

**O'zbekistan Respublikasi Oliy va o'rta Maxsus  
ta'lim vazirligi**

**Tashkent avtomobil-yo'llar instituti.**

**«Ko'priklar va transport tunnellari» kafedrası**

**QURILISH MEXANIKASI  
fanidan ma'ruza matni**

5340800 avtomobil yo'llari va ayradromlar, 5340600 transport inshootlarining  
ekspluatatsiyasi bo'yicha bakalavrlar tayyorlash uchun

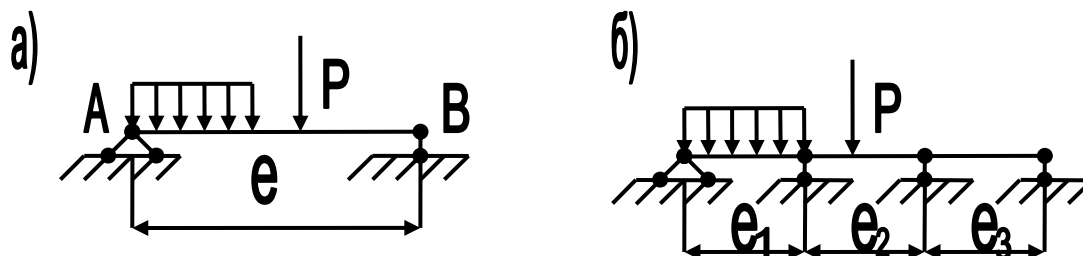
Tuzuvchi: kat. o'q. XodjaevaZ.SH.

Toshkent 2014y.

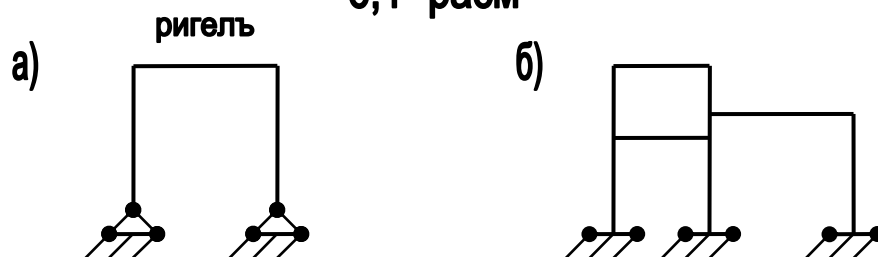
## СТАТИК АНИҚМАС СИСТЕМАЛАРНИ ХИСОБЛАШ НАЗАРИЯСИ.

### Маруза 1 Статик аниқмас системалар.

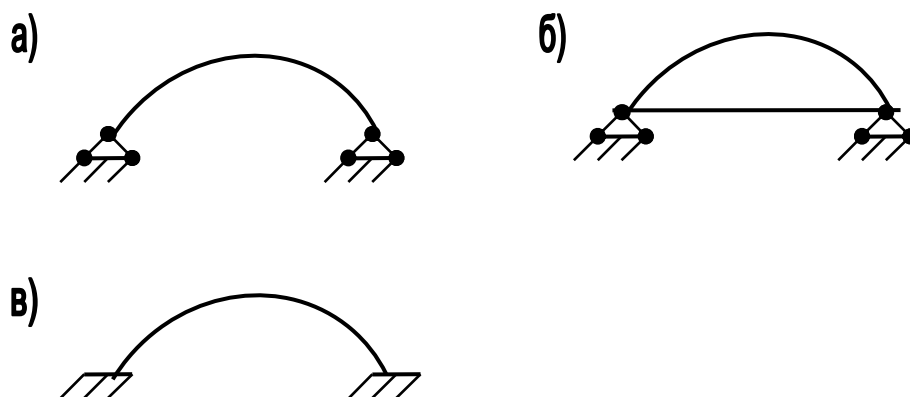
Qurilish mexanikasi ko'rsning Birinchi qismida statik aniq sistemalarni hisoblash nazariyasi bilan tanishgan edik. Qurilish praktikasida statik aniq sistemalar bilan bir qatorda statik aniqmas konstruktsiya va inshootlar ko'p uchraydi. Masalan uch prolyotli AV balkani oddiy AV balka bilan solishtirsak, bu balka statik



