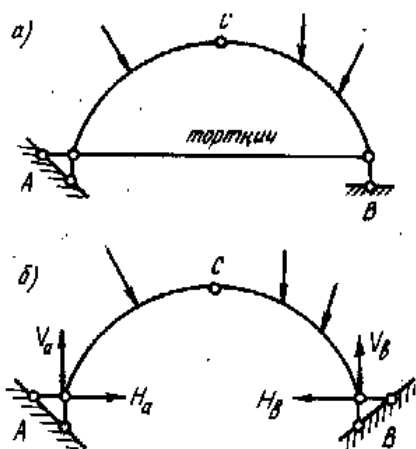
54 – rasm

Uch sharnirli tortqichli arka va ramalarni hisoblash.

Uch sharnirli tortqichli arkalar va ramalarning hisobi tortqichsiz sistemalarning hisobidan biroz farq qiladi. Bu farqni (55–rasm, a) – da tasvirlangan tortqichli arka misoldida ko'ramiz.

Arakaning B tayanchi sharnirli qo'zg'aluvchandir. O'rtadagi C sharining mavjudligini inobatga olsak, bu sistemaga tortqitchning zarurligi o'z – o'zidan ayon bo'ladi. Chunki bu sistemaning geometrik o'zgarmasligini aynan shu tortqich

ta'minlaydi. Boshqacha qilib aytganda shu tortqich tufayli B tayanch gorizontaal yo'nalishda qo'zg'almaydi.



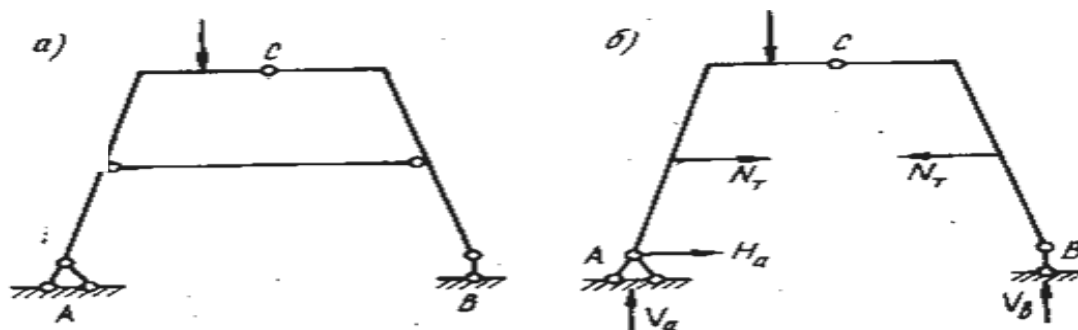
55 – rasm

Demak, tortqichni B tayanchning gorizontaal sterjeni sifatida talqin etsa ham bo'ladi. Bu esa hisob jarayonida tortqichsiz arka (55 – rasm, b) uchun berilgan formulalardan bimalol foydalanish imkonini beradi. Tortqichdagi zo'riqish gorizontaal tayanch reaksiyasi H_B ga teng bo'lganligi sababli tortqichli arka ko'ndalang

kesimlaridagi zo'riqishlarga teng bo'ladi.

Shuningdek, tortqichli va tortqichsiz arkalarning ta'sir chiziqlarida ham hech qanday farq bo'lmaydi.

Ba'zan uch sharnirli arka va ramalarda tortqich tayanchdan yuqoriroqqa o'rnatiladi (56 – rasm, a).



56 – rasm

Tortqichni tashlab yuborib, o'rniga qarama - qarshi yo'nalgan kuchlar N_T ni qo'yamiz (56 – rasm, b). Kuchlarning qiymati tortqichdagi zo'riqishga teng bo'ladi. Bu yerda asosiy masala anashu zo'riqishni aniqlashdan iboratdir. Ramaning tayanch reaksiyalari statikaning muvozanat tenglamalaridan topiladi.

N_T ning qiymati C sharnirga nisbatan chap yoki o'ng tamonda joylashgan kuchlarning momentlari yig'indisini ifodalovchi tenglamalar $\sum_{chap} M_c = 0$ yoki $\sum_{o'ng} M_c = 0$ dan topiladi.

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

Agar X o'qini o'ngga, U o'qini yuqoriga yo'naltirsak, koordinatalar boshini chap tayanch A nuqtasi bilan ustma-ust joylashtirsak, arka o'qiga urinmaning og'ish burchagi φ va trigonometrik funksiyalar $\sin \varphi$, $\cos \varphi$ bo'lsa, u holda arka o'qining tenglamasini quyidagi formulalar bo'yicha hisoblash mumkin (57-rasm):

1) arka o'qi – kvadrat parabola:

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{4f(lx - x^2)}{l^2}; & tg\varphi = y' &= \frac{4f(l - 2x)}{l^2}; \\ \cos \varphi &= \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2 \varphi}}; & \sin \varphi &= \cos \varphi \cdot tg \varphi; \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

2) arka o'qi – aylana:

$$\left. \begin{aligned} y &= \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2} - R + f; & R &= \frac{f}{2} + \frac{l^2}{8 \cdot f}; \\ \sin \varphi &= \frac{l - 2 \cdot x}{2R}; & \cos \varphi &= \frac{y + R - f}{R}, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

bu yerda l -arka tayanchlari oralig'i; f -tayanch sharnirlarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziqdan C qulf sharnirigacha bo'lgan masofa arkaning ko'tarilish balandligi. R -aylana radiusi.

Qayd qilamizki, uch sharnirli arkalarda, ramalarda va arkasimon fermalarda V_A va V_B reaksiyalarining vertikal tashkil etuvchilarining ta'sir chiziqlari balkadagi R_A va R_B ta'sir chiziqlari bilan mos keladi, chunki bir xil analitik ifodalarga ega.

Statik usulda uch sharnirli arka va ramalarda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari, ularning ichki zo'riqishlarini tashqi yuklar ta'siridan aniqlash formulalariga asosan quriladi:

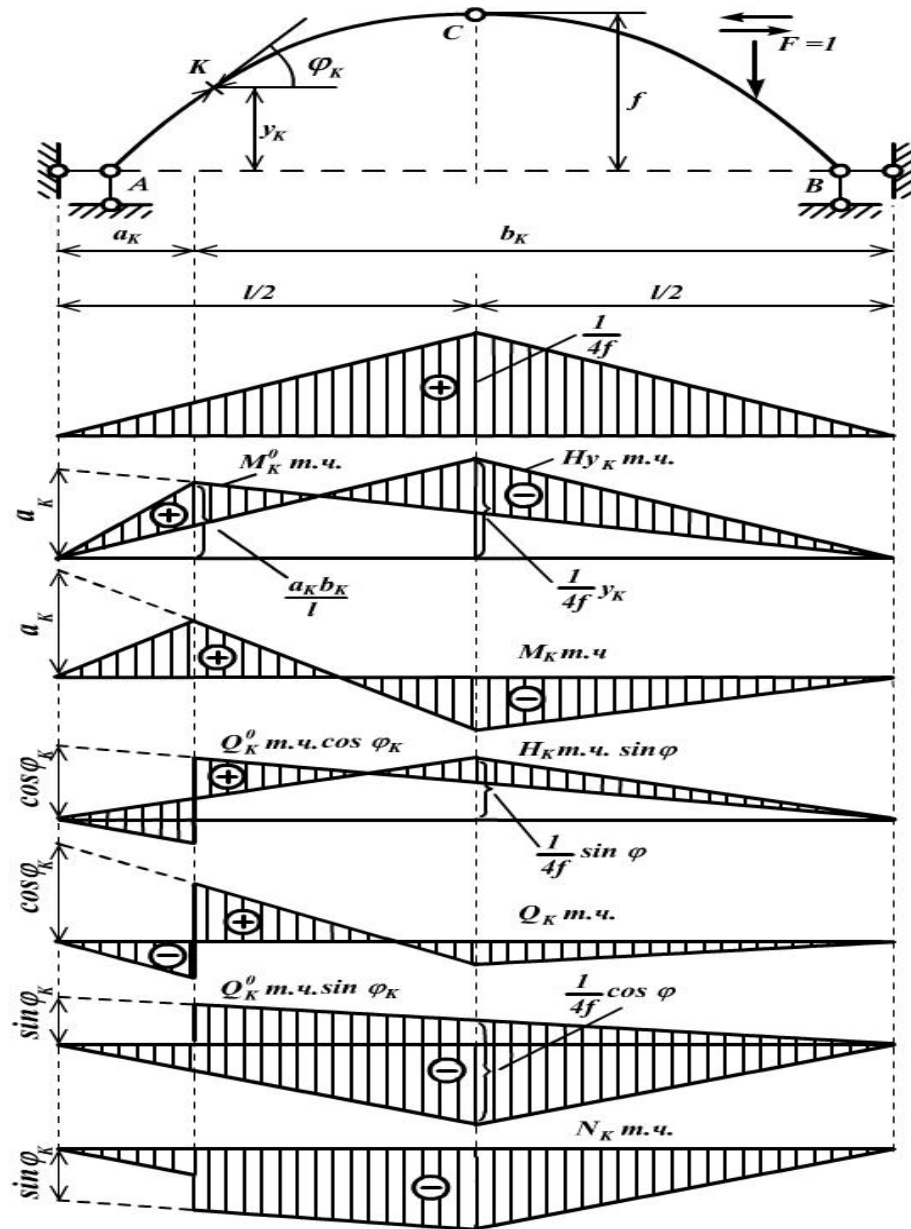
$$H \text{ m.u.} = M_c^0 \text{ m.u.} / f, \quad M_k \text{ m.u.} = M_k^0 \text{ m.u.} - H \cdot Y_k \text{ m.u.}; \quad (15)$$

$Q_k \text{ m.u.} = Q_k^0 \cos \varphi_k \text{ m.u.} - H \cdot \sin \varphi_k \text{ m.u.};$	(16)
---	--------

$$N_K \text{ m.}\varphi = -(Q_K^0 \sin \varphi_K \text{ m.}\varphi. + H \cdot \cos \varphi_K \text{ m.}\varphi.),$$

(17)

bu yerda M_K^0 ta'sir chiziq va Q_K^0 ta'sir chiziq - arka tayanchlari oralig'iga teng oddiy balka K kesimidagi eguvchi moment va kesuvchi kuchlarning ta'sir chiziqlari.

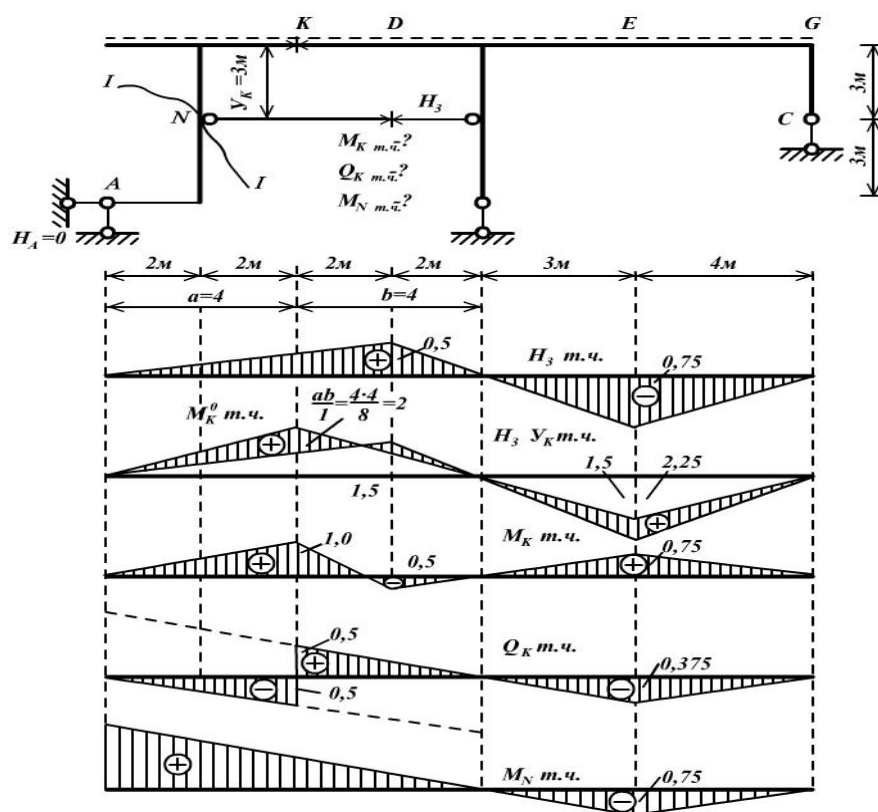


57-rasm

9-misol. (58, a-rasm)da keltirilgan rama belgilangan kesimlaridagi zo'riqlashlarning ta'sir chiziqlari analitik usulda qurilsin. $F=1$ yukining harakati punktir bilan ko'rsatilgan.

(15) formulaga ko'ra tortqichdagi zo'riqishning ta'sir chizig'i tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi: $N_t \text{ t.ch.} = M_D^0 \text{ t.ch.}/f$. Chunki bu misolda $f = Y_k = 3 \text{ m}$, D sharniri ostidagi $N_t \text{ t.ch.}$ ordinatasi balandligi quyidagicha bo'ladi: $H_m = \frac{M_D^0}{Y_k} = \frac{6 \cdot 2}{8 \cdot 3} = 0,5 \cdot N_t \text{ t.ch.}$ 58, b-rasmda tasvirlangan.

$M_k \text{ t.ch.}$ ni (16) formulalarning ikkinchisidan quramiz: $M_k \text{ t.ch.} = M_k^0 \text{ t.ch.} - H \cdot Y_k \text{ t.ch.} = M_k^0 \text{ t.ch.} - H \cdot 3 \text{ t.ch.}$ 58, v-rasmdagi bitta asos to'g'ri chizig'iga K kesim ostidagi $M_k^0 = ab/\ell = 4 \cdot 4/8 = 2$ ordinatasi bilan $M_k^0 \text{ t.ch.}$ ni va $N_t \cdot 3 \text{ t.ch.}$ ni quramiz.



58-rasm

Shu ikki ta'sir chiziqlari orasidagi shakl (shtrixlangan), izlangan $M_k \text{ t.ch.}$ bo'ladi. 58, g-rasmda uning to'g'rilangan shakli keltirilgan. (17) formula bo'yicha $Q_k \text{ t.ch.}$ quramiz: $Q_k \text{ t.ch.} = Q_k^0 \cos \varphi_k \text{ t.ch.} - N \cdot \sin \varphi_k \text{ t.ch.}$ $\varphi_k = 0^\circ$ sababli, $\cos 0^\circ = 1$ va $\sin 0^\circ = 0$, $Q_k \text{ t.ch.} = Q_k^0 \text{ t.ch.}$ (58, d-rasm).

M_N t.ch. qurish uchun ramani I-I kesimi bilan qirqib ikki qismga ajratamiz va o'ng qismini tashlab yuboramiz. Qolgan chap qismining muvozanat shartidan M_N eguvchi momentning o'zgarish qonuniyatini topamiz: $M_N = V_A \cdot 2$. Olingan ifodadan ko'rinadiki, M_N t.ch. ordinatasi ikki marta kattalashtirilgan V_A vertikal tayanch reaksiyasining qonuniyati bo'yicha o'zgaradi (58, e-rasm).

$F = 1$ yukining ikkinchi darajali EGC ramaning EG bo'lagidagi harakatidan barcha ta'sir chiziqlari, ko'p oraliqli sharnir konsolli balkalar uchun bajarilgani kabi oxirigacha yetkaziladi.

10-misol. Arkasimon ferma 2-3, 12-13 va 3-12 sterjenlaridagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari analitik usulda qurilsin (59, a-rasm).

Hovonli arkasimon ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini qurishda balkasimon fermalar zo'riqishlarini ta'sir chiziqlarini qurishdagi qoida va usullar qo'llaniladi; hisobga olish lozimki, momentlar tenglamasini tuzishda gorizonta tayanch reaksiyasi (hovonni) ta'sirini hisobga olish kerak. 59, b-rasmda keltirilgan H hovonning yordamchi chizig'i C sharniri ostidagi $H_C = 1/(4f) = 24/(4 \cdot 8) = 0,75$ ga teng eng katta ordinata bilan (16) tenglamasi yordamida aniqlanadi.

N_{2-3} zo'riqishning ta'sir chizig'i. uchta sterjen orqali I-I kesimini o'tkazamiz va ikki holni qaraymiz.

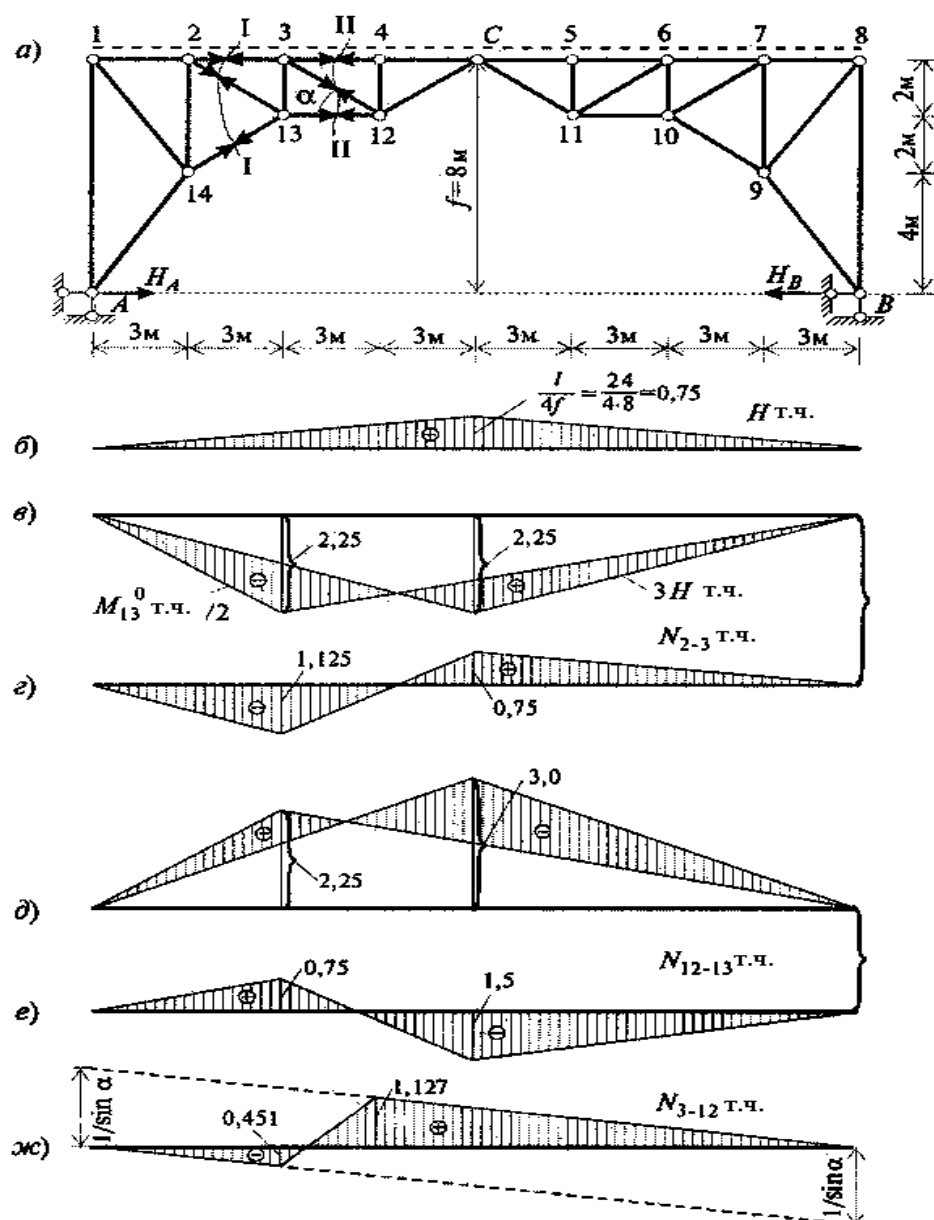
1. $F=1$ yuki kesilgan 2-3 panelidan o'ngroqda. O'ng qismini tashlab yuboramiz. 13-moment nuqtasiga nisbatan chap qismi uchun muvozanat tenglamasini

yozamiz: $\sum M_{13}^{chap} = V_A \cdot 6 - H \cdot 6 + N_{2-3} \cdot 2 = 0$; $V_A \cdot 6 = M_{13}^0$ sababli, $N_{2-3} = -\frac{M_{13}^0}{2} + 3H$.

2. $F = 1$ yuki kesilgan 2-3 panelidan chaproqda. Chap qismini tashlab yuboramiz. O'ng qismi uchun muvozanat tenglamasini 13-moment nuqtasiga nisbatan

yozamiz: $\sum M_{13}^{o'ng} = -V_B \cdot 18 + H \cdot 6 - N_{2-3} \cdot 2 = 0$; $V_B \cdot 18 = M_{13}^0$ sababli, $N_{2-3} = -\frac{M_{13}^0}{2} + 3H$.

59, v-rasmda, asos chizig'ining bir tomoniga (pastda) 13-moment nuqtasi



59-rasm

ostida ordinatasi $(ab/l)/2 = (6 \cdot 18/24)/2 = 2,25$ ga teng bo'lgan $M_{13}^0/2$ t.ch. va N_{2-3} t.ch. qurilgan. Bu rasmdagi shtrixlangan shakl izlangan N_{2-3} t.ch. bo'ladi. U to'g'rilangan ko'rinishda 59, g-rasmda keltirilgan.

N_{12-13} zo'riqishning ta'sir chizig'i. Fermani II-II kesim bilan ikki qismga bo'lamiz va ikki holatni qaraymiz:

1. $F=1$ yuki qir qilgan 3-4 paneldan o'ngda harakatlanadi:

$$\sum M_3^{chap} = V_A \cdot 6 - H \cdot 8 - N_{12-13} \cdot 2 = 0; \quad V_A \cdot 6 = M_3^0 \quad \text{sababli} \quad N_{2-3} = \frac{M_3^0}{2} - H \cdot 4.$$

2. $F=1$ yuki qir qilgan 3-4 paneldan chapda harakatlanadi:

$$\sum M_3^{o'ng} = -V_B \cdot 18 - H \cdot 8 + N_{12-13} = 0; \quad V_B \cdot 18 = M_3^0 \quad \text{sababli} \quad N_{12-13} = \frac{M_3^0}{2} - H \cdot 4.$$

Ordinatalari 2 koeffitsientiga bo'lingan balka M_3^0 t.ch. dan ordinatalari 4 marta kattalashtirilgan N t.ch. ni ayirib, izlanuvchi N_{12-13} t.ch. ni olamiz (59, d, e-rasmlar).

Chap tayanch vertikaliga $1/\sin\alpha$ ($\sin\alpha = 2/\sqrt{13}$) musbat ordinatasini qo'yib va uni o'ng tayanch nol ordinatasi bilan tutashtirib, N_{3-12} t.ch. o'ng tarmog'ini olamiz. Chap tayanchdagi nol orqali o'ng tarmoqqa parallel chap tarmoqni o'tkazamiz. Nihoyat, 3-4 kesilgan panel chegarasida uzatish chizig'ini o'tkazib, izlanayotgan N_{3-12} t.ch. olamiz (59, j-rasm).

11-misol. Tortqichli uch sharnirli arka K kesimi uchun M_k t.ch., Q_k t.ch., N_k t.ch. nol nuqtasi usulida qurilsin (60, a-rasm).

Uch sharnirli arkalardagidek, ko'tarilgan tortqichli ramalarda ham avvalo tortqich hamda A va B nuqtalar orqali o'tgan vertikkallarni kesishgan nuqtalarida joylashgan A' va B' tayanch nuqtalarining yangi soxta holatlarini bilish kerak.

Aytaylik, $F=1$ yuki KDC bo'lak chegarasida harakatlanadi. Unda, C sharnirdagi moment nolga teng bo'lishi uchun o'ng tayanch $R_{B'}$ reaksiyasi (V_B va N reaksiyalarining vektor yig'indisi) harakat chizig'i albatta C nuqtasi orqali o'tishi kerak. K kesimidan chapda faqat $R_{A'}$ chap reaksiyasi (V_B va N reaksiyalarining vektor yig'indisi) ta'sir qiladi. Bu reaksiyaning yo'nalishi $F=1$ kuchining KDC bo'lagida joylashishiga bog'liq bo'ladi. So'ngra uchta kuch ostidagi sistemalarning muvozanati haqidagi teoremlarga asoslanib (agar yassi sistema uchta bir-biriga parallel bo'lmagan $F=1$, $R_{A'}$ va $R_{B'}$ kuchlari ta'siri ostida muvozanatda bo'lsa, unda bu kuchlarning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishishi kerak) izlanuvchi ta'sir chizig'ining nol nuqtasi topiladi.

M_k ta'sir chizig'i (60, a, b-rasmlar). Moment K kesimida nolga teng bo'lishi uchun, chap $R_{A'}$ reaksiyasining ta'sir chizig'i K nuqta orqali o'tishi

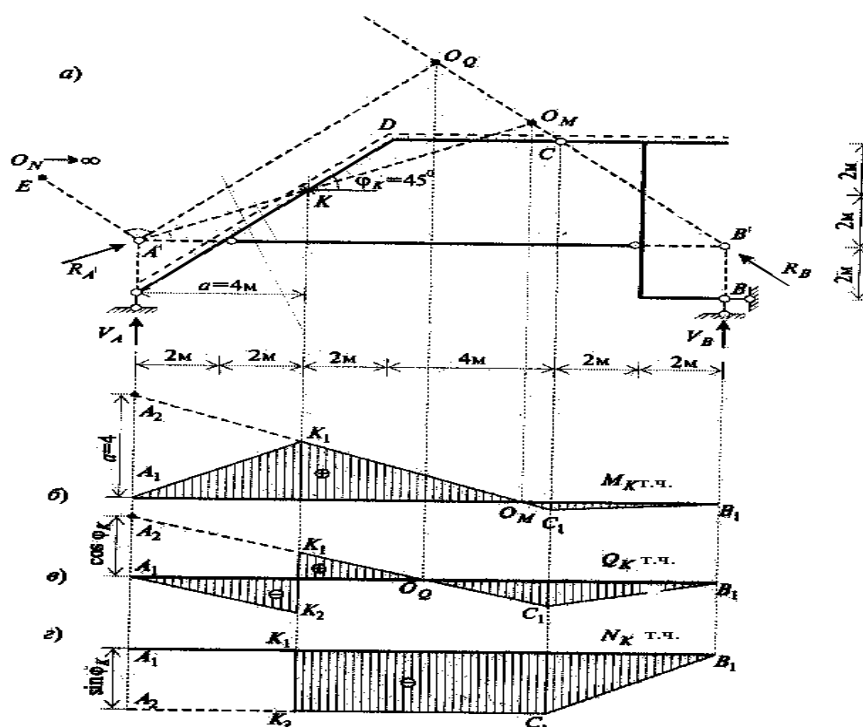
kerak (bu holda $R_{A'}$ kuchining yelkasi nolga teng). A' va K nuqtalarni to'g'ri chiziqlar bilan tutashtirib va uni $B'C$ chizig'igacha davom ettirib ularning kesishishidan O_M nuqtani olamiz, uning asos chizig'iga proeksiyasi M_k t.ch. uchun nolli nuqta bo'ladi, chunki $F=1$ kuchining O_M nuqtada joylashishidan izlanuvchi ta'sir chizig'ining ordinatasi bu nuqta ostida nolga teng bo'ladi. M_k ta'sir chizig'ini qurish uchun, avvalo, vertikal bo'yicha O_M nol nuqtani asos chizig'iga tushiramiz va chap tayanch vertikaliga chap tayanchdan K kesimigacha masofaga teng bo'lgan A_1A_2 bo'lakni ma'lum masshtabda qo'yamiz. So'ngra A_2 nuqtadan O_M nol nuqtasi orqali, K va S nuqtalardan o'tkazilgan o'rta chiziqni vertikaligacha davom ettiramiz. Olingan K_1 va C_1 nuqtalarni, tayanch vertikkallarida joylashgan A_1 va B_1 nol nuqtalari bilan tutashtiramiz (60, b-rasm).

Q_k ta'sir chizig'i (60 a, v-rasmlar). O_Q nol nuqtasini topish uchun $F=1$ kuchini shunday joylashtirish kerakki, ko'ndalang kuch K kesimida nolga aylansin. Agar chap reaksiya $R_{A'}$ yo'nalishi qiyshiq sterjen AD ga parallel bo'lsa, bunga erishish mumkin. A' nuqtadan AD sterjenga parallel bo'lgan $B'C$ to'g'ri chizig'igacha to'g'ri chiziq o'tkazamiz. Kesishishdan olingan O_Q nuqtaning proyeksiyasi, izlanuvchi nol nuqta bo'ladi. Q_k ta'sir chizig'ini qurish uchun chap tayanch vertikaliga $\cos\varphi_k$ ($\cos\varphi_k = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$) ga teng bo'lgan A_1A_2 bo'lakni qo'yamiz va uning oxiridan O_Q nol nuqtasi orqali K va S nuqtalari orqali o'tkazilgan vertikaligacha o'rta chiziqni o'tkazamiz. Ularning kesishishidan K_1 va S_1 nuqtalarni olamiz. S_1 nuqtani B tayanch ostidagi nol nuqtasi bilan tutashtiramiz, A tayanchi ostidagi nol nuqtasidan esa K nuqtasi orqali o'tgan vertikaligacha A_2K_1 ga parallel A_1K_2 chizig'ini o'tkazamiz. K_1 va K_2 nuqtalarni tutashtirib, yakuniy Q_k t.ch. olamiz (60,v-rasm).