6,1- расм



6,2- расм

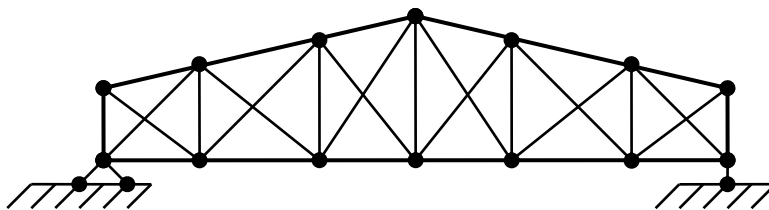


6,3- расм

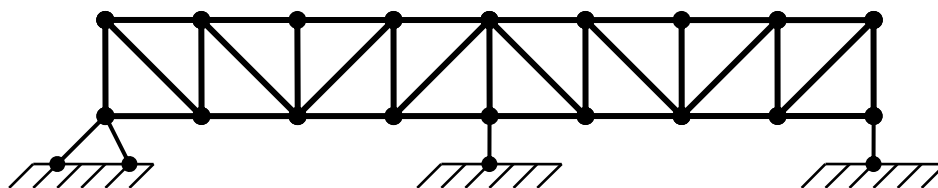
aniq balkaga nisbatan ikkita ortiqcha tayanch bog'lovchiga ega ekanligi ko'rinadi. Bu tayanch bog'lovchilardan reaksiya kuchlarini statikaning muvozanat tenglamalari orqali aniqlash mumkin emas (6,1 rasm). Bu balka statik aniqmas balkadir. 6,2 6,3 6,4 rasmlardagi sistemalarning tayanch reaksiyalarining va ularning elementlaridagi zo'riqlashlarni aniqlash uchun statikaning muvozanat

tenglamalari ètarli èmas, bunday sistemalar statik aniqmas konstruksiyalar qatoriga kiradi.

a)



b)



## 6,4- pacm

Demak, èlementlarida tashqi kuchlardan xosil bo'ladigan zo'riqish va reaksiya kuchlarini fakatgina statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlab bo'lmaydigan sistemalar statik aniqmas sterjenli sistemalar deyiladi. Xar bir statik aniqmas sistema tarkibida doim ortiqcha bog'lovchilar bo'ladi. Bu ortiqcha bog'lovchilardagi zo'riqish kuchlarini bundan keyingi xisoblashlarda nomalum zo'riqishlar deb ataymiz.

Statik aniqmas sistemaning ortiqcha bog'lovchilari soni shu sistemaning statik aniqmaslik darajasi deyiladi. Masalan ,6,1 rasm, b da ko'rsatilgan sistema ikkita ortiqcha bog'lovchi tayanch reaksiyasiga èga bo'lganligi uchun u ikki marta statik aniqmasdir. Statik aniqmas sistemalarni xisoblash uchun statikaning muvozanat tenglamalaridan tashqari, qo'shimcha ravishda soni statik aniqmaslik darajasiga teng tenglamalar tuzish talab qilinadi. Bu qo'shimcha tenglamalarni tuzish qoidalari keyingi boblarda to'la bayon qilinadi.

Ko'p uchraydigan xarakterli statik aniqmas sistema turlariga misollar keltiramiz:

1. **BALKALAR** . Ko'p tayanchlar ustida yotgan uzliksiz balkalar tutash balkalar deyiladi. (6.1 rasm, b)
2. **RAMALAR** . Agar sterjenli sistema èlementlari bir biri bilan bikir tugunlar xosil qilib birikgan bo'lsa, bunday sistema rama deyiladi (6.2 rasmda ) ramaning gorizantal eki ( gorizantalga yaqin ) og'ma èlementlari rigel, vertikal elementlari èsa ustun ( stoyka ) deyiladi.
3. **ARKALAR**. Ikki sharnili ( 6.3 rasm, a ) sharnirsiz arkalar (6,3 rasm, v) Tortiqili ikki sharnili arkalar ( 6,3 rasm, b) Bu arkalar xam statik aniqmas sistemalar qatoriga kiradi.

4. **FERMALAR.** Statik aniqmas fermalar o'z tarkibida e ortiqcha elementlarga (6,4 rasm, a) eki ortiqcha tayanch bog'lovchilarga ega bo'lishi mumkun (6.4 rasm,b)
5. **FAZOVIY** ramalar sistemasi. Fazoviy ramalar barcha eki ayrim tugunlarida o'zaro bikir qilib biriktirilgan sterjenlar sistemasidan iborat bo'ladi.

#### **Statik aniqmas sistemalarni xisoblash metodlari:**

1. Kuchlar metodi. Bu metodda sistemaning ortiqcha bog'lovchilarida xosil bo'ladigan zo'riqish nomalum zo'riqishlar deb qabul qilinadi.
2. Ko'chishlar metodi. Bu metodda statik aniqmas sistema tugunlarining chiziqli va burchakli ko'chishlari nomalum deb qabul qilinadi.
3. Aralash metod. Aralash metodda sistemaning bir qismida ortiqcha bog'lovchilarning zo'riqish kuchlari, qolgan qismida esa sistema turlarining ko'chishlari nomalum deb qabul qilinadi. Demak, ramaning bir qismi uchun kuchlar metodi , ikkinchi qismi uchun esa ko'chishlar metodi tatbiq qilinadi.
4. Ketma ket muvozanatlash usuli. Bu usul ko'chishlar metodining takomillashtirilgan ko'rinishidir . Statik aniqmas sistemalarni xisoblashda elektron xisoblash mashinalarida foydalanish uchun yo'qoridagi metodlarni matritsa formasida ifodalash kerak.

#### **STATIK ANIQMAS SISTEMALARNING XUSUSIYATLARI .**

Statik aniqmas sistemalar quyidagi xususiyatlarga ega:

- 1.Statik aniqmas sistema elementlaridagi zo'riqish kuchlarining miqdori, ularning ortiqcha bog'lovchilari soniga va elementlarning kundalang kesim o'lchamlariga, shakliga xamda materialiga bog'lik. Xar bir ortiqcha bog'lovchi sistemaning bikrligini oshiradi.
- 2.Tashqi temperaturaning o'zgarishi natijasida statik aniqmas sistema elementlarida qo'shimcha zo'riqish kuchlari xosil bo'ladi.
- 3.Statik aniqmas sistemaning biror tayanch cho'kishidan uning elementlarida qo'shimcha zo'riqish kuchlari xosil bo'ladi. Statik aniq sistema elementlari esa temperatura o'zgarishi natijasida va tayanchlarning cho'kishidan zo'riqish kuchlari xosil bo'lmaydi.
- 4.Statik aniqmas sistema elementlarida boshlang'ich zo'riqish kuchlari bo'lishi mumkun. Statik aniq sistemalarda esa bu zo'riqishlar nolga teng bo'ladi.
- 5.Statik aniqmas sistemalarni xisoblashdan oldin , ularning elementlarining uzunliklari va kundalang kesmining shakli belgilangan bo'lishi kerak. Agar bu o'lchamlar elementning mustaxkamlik shartlarini qanoatlantirmasa, u xolda elementlar kundalang kesimning yangi o'lchamlarini belgilab,konstruktstyani qaytadan xisoblashga to'g'ri keladi.

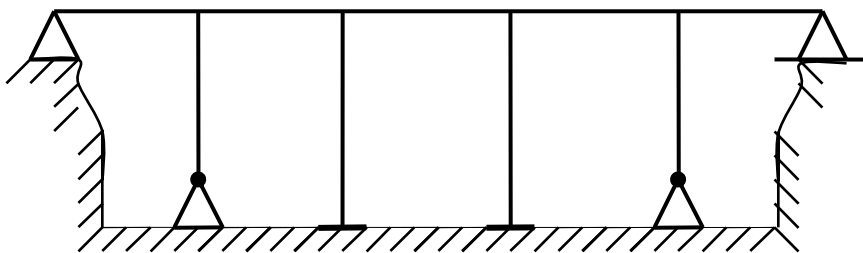
#### **TEKIS RAMALARNI KUHLAR METODI BILAN XISOBLASH.**

Statik aniqmaslik darajasi.