N_k ta'sir chizig'i (60, a, g-rasm). O_N nol nuqtasini aniqlash uchun $F=1$ kuchini shunday holatda qo'yish kerakki, K kesimidagi bo'ylama kuch nolga teng bo'lsin. Agar chap $R_{A'}$ reaksiyasi AD sterjenga perpendikulyar qilib yo'naltirilsa,

bu shart bajariladi. A' nuqtadan AD sterjeniga perpendikulyar qilib, $B'C$ to'g'ri chizig'i davomigacha to'g'ri chiziq o'tkazamiz. Umumiy holda bu to'g'ri chiziqlar O_N nuqtasida kesishishi kerak, uning asos chizig'iga proyeksiyasi N_k ta'sir chizig'i uchun nol nuqtasi bo'ladi. Biroq, bu misolda rama o'lchamlari shundayki, $B'C$ va $A'E$ chiziqlari parallel bo'ladi. Bundan, nol nuqtasini cheksizlikda bo'lishi, N_k ta'sir chizig'ining o'rta chizig'i esa asos chizig'iga parallel bo'lishi kelib chiqadi.

N_k ta'sir chizig'ini qurish quyidagi tartibda bajariladi. Chap tayanch vertikalida pastga $\sin \varphi_k$ ($\sin \varphi_k = \sin 45^\circ = \sqrt{2}/2$) qiymatini qo'yamiz. A_2 nuqtasi orqali, K_2 va C_1 nuqtalarining vertikkallarigacha, gorizonttal o'rta chiziqni o'tkazamiz. C_1 nuqtani B tayanch ostidagi nol nuqta bilan tutashtiramiz, A tayanch ostidagi nol nuqtadan esa K nuqta orqali o'tuvchi vertikaligacha A_2K_2 ga parallel A_1K_1 chizig'ini o'tkazamiz. K_1 va K_2 nuqtalarni vertikal chiziq bilan tutashtirib, izlanuvchi yakuniy N_k ta'sir chizig'ini olamiz (60, g-rasm).



60-rasm

Aytish lozimki, barcha yuqorida keltirilgan ta'sir chiziqlarini qurishdagi mulohazalar, nol nuqtasi hamda $F=1$ kuchi KDC bo'lagi chegarasida joylashgan sharoitda adolatlidir. Aks holda, ko'rsatilgan bo'lak chegarasidan tashqarisida

joylashgan nol nuqtani aniqlash uchun *KDC* bo'lakning xohlagan nuqtasida bikir konsol biriktirilgan va unga $F=1$ kuchi qo'yilgan deb tasavvur qilish kerak. Shunday qilib, olingan nol nuqtasini *soxta* deb ataymiz. Berilgan misoldagi O_N nuqtasi *soxta* nuqta deyiladi.

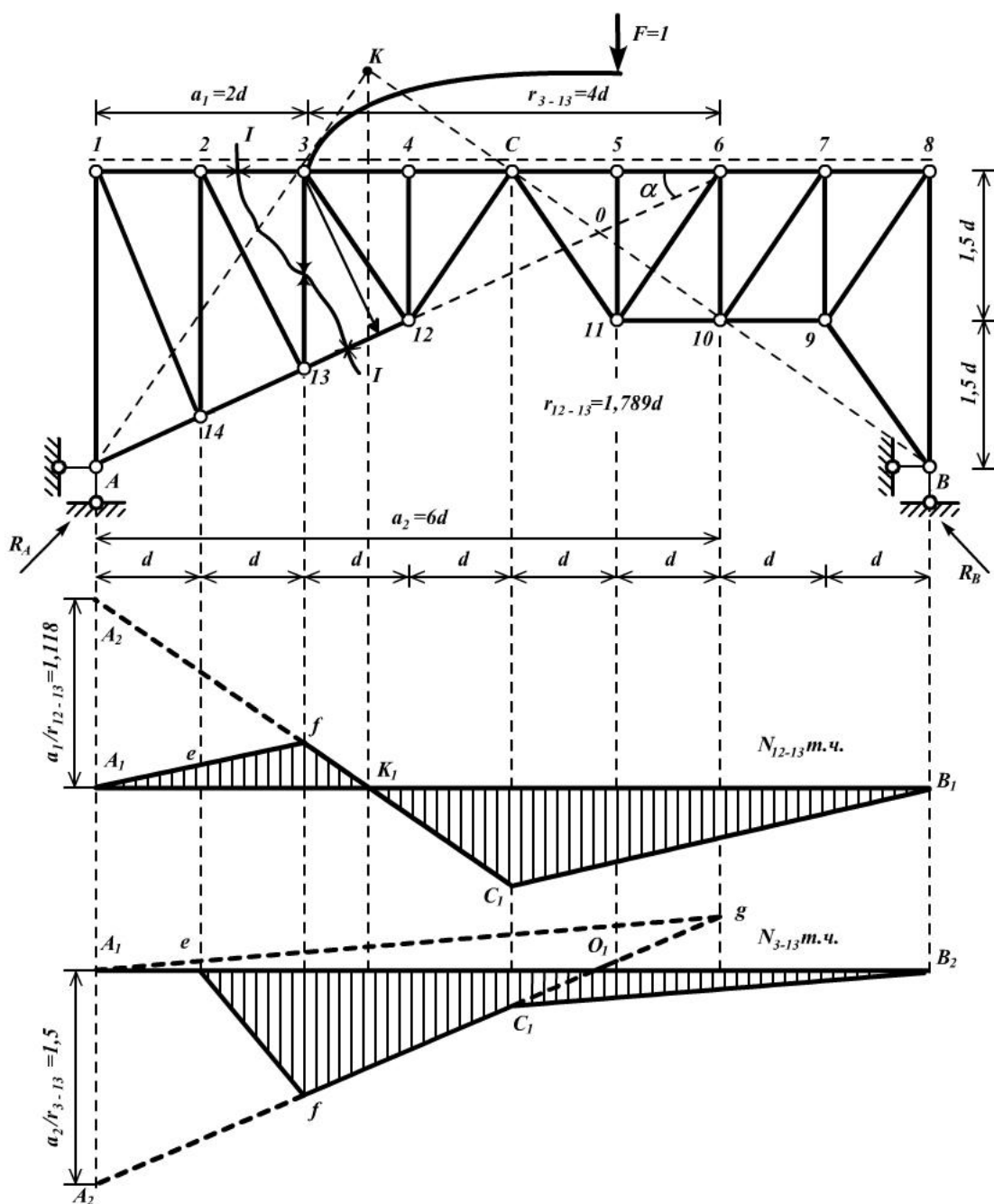
12-misol. 61, a-rasmda tasvirlangan, hovonli ferma 12-13 va 3-13 sterjenlaridagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari, nol nuqtasi usulida qurilsin.

N_{12-13} zo'riqishning ta'sir chizig'i (61, a, b-rasm). Uchta sterjen orqali 1-1 kesim o'tkazamiz. 12-13 sterjeni uchun moment nuqtasi 3-tugun bilan mos tushadi. Aytaylik, $F=1$ kuchi 3-tugun va C sharniri oralig'idagi bo'lakda harakatlansin. C sharnirida moment nolga teng bo'lishi uchun, R_B to'liq tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i BC chizig'i bo'yicha yo'nalgan bolishi kerak. So'ngra, $F=1$ kuchining shunday holatini topamizki, unda $N_{12-13}=0$ ga teng bo'ladi. Agar R_A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i 13-moment nuqtasi orqali o'tsa, ferma chap qismi muvozanatidan bu shart bajarilishi mumkin.

$F=1$ kuchining izlangan holatini K nuqtada A-3 va BC to'g'ri chiziqlarning kesishishidan topamiz, bu nuqtaning asosi to'g'ri chizig'iga proyeksiyasi N_{12-13} t.ch. uchun nol nuqta K_1 ni beradi (61, b-rasm).

Ferma chap qismiga qo'yilgan musbat kuchlarning momenti $N_{12-13}^{chap} \cdot r_{12-13}$ soat mili harakati yo'nalishiga teskari yo'nalganligi sababli, A tayanch ostidan yuqoriga $A_1 A_2 = a_1 / r_{12-13} = 2d / 1,789d = 1,118$ bo'lagini qo'yamiz va A_2 nuqtadan K_1 nol orqali $A_2 K_1$ o'rta chizig'ini, 3-moment nuqtasi va S sharniri orqali o'tkazilgan vertikalargacha o'tkazamiz.

Olingan f va C_1 nuqtalarni tayanch vertikalarda joylashgan A_1 va V_1 nol nuqtalari bilan tutashtiramiz. $A_1 f$ chap to'g'ri chizig'iga 2-tugunni tushiramiz (e nuqta), o'rta to'g'ri chiziqqa esa 3- tugunni (f nuqta). e va f nuqtalarni uzatish chizig'i bilan tutashtirib, yakuniy N_{12-13} t.ch. ni olamiz (61, b-rasm).



61-rasm

N_{3-13} zo'riqishning ta'sir chizig'i (61, a, v-rasm). N_{3-13} t.ch. uchun 1-1 kesimining o'zi qoladi. Qirrilgan panel bo'lib, xuddi yuqoridagidek, 2-3 paneli hisoblanadi. 3-13 sterjeni uchun moment nuqtasi 6-tugun bilan mos keladi.

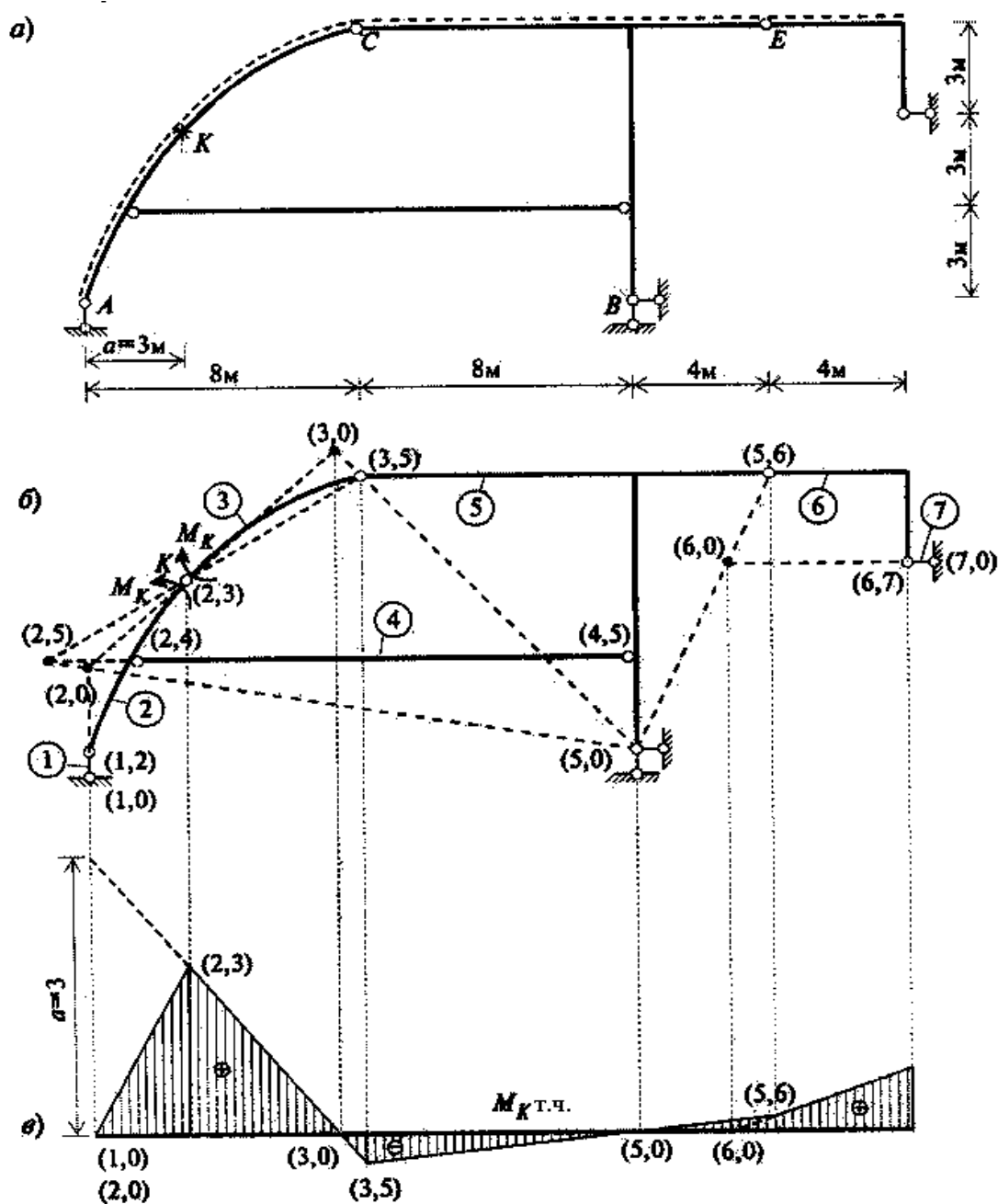
Aytaylik, $F = 1$ kuchi 3-tugundan S sharnirigacha harakatlansin. N_{12-13} t.ch. qurishdagi mulohazalarni qo'llab, A-6 va VS chiziqlarning kesishishidan olingan O nuqta ostida joylashgan vertikalda, soxta O_1 nolli nuqtani topamiz.

$F = 1$ kuchini 3-S bo'lakka tegishliligi haqidagi shartni bajarish uchun, bu bo'lakka biki konsol kiritib sun'iy ravishda uzaytiramiz va bu konsol O nuqtasi ustiga $F = 1$ kuchini qo'yamiz (61, a-rasm). Ferma chap qismiga qo'yilgan musbat kuchlarning momenti $N_{3-13}^{chap} \cdot r_{3-13}$ soat mili harakati bo'yicha yo'nalganligi sababli, A chap tayanch ostiga $A_1 A_2 = a_2 / r_{3-13} = 6d / 4d = 1,5$ ga teng manfiy ordinatani pastga qo'yamiz. A_2 nuqtadan O_1 nol nuqtasi orqali, 3-tugundan S sharnirgacha adolatli bo'lgan, o'rta $A_2 O_1$ to'g'ri chizig'ini o'tkazamiz. Bu to'g'ri chiziq davomiga moment nuqtasi (6-tugun)ni tushiramiz va olingan g nuqtasini A tayanch ostidagi A_1 nol nuqtasi bilan tutashtiramiz (chap to'g'ri chiziq). Birinchi ta'sir chizig'idagi kabi, chap va o'rta to'g'ri chiziqlari, mos holda f va g ostida kesishadi. O'rta chiziqqa esa S sharnirini tushiramiz (S_1 nuqta) va V tayanch ostidagi nol nuqtasi bilan tutashtiramiz ($S_1 V_1$ o'ng to'g'ri chizig'i). Nihoyat, chap va o'ng to'g'ri chiziqlarga 2-3 yuk tasmasining qirqilgan panel chegaralarini tushiramiz e va f nuqtalarini uzatish chiziqlari bilan tutashtirib, izlanuvchi N_{3-13} zo'riqishning yakuniy ta'sir chizig'ini olamiz (61, v-rasm).

13-misol. Uch sharnirli tortqichli rama K kesimidagi eguvchi momentning ta'sir chizig'ini kinematik usulda qurilsin (62, a-rasm). $F=1$ yukining harakati punktida ko'rsatilgan.

M_k yo'nalishi bo'yicha ko'chishga qarshilik ko'rsatuvchi bog'lanishni olib tashlash uchun K kesimiga sharnir kiritamiz. $M_{kt.ch.}$ ni olingan mexanizm diskrlarining ko'chishlar grafigi kabi quramiz. Disklar nomerini aylana ichidagi sonlar bilan, erni O nomeri bilan belgilaymiz. O'zaro burilish oniy markazlari (1,0), (1,2), (2,4), (2,3), (3,5), (4,5), (5,0), (5,6), (6,7) va (7,0) ma'lum, chunki ular diskrlarni o'zaro tutashtiruvchi sharnirlar bilan mos tushadi (62, b-rasm). So'ngra uchta oniy markaz haqidagi teorema bo'yicha, ta'sir chiziqlaridagi nol nuqtalariga mos kelgan, er yuziga nisbatan diskrlarning oniy burilish markazlari (2,0), (3,0) va (6,0) ni topamiz. Ularni topish uchun, dastlab (2,4)-(4,5) va (2,3)-(3,5) to'g'ri chiziqlarini kesishishidan o'zaro oniy burilish markazi (2,5) ning holatini aniqlash kerak, bu simvolik shaklda quyidagicha yozilishi mumkin:

$(2,5)=(2,4)(4,5)+(2,3)(3,5)$. Shunga o'xshash $(2,0)=(1,2)1,0)+(2,5)(5,0)$;
 $(3,0)=(2,3)(2,0)+(3,5)(5,0)$; $(6,0)=(5,6)(5,0)+(6,7)(7,0)$. Bu markazlarning holatini
 topib, ularni asos to'g'ri chizig'iga tushiramiz. So'ngra $(3,0)$ nol nuqtasi orqali M_k
 t.ch. o'rta chizig'ini shunday o'tkazamizki, u chap tayanch vertikalida mashtab



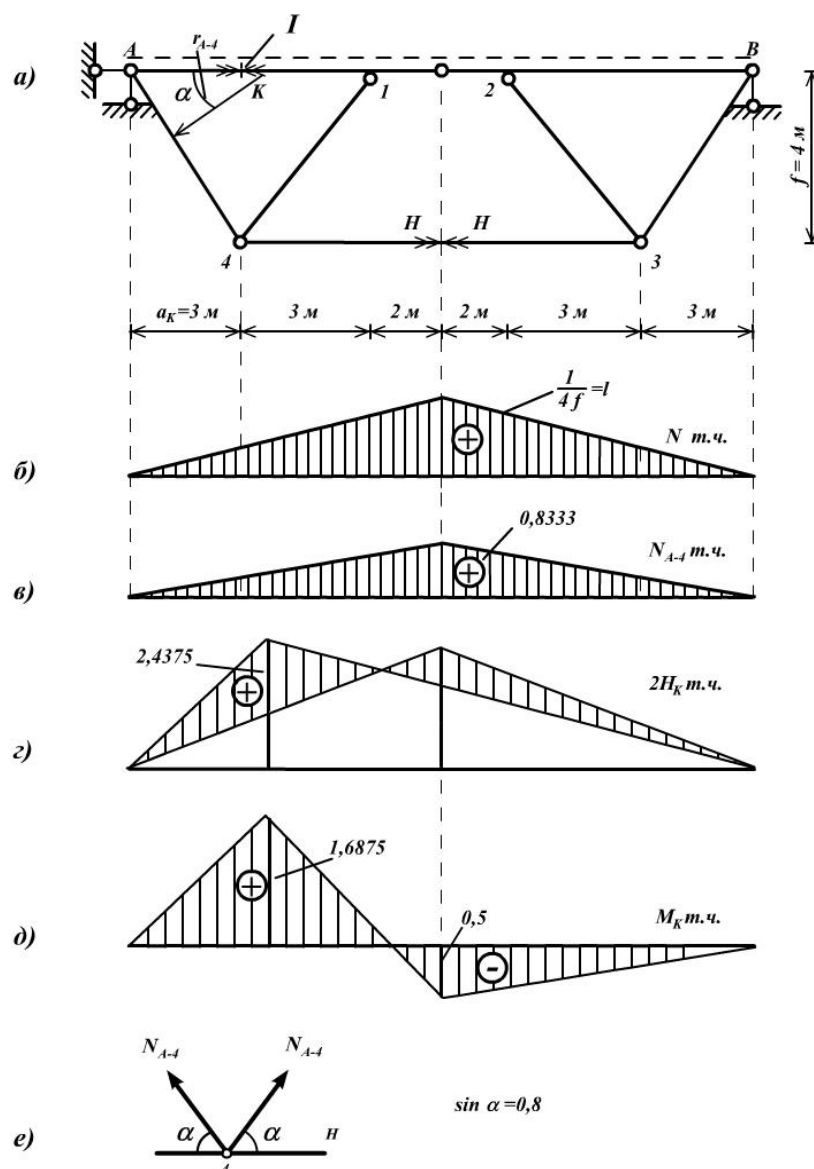
62-rasm

bo'yicha, chap tayanchdan «K» kesimigacha masofaga teng bo'lgan, a bo'lakni
 kesib o'tsin.

So'ngra o'rta to'g'ri chiziqqa burilish markazlari (2,3), (3,5) (ta'sir chiziqlarining sinish nuqtalari)ni tushiramiz va chap va o'ng to'g'ri chiziqlarini o'tkazamiz. (6,0) va (5,6) nuqtalar orqali o'tgan to'g'ri chiziq, $F=1$ yukini ikkinchi darajali ED rama bo'yicha harakatidan ta'sir chizig'ini aniqlaydi.

Yakuniy M_k t.ch. 62, v-rasmda keltirilgan.

14-misol. 63, a-rasmda tasvirlangan qo'shilgan (qurama) ferma belgilangan sterjenlari bo'ylama zo'riqishi va K kesimidagi eguvchi momentlarning ta'sir chiziqlari qurilsin.



63-rasm

Bir vaqtda N havon reaksiyasining hamda 3-4 sterjeni bo'ylama zo'riqishi uchun ta'sir chiziqlari bo'lgan ta'sir chiziqning birinchi formulasidan aniqlanadi:

N_{3-4} t.ch.= N t.ch.= M_s^0 t.ch. $/f = \ell/(4f) = 16/(4 \cdot 4) = 1$. N t.ch. 7, b-rasmda keltirilgan.

N_{A-4} t.ch. qurish uchun tugun qirqish usulidan foydalanamiz. 4-tugunni yopiq kesim bilan qirqamiz va kuchlarning gorizonta va vertika o'qlarga proyeksiyalari tenglamalarini tuzamiz (63, e-rasm):

$$\Sigma Y = N_{A-4} \cdot \sin \alpha + N_{1-4} \cdot \sin \alpha = 0, \text{ bundan } N_{1-4} = -N_{A-4};$$

$$\Sigma X = -N_{A-4} \cdot \cos \alpha + N_{1-4} \cdot \cos \alpha + H = 0.$$

$N_{1-4} = -N_{A-4}$ ni ikkinchi tenglamaga qo'yib, $N_{A-4} = H/(2 \cos \alpha) = H/(2 \cdot 0,6) = H/1,2$. Olingan tenglamadan ko'rinadiki, N_{A-4} t.ch. N t.ch. qonuniyati bo'yicha o'zgaradi, ammo uning ordinatalari 1,2 koeffitsientga bo'linishi kerak (63, v-rasm).

M_k t.ch. qurish uchun I-I kesimini o'tkazamiz va M_k moment uchun $F=1$ yukining K kesimidan o'ngroqdagi holatida ifodasini yozamiz:

$$\begin{aligned} M_k &= R_A \cdot a_k - N_{A-4} \cdot r_{A-4} = M_k^0 - N_{A-4} \cdot a_k \sin \alpha = \\ &= M_k^0 - H \cdot a_k \sin \alpha / (2 \cos \alpha) = M_k^0 - 2H \end{aligned}$$

Olingan formula $F = 1$ yukining K kesimidan chaproqdagi holati uchun ham adolatli bo'lishini ko'rsatish mumkin.

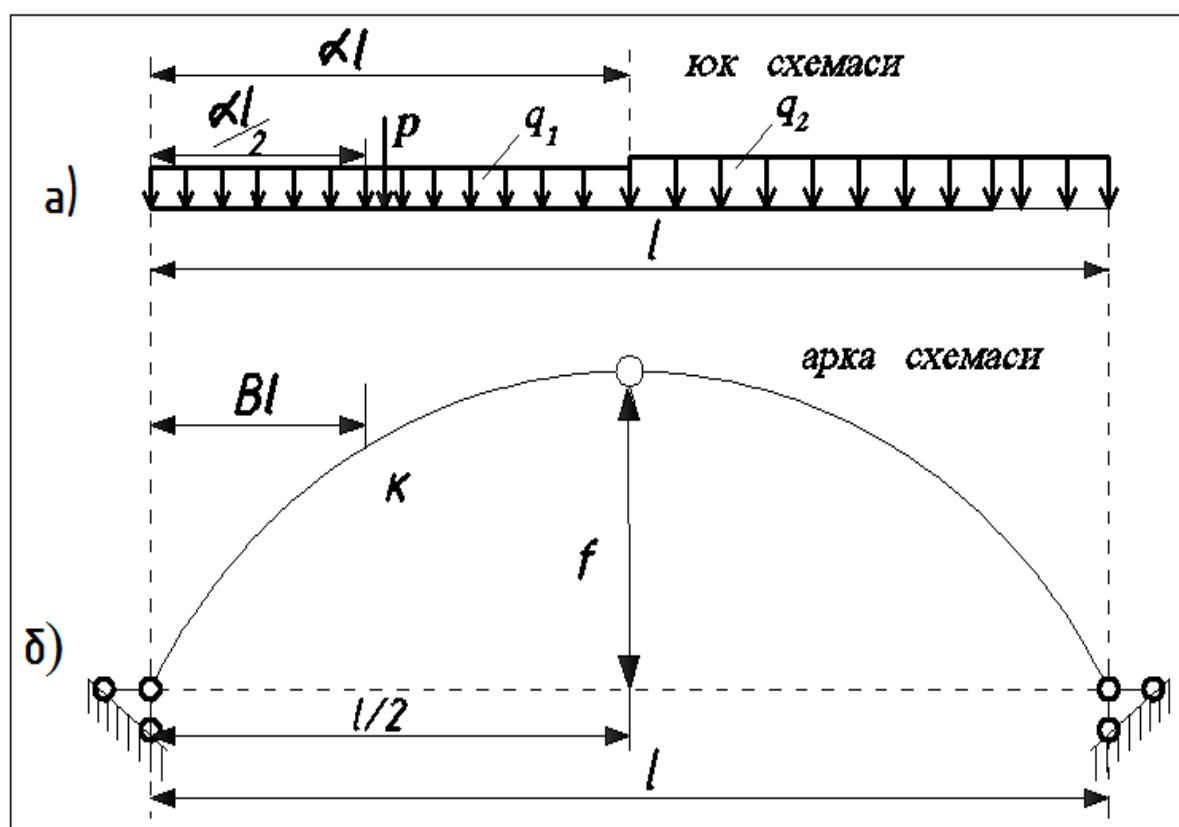
63, g-rasmda bir tomonga M_k^0 t.ch. ning K kesim ostidagi $M_k^0 = ab/l = 3 \cdot 13/16 = 2,4375$ ga teng ordinatasi va $2N$ t.ch. qo'yilgan. Bu chiziqlar orasidagi shtrixlangan shakl, izlangan M_k t.ch. bo'ladi. U 63, d-rasmda to'g'rilangan ko'rinishda ko'rsatilgan.

III-Hisob grafik ishining bajarilishiga doir namuna

3.5-§. Uch sharnirli arkalarni hisoblashga doir masalalar yechish.

Topshiriq: 64- chizmada ko`rsatilgan uch sharnirli arka uchun IV jadvaldan shifr bo`yicha o`lchov va yuklarning qiymatini tanlab ushbu shartlarni bajarish:

1. Analitik usulda tashqi kuchlardan hosil bo`ladigan tayanch reaksiyalari va berilgan “k” kesimda eguvchi moment  $M$ , ko`ndalang kuch Q , bo`ylama kuch  $N$ –ichki zo`riqish kuchlarini aniqlash. M , Q va N –zo`riqish kuchlarini eng kamida 9–ta nuqtada qimatlarini topib epyuralarni chizish.
2. Berilgan “k” kesim uchun M_k , Q_k va N_k -larning ta`sir chiziqlarini qurish.
3. Ta`sir chiziqlar yordamida  $M_k$ ,  $Q_k$  va  $N_k$ -ning tashqi kuchlardan hosil bo`ladigan qiymatlarini hisoblab, analitik hisob natijalari bilan taqqoslash.



64-rasm

Uslubiy tavsiyalar.

Topshiriqni bajarishni arka o`qini chizishdan boshlash kerak. Buning uchun arka o`qining tenglamasidan foydalanib eng kamida beshta nuqtada, uning koordinatalarni hisoblab, shu nuqталardan foydalanib arkani chizish kerak.

Agar arka o`qi parabola chizig`i bo`yicha chizilsa, u holda

$$y = \frac{4f}{\ell^2}(\ell x - x^2) \quad (18)$$

tenglama yordamida, uning ordinatalari hisoblanadi.

$$y^1 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{4f}{\ell^2}(\ell - 2x) \quad (19)$$

tenglama yordamida esa, o`qga o`tkazilgan urinmalarning burchak koeffitsienti hisoblanadi. Agar arka o`qi aylana shaklida bo`lsa, u holda uning o`qini ordinatalari

$$\left. \begin{aligned} y &= \sqrt{R^2 - (\ell/2 - x)^2} - R + f; R = \frac{f}{2} + \frac{\ell^2}{8f} \\ \sin \varphi &= \frac{\ell - 2x}{2R}; \cos \varphi = (y + R - f) / R \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

(20) tenglamalarning birinchisi yordamida hisoblanadi.

Arkaning ko`ndalang kesimi yuzalaridagi ichki zo`riqish kuchlari, quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} M_k &= M_k^o - Hy_k \\ Q_k &= Q_k^o \cos \varphi_k - H \cdot \sin \varphi_k \\ N_k &= Q_k^o \cdot \sin \varphi_k + H \cos \varphi_k \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Tayanchlardagi gorizonta l reaksiya:

$$H = \frac{M_c^o}{f}; \cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_k}}; \sin \varphi_k = \frac{\operatorname{tg} \varphi_k}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_k}}$$

formula yordamida aniqlanadi. Bu formulalardagi M_k^o, Q_k^o shunday oraliqqa ega bo'lgan oddiy balkadagi eguvchi moment va ko'ndalang kuchni ifodalasa, M_c^o, C sharnirga mos keluvchi, oddiy balkadagi eguvchi momentni ifodalaydi. Topshiriqni birinchi shartini bajarishda (21) formulalar yordamida M, Q va N -ni hisoblashda albatta oraliqni o'nta teng bo'lakka bo'lib, bo'laklar chegarasida va kuchlar qo'yilgan nuqtalarda hisoblansa, epyuralar aniq va mukammalroq ko'rinishga ega bo'lar edi. Bu hisoblashlar orasida albatta M_k, Q_k va N_k albatta birinchi navbatda hisoblanib, epyurada ko'rsatilishi shart. Hisobni jadval ko'rinishi maqsadga muvofiq bo'ladi.

Topshiriqning ikkinchi shartini bajarishni ikki usul yordamida amalga oshirishi mumkin. Birinchisi: chizilgan Q_k^o, H, M_k^o ta'sir chiziqlarini, (21) formulalar yordamida hisoblab, M_k, Q_k va N_k –larning ta'sir chiziqlarini chizish mumkin. Ammo bu usul biroz ortiqcha hisoblashlarga olib keladi. Ikkinchi usul nol nuqtalar usuli, bu usulda hisoblashlar biroz qisqa va maqsadga erishish tezroq amalga oshadi. Bu usulni qo'llash uchun, M_k, Q_k va N_k –zo'riqish kuchlarining ta'sir chiziqlarining nol nuqtalari abtsissalarini oldindan hisoblashga to'g'ri keladi. Nol nuqtalar abtsissalari quyidagi formulalar yordamida hisoblanadi:

$$U_m = \frac{\ell f x_k}{y_k \ell_2 + x_k f}; U_q = \frac{\ell \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \varphi_k}; U_n = \frac{\ell \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta - C \operatorname{tg} \varphi_k}; \quad (22)$$

15-misol. Parabola bo'yicha chizilgan uch sharnirli arka quyidagi; $P = 8kH, q = 4 \frac{kN}{m}, \alpha = 0,35, \beta = 0,33, \frac{f}{\ell} = 0,3, \ell = 24m$ yuklar va o'lchovlarga ega. Shu arka uchun, yuqorida bayon qilingan barcha shartlar bajarilsin.

Yechish: Analitik hisob. $f = 0,3\ell = 7,2m, x_k = 7,92$

$$\sum M_A = P \cdot 4,2 + q \cdot 15,6 \cdot 16,2 - V_B \cdot 24 = 0;$$

$$V_B = \frac{8 \cdot 4,2 + 4 \cdot 15,6 \cdot 16,2}{24} = \frac{1044,48}{24} = 43,52kH$$

$$\sum M_B = V_A \cdot 24 - P \cdot 19,8 - q \cdot 15,6 \frac{15,6}{2} = 0; \quad V_A = \frac{8 \cdot 19,8 + 486,72}{24} = 26,88 kH;$$

Tekshiramiz; $\sum Y = V_A V_B - 8 - 15,6 \cdot 4 = 70,4 - 70,4 = 0;$

$$\sum M_c = V_A \cdot 12 - P(4,2 + 3,6) - q \cdot 3,6 \cdot 1,8 - H_A \cdot f = 0. \quad \sum X = H_A - H_B = 0; \quad N_A = H_V.$$

Tekshiramiz: $\sum Mc = 4 \cdot 12 \cdot 6 - 43,52 \cdot 12 + 32,5333 \cdot 7,2 = 522,2239 - 522,24 \approx 0$

Demak, V_A, V_B va $H_A = H_B = H$ – lar to'g'ri aniqlangan. endi x va y - ni, ular orqali $y^1 = tg \varphi; \sin \varphi, \cos \varphi; Q^o, M^o, M, Q, N$ larni $x = 0; 3; 4,2; 8,4; 12; 15; 18; 21; 24$ – nuqtalarda hisoblaymiz va jadvalga kiritamiz.

$$y = \frac{4f}{\ell^2} (\ell - x)x; \quad y(0) = 0; \quad y(3) = 3,15; \quad y(4,2) = 4,158; \quad y(6) = 5,4;$$

$$y_k(7,92) = 6,3677 \quad y(8,4) = 6,552; \quad y(9) = 6,75; \quad y(12) = 7,2; \quad y(15) = 6,75; \quad y(18) = 5,4;$$

$$y(21) = 3,15; \quad y(24) = 0 \quad y^1 = tg \varphi = \frac{4f}{\ell^2} (\ell - 2x); \quad y^1(0) = -y^1(24) = 1,2;$$

$$y^1(3) = -y^1(21) = 0,9; \quad y^1(6) = -y^1(18) = 0,6;$$

$$y_k^1(7,92) = 0,408; \quad y^1(9) = -y^1(15) = 0,3; \quad y^1(12) = 0; \quad y^1(4,2) = 0,78, \quad y^1(8,4) = 0,36$$

$$\sin \varphi = \frac{y^1}{\sqrt{1 + y^{12}}}; \quad \sin(0) = -\sin(24) = 0,7682; \quad \sin(3) = -\sin(21) = 0,6689;$$

$$\sin(6) = -\sin(18) = 0,5145;$$

$$\sin(8,4) = 0,9409; \quad \sin(9) = -\sin(15) = 0,2873; \quad \sin(12) = 0; \quad \sin(7,92) = 0,3777;$$

$$\sin(4,2) = 0,615$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + y^{12}}}; \quad \cos(0) = \cos(24) = 0,6402; \quad \cos(3) = \cos(21) = 0,7433;$$

$$\cos(6) = \cos(18) = 0,8575;$$

$$\cos(8,4) = 0,9409; \quad \cos(9) = \cos(15) = 0,9578; \quad \cos(12) = 1; \quad \cos(7,92) = 0,9259;$$

$$\cos(4,2) = 0,7885$$

Oddiy balkadagi $M^0(x)$ va $Q^0(x)$ -ni kerakli nuqtalarda qiymatlarni aniqlaymiz.

$$0 \leq x \leq 4,2; \quad M^0(x) = V_A \cdot x; \quad Q^0(x) = V_A \equiv 26,88kH;$$

$$M^0(0) = 0; \quad M^0(3) = 80,64kHM \quad M^0(4,2) = 112,896kNm; \quad Q^0(4,2) = 26,88kH.$$

$$4,2 \leq x \leq 8,4; \quad M^0(x) = V_A \cdot x - P(x - 4,2); \quad Q^0(x) = V_A - P \equiv 26,88 - 8 = 18,88kH.$$

$$M^0(6) = 146,88kH \cdot m; \quad M^0_k(7,92) = 183,1296kH \cdot m; \quad M^0(8,4) = 192,192;$$

$$8,4 \leq x \leq 24; \quad M^0(x) = V_A \cdot x - P(x - 4,2) - \frac{q(x - 8,4)^2}{2}; \quad Q^0(x) = V_A - P - q(x - 8,4)$$

$$M^0(8,4) = 192,192kHM; \quad M^0(9) = 202,8kHM. \quad M^0(12) = 234,24kHM.$$

$$M^0(15) = 229,68kHM; \quad M^0(18) = 189,12kHM; \quad M^0(21) = 31,92kHM; \quad M^0(24) = 0.$$

$$Q^0(8,4) = 18,88rH; \quad Q^0(9) = 16,48rH; \quad Q^0(12) = 4,48kH; \quad Q^0(15) = -7,52; \quad Q^0(18) = -79,52kH. \\ Q^0(21) = -31,52; \quad Q^0(24) = -43,52kH.$$

$M(x)$ -ni, $M(x) = M^0(x) - H \cdot y(x)$ formula yordamida hisoblaymiz.

$$M(0) = 0; \quad M(3) = -21,834kH \cdot m; \quad M(4,2) = -22,3775kH \cdot m; \quad M(6) = -28,7998kH \cdot m$$

$$M(8,4) = -20,9662kH \cdot m; \quad M(9) = -16,7998kH \cdot m; \quad M(12) = 0,0002kH \cdot m = 0.$$

$$M(15) = 10,0802kN \cdot m; \quad M(18) = 13,4402kH \cdot m; \quad M(21) = -69,9466kH \cdot m \cdot M(24) = 0$$

$Q(x)$ -ni, $Q(x) = Q^0(x) \cdot \cos \varphi_x - H \cdot \sin \varphi_x$ formula yordamida hisoblaymiz.

$$Q(0) = -7,78kH; \quad Q(3) = -1,7815kH; \quad Q(4,2) = 1,1868kH; \quad Q(6) = -0,5488kH.$$

$$Q(8,4) = 6,7452kH; \quad Q_k(7,92) = 5,1932kH. \quad Q(9) = 6,4377kH;$$

$$Q(12) = 4,48kH; \quad Q(15) = 2,1442kH; \quad Q(18) = 0; \quad Q(21) = -3,2433kH.$$

$Q(24) = -2,8694kH$. $N(x)$ -ni $N(x) = Q^0(x) \cdot \sin \varphi_k + H \cos \varphi_x$ formulaga ko`ra hisoblaymiz.

$$N(0) = 41,477kH; \quad N(3) = 42,162kH; \quad N(4,2) = 42,1837kH; \quad N(6) = 37,611kH$$

$$N_k(7,92) = 37,2534kH; \quad N(8,4) = 37,0052kH; \quad N(9) = 35,8951kH;$$

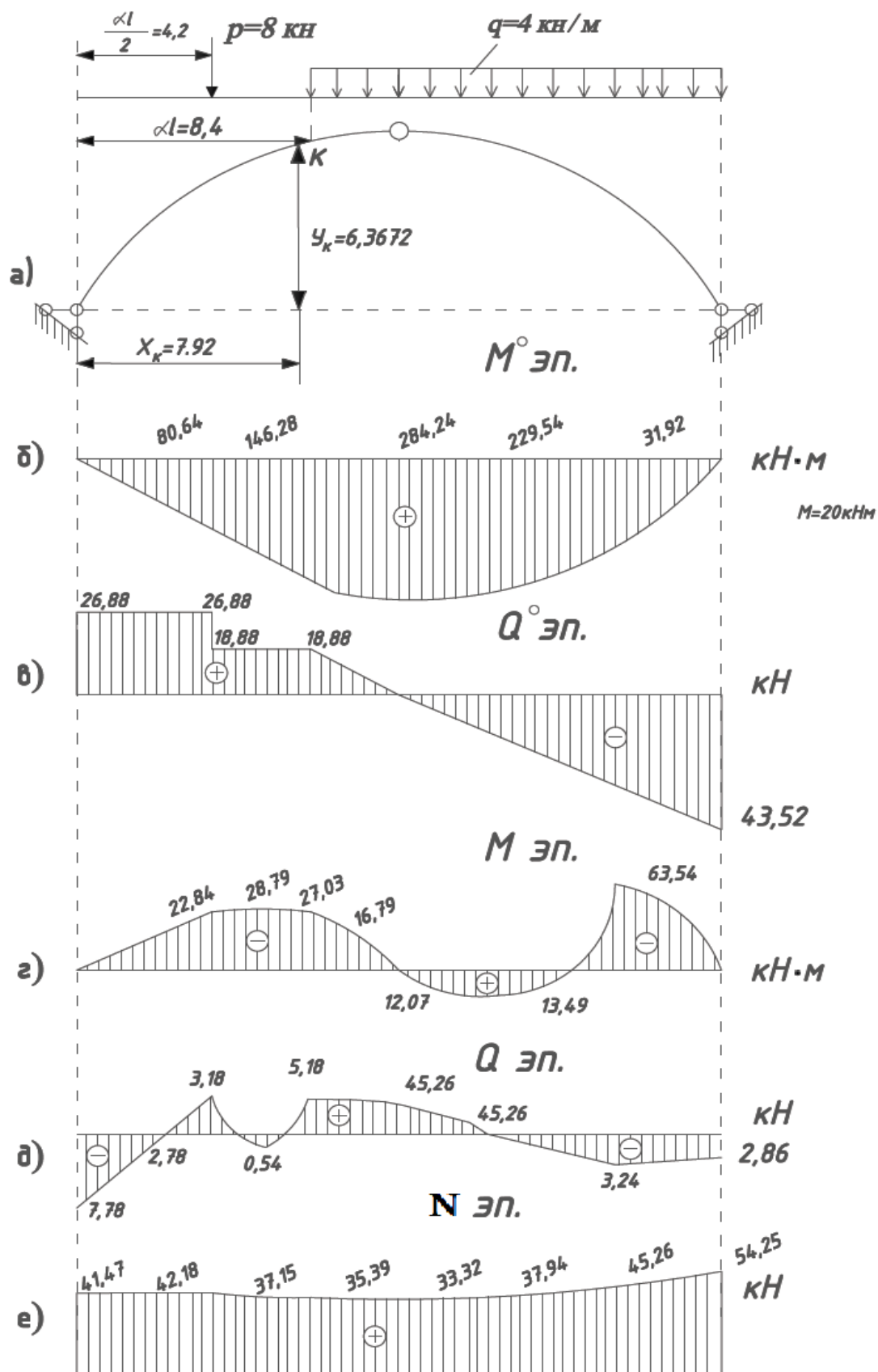
$N(12)=32,5333\text{kH}$. $N(15)=33,3208\text{kH}$; $N(18)=37,9403\text{kH}$; $N(21)=45,2657\text{kH}$;
 $N(24)=33,432$

$M^0(x)$, $Q^0(x)$, $M(x)$, $Q(x)$, $N(x)$ -lar uchun olingan hisob natijalarini oldin jadvalga kiritamiz, keyinchalik bu natijalar asosida ularning epyuralarini quramiz. epyuralar 60- chizmada qurilgan.

IV- jadval.

x	y(x)	$y^1(x)=\text{tg } \varphi$	$\text{Sm } \varphi_q$	$\text{Cos } \varphi_x$	$M^0(x)$	$Q^0(x)$	$M(x)$	$Q(x)$	$N(x)$
0	0	1,2	0,7682	0,6402	0	26,88	0	- 7,7835	41,477
3	3,15	0,9	0,6689	0,7433	80,64	26,88	-21,834	- 1,7815	42,162
4,2	4,158	0,78	0,615	0,7885	112,896	26,88	- 22,3775	1,1868	42,1837
6	5,4	0,6	0,5145	0,8575	146,88	18,88	- 28,7998	- 0,5488	37,611
7,92	6,3677	0,408	0,3777	0,9259	183,1296	18,88	- 24,0326	5,1932	37,2534
8,4	6,552	0,36	0,3387	0,9409	192,192	18,88	- 20,9668	6,7452	37,0052
9	6,75	0,3	0,2873	0,9578	202,8	16,48	- 16,7998	6,4377	35,8951
12	7,2	0-	0	1	234,24	4,48	0	4,48	32,5333
15	6,75	0,3	-	0,9578	229,68	-7,52	10,0802	2,1442	33,3208

			0,2873						
18	5,4	-0,6	- 0,5145	0,8575	189,12	- 19,52	13,4402	0	37,9403
21	3,15	-0,9	- 0,6689	0,7433	31,92	- 31,52	- 69,9466	- 3,2433	45,2657
24	0	-1,2							



65-rasm

3.6-§. Uch sharnirli ramalarni hisoblash

Masala sharti: Uch sharnirli arka yoki ramani hisoblash uchun quyidagilar talab qilinadi:

1. Arka yoki ramaning statik aniqligi va geometrik o'zgarmasligini tekshirish;
2. Berilgan K_1 va K_2 kesimlardagi M, Q va N zo'riqish kuchlarini analitik usulida hisoblash;
3. Berilgan K_2 kesimdagi M_{k_2}, Q_{k_2} va N_{k_2} zo'riqish kuchlarining ta'sir chizig'ini qurish;
4. Qurilgan ta'sir chizig'idan foydalanib K_2 kesimdagi zo'riqish kuchlarini hisoblash;
5. Analitik va ta'sir chizig'i natijalarini solishtirish;

Berilgan:

- 1) $l_1 = 18m; \alpha = 0,3; \beta_1 = 0,22$
- 2) $\beta_2 = 0,65; q_1 = 4kN/m; q_2 = 0kN/m$
- 3) 66-rasmdan b) sxema-Rama
- 4) $f/l = 0,33 \rightarrow f = 5,94; P = 5kN;$

Yechish: 1.

$$\alpha \cdot l = 0,30 \cdot 18 = 5,4m$$

$$\alpha \cdot l/2 = 5,4/2 = 2,7m$$

$$\beta_1 \cdot l = 0,22 \cdot 18 = 3,96m$$

$$\beta_2 \cdot l = 0,65 \cdot 18 = 11,7m$$

Berilgan uch sharnirli ramani masalaning berilganlarini e'tiborga olib chizib olamiz, bu a) ramsda keltirilgan.

Berilgan uch sharnirli ramaning statik aniq va geometrik o'zgarmasligini tekshiramiz. $D=2$ ta siniq sterjen, $Sh=1$ ta oddiy sharnir, va $St=4$ ta tayanch sterjeni bo'lgani uchun

$$W = 3D - 2Sh - S_t = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 4 = 0$$

Ya'ni berilgan uch sharnirli rama statik aniq va geometrik o'zgarmas ekan.

2. Berilgan uch sharnirli ramaning tayanch reaksiya kuchlarini hisoblab topamiz.

$$\sum M_A = -P \cdot 2,7 - q \cdot 12,6 \cdot 11,7 + R_B \cdot 18 = 0$$

$$R_B = \frac{5 \cdot 2,7 + 4 \cdot 12,6 \cdot 11,7}{18} = \frac{13,5 + 589,68}{18} = \frac{603,18}{18} = 33,51;$$

$$\sum M_B = q \cdot 12,6 \cdot 12,6/2 + P \cdot 15,3 - R_A \cdot 18 = 0$$

$$R_A = \frac{4 \cdot 12,6 \cdot 12,6/2 + 5 \cdot 15,3}{18} = \frac{317,52 + 76,5}{18} = \frac{394,02}{18} = 21,89;$$

Tekshirish:

$$\sum Y = R_A + R_B - P - q \cdot 12,6 = 0$$

$$21,89 + 33,51 - 5 - 4 \cdot 12,6 = 0$$

$$55,4 - 55,4 = 0$$

$$0 \equiv 0$$

Demak, biz berilgan uch sharnirli ramaning vertikal tayanch reaksiya kuchlarini to'g'ri hisoblab topibmiz.

Endi bu ramaning gorizont-al-keruvchi tayanch reaksiya kuchlarini hisoblab topamiz. Bunda qulf sharnir S da momentning nolga teng bo'lish shartidan foydalanamiz. Ramaning S sharnirdan chap tomonining muvozanatini tekshiramiz:

$$\sum M_C^{chap} = P \cdot 6,3 + q \cdot 3,6 \cdot 3,6/2 + H_A \cdot 5,94 - R_A \cdot 9 = 0$$

$$H_A = \frac{21,89 \cdot 9 - 4 \cdot 3,6 \cdot 3,6/2 - 5 \cdot 6,3}{5,94} = \frac{197,010 - 25,92 - 31,5}{5,94} = \frac{197,010 - 57,42}{5,94} = \frac{139,59}{5,94} = 23,50;$$

$\sum X = 0$ shartidan $H_B = H_A = 23,50$; ekanligi kelib chiqadi.

Rama tayanchlari oldidagi burchaklar 45^0 bo'lgani uchun $Y_{k_1} = 3,96$ ekanligini osongina aniqlash mumkin.

$Y_{k_2} = f = 5,94$ ekanligi sxemadan ko'rinib turibdi.

K_1 kesimdagi urinma og'ish burchaklari esa

$$\sin 45^0 = \sqrt{2}/2 = 0,7071 \text{ va}$$

$$\cos 45^0 = \sqrt{2}/2 = 0,7071 \text{ ga tengdir.}$$

Endi berilgan K_1 va K_2 kesimlardagi zo'riqish kuchlari M_{k_1} , Q_{k_1} va N_{k_1} hamda M_{k_2} , Q_{k_2} va N_{k_2} larni hisoblab topamiz.

$$\begin{aligned} M_{k_1} &= R_A \cdot 3,96 - H_A \cdot 3,96 - P \cdot 1,26 = 21,89 \cdot 3,96 - 23,5 \cdot 3,96 - 5 \cdot 1,26 = \\ &= 86,684 - 93,06 - 6,3 = 86,684 - 99,36 = -12,676; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k_2} &= R_B \cdot 6,3 - H_B \cdot 5,94 - q \cdot 6,3 \cdot 6,3/2 = 33,51 \cdot 6,3 - 23,50 \cdot 5,94 - 4 \cdot 6,3 \cdot 6,3/2 = 211,113 - 139,59 - \\ &- 79,380 = 211,113 - 218,97 = -7,857; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{k_1} &= R_A \cdot \sin 45^0 - H_A \cdot \cos 45^0 - P \cdot \cos 45^0 = 21,89 \cdot 0,7071 - 23,5 \cdot 0,7071 - 5 \cdot 0,7071 = \\ &= 15,4784 - 16,616 - 3,5355 = 15,4784 - 20,1515 = -4,6131; \end{aligned}$$

$$Q_{k_2} = -R_B + q \cdot 6,3 = -33,51 + 25,2 = -8,31$$

$$\begin{aligned} N_{k_1} &= -R_A \cdot \cos 45^0 - H_A \cdot \cos 45^0 + P \cdot \cos 45^0 = -21,89 \cdot 0,7071 - 23,50 \cdot 0,7071 + 5 \cdot 0,7071 = \\ &= -15,4784 - 16,616 + 3,5355 = -32,0944 + 3,5355 = -28,5589; \end{aligned}$$

$$N_{k_2} = -H_B = -23,50$$

3. Endi berilgan K_2 kesimdagi zo'riqish kuchlari M , Q va N larning ta'sir chizig'ini quramiz. Buning uchun berilgan uch sharnirli ramani tashqi kuchlarsiz, birlik harakatlanuvchi $P=1$ kuchining K_2 kesimdan chapda va o'ngda qilayotgan harakatini bitta chizmada mujassamlashtirib chizib olamiz.

Bu b) rasmda keltirilgan.

Uch sharnirli arka tayanch reaksiya kuchlarining (vertikal) ta'sir chizig'i xuddi oddiy balkaniki kabi bo'ladi. Bu v) rasmda keltirilgan.

Gorizantal tayanch reaksiya kuchlarining ordinatalarini hisoblaymiz:

$$H_A^{P=1} = \frac{l-x}{2f}; \quad H_B^{P=1} = \frac{x}{2f}$$

$$x=0: \quad H_A^{P=1} = \frac{l}{2f} = \frac{18}{2 \cdot 5,94} = 1,5151; \quad H_B^{P=1} = 0$$

$$x=l: \quad H_A^{P=1} = 0; \quad H_B^{P=1} = \frac{l}{2f} = \frac{18}{11,88} = 1,5151$$

Bu hisoblangan ordinatalardan foydalanib qurilgan gorizantal reaksiya kuchining ta'sir chizig'i g) rasmda keltirilgan.

Xarakterli ordinatalari uchburchaklar o'xshashligidan foydalanib topiladi.

Endi K_2 kesimdagi M , Q va N zo'riqish kuchlarining ta'sir chizig'ini quraimiz:

1) M_{k_2} ta'sir chizig'ini quramiz.

1-hol: $P=1$ chapda. O'ng tomoni muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$M_{k_1^{chap}} = R_B^{P=1} \cdot 6,3 - H_B^{P=1} \cdot 5,94 = 6,3 \cdot R_B^{P=1} - 5,94 \cdot H_B^{P=1};$$

2-hol: $P=1$ o'ngda. Chap tomoni muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$M_{k_2^{o'ng}} = R_A^{P=1} \cdot 11,7 - H_A^{P=1} \cdot 5,94 = 11,7 \cdot R_A^{P=1} - 5,94 \cdot H_A^{P=1};$$

Demak, M_{k_2} zo'riqish eguvchi momentining ta'sir chizig'i chap chizig'ini

B tayanch reaksiya ta'sir chizig'ini 6,3 marta orttirilganiga gorizantal ta'sir reaksiyasi tayanch chizig'i chap chizig'ining -5,94 marta orttirilganini qo'shib hosil qilish mumkin ekan, xuddi shuningdek, o'ng chizig'ini A ta'sir reaksiyasi tayanch chizig'ini 11,7 marta orttirilganiga gorizantal ta'sir reaksiyasi tayanch chizig'ini -5,94 marta orttirilganini qo'shish yo'li bilan hosil qilish mumkin ekan.

M_{k_2} ta'sir chizig'ini qurishda S sharnir ostidagi ordinata va K_2 kesim ostidagi ordinatalar orasidagi ta'sir chizig'i uzatish chizig'i qonuni asosida o'zgaradi, ya'ni O nollik ordinata orqali o'tadi. Bu M_{k_2} ta'sir chizig'i e) va i) rasmlarida keltirilgan.

2) Q_{k_2} ta'sir chizig'ini quramiz:

1-hol: $P=1$ chapda. O'ng tomoni muvozanati tenglamasini yozamiz:

$$Q_{k_2}^{chap} = -R_B^{P=1};$$

2-hol: $P=1$ o'ngda. Chap tomoni muvozanati tenglamasini yozamiz:

$$Q_{k_2}^{o'ng} = R_A^{P=1};$$

Demak, Q_{k_2} zo'riqish kuchi ta'sir chizig'ining chap chizig'ini B ta'sir reaksiyasi tayanch chizig'ini (-1) ga ko'paytirib hosil qilish mumkin ekan, o'ng chizig'ini esa A tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'i bilan bir xil ekan. Q_{k_2} zo'riqish kuchi ta'sir chizig'ida K_2 kesim ostida $\cos 0^\circ = 1$ ga teng sakrash bo'ladi - ordinatada. Q_{k_2} ta'sir chizig'i k) va l) ramslarda keltirilgan.

3) N_{k_2} zo'riqish ta'sir kuchi tayanch chizig'ini quramiz:

1-hol: $P=1$ chapda. O'ng tomoni muvozanati tenglamasini yozamiz:

$$N_{k_1}^{chap} = -H_B^{P=1};$$

2-hol: $P=1$ o'ngda. Chap tomoni muvozanati tenglamasini yozamiz:

$$N_{k_2}^{o'ng} = -H_A^{P=1};$$

Demak, N_{k_2} zo'riqish kuchi ta'sir chizig'ining o'ng va chap chiziqlarini N gorizontal reaksiya ta'sir chizig'i o'ng va chap chiziqlarini -1 ga ko'paytirish yo'li bilan hosil qilish mumkin ekan.

Bu aytilganlar asosida qurilgan N_{k_2} zo'riqish kuchi ta'sir chizig'i m) rasmda keltirilgan.