Qurilish praktikasida asosan fazoviy ramalar uchraydi , lekin bu ramalarni xisoblashni osonlashtirish uchun ularni tekis ramalarga ajiratib aloxida tekshirish tavsiya qilinadi.

Agar tashqi kuchlar va rama elementlarning o'qi bir tekislikda etsa ,bunday ramalar tekis ramalar deyiladi .

Sanoat va grajdan qurilishlarida bir kavatli va ko'p kavatli



## 6,5- pacm

ramalar ishlatiladi . Ko'p bir kavatli ramalar esa ko'pincha ko'pirik qurilishida qo'llaniladi (6.5 rasm). Rama usullarining asos kesimlari fundamentga absalyut bikir eki sharnir vositasida maxkamlangan bo'lishi mumkin 6.5 rasm ).

Bu bayon etilgan ramalarni kuchlar metodi bilan xisoblashning asosiy maqsadi, ularning elementlari uchun eguvchi mament  $M$ , kundalang kuch  $Q$  va bo'ylama kuch  $N$  epyuralarini ko'rishdur.

Kuchlar metodining xarakterli xossalaridan biri ramaning statik aniqmaslik darajasidur ramaning statik aniqmaslik darajasi qancha bo'lsa, uni xisoblash shuncha osonlashadi . Kuchlar metodi nazariyasi statik aniq sistemalarning ko'chishlarini aniqlashga asoslangan .

Statik aniqmas sistemalarning ortiqcha bog'lovchilarning soni  $n$  quyidagi formulaga asosan aniqlanadi .

$$n = St + 2SH - 3D,$$

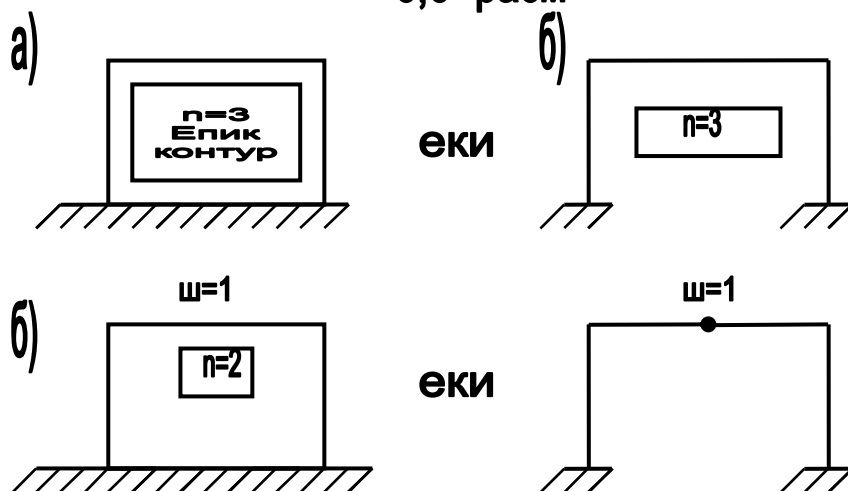
bunda  $St$  –tayanch bog'lovchilarning soni  $SH$  –odiy sharnirlar soni ,  $D$  – statik disklar soni .

Ramalarning statik aniqmaslik darajasini belgilash uchun quyidagi muloxazalarga asoslanib uning yangi ifodasini olamiz . Masalan 6.6-rasm a da ko'rsatilgan to'g'ri turt burchakli epik konturli rama uch marta statik aniqmasdir, uni sitatik aniq sistemaga aylantirish uchun elementlardan birini kesish kerak (6.6- rasm b) u xolda bu kesilgan kesimda ortiqcha uchta bog'lovchi yo'qotilgan bo'ladi . Demak, xar qanday epik konturli rama uch marta statik aniqmas bo'ladi . Sharnirsiz rama

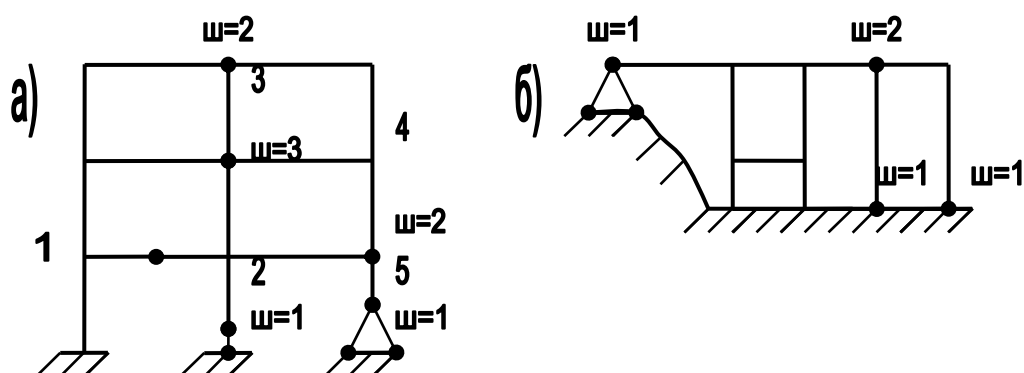
( 6.7-rasm ,a) xam epik kontur xisoblanadi ,chunki uning ustunlarining asos kesimlari absalyut bikir bo'lgan fundamentga maxkamlangan



6,6- расм



6,7- расм



6,8- расм

Agar epik konturning elementlaridan biriga sharnir kiritilgan bo'lsa, u xolda ramaning statik aniqlaslik darajasi bittaga kamaytirilgan bo'ladi ( 6.7-rasm ,b). Demak, konturli ramalarning statik aniqlaslik darajasi  $n$  ni quyidagi formula orqali aniqlash mumkun

$$n = 3K - SH \quad (1/2)$$

Bunda  $K$  –epik konturlar soni  $SH$ -odiy sharnirlar soni

Masalan, 6.8-rasimdagi ramaning statik aniqmas darajasini (1.1) va (1.2) formulaga asosan aniqlasak (1.1) formuladagi oddiy sharnirlarni soni  $SH=8$  rasmdagi ramaning statik aniqmaslik darajasini (1.1) va (1.2) formulalarga asosan aniqlasak (1.1) formuladagi sharnirlarni soni  $SH=8$ ,  $St=7$ , disklar soni  $D=5$ . u xolda  $n=7+2*8-3*5=8$  bo'ladi

(1.2) formulaga asosan, berilgan ramaning statik aniqmaslik darajasini belgilaymiz. Ramada epik konturlar soni  $K=6$ , oddiy sharnirlar soni  $SH=10=8$ .

Demak ,berilgan rama sakkiz marta statik aniqmasdir.

### **Aasosiy sistemalar va noma'lum zo'riqish kuchlari.**

Ramalarni kuchlar metodi bilan xisoblashda , uning statik aniqmaslik darajasi topilgandan keyin yani ortiqcha bog'lovchilar soni malum bo'lgandan so'ng, asosiy sistema tanlashga utiladi.

Statik aniqmas sistemadan xama ortiqcha bog'lovchilarni olib tashlab statik aniq va geometirik o'zgaras sistema xosil qilinsa, bu sistema asosiy sistema deyiladi .

Demak, rama ortiqcha bog'lanishlardan ozod qilinganda xosil bo'lgan statik aniq va geometirik o'zgaras sistema asosiy sistema deyiladi.

Statik aniqmas rama uchun asosiy sistemani bir necha variantda tanlash mumkun.Masalan, 6.9 – rasmda ko'rsatilgan 6 marta statik aniqmas rama uchun 4 xil ko'rinishda bir-biridan farq qiluvchi asosiy sistemalar tanlangan 6.13-rasm, b va v da asosiy sistema ortiqcha tayanch bog'lanishlardan ozod qilish usuli bilan tanlangan. 6.9-Rasm, d da esa ramani ortiqcha ichki bog'lanishlardan ozod qilib olingan sistema tasvirlangan. Agar rama elementlaridan biri kesilsa, u xolda u uchta ortiqcha ichki bog'lanishdan ozod etilgan bo'ladi.