4. Bu qurilgan ta'sir chiziqlaridan foydalanib K_2 kesimdagi M , Q va N zo'riqish kuchlarini hisoblaymiz:

$$1) M_{k_2} = -P \cdot 0,404 - q \cdot (0,809 + 1,349) / 2 \cdot 3,6 - 1,349 \cdot 1,5869 \cdot 0,5 \cdot q + q \cdot 0,946 \cdot 1,1131 \cdot 0,5 + 0,946 \cdot 6,3 \cdot 0,5q = -2,02 - 15,537 - 4,279 + 2,1059 + 11,919 = -21,836 + 14,0249 = -7,811;$$

$$2) Q_{k_2} = -P \cdot 0,15 - q(0,3 + 0,5) / 2 \cdot 3,6 - q(0,5 + 0,65) / 2 \cdot 2,7 + q \cdot 0,35 \cdot 6,3 \cdot 0,5 = -0,75 - 5,76 - 6,21 + 4,41 = -12,72 + 4,41 = -8,31;$$

$$3) N_{k_2} = -P \cdot 0,2272 - q(0,4545 + 0,7575) / 2 \cdot 3,6 - q \cdot 0,7575 \cdot 9 \cdot 0,5 = -1,136 - 8,7264 - 13,635 = -23,4974;$$

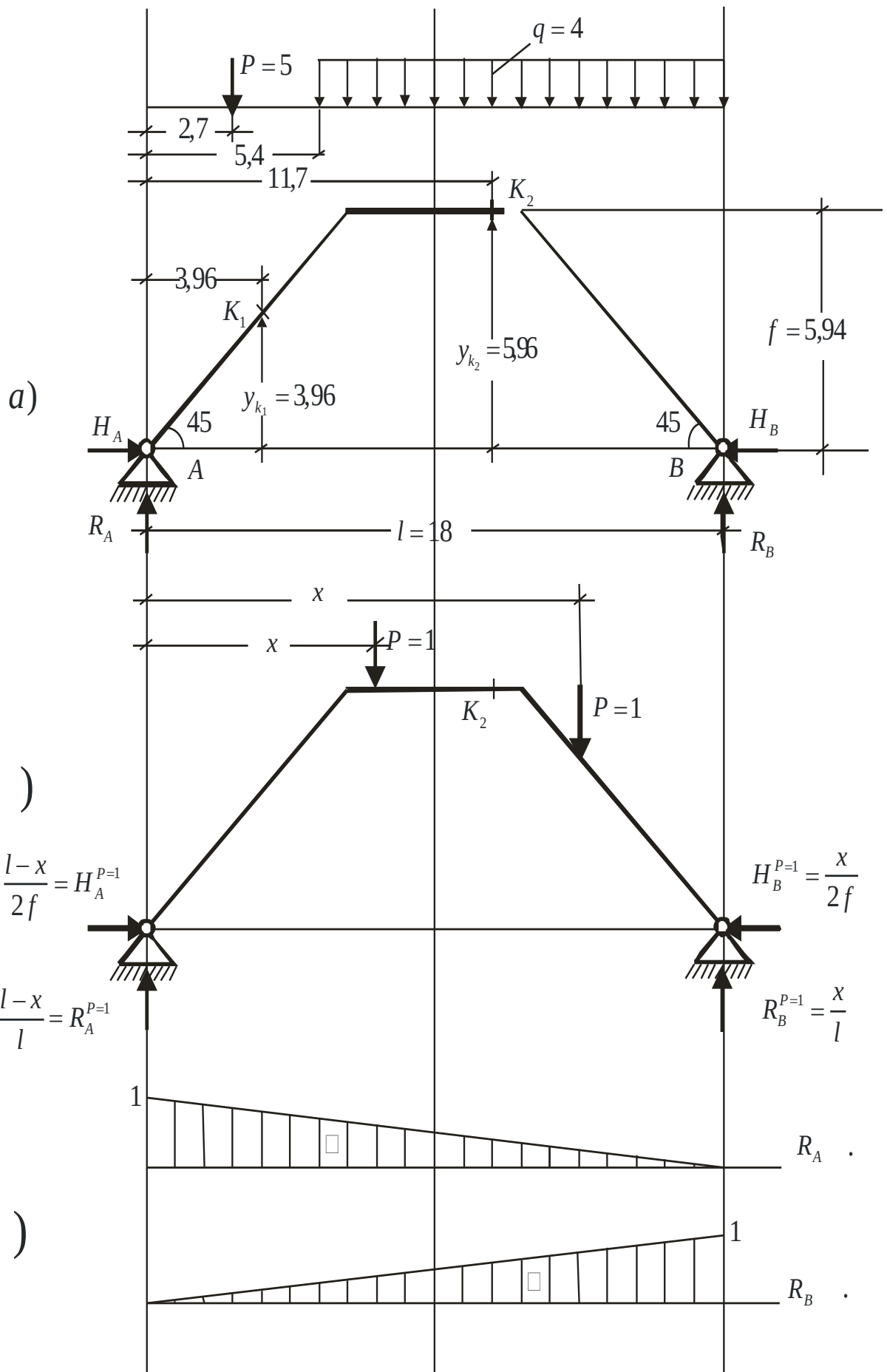
5. Endi analitik hisob natijalarini ta'sir chizig'i natijalari bilan solishtiramiz:

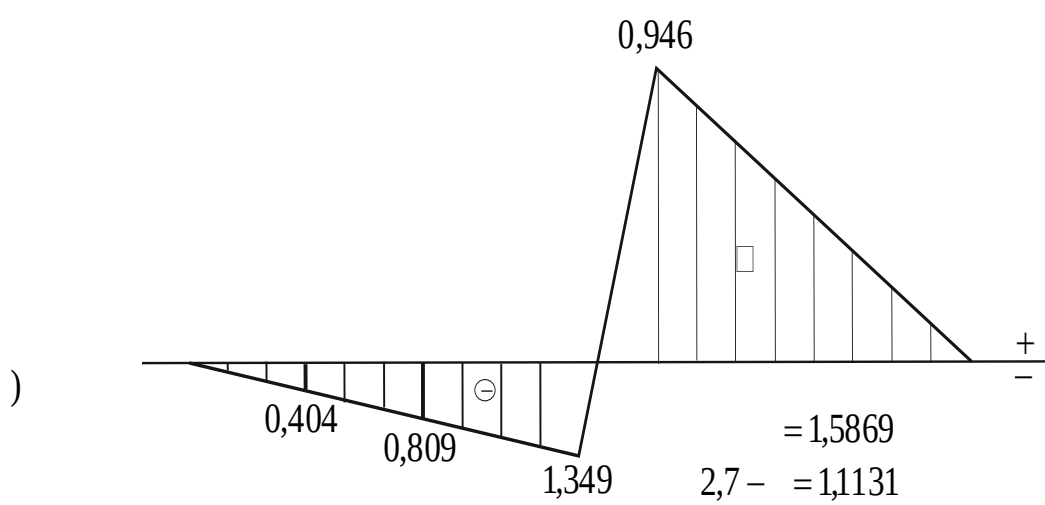
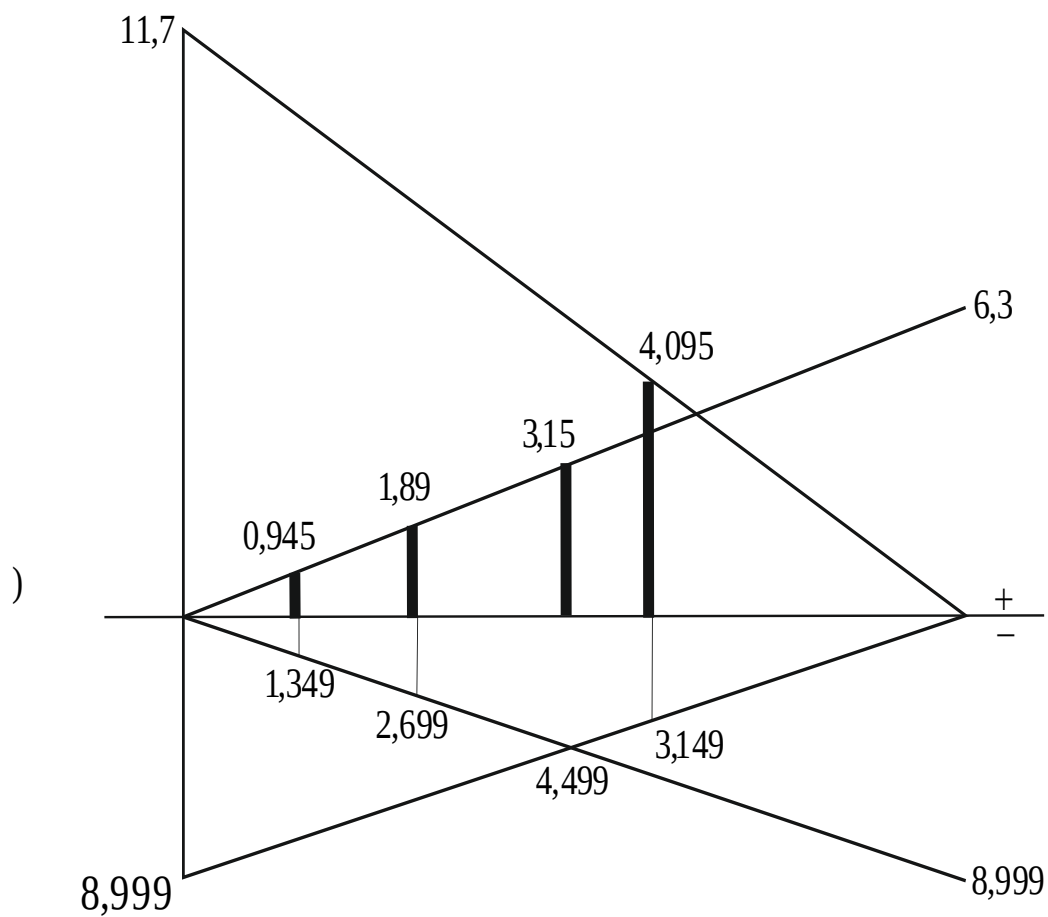
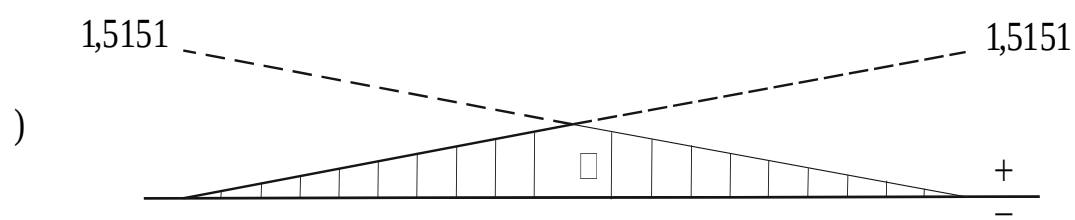
$$1) \frac{(M_{k_2^{anal}} - M_{k_2^{t.ch}}) \cdot 100\%}{M_{k_2^{t.ch}}} = \frac{(-7,857 + 7,811) \cdot 100\%}{7,811} = 0,5889\% \quad \text{xatolik}$$

$$2) \frac{(Q_{k_2^{anal}} - Q_{k_2^{t.ch}}) \cdot 100\%}{Q_{k_2^{t.ch}}} = \frac{(-8,31 + 8,31) \cdot 100\%}{8,31} = 0,0\% \quad \text{xatolik}$$

$$3) \frac{(N_{k_2^{anal}} - N_{k_2^{t.ch}}) \cdot 100\%}{N_{k_2^{t.ch}}} = \frac{(-23,5 + 23,4974) \cdot 100\%}{23,4974} = 0,0127\% \quad \text{xatolik}$$

Bu xatoliklarning juda kichikligi hisoblashlar yuqori aniqlikda bajarilganligini bildiradi.





66-rasm

Tayanch iboralar:

Uch sharnirli arkalar va ramalar, arka oralig'i, qulf sharnir, havon sharnir, kerki (raspor) kuchi, tortqili arka, arkaning vertikal va gorizontal reaksiyalari, uch sharnirli arkaning maqbul o'qi, harakatlanuvchi kuch, tayanch reaksiyalarining ta'sir chizig'i, eguvchi moment, kesuvchi va bo'ylama kuchlarning ta'sir chiziqlari, uch sharnirli arka, uch sharniri tortqichli arka, arkaning yadro momenti, arkasimon ferma.

Test savollari:

1. O'zaro bitta sharnir va zamin bilan ikkita qo'zg'almas sharnirli tayanchlar bilan biriktirilgan ikki egri brusdan iborat geometrik o'zgarmas sistema nima deb ataladi?

uch sharnirli arka

ikki sharnirli arka

sharnirsiz arka

arkasimon fermalar

2. Qurilishda arkalarning qanday turlari qo'llaniladi?

ikki sharnirli, uch sharnirli va sharnirsiz

bir sharnirli, sharnirsiz va murakkab sharnirli

bir sharnirli, ikki sharnirli va murakkab sharnirli

Uch sharnirli, sharnirsiz va murakkab sharnirli

3. Agar uch sharnirli sistemaning o'qi siniq to'g'ri chiziqli sterjenlardan tashkil topsa, u qanday ataladi?

uch sharnirli rama

uch sharnirli arka

sharnirsiz rama

uch sharnirli arkasimon ferma

4. Agar uch sharnirli sistemaning o'qi fermalardan tashkil topsa, u qanday ataladi?

uch sharnirli arkasimon ferma

sharnirsiz rama

uch sharnirli arka

uch sharnirli rama

5. Arkalar balkalardan nimasi bilan farq qiladi?

kerki kuchining mavjudligi bilan

dinamik kuchning mavjudligi bilan

vertikal kuchning mavjudligi bilan

o'qining egriligi uchun

6. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi ichki kuchlar qanday usullar yordamida aniqlanadi?

analitik va ta'sir chizig'i

kinematik va kesish

analitik va kinematik

kesish va kuch

7. Uch sharnirli arkada qanday tayanch reaksiyalari hosil bo'ladi?

vertikal va gorizonttal

kinematik va dinamik

vertikal va kinematik

statik va gorizonttal

8. Agar arkaga faqat vertikal yuklar qo'yilgan bo'lsa, gorizonttal tayanch reaksiyalar qanday munosabatda?

biri-biriga teng

bir-biridan farqli

tayanch reaksiyalar hosil bo'lmaydi

tashqi kuchlarning teng ta'sir etuvchisiga teng

9. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment qaysi formuladan aniqlanadi?

$$M_k = M_k^o - H \cdot y_k$$

$$M_k = M_k^o - H \cdot x_k$$

$$M_k = M_k^o - R_A \cdot y_k$$

$$M_k = M_k^o - R_B \cdot y_k$$

10. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi ko'ndalang kuch qaysi formuladan aniqlanadi?

$$Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k - H \cdot \sin \varphi_k$$

$$Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k + H \cdot \sin \varphi_k$$

$$Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k - R_A \cdot \sin \varphi_k$$

$$Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k - R_B \cdot \sin \varphi_k$$

11. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi bo'ylama qaysi formuladan aniqlanadi?

$$N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k + H \cdot \cos \varphi_k)$$

$$N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k - H \cdot \cos \varphi_k)$$

$$N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k + R_A \cdot \cos \varphi_k)$$

$$N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k + R_B \cdot \cos \varphi_k)$$

12. Arkaning maqbul(ratsional) o'qi deb nimaga aytiladi?

eguvchi momentlari nolga teng bo'lgan arka o'qi

ko'ndalang kuchlar nolga teng bo'lgan arka o'qi

bo'ylama kuchlar nolga teng bo'lgan arka o'qi

eguvchi momentlar maksimumga erishadigan arka o'qi

13. Uch sharnirli sistemalarda ta'sir chiziqlari qaysi usulda chiziladi?

ta'sir chiziqlarini qo'shish va nol nuqta

analitik

kinematik

statik

14. Uch sharnirli arkaning vertikal tayanch reaksiyalari ta'sir chiziqlari qanday chiziladi?

oddiy balkalardagi kabi

konsol balkalardagi kabi

ramalardagi kabi

murakkab sistemalardagi kabi

15. $S_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega_i$ formula orqali qaysi sistemalardagi zo‘riqlarning qiymatlari ta’sir chiziqlari yordamida aniqlanadi?

uch sharnirli sistemalar

uch sharnirli balkalar

uch sharnirli fermalar

uch sharnirli gumbazlar

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

ta’sir chizig‘i

chap to‘g‘ri chizig‘i

o‘ng to‘g‘ri chizig‘i

harakatlanuvchi yuklar grafigi

17. Zo‘riqlarning ta’sir chiziqlari qaysi usullar yordamida chiziladi?

statik va kinematik

statik va dinamik

dinamik va grafik

oddiy va murakkab

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

tayanch reaksiyasining qiymatini x masofaga bog‘liq holda aniqlash orqali

tayanch reaksiyasining qiymatini aniqlash orqali

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

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

19. Sistemaning erkinlik darajasi deb nimaga aytiladi?

sistemaning holatini belgilovchi geometrik parametrlar soni

sistemani tashkil etuvchi elementlar soni

sistemaning o‘rnini belgilovchi dinamik parametrlar soni

sistemani tashkil etuvchi elementlar holatini belgilovchi nuqtalar soni

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

sistemaning erkinlik darajasi

sistemadagi sharnirlar soni

sistemadagi tayanchlar soni

sistemadagi disklar soni

21. Qistirib mahkamlangan tayanch sistemaning nechta erkinlik darajasini cheklaydi?

3

4

2

1

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

1

3

4

0

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

2

1

0

4

24. Tekislikda nuqtaning holatini aniqlovchi parametrlar soni nechta?

2

3

1

4

25. Inshootning bitta diskining erkinlik darajasi nechtaga teng?

3

1

2

4

26. Qaysi holda sistema geometrik o'zgarmas, statik aniq bo'ladi?

$W = 0$

$W > 0$

$W \neq 0$

$W < 0$

Nazorat savollari

1. Uch sharnirli arka yoki rama deb nimaga aytiladi?
2. Uch sharnirli arka elementlarini aytib bering?
3. Uch sharnirli arka tayanch reaksiyalari qanday topiladi?
4. Uch sharnirli arkalar analitik usulda qanday hisoblanadi?
5. Uch sharnirli arkaning maqbul o'qi deb nimaga aytiladi?
6. Uch sharnirli arkalar harakatlantiruvchi kuch ta'siriga qanday hisobalanadi?
7. Uch sharnirli arka tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'i qanday quriladi?
8. Uch sharnirli arka M , Q va N epyuralari qanday quriladi?
9. Arkasimon fermalarda ta'sir chiziqlari qanday quriladi?
10. Uch sharnirli arkani nima uchun statik aniq sistema deyiladi?

Onlayn masofaviy o'qitish usullari

Talaba tomonidan III-BOB ga doir mavzular o'zlashtirililib bo'lgach tyutor tomonidan topshiriqlarni har bir talabaga individual tarzda (pdf yoki doc) fayl tarzida tayyorlanadi. Tayyorlangan topshiriq tizimga joylashtiriladi. Buning uchun tizimga kirib tahrirlashga o'tiladi so'ng kerakli mavzuni tugash qismida element yoki resurs qo'shish tugmasini bosib, topshiriq elementi tanlanadi va qo'shish tugmasi bosiladi. Shundan so'ng topshiriq joylashish oynasi ochiladi. Topshiriq

nomi (Названные)da biror nom kiritiladi. (Описание)da topshiriq haqida qisqa ma'lumotlar kiritiladi, topshiriqlarni bajarish ko'rsatmalar yozish maqsadga muvofiqdir. Undan pastda tayyorlangan faylni qo'shish oynasi joylashgan bo'lib shu oynaga joylashtiriladi. Undan pastda vaqt reglamenti (синхронизация), baholashi (оценки)lar to'g'rilanadi va saqlash tugmasi bosiladi. Shundan so'ng topshiriq barcha talabalarga ko'rinadi.

Jo'natilgan topshiriqni talaba qabul qilib oladi. Belgilangan mavzu bo'yicha talaba topshiriqni yuklab oladi va aytilgan tarzda bajaradi.

Bajarilgan topshiriqni (pdf yoki doc) fayl shaklida jo'natadi.

Tyutor talaba tomonidan bajarib jo'natilgan topshiriq taqdimnomasini ochadi, uni tekshiradi, kamchilik va mulohazalarni yozish joyida bildiradi va jo'natiladi. Tyutor tomonidan baholanadi va saqlash uchun (сохранит все оценки) tugmasi bosiladi.

IV- BOB. KO'CHISHLAR NAZARIYASI

4.1-§. Ko'chishlar va ishlar haqida umumiy tushunchalar.

Statik noaniq sistemalarni hisoblashda muvozanat tenglamalaridan tashqari ko'chishlar tenglamalarini tuzishga va yechishga to'g'ri keladi. Bunday tenglamalarni tuzish uchun, avvalo, inshootlarning deformatsiyalarini aniqlashni bilish zarur. Ko'chishlarni aniqlash masalasi faqat statik noaniq sistemalgagina taalluqli bo'lib qolmay, balki statik aniq sistemalarga ham aloqadordir. Statik aniq sistemalardan tashkil topgan qurilish konstruksiyalarining deformatsiyasi me'yoridan ortib ketmasligi zarur. Bu masala ham ko'chishlar oraqali hal etiladi. Shunday qilib, ko'chishlarni aniqlash masalasi qurilish mexanikasining muhim masalalaridan biri hisoblanadi.

Biror nuqtaning ko'chishi deganda, inshootlarning deformatsiyasi jarayonida uning (nuqtaning) koordinatalarining o'zgarishi tushuniladi. Ko'chishlarni biz Guk qonuni chegarasida aniqlaymiz, ya'ni ko'chishi aniqlanayotgan kesimning kuchlanishlari proporsionallik chegarasida yotadi, deb faraz qilamiz.

Ko'chishlarni aniqlashda kuchlar ta'sirining mustaqilligi qoidasiga amal qilinadi. Bu qoidaga ko'ra bir necha kuchlarning bir yo'la qo'yilgandagi natijasi har bir kuchni alohida qo'yilgandagi natijalar yig'indisiga teng bo'ladi.

Tashqi kuchlarning ishi.

Ko'chishlarni aniqlashning umumiy usuli tashqi kuchlar ishi nazariyasiga asoslanadi, ya'ni ishlar orqali ko'chishlarni aniqlasa bo'ladi.

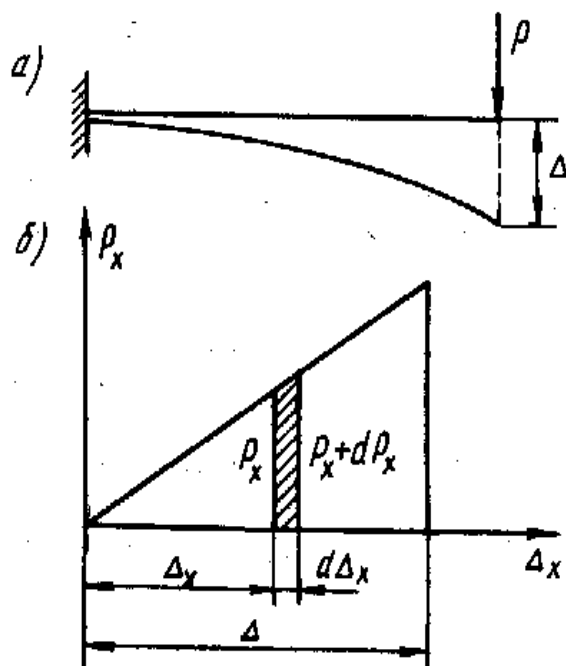
Elastik sistemaga asta-sekin (statik ravishda) qo'yilgan tashqi kuch P ning bajargan ishini aniqlaymiz (67– rasm, a). Deformatsiyalarning kichik miqdorlarida elastik sistemaga kuchlar ta'sirining mustaqilligi qoidasini qo'llash mumkin, binobarin, alohida nuqtalarning ko'chishlari ularni vujudga keltiruvchi

kuchlarga to'g'ri proporsional bo'ladi. Guk qonuniga ko'ra bu bog'lanish quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta = \alpha \cdot P;$$

bu yerda Δ - ta'sir etuvchi kuch P yo'nalishidagi ko'chish; α proparsionallik koeffitsenti bo'lib, u inshootning materiali, tarhi va o'lchamlariga bog'liq miqdordir.

P kuchining oraliq qiymatini P_x , unga mos bo'lgan ko'chishni Δ_x bilan belgilaymiz (1 – rasm, b). P kuchini cheksiz



67-rasm

kichik miqdor dP_x ga orttiramiz. Natijada ko'chish ham $d\Delta_x$ masofasiga ortadi. Bunda tashqi kuch quyidagi elementar ishni bajaradi:

$$dA = (P_x + dP_x) \cdot d\Delta_x = P_x \cdot d\Delta_x;$$

Tashqi kuch bajargan to'liq ish bu ifodani integrallash yo'li bilan aniqlanadi:

$$A = \int_0^P P_x \cdot d\Delta_x;$$

Guk qonuniga binoan $d\Delta_x = \alpha \cdot dP_x$; ekanligini hisobga olsak:

$$A = \int_0^P \alpha \cdot P_x \cdot dP_x = \frac{\alpha \cdot P^2}{2} = \frac{1}{2} P \cdot \Delta;$$

kelib chiqadi.

Demak, tashqi kuchlar (P) bajargan haqiqiy ish kuch bilan shu kuch vujudga keltirgan ko'chishning ko'paytmasini yarmiga teng ekan. Bunga

Klapeyron teoremasi deb taladi. Agar inshootga bir necha kuchlar $P_1, P_2, \dots, P_n$ qo'yilgan bo'lsa, tashqi kuchlar bajargan to'liq ish quyidagicha bo'ladi:

$$A = \frac{1}{2} \sum P_i \cdot \Delta_i;$$

Tashqi kuchlarning bu ishi inshootda potensial energiya tarzida to'planadi.

Garchi Klapeyron teoremasi birgina kuch misolida berilgan bo'lsada, aslida uning qo'llanish chegaralari juda keng. Tashqi kuch deganda birgina to'plangan kuch emas, balki turli kuchlar sistemasi tushuniladi. Ko'chishlar ham faqat chiziqli emas, balki burchakli ham bo'lishi mumkin. Xulosa qilib aytganda, kuch deganda elastik sistemaga ta'sir etuvchi har qanday kuchlar sistemasi tushuniladi va «umumlashgan kuch» deb ataladi. Bu kuch ta'sirida vujudga kelgan ko'chish «umumlashgan ko'chish» deb yuritiladi.

Ichki kuchlarning ishi.

Ko'chishlarning vujudga kelishida tashqi kuchlar bajargan ishni ichki kuchlar orqali ifoda etsa ham bo'ladi. Ichki kuchlar deganada konstruksiya elementlarida vujudga keladigan eguvchi moment M , ko'ndalang kuch Q va bo'ylama kuch N tushuniladi.

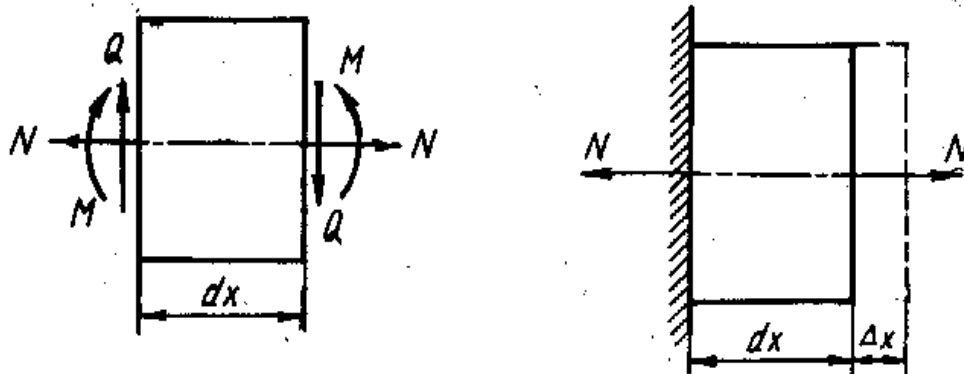
Balkadan (68–rasm, a) da cheksiz kichik dx elementni ajratib olamiz. Ajratilgan elementga eguvchi moment M , ko'ndalang kuch Q va bo'ylama kuch N lar ta'sir etadi.

Bu kuchlar butun sterjanga nisbatan ichki kuch, ajratilgan elementga nisbatan esa tashqi kuch deb qaraladi. Bularning har birini dx elementga bo'lgan ta'sirini alohida – alohida ko'rib chiqamiz.

Eng avval ajratilgan bo'lakka bo'ylama kuch N ning ta'siri bilan tanishamiz (68 – rasm, b). Elementning chap tamonidagi kesimi qo'zg'almas deb faraz qilsak, bo'ylama kuch ta'sirida elementning o'ng tomondagi kesimi:

$$\Delta x = \frac{N \cdot dx}{EF}$$

masofasiga ko‘chadi. Bu erda EF - sterjen ko‘ndalang kesimining siqilishga yoki cho‘zilishidagi bikrligidir.



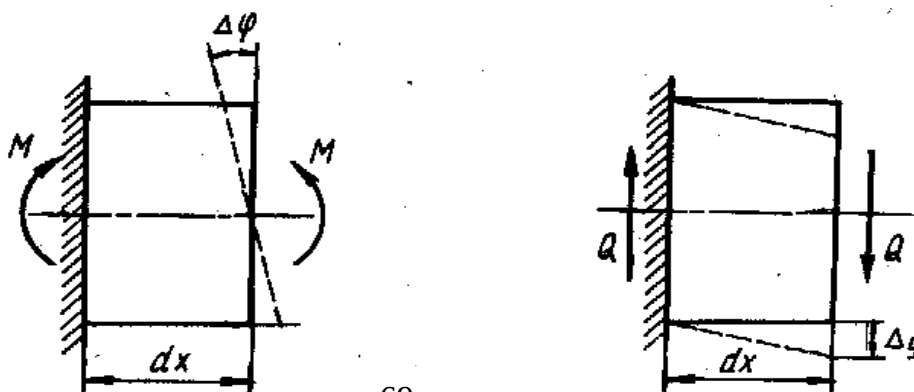
68 - rasm

$\Delta\varphi$ burchakli ko‘chishning vujudga kelishida asta ortib boruvchi eguvchi moment quyidgi miqdorda ish bajaradi (69– rasm, v).

$$dA_m = \frac{1}{2} M \cdot \Delta\varphi = M \cdot \frac{M \cdot dx}{2EF};$$

Nihoyat, ajratilgan elementga ko‘ndalang kuch Q ning ta’sirini ko‘rib o‘tamiz (69 - rasm). Agar elementning chap kesimini mahkamlangan deb qarasak, ko‘ndalang kuch ta’sirida uning o‘ng tomondagi kesimi:

$$\Delta y = \frac{h \cdot Q \cdot dx}{GF};$$



69 - rasm

masofasiga siljiydi. Bu yerda GF - kesimning siljishidagi bikrligi. Δy siljishining vujudga kelishida asta ortib boruvchi ko'ndalang kuch quyidagi miqdorda ish bajaradi:

$$dA_Q = \frac{1}{2} Q \cdot \Delta y = Q \frac{Q \cdot dx}{2GF} \cdot h$$

bu erda h - sterjenning ko'ndalang kesimi shakliga bog'liq koeffitsient bo'lib, quyidagi formuladan topiladi:

$$h = \frac{F}{J^2} \int \frac{S^2}{e^2} dF$$

To'g'ri to'rtburchakli kesim uchun $h = 1,2$, aylana uchun $h = 10/9$.