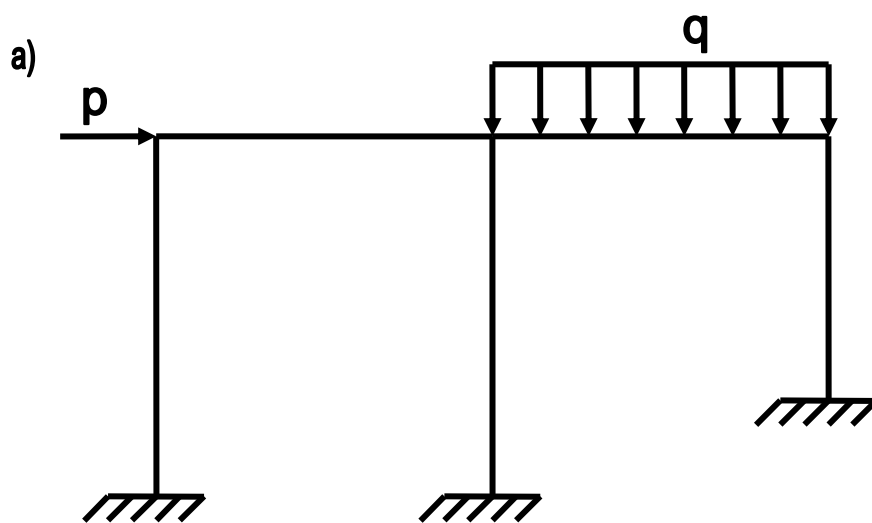
Berilgan rama xamda asosiy sistemani bir-biri bilan solishtirsak, quyidagi ikki farqni ko'ramiz: 1) ramani ortiqcha bog'lanishlarida zo'riqish kuchlari mavjud, asosiy sistemada esa bu zo'riqishlar nolga teng; 2) ramada xar xil ortiqcha zo'riqish kuchlari yo'nalishi bo'yicha ko'chishlar nolga teng, asosiy sistemada esa bu ko'chishlar mavjud.

Kuchlar metodi bilan ramalarni xisoblash bu ikki farqni yo'qotishga asoslangan.

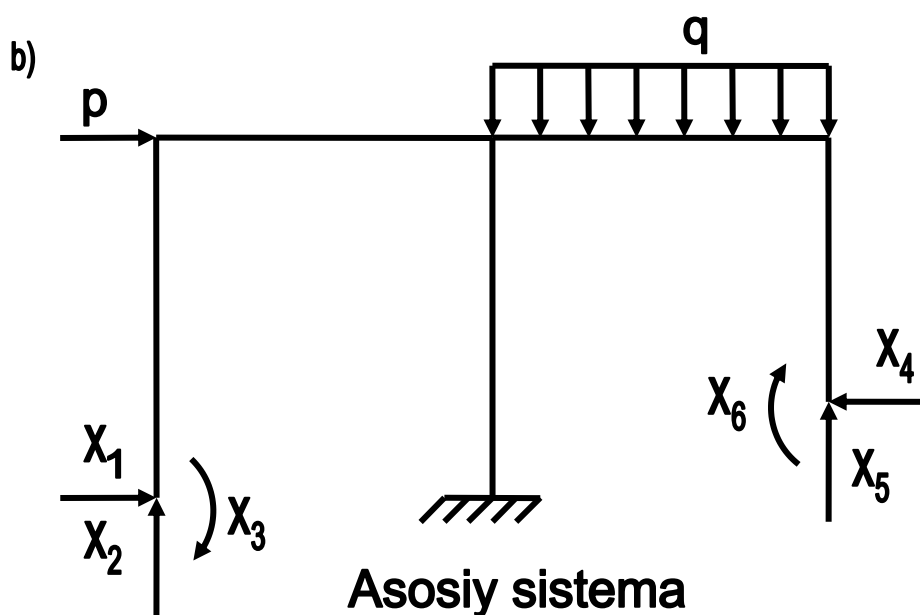
Birinchi farqni yo'qotish uchun asosiy sistemaga ortiqcha bog'lanishlar yo'nalishi bo'yicha noma'lum zo'riqish kuchlari ta'sir ettiriladi va bu zo'riqish kuchlarini asosiy noma'lumlar deb qabul qilib, ularni  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  va  $X_6$  bilan belgilaymiz. 6.9-rasm,b,v,g da ramani ortiqcha tayanch bog'lanishlardagi reaksiya kuchlari nomalum zo'riqishlar deb qabul qilinib, ular asosiy sistemaga tasir ettirilgan, 6.9-rasm, d da esa ramani xar bir kesilgan kundalang kesimda xosil bo'ladigan eguvchi mament ( $X_3, X_6$ ,) kundalang kuch ( $X_1, X_4$ , ) va bo'ylama kuch ( $X_2, X_5$ ,) larni nomalum zo'riqishlar deb qabul qilinib, tegishli kesmlarga tasir ettirilgan.