Ajratilgan dx elementga uchala (M , N , Q) kuch vaqtning o'zida ta'sir etsa, to'liq ish quyidagicha topiladi:

$$dA = dA_N + dA_M + dA_Q = \frac{1}{2} \left(N \frac{N \cdot dx}{EF} + M \frac{M \cdot dx}{EJ} + Q \frac{Q \cdot dx}{GF} \right) \cdot h$$

Sterjanning barcha uchastkalari bo'yicha bajarilgan to'liq ishini aniqlash uchun yuqoridagi ifodani integrallaymiz:

$$A = \sum \int_0^l \frac{M^2 \cdot dx}{2EJ} + \sum \int_0^l \frac{N^2 \cdot dx}{2EF} + \sum \int_0^l \frac{Q^2 \cdot dx}{2GF} \cdot h$$

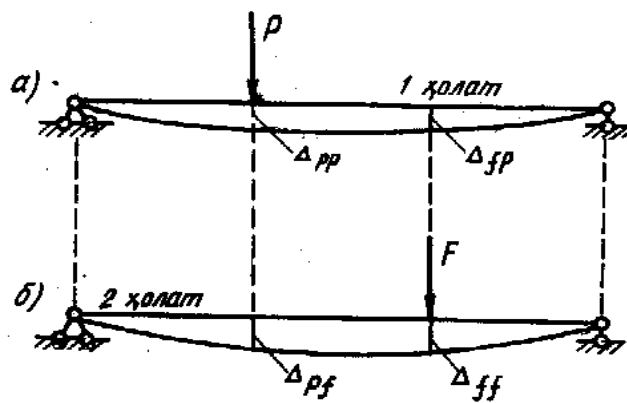
Shunday qilib, ko'chishlarning vujudga kelishida tashqi kuchlar bajargan ishni ichki kuchlar orqali ifoda etdik.

Elastik sistemalarda tashqi kuchlar bajargan ish deformatsiyaning potentsial energiyasi sifatida to'planadi. Har qanday elastik jism tashqi kuchlar vujudga keltirgan energiyani o'zida jamlash xususiyatiga ega. Jismni yukdan bo'shatish jarayonida potentsial energiya ish bajaradi. Mana shu ishni jismdagi ichki kuchlar (M , N , Q) bajaradi.

Energiyaning saqlanish qonuniga binoan tashqi kuchlar bajargan ish sistema deformatsiyasining potensial energiyasiga (demak, ichki kuchlar bajargan ishga) teng bo'ladi.

4.2-§. Ishlar va ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teoremlar.

Ikki xil kuch ta'sirida muvozanatda bo'lgan elastik sistemalarning ikki holatini ko'rib o'tamiz. Birinchi holatda sistemaga P kuchi, ikkinchi holatda F kuchi ta'sir etadi deylik (70 – rasm, a, b).



70 - rasm

Sistemaning ko'chishlarini Δ_{pf}

tarzida belgilaymiz. Bunda birinchi indeks ko'chayotgan nuqta va uning yo'nalishini, ikkinchi indeks esa ko'chishni vujudga keltirayotgan sababni anglatadi. O'qilishi bunday: P kuchi Qo'yilgan nuqtaning shu kuch (ya'ni P kuchi) ta'sirida vujudga kelgan ko'chish. Δ_{pp} - P kuchi yo'nalishida shu kuch ta'sirida vujudga kelgan ko'chish deyiladi. Bu ko'chishning vujudga kelishida P kuchi bajargan ishi A_{pp} bo'lsin. Xuddi shuningdek, Δ_{ff} ko'chishning vujudga kelishida F kuchi bajargan ishi Δ_{ff} deb belgilaylik. Agar har ikkala kuch balkaga statik ta'sir etsa, bu kuchlar bajargan ish quyidagi formuladan topiladi:

$$A_{pp} = \frac{1}{2} P \cdot \Delta_{pp} \text{ va } A_{ff} = \frac{1}{2} F \cdot \Delta_{ff}$$

Agar har ikkala ishni ichki kuchlar orqali ifodalasak:

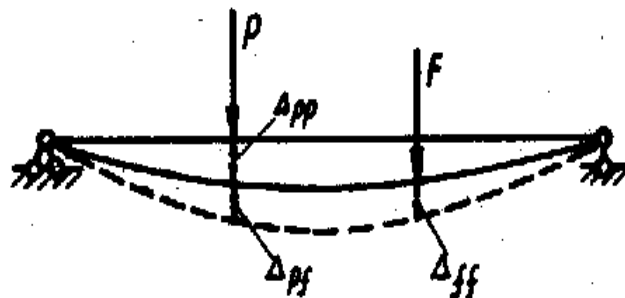
$$A_{pp} = \sum \int_0^l \frac{M_p^2}{2EJ} \cdot dx + \sum \int_0^l \frac{N_p^2}{2EF} \cdot dx + \sum \int_0^l \frac{Q_p^2}{2GF} \cdot dx \cdot h$$

$$A_{ff} = \sum \int_0^l \frac{M_f^2 \cdot dx}{2EJ} + \sum \int_0^l \frac{N_f^2 \cdot dx}{2EF} + \sum \int_0^l \frac{Q_f^2 \cdot dx}{2GF} \cdot h$$

lar kelib chiqadi.

Endi o'sha (70- rasm, a, b) sistemga P va F kuchlarning oldinma – ketin qo'lish jarayonini ko'rib o'taylik.

Avval sistemaga statik ortib boruvchi P kuchi qo'yiladi (71- rasm, v). P kuchi o'zining tugal qiymatiga erishganda, sistemada (71-rasm, a) ko'rsatilgandek vaziyat vujudga keladi, ya'ni P kuchi ostida ko'chish hosil bo'ladi. Bu ko'chishning vujudga kelishida P kuchi $A_{pp} = P \cdot \Delta_{pp} / 2$ ga



71 - rasm

teng bo'lgan ish bajaradi. Bu kuch ta'sirida sistema salqilanishda davom etib, (71,b – rasm)da ko'rsatilgan vaziyat vujudga keladi. Bunda P kuchi ostida Δ_{pf} ga teng bo'lgan qo'shimcha salqilik hosil bo'ladi. F kuchining qiymati noldan o'zining tugal qiymatiga ortib borganda, P kuchining qiymati o'zgarmasdan, $A_{pf} = P \cdot \Delta_{pf}$ ga teng bo'lgan qo'shimcha ish bajaradi. F kuchining o'zi esa $A_{ff} = F \cdot \Delta_{ff} / 2$ miqdorida ish bajaradi. Shunday qilib, sistemaga ketma – ket ravishda P va F kuchlari qo'yilsa, ularning bajargan to'liq ishi:

$$A = A_{pp} + A_{pf} + A_{ff} = \frac{1}{2} P \cdot \Delta_{pp} + P \cdot \Delta_{pf} + \frac{1}{2} F \cdot \Delta_{ff} \quad (23)$$

ga teng bo'ladi.

Agar kuchlarning qo'yilish tartibini o'zgartirsak, ya'ni avval F va so'ngra P kuchlarini qo'ysak, u holda to'liq ish quyidagi ko'rinishni iofdalaydi:

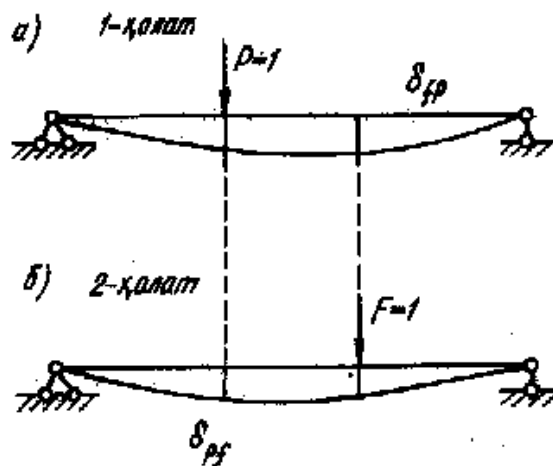
$$A = \frac{1}{2} F \cdot \Delta_{ff} + F \cdot \Delta_{fp} + \frac{1}{2} P \cdot \Delta_{pp} \quad (24)$$

Biroq kuchlarning qo'yilish tartibi o'zgarishi bilan bajarilgan to'liq ishning midori o'zgarmaydi. Shunga ko'ra (23) va (24) ifodalarni tenglashtirib, quyidagi xulosaga ega bo'lamiz:

$$P \cdot \Delta_{pf} = F \cdot \Delta_{fp}$$

Bu xulosa ishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema yoki E. Betti (1823 - 1892) teoremasi bilan mashhurdir.

Endi ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema bilan tanishib chiqamiz. Buning uchun yana balkaning ikki holatini ko'rib o'tamiz. Birinchi holatda balkaga $P=1$ kuchi, ikkinchi holatda esa $F=1$ kuchi qo'yilgan (72 – rasm, a, b).



72 - rasm

Balkaga qo'yilgan kuchlarning qiymati birga teng bo'lganligi sababli balkaning holatini birlik holat deb ataymiz.

Birlik kuch ta'siridan hosil bo'lgan ko'chishlar δ harfi bilan, birdan farqli ko'chishlardan hosil bo'lgan ko'chishlar esa Δ harfi bilan belgilanadi. Shunga binoan birinchi holatdagi ko'chishni δ_{fp} , ikkinchi holatdagi ko'chishni esa δ_{pf} tarzida belgiladik. Bu ikki holat uchun Betti teoremasi quyidagicha yoziladi:

$$P \cdot \delta_{pf} = F \cdot \delta_{fp}$$

Agar $P = F = 1$ ekanligini e'tiborga olsak:

$$\delta_{pf} = P \cdot \delta_{fp}$$

kelib chiqadi.

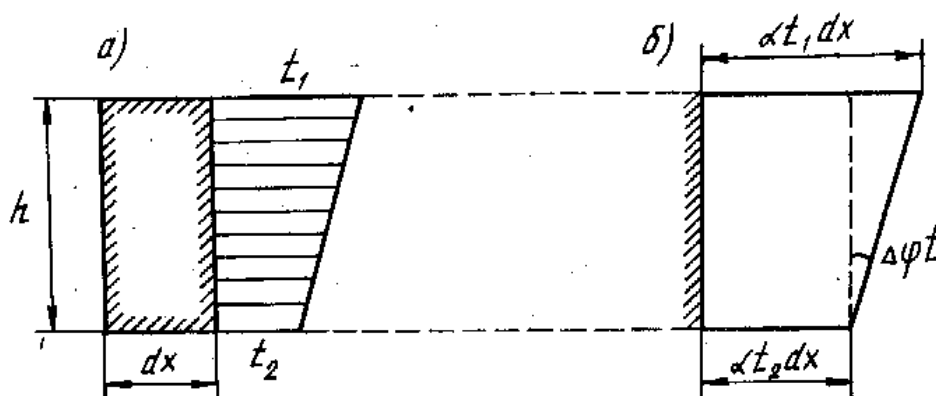
Bu tenglikka ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema yoki Maksvell teoremasi deb ataladi.

Bu tenglama $P = F \neq 1$ bo'lganda ham o'z kuchini saqlaydi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta_{pf} = \Delta_{fp}$$

4.3-§. Haroratning o'zgarishidan va tayanchlarning cho'kishidan hosil bo'ladigan ko'chishlar.

Harorat ta'sirida bo'lgan inshootdan biror dx bo'lakchasini ajratib olaylik. Bo'lakchanning ustki tolalarining harorati t_1 , pastki tolalarining harorati esa t_2 bo'lsin. Harorat bo'lakchanning ko'ndalang kesimida bir tekislikda (tekis) to'g'ri chiziqli qonuni bo'yicha tarqalgan deylik (73 – rasm, a).



73 - rasm

Harorat ta'siridagi chiziqli kengayish koeffitsienti α bo'lsa, bo'lakchanning ustki tolasi $\alpha t_1 dx$ ga, pastki tolasi esa $\alpha t_2 dx$ masofaga uzayadi (73 –rasm, b).

Agar kesim gorizontall o'qqa nisbatan simmetrik bo'lsa, u holda bo'lakchanning harorat ta'sirida o'rtacha uzayishi:

$$\Delta_{xt} = \frac{\alpha(t_1 + t_2)}{2} \cdot dx$$

bo'ladi. Bo'lakchanning ko'ndalang kesimlari bir – biriga nisbatan:

$$\Delta_{\varphi t} = \frac{\alpha(t_1 + t_2)}{h} \cdot dx \quad \text{burchakka og'adi.}$$

Harorat ta'sirida siljish deformatsiyasi ro'y bermaydi. Bularni e'tiborga olsak, Mor formulasi quyidagi ko'rinishga keladi:

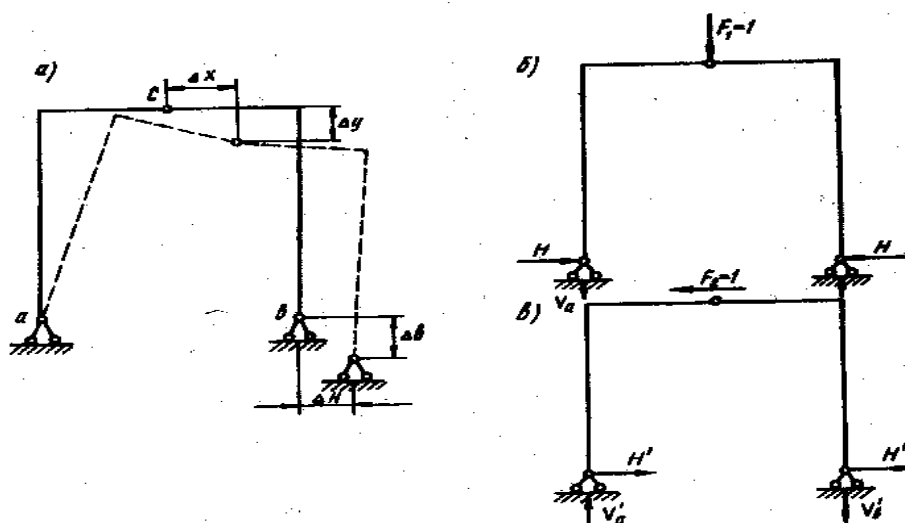
$$\Delta_{pt} = \sum \alpha \frac{t_1 - t_2}{h} \int_0^l \overline{M}_p dx + \sum \alpha \frac{t_1 - t_2}{h} \int_0^l \overline{N}_p dx;$$

Agar ko'ndalang kesim doimiy bo'lsa, unda formula quyidagi sodda ko'rinishni oladi:

$$\Delta_{pt} = \sum \alpha \frac{t_1 - t_2}{h} \cdot \omega_{\overline{M}} + \sum \alpha \frac{t_1 - t_2}{h} \cdot \omega_{\overline{N}}$$

Bunda $\omega_{\overline{M}}$ va $\omega_{\overline{N}}$ mos ravishda $\overline{M}$ va $\overline{N}$ yuzasi.

Statik aniq sistemalarda tayanchlarning cho'kishi inshootda qo'shimcha zo'riqishlar paydo qiladi. 74– rasmdagi ramaning B tayanchi cho'kadi deb faraz qilaylik.



74 - rasm

Cho'kishdagi Δ_b va Δ_H ko'chishlarning qiymatlarini ma'lum deylik. O'rtadagi C sharnirning holatini aniqlash talab qilinadi (74 – rasm, a). Sharnirning vertikal ko'chishini Mor formulasi bo'yicha aniqlash uchun C nuqtasiga vertikal yo'nalishda birlik kuch $F_1 = 1$ ni qo'yamiz (74 – rasm, b). Birlik holat kchlarining haqiqiy holat ko'chishlarini vujudga kelishida bajarishi mumkin bo'lgan ishlari yig'indisi quyidagicha ifodalanadi:

$$1 \cdot \Delta_y - V_{\epsilon} \cdot \Delta_{\epsilon} - H \cdot \Delta_H = 0$$

Bu tenglamadan $\Delta_y = V_{\epsilon} \cdot \Delta_{\epsilon} + H \cdot \Delta_H$.

Gorizonttal Δ_x ko'chishni aniqlash uchun C sharnirga $F_2 = 1$ kuchini qo'yamiz (74 – rasm, v). Mor tenglamasi asosida quyidagi ishlar tenglamasini tuzamiz:

$$1 \cdot \Delta_x + V'_{\epsilon} \cdot \Delta_{\epsilon} + H' \cdot \Delta_H = 0$$

Bu tenglamadan $\Delta_x = -V'_{\epsilon} \cdot \Delta_{\epsilon} - H' \cdot \Delta_H$ ni topamiz.

4.4-§. Elastik sistemalardagi ko'chishlarni aniqlash.

Tashqi kuchlar ta'sirida inshoot elementlari deformatsiyalanadi, buning natijasida inshootning turli nuqtalari ko'chadi. Tuzilmalarni bixirlik va ustuvorlikka tekshirish uchun, statik noaniq sistemalarni hisoblashda hamda nazariy hisoblar natijalarini va sinov qiymatlarini solishtirish uchun ko'chishlarni aniqlash talab qilinadi.

Sistemalar deformatsiyasi natijasida uning koordinatalarining o'zgarishi inshoot shu nuqtasining ko'chishi deyiladi.

Chiziqli va burchakli ko'chishlar ikki indeksli Δ harfi bilan $\Delta_{11}, \Delta_{12}, \Delta_{1p}, \Delta_{1r}$ belgilanadi. Birinchi indeks ko'chish nuqtasi va yo'nalishini, ikkinchisi esa shu ko'chish hosil bo'lish sababini ko'rsatadi. Birlik kuch yoki momentlardan ko'chishlar o'shanday indeksli δ harfi bilan belgilanadi. Masalan, ko'chish $\delta_{ij} - i$ nuqtaning i yo'nalishi bo'yicha j nuqtaga j yo'nalishi bo'yicha qo'yilgan birlik kuchdan ko'chishi. Kichik elastik deformatsiyalar chegarasida to'la ko'chish shunday yoziladi: $\Delta_{ik} = \delta_{ik} \cdot p_k$

Chiziqli deformatsiyalanuvchi sistemalar uchun ko'chish va yuklar orasidagi bog'lanish chiziqli xarakterga ega bo'ladi va shunday sistemalarga kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipi (superpozitsiya prinsipi) ni qo'llash mumkin. Bu

prinsipga asosan xohlagan K nuqtasining R_{κ} kuchi yoʻnalishi boʻyicha sistemaga $R_1, R_2, \dots, R_n$ kuchlar guruhi taʼsiridan, koʻchishi quyidagi formula boʻyicha aniqlanadi

$$\Delta_{\kappa \sum p} = \delta_{\kappa 1} p_1 + \delta_{\kappa 2} p_2 + \dots + \delta_{\kappa n} p_n \quad (25)$$

(25) formula bilan aniqlanadigan ifoda, **umumlashgan Guk qonuni** deyiladi.

Qurlish mexanikasida umumlashgan kuch va unga mos umumlashgan koʻchish tushunchasi qoʻllaniladi. Umumlashgan kuch R deganda, toʻplangan kuch, kuchlar guruhi, moment, momentlar guruhi, yoyiq yuk yoki ularning xohlagan kombinatsiyasi tushuniladi. Har bir umumlashgan R kuchiga shunday umumlashgan koʻchish Δ mos keladiki, $R \cdot \Delta$ ifoda ishning mazmuni va oʻlchamiga ega boʻladi. Masalan, toʻplangan F kuchiga chiziqli koʻchish, m momentga–burchakli koʻchish, yassi yoyiq q yukka – yuk taʼsir qilgan boʻlakdagi koʻchishlar epyura yuzasi mos keladi.

Biror-bir aniq kuch taʼsiridan hosil boʻladigan haqiqiy koʻchishlar bilan bir qatorda, mumkin boʻlgan koʻchishlar ham qaraladi. Mumkin boʻlgan koʻchishlar deganda, berilgan tashqi taʼsirlarga bogʻliq boʻlmagan va sistemaga qoʻyilgan bogʻlanishlar bilan moslashuvchi har qanday oxirgi kichik koʻchishlar tushuniladi. Mumkin boʻlgan koʻchishlarda kuchlarning (tashqi yoki ichki) bajargan ishi **mumkin boʻlgan ish** deyildi.

Yukni statik qoʻyilishi deganda, uning shunday qoʻyilishini aytamizki, bunda koʻchish tezlanishi va undan kelib chiqib, inertsia kuchlari amalda nolga teng boʻladi, yuk va koʻchishning oʻzi esa asta-sekin, bir tekisda noldan oʻzlarining oxirgi R va Δ qiymatlariga yetadi.

Tashqi kuchlarning **haqiqiy ishi** deb, shu kuchlar taʼsiridan hosil boʻlgan koʻchishlarida bajarilgan ishlarga aytiladi.

Umumlashgan R kuchlarini statik qoʻyilishidan chiziqli deformatsiyalanuvchi sistemalar uchun kuchlar qoʻyilgan nuqtasining uning taʼsiri yoʻnalishidagi umumlashgan koʻchishi va kuchlarning qiymatlari orasidagi bogʻlanish 71, a-rasmda

keltirilgan chiziqli grafik bilan ifodalanadi. P_i kuchning Δ_i ko‘chishda bajargan ishi OAV uchburchagining yuzasiga teng: $V = AB \cdot OB / 2$ yoki $V = P_i \cdot \Delta_i / 2$

Shunday qilib, elastik sistemaga umumlashgan kuchlarning statik ta‘siridan tashqi kuchlarning **haqiqiy ishi**, shu kuchning to‘liq qiymatiga uning ta‘siridan shu yo‘nalishda paydo bo‘lgan to‘liq umumlashgan ko‘chish ko‘paytmasining yarmiga teng (Klayperon teoremasi). Sistemaga n umumlashgan tashqi kuchlar birgalikda ta‘sir qilganda, superpozitsiya prinsipiga asosan, haqiqiy ish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$V = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Delta_i / 2 \quad (26)$$

bu yerda $\Delta_i - P_i$ kuchi qo‘yilgan nuqtaning uning yo‘nalishi bo‘yicha barcha n kuchlar ta‘siridan to‘liq ko‘chishi.

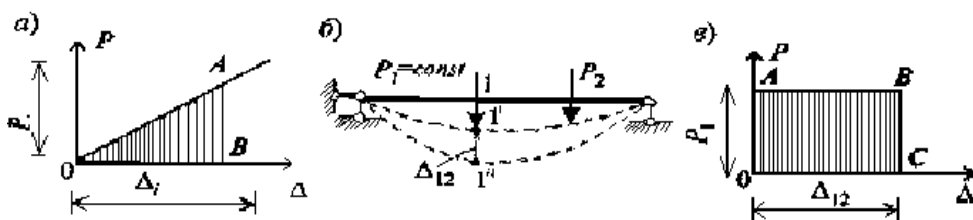
To‘plangan m momentining uning ta‘siridan burilish burchagi φ da bajargan ishi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$V = \frac{m\varphi}{2} \quad (27)$$

Chiziqli elastik sistemalarning deformatsiyalanishi jarayonida tashqi kuchlarning haqiqiy ishi asta-sekin to‘lig‘icha, xuddi unda to‘plangandek, sistema deformatsiyasining potensial energiyasiga o‘tadi. Yuk olinganida energiya inshootni dastlabki deformatsiyalanmagan holatiga qaytarishga sarflanadi.

Agar ish bajarish jarayonida uni amalga oshiruvchi kuch o‘zining doimiy qiymatini saqlasa, u holda ish $1/2$ koeffitsientisiz hisoblanadi.

Tashqi kuchlarning mumkin bo‘lgan ishi deganda, kuchning uning yo‘nalishidagi boshqa kuchlar ta‘siridan yoki boshqa sabablardan ko‘chishida bajargan ishi tushuniladi. Bunda mumkin bo‘lgan ishni bajaruvchi kuchlar o‘zgarishsiz qoladi. 1-nuqtaga statik qo‘yilgan



P_1 umumlashgan kuch ta'sirida bo'lgan bir oraliqli balkani qaraymiz (75, b-rasm).

Kuchning noldan oxirgi doimiy $P_1 = const$ qiymatiga asta-sekin oshirilganda uning qo'yilgan nuqtasi kuch bilan birgalikda 1-nuqtadan 1'-nuqtaga ko'chadi, va mos ko'chishning yakuniy qiymati 1-1' bo'lak bilan aniqlanadi. So'ngra, deformatsiya holatida bo'lgan balkaning biror nuqtasiga boshqa P_2 umumlashgan kuchni statik qo'yamiz, uning ta'siridan $P_1 = const$ kuchi qo'yilgan nuqta (1' nuqtasi) 1'' nuqtaga Δ_{12} qiymatga ko'chadi, Δ_{12} qo'shimcha ko'chish R_2 kuchining yakuniy qiymatiga mos keladi.

$P_1 = const$ kuchi va uning ta'siri yo'nalishidagi Δ_{12} ko'chish orasidagi bog'lanish 71, v-rasmda ko'rsatilgan diagramma bilan ifodalanadi. $P_1 = const$ kuchining R_2 kuchi ta'siridan ko'chishida mumkin bo'lgan ishi OAVS to'g'ri to'rtburchakning yuziga teng (75, v-rasm): $A = OA \cdot AB$ yoki $A = P_1 \cdot \Delta_{12}$.

Elastik sistemaga n kuchlar ta'siridan tashqi kuchlarning mumkin bo'lgan ishini, umumiy holda quyidagi ifoda bilan ko'rsatish mumkin:

$$A = \sum_{i=1}^n P_i \cdot Z_i \quad (28)$$

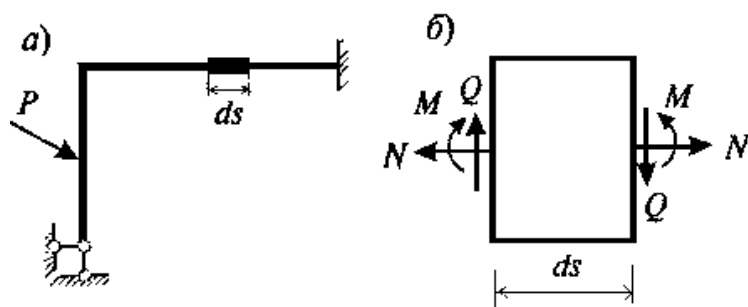
bu yerda $P_i R_i$ -umumlashgan kuch; $Z_i - P_i$ kuchi kuchi qo'yilgan nuqtaning uning yo'nalishi bo'yicha, boshqa kuchlar ta'siridan paydo bo'lgan umumlashgan ko'chishi.

Yuqoridagilarga o'xshash **ichki kuchlarning mumkin bo'lgan ishi** tushunchasi kiritiladi:

$$A_{uq} = - \sum_{l=1}^m S_l \cdot e_l \quad (29)$$

bu yerda S_l -umumlashgan ichki zo'riqish; e_l -mos umumlashgan deformatsiya. (29) dagi «manfiy» ishorasi, sistema yuklanganda ichki kuchlarning ishi doimo teskari ishorali bo'lishini ko'rsatadi.

Endi, mumkin bo'lgan ishlar va mumkin bo'lgan ko'chishlar haqidagi umumiy tushunchalar kiritilgandan so'ng, Lagranj tomonidan asoslangan va



76-rasm

mumkin bo'lgan ko'chishlar

prinsipi deb nomlangan, mexanikaning asosiy qonunlaridan biri shunday ko'rinishda tuzilishi mumkin: qo'yilgan kuchlar ta'siridan muvozanatda bo'lgan har qanday deformatsiyalanuvchi

sistemalar uchun, tashqi va ichki kuchlarni sistema nuqtalarining xohlagan mumkin bo'lgan ko'chishlarida ishlari yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak.

Bu prinsipni muvozanatda bo'lgan xohlagan mutlaq bikir jismga, qayishqoq yoki plastik va hokazo sistemalariga qo'llanilishi mumkin. Materiali Guk qonuniga bo'ysunuvchi elastik sistemalariga bu prinsipni qo'llaganda, ishqalanishni yengishga, issiqlik hosil bo'lishi va ajralishiga va x.k.z. sarflangan ish unchalik ahamiyatli emas va u hisobga olinmaydi.

Qurilish mexanikasining ko'p masalalari uchun sistemalarning potensial energiyasini ichki kuchlarning ishlari orqali aniqlash qulayroq.

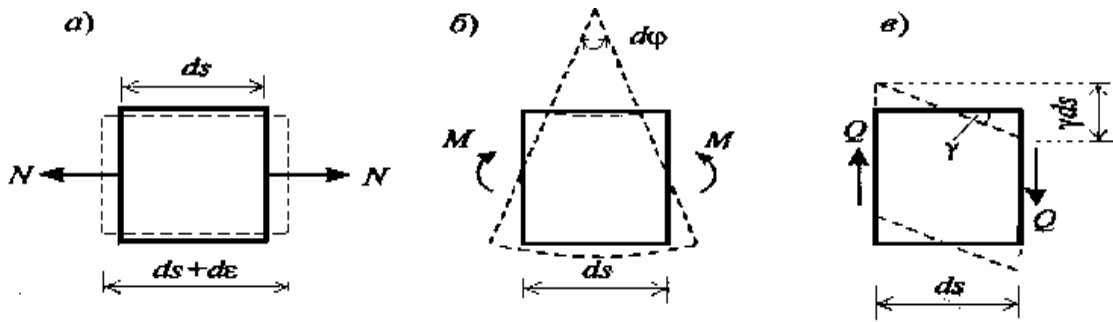
Masalan, elastik ramadan uzunligi ds bo'lgan Cheksiz kichik elementni kesib olamiz (76, a-rasm).

Unda uning yon kesimlariga ta'sir qiluvchi ichki zo'riqishlar M , Q , N ni (76, b-rasm) ramaning tashlab yuborilgan chap va o'ng qismlarining ta'siridan tashqi kuchlar sifatida qarash mumkin.

76, a...b-rasmlarda har bir ichki zo'riqish ta'siridan element deformatsiyalari ko'rsatilgan.

Har bir kuch faqat o'zlarining deformatsiyalarida ishlaganligi sababli, elementar ishni har bir omil ta'siridan alohida hisoblash mumkin. Bu kuchlarning ishi statik bo'ladi, ya'ni $1/2$ koeffitsienti bilan olinadi.

Ajratilgan ds elementiga N bo'ylama kuchi, M eguvchi momenti va Q



77-rasm

ko'ndalang kuchlarining bir vaqtdagi ta'siridan (77, b-rasmga va 77, a...v-rasmlarga qarang) to'liq elementar ish elementar ishlarning algebraik yig'indisi kabi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$dw = dw_N + dw_M + dw_Q = -\frac{Nd\varepsilon}{2} - \frac{Md\varphi}{2} - \frac{Q\gamma ds}{2}, \quad (30)$$

bu yerda $d\varepsilon$, $d\varphi$ va γds –materiallar qarshiligi kursining ma'lum formulalari bo'yicha aniqlanuvchi va 77, a...v-rasmlarida ko'rsatilgan cho'zilish-siqilish, egilish va siljish deformatsiyalari:

$$d\varepsilon = \frac{Nds}{EA}; d\varphi = \frac{Mds}{EJ}; \gamma ds = \frac{\mu Qds}{GA}. \quad (31)$$

(30) ni (31) ga qo'yib, olingan ifodani har bir sterjen uzunligi bo'yicha integrallab va berilgan Yassi sterjenli sistemalarning hamma sterjenlari bo'yicha qo'shib, statik qo'yilgan tashqi yuklar ta'siridan ichki zo'riqishlar M , Q , N ning ko'chishlaridagi haqiqiy ishini hisoblash formulasini olamiz:

$$W = - \left(\sum \int \frac{M^2 ds}{2EJ} + \sum \int \mu \frac{Q^2 ds}{2GA} + \sum \int \frac{N^2 ds}{2EA} \right). \quad (32)$$

bu yerda μ - ko'ndalang kesim balandligi bo'yicha urinma kuchlanishlarni notekis taqsimlanishini hisobga oluvchi va kesim shakliga bog'liq bo'lgan, o'lchamsiz koeffitsient.

Aytilganlarga o'xshash, sistemalar yuklanishlarini ikki holatini qarab, ichki kuchlarning boshqa kuchlar ta'siridan ko'chishlari va deformatsiyalarida, mumkin bo'lgan ishlarini hisoblash formulasini olish mumkin:

bu yerda M_a , Q_a , N_a -ish bajaruvchi ichki kuchlar; M_i , Q_i , N_i -ko'chishlar

$$A_{uy} = - \left(\sum \int \frac{M_a M_i ds}{EJ} + \sum \int \mu \frac{Q_a Q_i ds}{GA} + \sum \int \frac{N_a N_i ds}{EA} \right), \quad (33)$$

va deformatsiyalar hosil qiluvchi ichki kuchlar.

Asosan egilishga ishlaydigan sistemalar (balkalar, ramalar) uchun ikkinchi va uchinchi hadlarni hisobga olmasa ham bo'ladi. U holda:

$$A_{uy} = - \sum \int \frac{M_a M_i ds}{EJ}. \quad (34)$$

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan: tashqi kuchlarning haqiqiy ishi v va ichki kuchlarning teskari ishora bilan olingan haqiqiy ishi w ga teng, $V+W=0$.

Tashqi kuchlarning ularning ko'chishlarida bajargan ishi elastik sistemaning **potensial energiyasiga tengligi** sababli, musbat ishora bilan olingan (32) ifoda ham sterjenli sistemalar deformatsiyasining potensial energiyasi bo'ladi va U orqali belgilanadi:

$$U=V=-W = \sum \int \frac{M^2 ds}{2EJ} + \sum \int \mu \frac{Q^2 ds}{2GA} + \sum \int \frac{N^2 ds}{2EA} \quad (35)$$

4.5-§. Potensial energiyaning asosiy xususiyatlari

1. Potensial energiya - har doim musbat qiymatli bo'ladi, chunki (35) ifodada M, Q, N ichki zo'riqlar ikkinchi darajali.

2. Potensial energiya zo'riqlar hamda ko'chishlarning kvadratlari funksiyasidir, ko'chishlar zo'riqlarga proporsionalliligi tufayli kuchlar ta'sirining superpozitsiya prinsipiga bo'ysunmaydi, ya'ni kuchlar guruhidan potensial energiya har bir kuchdan alohida-alohida potensial energiyalarining yig'indisiga teng emas.

3. Potensial energiyaning qiymati, M, Q, N zo'riqlari bilan aniqlanadigan (M, Q, N epyuralari bilan) sistemaning faqat boshlang'ich va oxirgi holatiga bog'liq, yuklanish ketma-ketligiga bog'liq bo'lmaydi.

(35) ifoda uchala hadidan har biri potensial energiyaning qiymatiga turlicha hissa qo'shadi. Shuningdek, asosan egilishga ishlaydigan sistemalar (balkalar, ramalar) uchun Q va N lar bo'lgan hadlarini hisobga olmasa ham bo'ladi:

$$U=V=-W = \sum \int \frac{M^2 ds}{2EJ} \quad (36)$$

Fermalar uchun potensial energiya quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$U=V=-W=\sum \int \frac{N^2 ds}{2EA} = \sum \frac{N^2 l}{2EA} \quad (37)$$

Qo'shilgan (qurilma) sistemalar uchun

$$U=V=-W=\sum \int \frac{M^2 ds}{2EJ} + \sum \int \frac{N^2 ds}{2EA} \quad (38)$$

Agar sistema elastik moyil tayanchlarga ega bo'lsa, u holda deformatsiyaning potensial energiyasi umumiy holda quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$U=V=-W=\sum \int \frac{M^2 ds}{2EJ} + \sum \int \mu \frac{Q^2 ds}{2GA} + \sum \int \frac{N^2 ds}{2EA} + \sum_{i=1}^n \frac{R_{ip}^2}{2r_i}, \quad (39)$$

bu yerda r_i - i -tayanchni birlik uzunlikka siljitish uchun shu tayanchga qo'yish zarur bo'lgan, son qiymati umumlashgan kuchga teng bo'lgan i -tayanch prujinasining bikirlik koeffitsienti; R_{ip} - yuk ta'siridan i -elastik moyil tayanchda hosil bo'ladigan reaksiya.

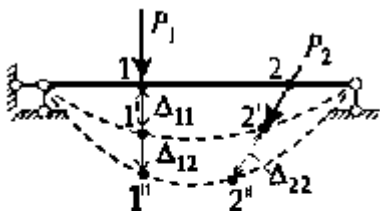
Jamlash sistemaning barcha elastik moyil tayanchlari bo'yicha bajariladi.

Chiziqli deformatsiyalanuvchi sistemalar nazariyasida eng ajoyib teoremlardan biri ishlarning o'zaroligi haqidagi B e t t i t e o r e m a s i hisoblanadi, u shunday ifodalanadi: 1-holatdagi umumlashgan kuchlarning ular qo'yilgan nuqtasini 2-holatdan olingan ko'chishlarida mumkin bo'lgan ishi, 2-holatdagi umumlashgan kuchlarning ular qo'yilgan nuqtasini 1-holatdan olingan ko'chishlarida mumkin bo'lgan ishga teng.

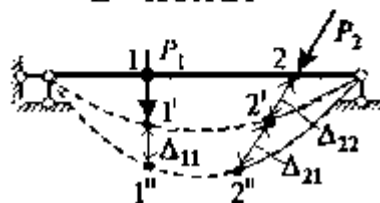
Agar bir oraliqli balkaning 1- va 2-nuqtalariga R_1 va R_2 umumlashgan kuchlarni ketma-ket yuklanishlarining ikki varianti qaralsa, keltirilgan teoremaning to'g'riligiga ishonch hosil qilish mumkin. Balkaning 1-nuqtasiga avval statik oshuvchi umumlashgan R_1 kuchini qo'yamiz (78, a- rasm, 1- holat). Bu kuch ta'siridan balka egiladi, kuch qo'yilgan 1 nuqta R_1 kuchi ta'siri yo'nalishi bo'yicha 1' nuqta Δ_{11} qiymatga ko'chadi, bunda R_1 kuchi o'zining Δ_{11} ko'chishida $V_{11}=R_1 \cdot \Delta_{11}/2$ haqiqiy ish bajaradi.

So'ngra, egilgan balkaning 2' nuqtasiga ikkinchi umumlashgan R_2 kuchini statik qo'yamiz, o'zining oxirgi qiymatiga erishgan R_1 kuchi esa joyida qoladi. R_2

a) 1 holat



b) 2 holat



78- rasm

kuchi ta'siridan uning qo'yilgan 2' nuqtasi R_2 kuchi yo'nalishida 2'' nuqtasi Δ_{22} qiymatga ko'chadi va R_2 haqiqiy ish $V_{22} = R_{22} \cdot \Delta_{22} / 2$ bajaradi. R_2 kuchi bilan bir vaqtda R_1 kuchi ham R_2 kuchi ta'siridan (1' nuqta 1'' nuqtaga ko'chadi) hosil bo'lgan qo'shimcha Δ_{12} ko'chishida mumkin bo'lgan ish bajaradi: $A_{12} = R_1 \cdot \Delta_{12}$.

Yuklanishning tanlangan ketma-ketligida 1-holatdagi R_1 va R_2 kuchlar ishlarining yig'indisi, bu kuchlar alohida ishlarining yig'indisiga teng:

$$V_{11} + V_{22} + A_{12} = R_1 \Delta_{11} / 2 + R_2 \Delta_{22} / 2 + R_1 \Delta_{12}.$$

Yuklanishning ikkinchi variantida, dastlab 2-nuqtaga qo'yilgan umumlashgan R_2 kuchi, so'ngra deformatsiyalangan balkaning 1' nuqtasiga umumlashgan R_1 kuchi ta'sir qilishni boshlaydi deb hisoblaymiz (74, b-rasmga qarang, 2-holat). Yuqorida keltirilgan mulohazalarni qaytarib, R_1 va R_2 tashqi kuchlar to'liq ishi uchun ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$V_{22} + V_{11} + A_{21} = R_2 \Delta_{22} / 2 + R_1 \Delta_{11} / 2 + R_2 \Delta_{21}.$$

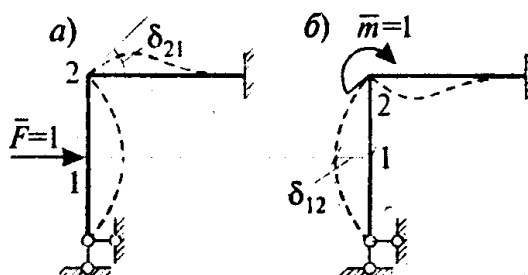
Har bir ikkala holatlardagi tashqi kuchlarning jami bajargan ishi potensial energiyaga teng. Ma'lumki, potensial energiya elastik sistemani yuklash tartibiga bog'liq emas, faqat uning boshlang'ich va oxirgi holatlari bo'yicha aniqlanadi. Keltirilgan holatlarda boshlang'ich va oxirgi holatlari bir xil. Shunday qilib, 1-holat va 2-holatning to'liq ishlari o'zaro teng:

$$V_{11} + V_{22} + A_{12} = V_{22} + V_{11} + A_{21}$$

$$\text{bundan} \quad A_{12} = A_{21} \text{ yoki } R_1 \Delta_{12} = R_2 \Delta_{21}. \quad (40)$$

Ishlarning o'zaroligi haqidagi teorema ichki kuchlarning mumkin bo'lgan ishlari uchun ham to'g'ri bo'ladi.

Ishlarning o‘zaroligi haqidagi teoremdan katta amaliy ahamiyatga ega bo‘lgan qator xususiy teoremlar kelib chiqadi.



79-rasm

Xuddi shunday, oxirgi (40) ifodaga $R_1=R_2=1$ ni qo‘yib, uchburchakni δ bilan almashtirib, $\delta_{12} = \delta_{21}$ ni olamiz yoki umumiy holda:

$$\delta_{ik} = \delta_{ki} \quad (41)$$

(41) nisbat umumlashgan birlik ko‘chishlarning o‘zaroligi haqida Maksvell teoremasini ifodalaydi: *i-umumlashgan birlik kuchi qo‘yilgan nuqtani shu yo‘nalishdagi k-umumlashgan birlik kuchi ta’siridan paydo bo‘lgan ko‘chishi, k-umumlashgan birlik kuchi qo‘yilgan nuqtani uning yo‘nalishi bo‘yicha i-umumlashgan birlik kuchi ta’siridan paydo bo‘lgan ko‘chishiga teng.*

Ko‘chishlar o‘lchami quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

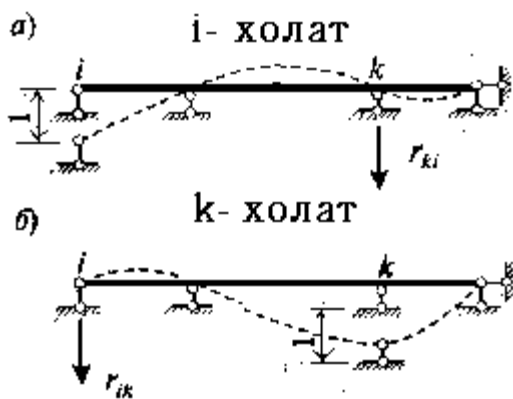
$$[\delta_{ik}] = \frac{(\text{umumlashgan ko'chish o'lchami})}{(\text{umumlashgan kuchlarni chaqiruvchi o'lcham})} \quad (42)$$

Rama misolida birlik ko‘chishlarning o‘zaroligi haqidagi teoremaning qo‘llanilishi va bajarilishini ko‘rsatamiz. Ramaning 1-nuqtasiga gorizontaal yo‘nalishda butun ramada deformatsiya xususan, 2-tugunda δ_{21} burchakli ko‘chish (o‘lchamsiz-1) hosil qiluvchi to‘plangan kuch $\bar{F}=1$ qo‘yamiz (79, a-rasm). Umumlashgan δ_{12} ko‘chishini topish uchun (ushbu holatda u chiziqli ko‘chish bo‘ladi) 2-tugunga to‘plangan moment $m=1$ ni qo‘yish kerak va 1-nuqtaning ko‘chishini $\bar{F}=1$ kuchining ta’sir yo‘nalishida hisoblash kerak (79, b-rasm). Maksvell teoremasiga binoan δ_{12} va δ_{21} lar orasida (42)-shart bajarilishi kerak,

ya'ni $\delta_{12} = \delta_{21}$. Bu ko'chishlarning o'lchanishlarini (42) formula bo'yicha tekshiramiz:

$$[\delta_{12}] = \frac{\text{улучшение}}{H} = \frac{1}{H}; \quad [\delta_{21}] = \frac{M}{H \cdot M} = \frac{1}{H}.$$

Shunday qilib, ikkala ko'chishlar ham bir hil o'lchanishlarga ega.



80- rasm

Endi, i-holatda i-bog'lanishi birlik ko'chishiga (80, a-rasm) *k-holatda* esa, *k-bog'lanishi* birlik ko'chishiga (80, b-rasm) baho beruvchi elastik sistemaning ikki *holatini* qaraymiz. Berilgan birlik kinematik ta'sirlardan barcha bog'lanishlarda birlik reaksiyalar paydo bo'ladi.

(80, a, b-rasm)lardagi har bir holatda, faqat ularning yo'nalishida boshqa *holatda* ko'chishlar bo'lgan reaksiyalar ko'rsatilgan. Qolgan reaksiyalar yo'nalishlari bo'yicha ko'chishlar yo'qligi sababli, ularning ishlari nolga teng.

Ikkala holatga ishlarning o'zaroligi haqidagi Betti teoremasini qo'llab, $r_{ki} \cdot 1 = r_{ik} \cdot 1$ ni olamiz, yoki

$$r_{ki} = r_{ik} \quad (43)$$

(43) tenglik, birlik ko'chishlarning o'zaroligi haqidagi Releyning birinchi teoremasi nomini oladi va u shunday ifodalanadi: *k-bog'lanishining birlik ko'chishidan hosil bo'lgan i-bog'lanishining reaksiyasi, i-bog'lanishining birlik ko'chish ta'siridan hosil bo'lgan k-bog'lanish reaksiyasiga teng*. Bu yerda reaksiyalar umumlashgan kuchlar mazmuniga ega.

Sistemalarning ikki holatini solishtirishda ishlarning o'zaroligi haqidagi teoremlarning yana bir xususiy holini ko'ramiz.

Aytaylik, *i-holatda* umumlashgan $R_i=1$ kuchi ta'siridan *k-bog'lanishda* r'_{ki} birlik reaksiyasini hosil qilsin (81, a-rasm), *k-holatda* esa $R_k=1$ umumlashgan

kuchi qo'yilgan nuqtada r_{ki} ko'chishini hosil qiluvchi k -bog'lanishning birlik siljishi berilgan bo'lsin (81, b-rasm).

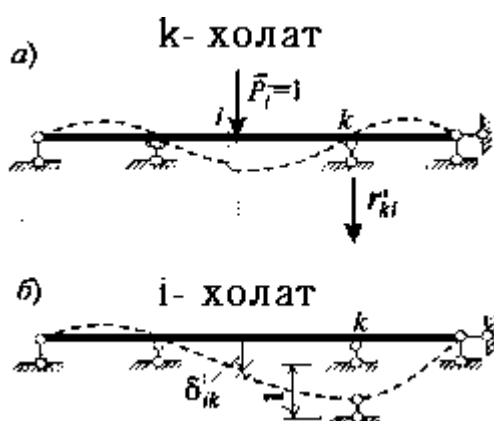
Bu ikkala holatni o'zaro deformatsiyasidan Betti teoremasiga asosan olamiz:

$$1 \cdot \delta'_{ik} + r'_{ki} \cdot 1 = 0 \text{ bu yerdan}$$

$$\delta'_{ik} = -r'_{ki} \quad (44)$$

k - holatning kuchlari (ular 81, b-rasmda ko'rsatilmagan) ish bajarmaydi, chunki ular ta'siri yo'nalishi bo'yicha i -holatda ko'chishlar yo'q.

(44) tenglik, birlik reaksiya va birlik ko'chishning o'zaroligi haqidagi **ikkinchi Reley teoremasi** bo'ladi: *i -birlik kuchi qo'yilgan nuqtasini uning yo'nalishi bo'yicha k -bog'lanishning birlik ko'chishidan hosil bo'lgan ko'chishi, i -birlik kuchidan hosil bo'lgan k -bog'lanishdagi qiymati bo'yicha va ishorasi bo'yicha teskari reaksiyasiga teng.*



81-rasm

Oldin qabul qilingan belgilashlardan δ'_{ik} ning farqi shuki, bunda shtrix belgisi bo'lib, bu ko'chish birlik kuchdan emas, balki birlik umumlashgan ko'chishdan hosil bo'lgan ko'chishligini bildiradi.

r'_{ki} dagi shtrix esa, bu reaksiya birlik ko'chishdan emas, balki birlik umumlashgan kuchdan hosil bo'lgan reaksiyaligini bildiradi.

(43)...(44) ifodalarga kiruvchi integrallarning hisoblarini bevosita analitik shaklda bajarish mumkin. Biroq, bikirligi doimiy to'g'ri chiziqli elementlardan tuzilgan sistemalar uchun $\int_a^b M_i M_k dx$ ko'rinishdagi integrallarni Vereshchagin qoidasi bo'yicha hisoblash (epyuralarni ko'paytirish usuli) quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{1}{EJ} \int_a^b M_i M_k dx = \frac{\Omega \cdot y_{0.M}}{EJ}. \quad (45)$$

Topiladigan integral eguvchi momentlarning egri chiziqli epyuralari maydoni Ω ni shu egri chiziqli epyura og'irlik markaziga mos kelgan (hech qachon teskarisi emas), shu bo'lakning bikirligi EJ ga bo'lingan to'g'ri chiziqli moment epyurasi ordinatasi $y_{0.M}$ ga ko'paytmasiga teng.

Xususiyl holda, agar ikkala M_i va M_k epyuralar to'g'ri chiziqli bo'lsa, ixtiyoriy birining maydoni ikkinchisining mos ordinatasiga ko'paytirilishi mumkin.

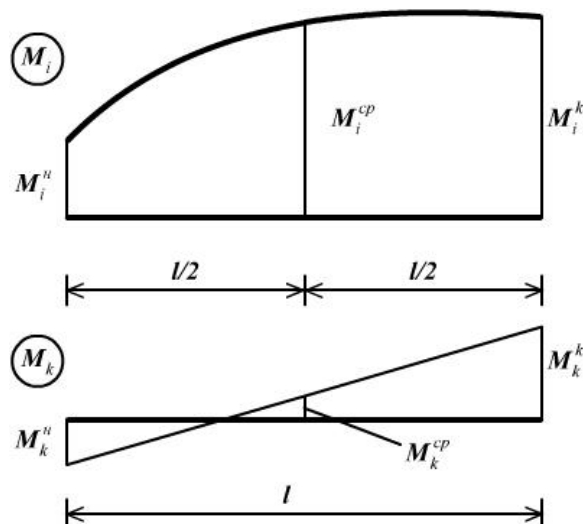
Ikkita egri chiziqli epyurani Vereshchagin qoidasi bo'yicha ko'paytirish mumkin emas. M_i va M_k epyuralarning murakkab ko'rinishlarida, agar ularning biri (yoki ikkalasi ham) siniq to'g'ri chiziqlar bilan chegaralangan bo'lsa, ularni shunday bo'laklarga ajratiladiki, hech bo'lmasa ulardan biri shu bo'lak chegarasida to'g'ri chiziqli bo'lsin.

Agar M_i va M_k epyuralar sterjen o'qidan bir tomonda joylashsa ularning ko'paytmasi musbat, agar turli tomonlarda bo'lsa, manfiy ishorali bo'ladi.

Vereshchagin qoidasidan tashqari, topiladigan integral Simpsonning sonli integrallash formulasi bo'yicha hisoblanishi mumkin:

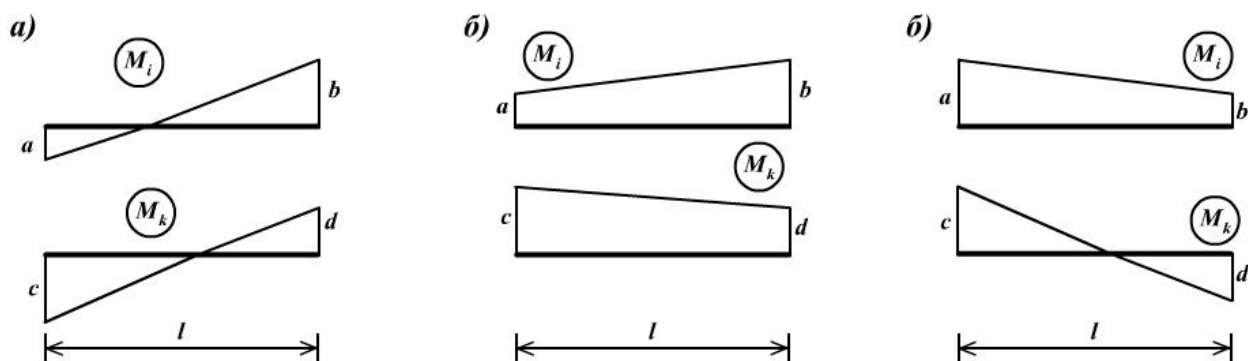
$$\int \frac{M_i M_k}{EJ} dx = \frac{l}{6EJ} (M_i^B M_k^B + 4M_i^{yp} M_k^{yp} + M_i^{ox} M_k^{ox}), \quad (46)$$

bu yerda B , $o'r$ va ox ko'rsatkichlar mos holda, integrallash bo'laklarining boshlanishi, o'rtasi va oxirini belgilaydi (82-rasm). Kvadrat parabola bo'yicha chizilgan egri chiziqli epyuralarda (46) formulasi bo'yicha integralning hisobi aniq natija beradi.



82-rasm

Oddiy epyuralar uchun Simpson formulasi bo'yicha hisoblash unchalik qulay emas, murakkabroq sistemalar uchun esa Vereshchagin qoidasiga nisbatan



83-rasm

afzalligi bor.

«Buralgan» va odatdagi trapetsiyalar shaklidagi (83, a...v-rasmlar) momentlar epyurasini quyidagi formula bo'yicha ko'paytirish qulay bo'ladi:

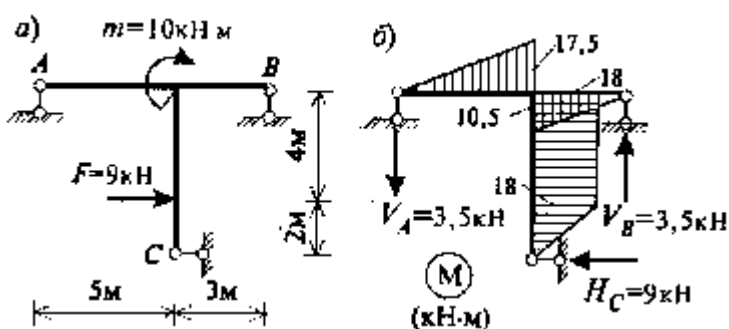
$$\int \frac{M_i M_k}{EJ} dx = \frac{l}{6EJ} (2ac + 2vd + ad + vs). \quad (47)$$

(46) va (47) formulalarda sterjenlarning bir tomoniga qo'yilgan moment epyuralarining ordinatalarini ko'paytmasi «musbat», turli tomonlariga qo'yilganlari esa «manfiy» ishorali olinadi.

Agar sterjenlar ko'ndalang kesim yuzalari, moment inersiyalari yoki ularning nisbatlari berilmagan bo'lsa, u holda ularni A va J ga teng doimiy deb qabul qilamiz.

16-misol. Oddiy rama potentsial energiyasi hisoblansin (84, a-rasm).

Sterjenlarning bikirliklari berilmaganligi sababli, ularni EJ ga teng va



84-rasm

doimiy deb hisoblaymiz. Momentlar epyurasi 84, b-rasmda ko'rsatilgan.

Potentsial energiyani (47) formula bo'yicha, ichki kuchlarning ishlari orqali Vereshchagin qoidasidan foydalanib, hisoblaymiz:

$$U = \Sigma \int \frac{M^2 dx}{2EJ} = \frac{1}{2EJ} \left(\frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 17,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 17,5 + \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 10,5 + 4 \cdot 18 \cdot 18 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 18 \cdot \frac{2}{3} \cdot 18 \right) = \frac{1066,333}{EJ} (\kappa \text{Дж}).$$

Javob: $U=1066,333/EJ$ ($\kappa \text{Дж}$).

17-misol. 85-rasmda ko'rsatilgan quyma temir beton rama uchun, barcha ichki zo'riqlashlarni ta'sirini hisobga olib va har birini qo'shgan hissasini baholab, potensial energiyasi hisoblansin.

Bunda, $E=3 \cdot 10^7$ kPa, $G=0,43E=1,29 \cdot 10^7$ kPa, $A=vh=0,4 \cdot 0,6=0,24(\text{m}^2)$, $\mu=1,2$ (to'g'ri to'rtburchakli kesim uchun).

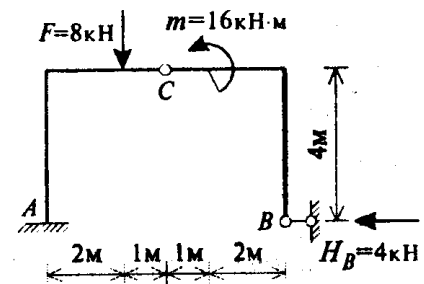
Barcha sterjenlar kesimlari doimiy deb hisoblanadi.

$$J = bh^3/12 = 0,4 \cdot 0,6^3/12 = 7,2 \cdot 10^{-3} (\text{m}^4);$$

$$EJ = 3 \cdot 10^7 \cdot 7,2 \cdot 10^{-3} = 2,16 \cdot 10^5 \text{ kH} \cdot \text{m}^2;$$

$$GA = 1,29 \cdot 10^7 \cdot 0,24 = 30,96 \cdot 10^5 \text{ kH};$$

$$EA = 3 \cdot 10^7 \cdot 0,24 = 72 \cdot 10^5 \text{ kH}.$$



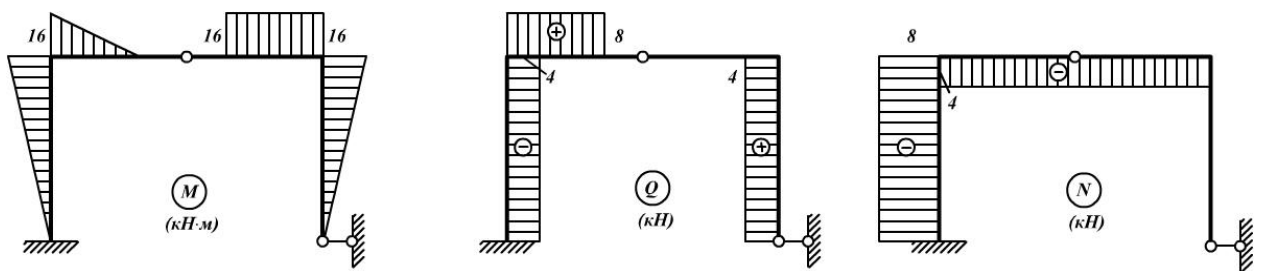
85-rasm

Berilgan yuklardan M , Q , N epyuralari 86, a...v- rasmlarda keltirilgan.

Egilish deformatsiyasidan potensial energiyaning hissasi:

Siljish deformatsiyasidan potensial energiyaning hissani:

$$U_Q = \Sigma \int \mu \frac{Q^2 dx}{2GA} = \frac{1,2}{2 \cdot 30,96 \cdot 10^5} (4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 2 + 8 \cdot 2 \cdot 8) = 4,96 \cdot 10^{-5} \kappa \partial \text{Дж} = 0,0244 (\partial \text{Дж})$$



86-rasm

Sistemaning to'liq potensial energiyasi:

$$U = U_m + U_q + U_N = 3,1605 + 0,0496 + 0,0244 = 3,2345 (\partial \text{Дж})$$

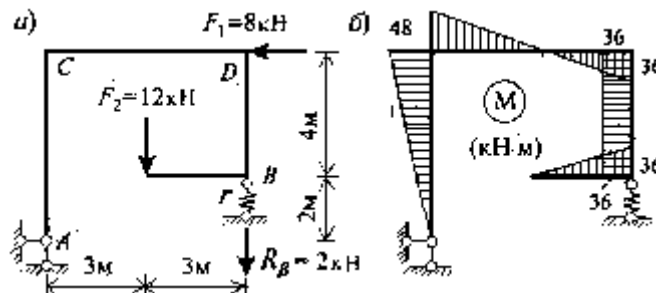
$$\text{Egilish deformatsiyasi hisobiga: } \frac{3,1605}{3,2345} \cdot 100\% = 97,71\%,$$

Siljish deformatsiyasi hisobiga: $\frac{0,0496}{3,2345} \cdot 100\% = 1,53\%$,

Bo'ylama deformatsiyasi hisobiga: $\frac{0,0244}{3,2345} \cdot 100\% = 0,76\%$

Jami: $U=100\%$.

18-misol. Elastik moyil tayanchi bo'lgan oddiy ramaning potensial energiyasi hisoblansin (87, a-rasm).



87-rasm

Masalada sterjenlarning egilishdagi bikirligi EJ ko'rsatilmaganligi sababli, ularni doimiy deb hisoblaymiz.

Prujining bikirlik koeffitsienti berilgan va r ga teng deb hisoblanadi. 87, b-rasmda tashqi berilgan yuklar ta'siridan momentlar epyurasi tasvirlangan.

Ko'ndalang va bo'ylama kuchlarning ta'sirini e'tiborga olmay, potensial energiyani tayanchning elastik moyilligini hisobga olib (46) formulasi bo'yicha aniqlaymiz:

$$U = \Sigma \int \frac{M^2 dx}{2EJ} + \frac{R_B^2}{2 \cdot r} = \frac{1}{2EJ} \left[\frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 48 \cdot \frac{2}{3} \cdot 48 + \frac{6}{6} (2 \cdot 48 \cdot 48 + 2 \cdot 36 \cdot 36 - 48 \cdot 36 - 48 \cdot 36) + 4 \cdot 36 \cdot 36 + \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 36 \cdot \frac{2}{3} \cdot 36 \right] + \frac{2^2}{2r} = \frac{7416}{EJ} + \frac{2}{r} \text{ кДж.}$$

SD sterjenida momentlar epyurasini ko'paytirish (43) formulasi bo'yicha bajarildi.

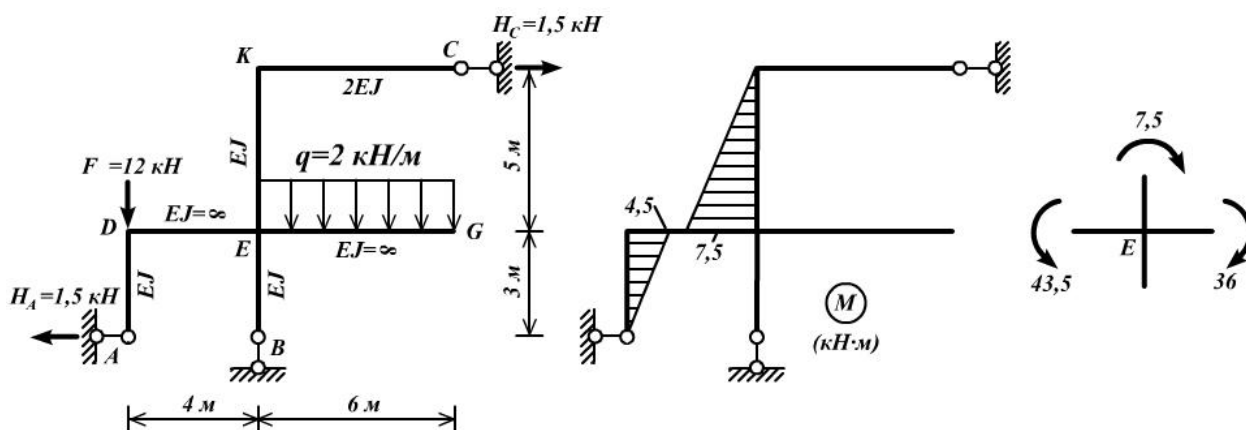
Javob: $U = 7416/EJ + 2/r \text{ кДж.}$

19-misol. 88, a-rasmda tasvirlangan sistemaning potensial energiyasi hisoblansin.

Ma'lumki, bikirligi cheksiz bo'lgan DE va EG sterjenlarda ichki zo'riqishlar M , Q , N paydo bo'lmaydi va ularga epyuralar ko'rsatilmaydi.

Agar shunday sterjenlarda zo'riqishlar bo'lgan taqdirda ham potentsial energiya formulasiga kiruvchi hadlarni cheksizlikka intiluvchi ifodalarga bo'linmasidan, nol qiymati olingan bo'lardi.

Yuqorida aytilganlarni hisobga olib, 88, b-rasmda momentlar epyurasi, 88, v-rasmda esa E tugunining muvozanati ko'rsatilgan, bu yerda gorizontal sterjenlarda tashqi kuchlardan $43,5 \text{ kN}\cdot\text{m}$ va $36 \text{ kN}\cdot\text{m}$ momentlari ko'rsatilgan.

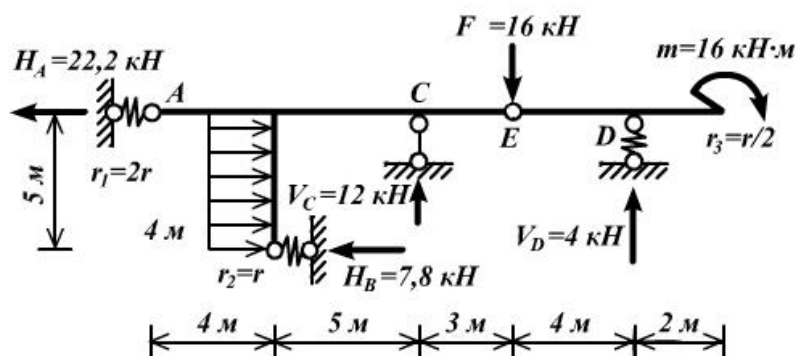


88-rasm

$$U = \sum \int \frac{M^2 dx}{2EJ} = \frac{1}{2EJ} \left(\frac{1}{2} \cdot 4,5 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 4,5 + \frac{1}{2} \cdot 7,5 \cdot 5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 7,5 \right) = \frac{57}{EJ} (\kappa\mathcal{D}\mathcal{J}\mathcal{C}).$$

Javob: $U = 57/EJ (\kappa\mathcal{D}\mathcal{J}\mathcal{C}).$

20-misol. Barcha sterjenlari uchun $EJ=\infty$ bo'lgan, 89-rasmda tasvirlangan sistemaning potentsial energiyasi hisoblansin.



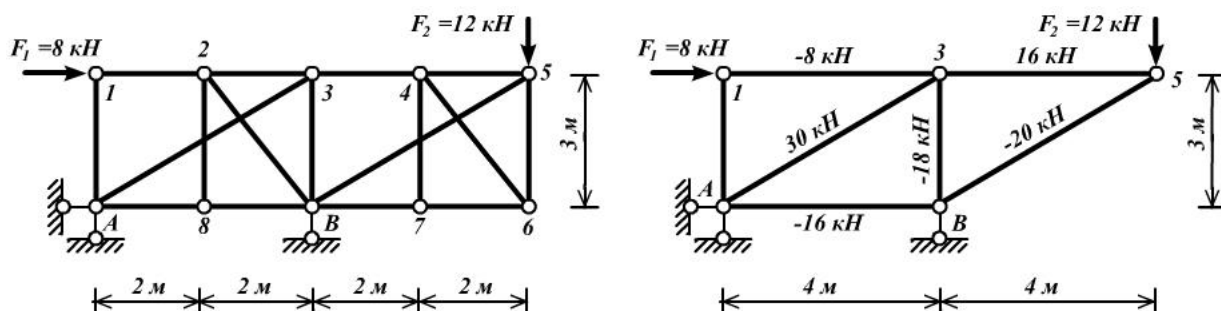
89-rasm

Sistemada ichki zo'riqishlar hosil bo'lmaganligi sababli, potentsial energiyani quyidagi formula bo'yicha hisoblaymiz.

$$U = \sum_{i=1}^3 \frac{r_{ip}^2}{2r_i} = \frac{H_A^2}{2r_1} + \frac{H_B^2}{2r_2} + \frac{V_D^2}{2r_1} = \frac{22,2^2}{2 \cdot 2r} + \frac{7,8^2}{2r} + \frac{4^2}{2 \cdot \frac{r}{2}} = \frac{169,63}{r} \text{ (кДж)}.$$

Javob: $U=169,63 \text{ (кДж)}$.

21-misol. Fermaning potentsial energiyasi hisoblansin (90, a-rasm).



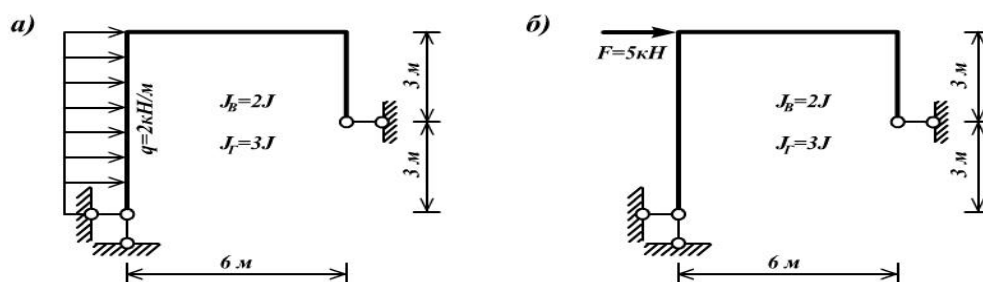
90-rasm

Tugunlar muvozanatining xususiy hollariga asosan nolinchii sterjenlarni olib tashlab, 90, b-rasmda keltirilgan fermaning hisoblash uchun soddalashtirilgan sxemasini olamiz. Shu rasmda tashqi yuklardan sterjenlarning topilgan zo'riqishlari ko'rsatilgan. Ferma uchun potentsial energiyani quyidagi formula bo'yicha hisoblaymiz:

$$U = \sum \int \frac{N^2 ds}{2EA} = \sum \frac{N^2 \cdot l}{2E \cdot A} = \frac{1}{2EA} (N_{1-3}^2 l_{1-3} + N_{3-5}^2 l_{3-5} + N_{A-B}^2 l_{A-B} + N_{A-3}^2 l_{A-3} + N_{B-5}^2 l_{B-5} + N_{B-3}^2 l_{B-3}) + \frac{1}{2EA} (64 \cdot 4 + 256 \cdot 4 + 256 \cdot 4 + 900 \cdot 5 + 400 \cdot 5 + 324 \cdot 3 = 4888/EA \text{ (кДж)}).$$

Javob: $U = 4888/EA \text{ (кДж)}$.

22-misol. 91, a-rasmda ko'rsatilgan sistemaning ichki kuchlarini,

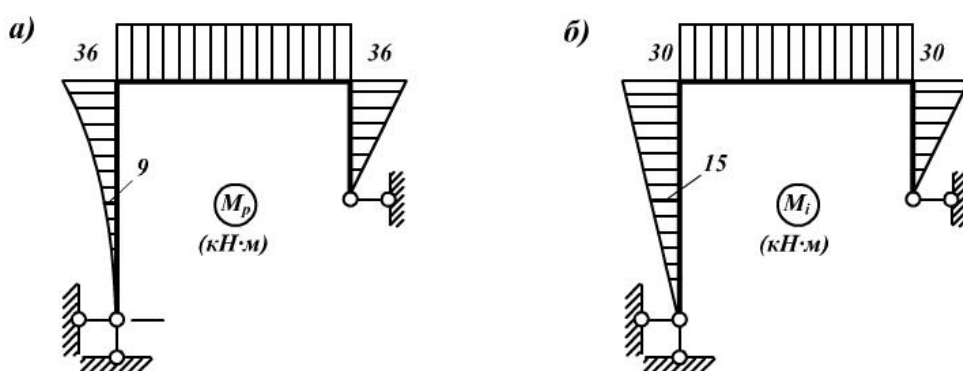


91-rasm

91, b-rasmda ko'rsatilgan sistemaga qo'yilgan yuklardan ko'chishlarida, bajargan mumkin bo'lgan ishi hisoblansin.

Asosan egilishga ishlovchi sistemalar uchun, ichki kuchlarning boshqa kuchlar ta'siridan ko'chishlarida mumkin bo'lgan ishini, (45) formulasi bo'yicha aniqlaymiz.

92-rasmda ikki holat - M_p (92, a-rasm) va M_i (92, b-rasm) uchun momentlar epyuralari keltirilgan.



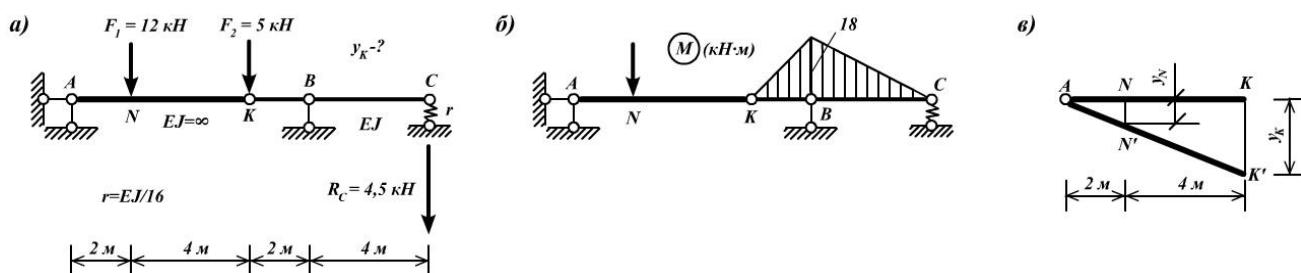
92-rasm

$$A_{VN} = -\Sigma \int \frac{M_p M_i dx}{EJ} = \frac{6}{6 \cdot 2EJ} (4 \cdot 9 \cdot 15 + 36 \cdot 30) - 36 \cdot 6 \cdot 30 \frac{1}{3EJ} - \frac{1}{2} \cdot 36 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 30 \frac{1}{2EJ} = -\frac{3510}{EJ} (\kappa \text{Джс}).$$

Javob: $A_{VN} = -3510/EJ (\kappa \text{Джс}).$

23-misol. Energiyaning saqlanish qonunidan foydalanib, K nuqtaning vertikal ko'chishi topilsin (93, a-rasm).

Tashqi yuklardan momentlar epyurasi 93, b-rasmda, elastik moyil S tayanchidagi reaksiya esa 93, a-rasmda ko'rsatilgan.



93-rasm

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan yozamiz: $V+W=0$, bu erda

$$V = \frac{1}{2} F_1 \cdot y_N + \frac{1}{2} F_2 \cdot y_K = \frac{1}{2} \cdot 12 \frac{y_K}{3} + \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot y_K \text{ (кДж).};$$

$$W = -\Sigma \int \frac{M^2 dx}{2EJ} - \frac{R_C^2}{2r} = -\frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 18 \frac{1}{2EJ} - \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 18 \frac{1}{2EJ} - \frac{4,5^2 \cdot 16}{2EJ} = -\frac{108}{EJ} - \frac{216}{EJ} - \frac{162}{EJ} = -\frac{486}{EJ} \text{ кДж.}$$

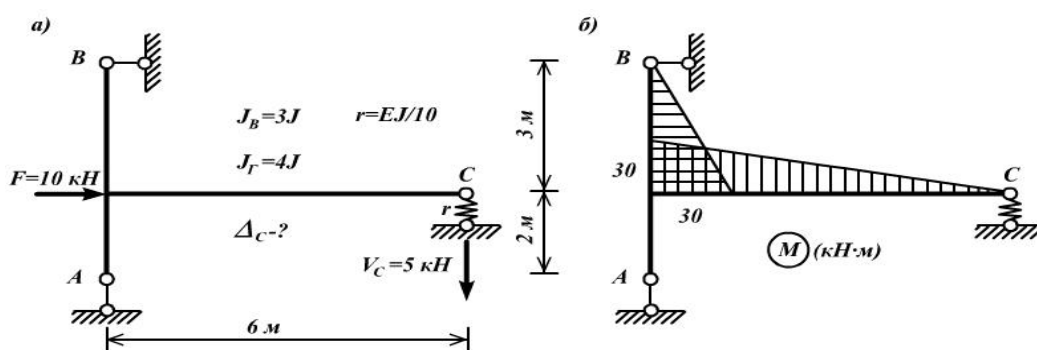
Bu yerda, ANN' va AKK' uchburchaklarning o'xshashligidan $y_N = y_K/3$ ifoda kelib chiqishi, hisobga olingan (93, v-rasm).

V va W ishlarning qiymatlarini yuqorida keltirilgan tenglikka qo'yib, olamiz:

$$4,5 \cdot y_K - \frac{486}{EJ} = 0 \text{ bu yerdan } y_K = \frac{108}{EJ} \text{ м.}$$

Javob: $y_K = \frac{108}{EJ} \text{ м.}$

24-misol. Energiyaning saqlanish qonunidan foydalanib, S sharnirining to'liq ko'chishi topilsin (94, a-rasm)



94-rasm

Berilgan yuklardan momentlar epyurasi 94, b-rasmda, 94, a-rasmda esa elastik moyil S tayanchining reaksiyasi ko'rsatilgan.

S sharnirining to'liq ko'chishi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta_c = \sqrt{x_c^2 + y_c^2},$$

bu yerda x_s, y_s - s sharnirining gorizontal va vertikal ko'chislari.

Prujina bikirlik koeffitsienti r ning fizik mazmunidan kelib chiqadi:

$$u_s = \frac{V_c}{r} = \frac{5 \cdot 10}{EJ} \text{ m}.$$

Energiyaning saqlanish qonunini $V+W=0$ qo'llab, x_c gorizonta ko'chishini topamiz:

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} F \cdot x_c = 5x_c \text{ (кДж)}. W = \Sigma \int \frac{M^2 dx}{2EJ} - \frac{V_c^2}{2r} = -\frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 30 \frac{1}{2 \cdot 3EJ} - \\ & - \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 6 \cdot \frac{2}{3} \cdot 30 \frac{1}{2 \cdot 4EJ} - \frac{5^2 \cdot 10}{2EJ} = -\frac{1}{EJ} (150 + 225 + 125) = -\frac{500}{EJ} \text{ (кДж)}. \\ 5 \cdot x_c - \frac{500}{EJ} &= 0, \text{ bu yerdan } x_c = \frac{100}{EJ} \text{ m}. \end{aligned}$$

x_c va u_s larning topilgan qiymatlarini to'liq ko'chish formulasiga qo'yib olamiz:

$$\Delta_c = \frac{\sqrt{100^2 + 50^2}}{EJ} = 111,8 / EJ \text{ (m)}.$$

$$\textbf{Javob: } x_c = \frac{100}{EJ} \text{ m}; \quad u_s = \frac{50}{EJ} \text{ m}; \quad \Delta_c = \frac{111,8}{EJ} \text{ m}.$$

Tayanch iboralar:

Ko'chish, birlik ko'chish, Mor formulasi, Vereshchagen usuli, epyura, epyura og'irlik markazi, absolyut deformatsiya, nisbiy deformatsiya, ko'chish birlik ko'chish, ko'chishni aniqlash formulalari.

Test savollari:

1. Ko'chish deb nimaga aytiladi?

inshootning deformatsiyasi natijasida uning koordinatalarining o'zgarishi

inshoot qismlarining boshlang'ich holatdan og'ishi inshootlarning shakl va o'lchamlarining o'zgarishi

inshootlarning mumkin bo'lgan deformatsiyasi

2. Deformatsiya deganda nimani tushuniladi?

tashqi kuch ta'sirida jismni shakli va o'lchamlarining o'zgarishi

jismni tashqi kuch ta'sirida yemirilishi

jism muvozanat holatining buzilishi

jism qarshilik ko'rsatish qobiliyatining o'zgarishi

3. Ko'chishlar qanday turlarga bo'linadi?

chiziqli va burchakli

birlik va oraliq

oddiy va qiya

doimiy va uzoq muddatli

4. Birlik kuchlar ta'sirida hosil bo'ladigan ko'chishlar qaysi harf bilan belgilanadi?

δ

σ

τ

Δ

5. Tashqi yuklar ta'sirida hosil bo'ladigan ko'chishlar qaysi harf bilan belgilanadi?

Δ

τ

δ

σ

6. Quyidagi $A = \frac{1}{2} P \Delta$ tenglik nimani ifodalaydi?

klaheyron teoremasini

beti teoremasini

maksvell teoremasini

mor teoremasini

7. Quyidagi $A_{ik} = P_i \Delta_{ik}$ formula yordamida nima aniqlanadi?

tashqi kuchlarning bajarishi mumkin bo'lgan ishi

tashqi kuchlarni bajargan ishi

ichki kuchlarni bajargan ishi

ichki kuchlarning bajarishi mumkin bo'lgan ishi

8. Quyidagi $A_{ik} = A_{ki}$ tenglik nimani ifodalaydi?

beti teoremasini

klaheyron teoremasini

mor teoremasini

maksvell teoremasini

9. Quyidagi $\Delta_{ik} = \Delta_{ki}$ tenglik nimani ifodalaydi?

maksvell teoremasini

mor teoremasini

beti teoremasini

klaheyron teoremasini

10. Betti teoremasi nima deb ataladi?

ishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi

tashqi kuchning bajargan ishi

ichki kuchlarning bajarishi mumkin bo'lgan ishi

ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi

11. Balka va ramalarda ko'chishlarni aniqlashda Mor integralining qaysi hadidan foydalaniladi?

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_p ds}{EI}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\mu \bar{Q}_i Q_p ds}{GF}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{N}_i N_p ds}{EF}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_p ds}{EI} + \sum \int_0^s \frac{\bar{N}_i N_p ds}{EF}$$

12. Fermalarda ko'chishlarni aniqlashda Mor integralining qaysi hadidan foydalaniladi?

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_p ds}{EI}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\mu \bar{Q}_i Q_p ds}{GF}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{N_i N_p ds}{EF}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_p ds}{EI} + \sum \int_0^s \frac{N_i N_p ds}{EF}$$

13. Mor integralidagi M_p nimani ifodalaydi?

tashqi kuchlardan hosil bo'lgan eguvchi momentni

birlik kuchlardan hosil bo'lgan eguvchi momentni

tashqi kuchlardan hosil bo'lgan ko'ndalang kuchni

birlik kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishni

14. $\Delta_{ip} = \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i y_{c_i}}{EI}$ formula nimani ifodalaydi?

ko'chishlarni aniqlashning Vereshchagin usulini

ko'chishlarni aniqlashning Mor integralini

ko'chishlarni aniqlashning statik usulini

ko'chishlarni aniqlashning dinamik usulini

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

mustahkamlik

ustuvorlik

bikirlik

barqarorlik

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

bikirlik

mustahkamlik

ustuvorlik

chidamlilik

17. Inshootlarni mustahkamlikka hisoblashdan maqsad nima?

inshootlarni tashqi yuklar ta'siriga chidamli bo'lishini ta'minlash

inshootlarni zilzilaga chidamliligini ta'minlash

tebranishlarga chidamli bo'lishini ta'minlash

inshootlarni muvozonat holatini saqlash

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

ustuvorlik

bikirlik

mustahkamlik

zo'riqish

19. Tayanchlar qanday turlarga ajratiladi?

sharnirli qo'zg'aluvchan, sharnirli qo'zg'almas va bikir mahkamlangan

sharnirli qo'zg'aluvchan

sharnirli qo'zg'almas

bikir

20. Tayanchlar qanday klassifikatsiyalanadi?

kinematik bog'lanishlar soniga qarab

dinamik bog'lanishlar soniga qarab

statik bog'lanishlar soniga qarab

optik bog'lanishlar soniga qarab

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

bitta

ikkita

uchta

to'rtta

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

ikkita

uchta

to'rtta

bitta

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

uchta

to'rtta

bitta

ikkita

24. Qurilish mexanikasi hisoblarida nechta turdagi tayanchlardan foydalaniladi?

uchta

ikkita

bitta

to'rtta

25. Yuklar deb nimaga aytiladi?

inshootga ta'sir etadigan tashqi kuchlar

inshootga ta'sir etadigan ichki kuchlar

inshootga ta'sir etadigan birlik ko'chishlar

inshootda hosil bo'ladigan zo'riqishlar

26. To'plangan yuklar deb qanday yuklarga aytiladi?

inshoot kichik sirtiga yoki nuqtasiga to'plangan yuklar

inshootning butun sirtiga ta'sir etuvchi yuklar

inshootning uzunlik birligiga to'g'ri kelgan yuklar

inshootning birlik yuzasiga ta'sir etuvchi yuklar

Nazorat savollari:

1. Birlik kuch va tashqi kuchdan hosil bo'lgan ko'chishlar qanday belgilanadi?
2. Tashqi kuchlarning ishi deb nimaga aytiladi?

3. Ichki kuchlarning ishi deb nimaga aytiladi?
4. Energiyaning saqlanish qonunini tushuntiring?
5. Ishlar va ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teoremaning ma'nosi.
6. Haroratning o'zgarishi va tayanch cho'kishidan hosil bo'ladigan ko'chishni tushuntirib bering?
7. Ko'chish deformatsiyasi natijasida bajarilgan elastic sistema ishi qanday aniqlanadi?
8. Mor formulasi yordamida ko'chishlar qanday hisoblanadi?
9. Verishchagin usulini tushuntirib bering?
10. Verishchagin usulida ko'chishlar qanday hisoblanadi?

Onlayn masofaviy o'qitish usullari

Talaba tomonidan IV-BOB ga doir mavzular o'zlashtirililib bo'lgach tyutor tomonidan topshiriqlarni har bir talabaga individual tarzda (pdf yoki doc) fayl tarzida tayyorlanadi. Tayyorlangan topshiriq tizimga joylashtiriladi. Buning uchun tizimga kirib tahrirlashga o'tiladi so'ng kerakli mavzuni tugash qismida element yoki resurs qo'shish tugmasini bosib, topshiriq elementi tanlanadi va qo'shish tugmasi bosiladi. Shundan so'ng topshiriq joylashish oynasi ochiladi. Topshiriq nomi (Названные)da biror nom kiritiladi. (Описание)da topshiriq haqida qisqa ma'lumotlar kiritiladi, topshiriqlarni bajarish ko'rsatmalar yozish maqsadga muvofiqdir. Undan pastda tayyorlangan faylni qo'shish oynasi joylashgan bo'lib shu oynaga joylashtiriladi. Undan pastda vaqt reglamenti (синхронизация), baholashi (оценки)lar to'g'rilanadi va saqlash tugmasi bosiladi. Shundan so'ng topshiriq barcha talabalarga ko'rinadi.

Jo'natilgan topshiriqni talaba qabul qilib oladi. Belgilangan mavzu bo'yicha talaba topshiriqni yuklab oladi va aytilgan tarzda bajaradi.

Bajarilgan topshiriqni (pdf yoki doc) fayl shaklida jo'natadi.

Tyutor talaba tomonidan bajarib jo'natilgan topshiriq taqdimnomasini ochadi, uni tekshiradi, kamchilik va mulohazalarni yozish joyida bildiradi va jo'natiladi. Tyutor tomonidan baholanadi va saqlash uchun (сохранит все оценки) tugmasi bosiladi.

GLOSSARIY

1. **Qurilish mexanikasi** – inshootlarning mustahkamligi, ustuvorligi va bikirligi haqidagi fandır.
2. **Mustahkamligi** – inshootlarning yuk ko‘tarish qobiliyati tushuniladi;
3. **Ustuvorligi** – inshootlarning yuklar ta’sirida o‘zining dastlabki muvozanat holatini saqlab tura olish–olmasligi tushuniladi;
4. **Bikirligi** – inshootda me’yoridan ortiqcha ko‘chish, solqilik va og‘ishlar ro‘y bermasligi uchun ularning bikirligi tekshiriladi;
5. **Qurilish mexanikasi fanining vazifasi** – tashqi kuchlar ta’sirida konstruksiya elementlarida hosil bo‘ladigan ichki kuchlarni aniqlash.
6. **Brus** – uzunligi yetarlicha katta bo‘lgan va qolgan ikkita o‘lchami kichik bo‘lgan jism.
7. **Plastinka** – qalinligi boshqa ikki o‘lchamidan ancha kichik bo‘lgan jism.
8. **Massiv** – uchala o‘lchami ham bir-biriga juda yaqin bo‘gan jism.
9. **Sirtqi kuchlar turkumi** – to‘plangan kuchlar, yoyilgan kuchlar va juft kuchlar.
10. **Vaqtinchalik kuch** – konstruksiyaga vaqtincha ta’sir ko‘rsatadigan kuch.
11. **Ichki kuchlar** – Tashqi kuchlar ta’siridan brus deformatsiyalanadi va uning kesimlarida hosil bo‘ladi, bular ko‘pincha zo‘riqish kuchlari ham deyiladi.
12. **Tayanchlar** – inshootning poydevor yoki zamin bilan birikkan qismi.
13. **Moment markazi** – Jismning aylanma harakati jismga qo‘yilgan kuch momentiga bog‘liq bo‘ladi. Qaysi nuqtaga nisbatan moment olinadigan bo‘lsa, shu nuqta moment markazi bo‘ladi.

14. Kuch yelkasi – moment markazidan kuchning ta'sir chizig'iga tushirilgan perpendikulyar kesma kuch yelkasi deyiladi. Odatda kuch yelkasi h bilan belgilanadi.

15. Juft kuch – bir–biriga teskari yo'nalgan, miqdor jihatdan teng ikkita parallel kuchlar sistemasiga aytiladi.

16. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti deb – mos ishora bilan olingan kuch miqdorining kuch yelkasiga ko'paytmasiga teng kattalikka aytiladi.

17. Sterjenli sistemalar – tugunlarda o'zaro biriktirish yo'li bilan hosil qilingan qurilmalar.

18. Erkinlik darajasi – nuqta yoki sistemaning holatini belgilovchi geometrik parametrlar soni.

19. Bog'lanish – jismning harakati yoki holatini cheklovchi sabab.

20. Bog'lanishdagi jism – jismning harakati yoki holati biror sabab bilan cheklangan bo'lsa;

21. Bog'lanish reaksiya kuchi – bog'lanishning jismga ko'rsatadigan ta'sirini belgilovchi kuch;

22. Bog'lanishdan bo'shatish aksiomasi – bog'lanishdagi jismlarning harakati qaysi tomondan cheklangan bo'lsa, reaksiya kuchi shu yo'nalishga teskari yo'nalgan bo'ladi;

23. Deformatsiya – jismlarning tashqi kuch ta'siridan, geometrik o'lchamlarining o'zgartirishi.

24. Absolyut bo'ylama deformatsiya – bo'ylama uzayish yoki qisqarish.

25. Absolyut ko'ndalang deformatsiya – ko'ndalang qisqarish yoki kengayish.

26. Agar erkinlik darajasi nolga teng bo'lsa – bunda sistema geometrik o'zgarmas, statik aniq bo'ladi;

27. Agar erkinlik darajasi noldan katta bo'lsa – bunda sistema geometrik o'zgaruvchan, statik aniq bo'ladi.

28. Agar erkinlik darajasi noldan kichkina bo'lsa – bunda sistema geometrik o'zgarmas, statik noaniq va ortiqcha bog'lanishlarga ega bo'ladi.

29. 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.

30. Ta'sir chiziqlari – inshoot bo'ylab birlik kuch harakatlanganda, inshoot qismlarida kuch omillarining o'zgarishini ifodalovchi grafik.

31. Kuch omillari – deganda hosil bo'ladigan ichki kuchlar (M , Q , N) va tayanch reaksiyalari tushuniladi.

32. Ta'sir chiziqlarini chizishning statik usuli – Statik usul harakatlanuvchi birlik kuch ($P = 1$)ning ixtiyoriy holati uchun muvozanat tenglamalarini tuzib, ulardan izlanayotgan zo'riqishning analitik ifodasini tuzishga asoslangan.

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

34. A nuqtadagi tayanch reaksiyasini aniqlash – buning uchun B tayanchiga nisbatan statikaning muvozanat tenglamasi tuziladi.

35. B nuqtadagi tayanch reaksiyasini aniqlash – buning uchun A tayanchiga nisbatan statikaning muvozanat tenglamasi tuziladi.

36. Zo'riqishlarning ta'sir chizig'i – avvalo, yuk tugunlar orqali uzatilishini e'tiborga olmagan holda asosiy balka uchun quriladi;

37. Kesimning chap va o'ng qismida joylashgan qo'shni tugunlar – tegishli chiziqlarga proyeksiyalanadi va nuqtalar o'zaro tutashtiriladi.

38. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar – bir oraliqli konsolli balkalarni sharnirlar vositasida birlashtirish yo'li bilan hosil qilinadi.

39. Ko‘p oraliqli balkalarda sharnirlar bo‘lmasa – sistema statik noaniq uzluksiz balkalarga aylanib qoladi. Ularni bir–biridan farqlab turadigan element sharnirdir.

40. Asosiy balkalar – o‘ziga qo‘yilgan yuklardan tashqari osma balkalarga qo‘yilgan yuklarni ham qabul qiladi.

41. Asosiy balkalarga tayanib (opichib) turuvchi balkalarga – osma balkalar deyiladi. Osma balka sinza, asosiy balkaning ishiga putur etmaydi. Asosiy balka sinza, osma balka ham qulab tushadi.

42. Qavatlar sxemasida asosiy balka – birinchi qavatda joylashadi.

43. Osma balkalar – asosiy balkaning ustiga joylashadi.

44. Ko‘p oraliqli balkalar statik aniq balkalar bo‘lib – ular doimiy kuchlar ta’siriga analitik usulda hisoblanadi. Keyin esa bu ko‘p oraliqli balkalar harakatlanuvchi kuchlar ta’siriga hisoblanadi.

45. Ko‘p oraliqli sharnirli balkalarning hisobi – ularning eguvchi moment va ko‘ndalang kuch epyuralarini qurishdan iboratdir.

46. Ko‘p oraliqli balkalarning hisobi – Qavatlar sxemasini qurishdan boshlanadi.

47. Ko‘p oraliqli balkalarni hisoblashda – avvalo, ikkinchi darajali (osma) balkalar, so‘ngra asosiy balkalar hisolanadi. Osma balkalar bir netcha bo‘lsa, hisob eng ustki qavatdan boshlanadi.

48. Ko‘p oraliqli balkalarni hisoblashda – ustki qavatdagi yukning ta’siri pastki qavatdagi balkalarga ham ta’sir etadi. Buni hisobga olish uchun ustki balkaning tayanch reaksiyasini pastki balkaga teskari yo‘nalishda qo‘yiladi va pastki balkani hisoblashda uni tashqi kuchlardan biri deb qaraladi. Hisob oxirida alohida qurilgan epyuralar bir o‘q ustida joylashtiriladi.

49. Ko‘p oraliqli balkalarning ta’sir chiziqlarini chizish – balkaning qavatlar sxemasini qurishdan boshlanadi.

50. Ta’sir chiziqlarini chizishda balkaga – faqat harakatlanuvchi birlik kuch ta’sir etadi, deb qaraladi. Grafikni chizish jarayonida doimiy yuklar ta’siri e’tiborga olinmaydi.

51. Ferma deb qanday sistemalarga aytiladi – biki tugunlarni sharnirlar bilan almashtirganda, o‘zining geometrik o‘zgarmasligini saqlab qoluvchi sterjenli sistemalarga fermalar deb ataladi.

52. 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.

53. Fermaning barcha sterjenlari yoki ularning o‘qlari bir tekislikda joylashsa – tekis yoki yassi fermalar deb ataladi, agar bir tekislikda joylashmasa fazoviy fermalar deb ataladi.

54. Fermaning ikki tayanchi orasidagi masofaga – oraliq (prolyot) deb ataladi.

55. Fermaning tashqi, ustki va pastki chegarasida joylashgan sterjenlarga – tasmalar (belbog‘lar) deb atalib, ular orasida joylashgan sterjenlar ferma panjaralarini tashkil etadi. Panjaraning tik elementlari ustun, og‘ma elementlari esa havon deb ataladi. Ferma tugunlari orasidagi gorizontaal masofa panel deb ataladi.

56. Statik aniq yassi fermalarni hisoblash deganda – har bir sterjendagi zo‘riqishlarni aniqlash tushuniladi. Zo‘riqishlarni aniqlashning analitik, grafik va ta’sir chiziqlari usuli mavjud.

57. Fermalarni hisoblashning analitik usulining o‘zi bir–birini to‘ldiruvchi uchta – moment nuqtasi (Ritter), proyeksiyalash va tugunlarni kesib ajratish usuliga bo‘linadi.

58. Fermalarning hisobi – uning tayanch reaksiyalarini aniqlashdan boshlanadi. Ferma tayanch reaksiyalari ham xuddi oddiy balka tayanch reaksiyalari kabi topiladi.

59. Burovchi moment – sterjen biror kesimining bir tomonida qolgan tashqi momentlar algebraik yig'indisiga aytiladi.

60. Fermalarga doimiy yuklardan tashqari qo'zg'aluvchi yuklar ham ta'sir qiladi – Bunday yuklar ta'sirida sterjenlardagi zo'riqlashlarning qiymati o'zgarib boradi. Zo'riqlashlarning qanday o'zgarishini bilish uchun ta'sir chiziqlari deb ataluvchi grafik chiziladi.

61. Ta'sir chiziqlarining tenglamalari – analitik usuldagi singari moment nuqtasi, proyeksiyalash va tugunlarni kesib olish usullarida tuziladi.

62. Sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch – bunday tayanchlar balka uchining gorizontaal ko'chishiga va balka ko'ndalang kesimining aylanishiga qarshilik ko'rsatmaydi. Bu xildagi tayanchlarda faqat tayanch tekisligiga tik yo'nalgan bittagina vertikal R_A reaksiya kuchi hosil bo'ladi;

63. Qo'zg'almas sharnirli tayanch – bunday tayanchlar balka uchining hech qanday chiziqli ko'chishiga yo'l qo'ymaydi, faqat balkaning tiralgan nuqtasiga xos kesimning aylanishigagina imkon beradi. Bu xildagi tayanch reaksiyalarni hamma vaqt vertikal R_A va gorizontaal H_A tuzuvchilarga ajratish mumkin;

64. Qistirib mahkamlangan tayanch – bu xildagi tayanchlar tayanch nuqtasiga xos kesimning chiziqli va burchakli ko'chishlariga yo'l qo'ymaydi. Bunday tayanchlarda umuman vertikal R_A va gorizontaal H_A tuzuvchilarga ajraluvchi reaksiya bilan reaktiv moment M_A (moment reaksiyasi) hosil bo'ladi;

65. Prolyot – balkalarning tayanchlari orasidagi masofa.

66. Uch sharnirli sistemalar – Uchta diskni uch sharnir orqali birlashtirish tufayli hosil bo'lgan sistemaga uch sharnirli sistema deb ataladi.

67. Agar I va II disklar egri chiziqli sterjenlardan iborat bo'lsa – bunday sistema uch sharnirli arka deb ataladi.

68. Agar I va II disk siniq to'g'ri chiziqli sterjenlardan tashkil topgan bo'lsa – uch sharnirli rama deb ataladi.

69. Agar I va II disklar fermadan iborat bo'lsa – u holda sistema uch sharnirli arkasimon ferma deb ataladi.

70. Uch sharnirli sistema tayanchlarida vujudga keladigan gorizontal bosim – unga qarshi reaksiya kerki (raspor) nomi bilan yuritiladi, sistemaning o'zi esa kerkili sistema deb ataladi. Arkalar kerki kuchining mavjudligi bilan balkalardan farq qiladi.

71. Arakning 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.

72. Arkalarda kerishish kuchining mavjudligi sababli – ularning tayanchlari sharnirli yoki sharnirsiz qo'zg'almas tayanch ko'rinishida ishlatiladi.

73. Tayanchlardan biri sharnirli qo'zg'aluvchan bo'lsa – u arka emas, egri o'qli sterjen deb ataladi.

74. Binokorlikda ba'zan uch sharnirli arkalarning tortqichli xili ham uchrab turadi – Tortqichlar sharoitiga qarab tayanchlardan yuqoriroq o'rnatilishi mumkin.

75. Arkalarning asosiy belgilari – prolyot uzunligi l va arka balandligi f dir. O'rtadagi C sharniriga qulf sharnir deb ataladi.

ГЛОССАРИЙ

1. **Строительная механика** – является предметом изучающий прочности, жесткости и устойчивости конструкций.
2. **Под прочностью** – понимается способность конструкций сопротивляться на внешнюю нагрузку.
3. **Под устойчивостью** – понимается способности конструкций сохранять или не сохранять первоначальную равновесную состояния.
4. **Под жесткостью** – конструкции понимается перемещения в допустимых пределах.
5. **Основная задача строительной механики** – является определения внутренних силовых факторов возникающий под действием внешних сил.
6. **Брусом** – является тела у которого размера значительно меньше, а третий размер достаточно длинной.
7. **Пластиной** – называется тела у которого толщина значительно меньше чем двух других размеров
8. **Массивом** – называется тела у которого все три размера достаточно длинны
9. **Внешними силами называется** – сосредоточенные силы, распределенные силы и моменты пара сил.
10. **Временными силами** – называется силы действующий в течение ограниченного времени
11. **Внутренними силами** – называются силы возникающих внутри элементов конструкций под действием внешних сил
12. **Опорами** – называется часть конструкций связующий с землей
13. **Центром момента** – называется точка относительно которого берется момент.

14. Плечом момента называется – отрезок проведенной от центра момента к силе перпендикулярно

15. Парой сил называется – две силы равного значения параллельную но противоположно направленную.

16. Моментом силы называется – произведение силы и плеча взятое соответствующим знаком.

17. Стержневой системой – называется стержневые конструкции жестко соединение.

18. Степень свободы называется – геометрические параметры определяющий местоположений точки или тела.

19. Связями – называется причина ограничений движения или местоположения тела.

20. Связанной телой – называется если тела ограничено в движениях.

21. Силами опорной реакции – называется реактивная сила опорной части соприкасающихся тела.

22. Аксиома освобождающий от связи – тела освобождается от связи заменив связь на реактивную силу.

23. Деформацией тела – называется изменения состояния между точками тела под действием внешней силы.

24. Абсолютном деформациям тела – называется предельное изменение длины.

25. Абсолютное поперечной деформации тела – называется поперечное изменения размеров тела под действием внешних сил.

26. Если степень статической определимости будет равно нулю – тогда тела будут геометрически неизменяемой и статически определимой.

27. Если степень статической определимости будет больше нуля – тогда тела будить геометрически неизменяемой и статической неопределимой.

28. Если степень статической определимости будет меньше нуля – тогда тела будет геометрически неизменяемой и статическим неопределимой.

29. Принцип независимости действия сил – если на тела действует несколько сил то результат действия будет равно на сумму действия отдельных сил.

30. Линией влияния – называется график показывающий изменение внутренних силовых факторов от действия единичной движутся силы

31. Внутренними силовыми факторами называется – возникающие внутренне усилия под действием внешних сил.

32. Статический метод построение линия вилияния – основой на составления уравнению равновесия для произвольного положения единой движущей силы ($P=1$).

33. Киниматический способ – построения линия вилияния основной принцип возможных перемещения.

34. Для определяя опорной реакций в опоре А – нужно састовлят уровнения равновесия относительно шарнира в опоре В.

35. Для определения опорной реакции в опоре В – нужно састовлят уровнения равновесия относительно шарнира в опоре А.

36. Линия влияния опорных рекций для двухконсольных балки – получается продолжением линии вилияния опорных реакций простой балки до конца консола.

37. Линия влияния усилия в конструкциях – имеющий узловые точки строится сначала без учета узлов для сплошной конструкции.

38. Линия влияния усилия – имеющий узловые точки получается проектированием узлов на линии влияния, а затем их соединение прямой линией.

39. Полученный таким образом график – является линией влияния усилий в конструкциях имеющий узловые точки.

40. Если на конструкций действует сосредоточенная сила – то усилия в заданом сечении определяется умножением значений силы на ординату полученной из линии влияния лежащих под силу.

41. Если на конструкции действует распределенная нагрузка – то усилия в заданом сечении определяется умножением интенсивности распределенной нагрузки на площадь линии влияния соответствующий длину распределенной нагрузки.

42. Многопролетной статически определяемой балкой – называется шарнирно соединенное простое балки.

43. Если в многопролетной балки не будет промежуточные шарниры – тогда это балка становится статически неопределимой.

44. Основной балкой – называется балка лежащих в двух опорах и воспринимающих внешние силы и давление висячих балок.

45. Висячей балкой называется – балка опирающиеся с одним концом к основной балки. Если разрушается висячая балка то основная балка сохраняет свою равновесную состояния и наоборот если разрушается основная балки то висячая балки тоже разрушается.

46. По этой схеме многопролётной балки – основная балка расположится в первом этаже.

47. Висячая балка – располагается над основной балки.

48. Многопролетная балка является – статическим определимой и вычисляется на действия постоянных сил, она также вычисляется на действия подвижной нагрузки с использованием линий влияния.

49. Расчет на прочность статически определимой многопролетной балки – является построения эпюры изгибающего момента и поперечной силы аналитическим способом.

50. Расчет статически определимой многопролетной балки начинается – с построения по этальной схеме.

51. Расчет многопролетной статически определимой балки начинается – с расчет подвесной балки, если они несколько, то расчет следуют начинать с самого верхнего.

52. При расчете многопролетной балки – влияния верхних этажей на нижнюю этажи учитывается как давления с обратным знаком опорных реакции верхних этажей и учитывается как внешняя нагрузка. В конце расчета все эпюры изгибающего момента и поперечной силы приводится в одним координатам.

53. Построение линия влияния многопролетной балки – называется с построения по этажной схемы.

54. Построение линия влияния осуществляется – на действия подвижной единичной силы.

55. Какая система называется фермой – при замене жестких узлов на шарнирные если сохраняет свое геометрические неизменяемости, то тогда такие системы называется фермой.

56. Фермы является совершенственным видом балки – и выполняет задачи как балки, если балки используется при перекрытии не больших пролетов, то фермы используется для перекрытия больших пролетов.

57. Если все стержени фермы лежали в одной плоскости – то ферма называется плоской, в противном случае называется пространственной.

58. Расстояние между опорами фермы – называется пролетом

59. Стержень лежащий в верхнем и в нижнем поясах называется – поясами фермы, лежащие в середине стержень фермы составляет решетка фермы. Вертикальные стержень решетка называется стойками, наклонные стержень раскосами.

60. Когда говорят расчет фермы на прочность – понимается определения усилия во всех стержнях фермы. Определения усилия в фермах осуществляется аналитическими, графическими и способом линия влияния.

61. Расчет фермы аналитическим способом, подразделяется на три взаимно заполняющих три способа – способом моментной точки, способом проекции и вырезания узлов.

62. Расчет фермы – начинается с определения опорных реакции фермы. Опорные реакции фермы определяется как в простой балке.

63. Способ моментной точки – является сумма моментов взятых от всех сил лежащих в одну сторону от сечения относительно моментной точки.

64. Ферме рассчитывается – на действия постоянных сил и на подвижную нагрузку. При действия подвижных нагрузок усилия в стержнях фермы изменяется, чтобы определить их строится линия влияния

65. Уравнения линия влияния – составляется способом моментной точки, способом проекции и вырезания узлов.

66. Шарнирно подвижная опора – такие опоры допускает горизонтального перемещения конца балки и вращению поперечного сечения. В таких опорах возникает единственная вертикальная реакции R_A , перпендикулярная на опорный плоскость.

67. Неподвижная шарнирная опора – такие опоры не допускает вертикального и горизонтального перемещения конца балки, по этому в них возникает две реакций вертикальной R_A и горизонтального H_A .

68. Защемленный конец – такие опоры не допускает перемещения конца балки и вращают, по этому в них возникает горизонтальная реакция H_A и вертикальная R_A а также реактивный момент M_A .

69. Пролетом – называется межопорная ростояния.

70. Трехшарнирной – называется если три диска сойдинен с помощью трех шарниров.

71. Если I и II диск является криволинейном стерженом – тогда такая система называется трехшарнирной аркой.

72. Если I и II диск является ломанными стерженами – тогда такие системы называется трехшарнирной рамой.

73. Если I и II диск является фермами – тогда такие системы называется трехшарнирной фермаподобной аркой.

74. Разница арки от сферического купола – является то что у арки поперечная сечения значительно меньше чем у купола, по этому арки относятся к кривым стерженом. Сферические купали относится к оболочкам.

75. Основные определяющие в арках- является длина пролета l и высота арки f .

Adabiyotlar.

Tavsiya etilgan asosiy adabiyotlar, xorijiy adabiyotlar va internet saytlari ro'yxati.

1. Mirziyoyev Shavkat Miromonovich. Erkin va farovon, demokratik O'zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. – Toshkent: “O'zbekiston”, 2016. -56 b (Pdf).
2. Mirziyoyev Shavkat Miromonovich. Tanqidiy tahlil, qat'iy tartib-intizom va shaxsiy javobgarlik-har bir rahbar faoliyatining kundalik qoidasi bo'lishi kerak. 2017-yil 14-yanvar. – Toshkent: “O'zbekiston”, 2017. – 104 b (Pdf).
3. Mirziyoyev Shavkat Miromonovich. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz T., “O'zbekiston”, 2016y, 486 bet
4. O'zbekiston Respublikasining “Ta'lim to'g'risida”gi qonuni. 1997 yil 29 avgust. –T,: “Adolat”, 1997.
5. Alberto Carpinteri. Structural Mechanics Fundamentals. CRC Press Taylor & Francis Group. 2014.
6. To'raev. X.Sh., Ismatov. M.X., Yo'ldoshov. F.X., Javliev B.K. «Qurilish mexanikasi»-Toshkent, Moliya, 2002y. -459 b.
7. Abdurashidov. Q.S., Hobilov. B.A., To'ychiev.N.D., Raximboev.A.G'. «Qurilish mexanikasi»-Toshkent.: O'zbekiston, 1999y. -384 b.
8. Hobilov. B.A., Nazarova M.K., Umarova Z.S. «Qurilish mexanikasi misol va masalalar». T.: TAQI -2014.
9. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. М.: Высшая школа, 1986. -607с.
10. Odilxo'jaev.E.A., G'ulomov.T.G', Abdukomilov.T.K. «Qurilish mexanikasi» -T.: O'qtuvchi 1985y. -270 b.
11. Odilxo'jaev.E.A., G'ulomov.T.G', Abdukomilov.T.K. «Qurilish mexanikasidan misol va masalalar» -Toshkent, O'qtuvchi, 1974y. 440 b.

12. Смирнов А.Ф., Александров А.В., Лащенко Б.Я., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Стержневые системы.-М.: Стройиздат, 1981.- 512 с.
- 13 Клейн Г. К. и др. Руководство к практическим занятиям по курсу Строительной механики (статика стержневых систем). – М.: Высшая школа, 1980. -384 с.

Internet saytlar.

1. <http://www.uzsci.net>
2. <http://www.ziyonet.uz>
3. <http://www.mysopramat.ru>

MUNDARIJA

Annotatsiya	3
Kirish	5

I-bob. Statik aniq sistemalar.

1.1-§. Inshootlar hisoblash sxemalarining kinematik tahlili	7
1.2-§. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalar	8
1.3-§. Ko‘p oraliqli statik aniq sharnirli balkalarni qo‘zg‘almas yuklar ta‘siriga hisoblash	10
1.4-§. Ko‘p oraliqli statik aniq sharnirli balkalar uchun zo‘riqlarning ta‘sir chiziqlarini qurish	12
1.5-§. Ta‘sir chiziqlar yordamida zo‘riqlarni aniqlash	19
1.6-§. Eguvchi moment epyuralarini qurish	24
1.7-§. Kesuvchi kuch epyuralarini qurish	28
1.8-§. Bo‘ylama kuch epyuralarini qurish	29
1.9-§. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni mustahkamlikka hisoblash	33
1.10-§. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni doimiy kuchlar ta‘siriga hisoblash ---	40
Tayanch iboralar	48
Test savollari	48
Nazorat savollari	55
Onlayn masofaviy o‘qitish usullari	56

II-bob. Statik aniq oddiy fermalar.

2.1-§. Fermalar haqida tushunchalar. Fermalarning turlari	57
2.2-§. Fermalarni qo‘zg‘almas yuklar ta‘siriga hisoblash	60
2.3-§. Oddiy fermalarning zo‘riqlarini ta‘sir chiziqlarini chizish	66
2.4-§. Moment nuqtasi usuli	83
2.5-§. Tugun kesish usuli	88
2.6-§. Statik aniq fermalarni hisoblash	93
Tayanch iboralar	102

Test savollari -----	102
Nazorat savollari -----	107
Onlayn masofaviy o‘qitish usullari -----	107

III-bob. Uch sharnirli sistemalar

3.1-§. Uch sharnirli arkalar va ramalar haqida tushunchalar -----	109
3.2-§. Uch sharnirli arkalarni tayanch reaksiyasini aniqlash -----	111
3.3-§. Uch sharnirli arkalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash -----	112
3.4-§. Uch sharnirli arkalarni harakatlanuvchi kuchlar ta’siriga hisoblash -----	115
3.5-§. Uch sharnirli arkalarni hisoblashga doir masalalar echish -----	135
3.6-§. Uch sharnirli ramalarni hisoblash -----	143
Tayanch iboralar -----	151
Test savollari -----	151
Nazorat savollari -----	156
Onlayn masofaviy o‘qitish usullari -----	156

IV-bob. Ko‘chishlar nazariyasi.

4.1-§. Ko‘chishlar va ishlar haqida umumiy tushunchalar -----	158
4.2-§. Ishlar va ko‘chishlarning o‘zaro bog‘lanishi haqidagi teoremlar -----	163
4.3-§. Haroratning o‘zgarishidan va tayanchlarning cho‘kishidan hosil bo‘ladigan ko‘chishlar -----	166
4.4-§. Elastik sistemagi ko‘chishlarni aniqlash -----	168
4.5-§. Potensial energiyaning asosiy xususiyatlari -----	174
Tayanch iboralar -----	188
Test savollari -----	188
Nazorat savollari -----	193
Onlayn masofaviy o‘qitish usullari -----	194
Glossariy -----	195
Adabiyotlar -----	209

ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация	3
Введение	5

Глава I. Статически определимые системы.

§ 1.1. Кинематический анализ сооружения	7
§ 1.2. Многопролетные статические определимые балки	8
§ 1.3. Расчет многопролетных статически определимых балках от неподвижной нагрузки	10
§ 1.4. Построение линии влияния усилий для многопролетных статически определимых балок	12
§ 1.5 Определение усилий при помощи линий влияния	19
§ 1.6. Построение эпюр изгибающих моментов	24
§ 1.7. Построение эпюр поперечных сил	28
§ 1.8. Построение эпюр продольных сил	29
§ 1.9. Расчет на прочность многопролетных статически определимых балок	33
§ 1.10. Расчет многопролетных статически определимых балках от постоянными нагрузками	40
Ключевые слова	48
Вопросы теста	48
Контрольные вопросы	55
Методы онлайн дистанционное обучение	56

Глава II. Простые статически определимые фермы.

§ 2.1. Понятие о ферме. Классификация ферм	57
§ 2.2. Расчет ферм на неподвижную нагрузку	60
§ 2.3. Линии влияния усилий в стержнях простейших ферм	66
§ 2.4. Способ моментной точки	83
§ 2.5. Способ проекций	88
§ 2.6. Способ вырезания узлов	93
Ключевые слова	102

Вопросы теста -----	102
Контрольные вопросы -----	107
Методы онлайн дистанционное обучение -----	107

Глава III. Трехшарнирные системы

§ 3.1. Понятие о трехшарнирные арки и рамы -----	109
§ 3.2. Определение опорных реакций трехшарнирные арки -----	111
§ 3.3. Расчет трехшарнирной арки на неподвижную вертикальную нагрузку -----	112
§ 3.4. Расчет трехшарнирных арок на подвижную нагрузку -----	115
§ 3.5. Примеры задачи для решение трехшарнирных арок -----	135
§ 3.6. Расчет трехшарнирных рам -----	143
Ключевые слова -----	151
Контрольные вопросы -----	151
Контрольные вопросы -----	156
Методы онлайн дистанционное обучение -----	156

Глава IV. Теория перемещений.

§ 4.1. Обзор движений и работ -----	158
§ 4.2. Теоремы о взаимодействии труда и миграции -----	163
§ 4.3. Колебания, вызванные изменениями температуры и осаждения основания -----	166
§ 4.4. Определение движения эластичной системы -----	168
§ 4.5. Основные характеристики потенциальной энергии -----	174
Ключевые слова -----	188
Контрольные вопросы -----	188
Контрольные вопросы -----	193
Методы онлайн дистанционное обучение -----	194
Глоссарий -----	195
ССЫЛКИ -----	209