Berilgan rama bilan asosiy sistema orasidagi ikkinchi farq asosiy sistemada xar bir ortiqcha nomolum zo'riqishlar yo'nalishi bo'yicha ko'chishlarning yig'indisi no'lga teng bo'lishini ifodalovchi tenglamani ezish bilan yo'qotilgan. Dar xakikat, berilgan ramada ortiqcha bog'lovchi bo'lganligi sababli bu ko'chishlar bo'lmaydi.

Demak, asosiy sistemada xar bir noma'lum zo'riqish yo'nalishi bo'yicha tashqi yuklar va noma'lum zo'riqishlardan xosil bo'lgan ko'chishlar yig'indisi no'lga teng bo'lishi kerak, ya'ni:

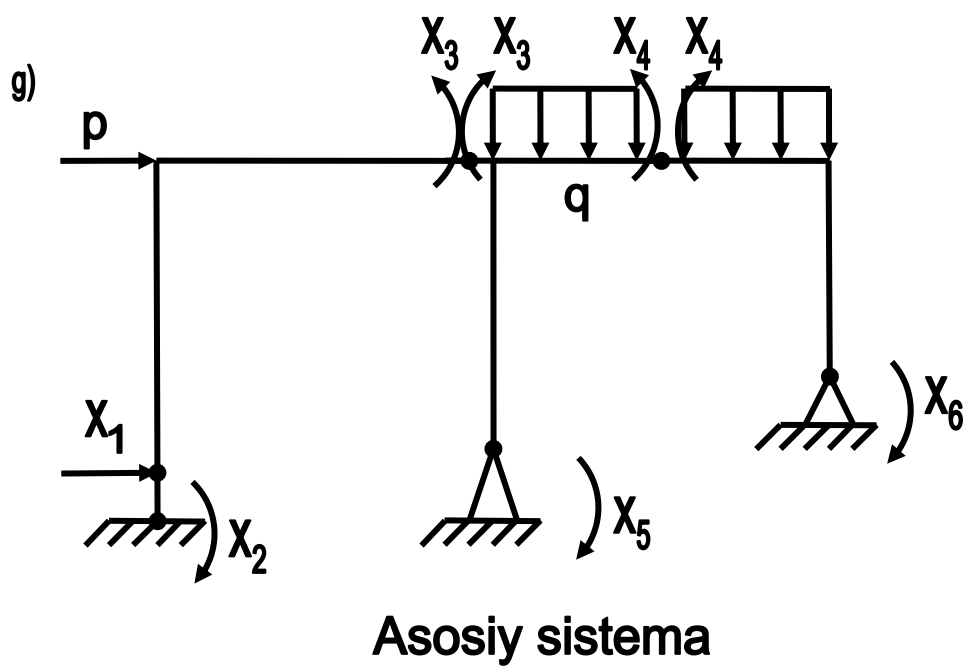
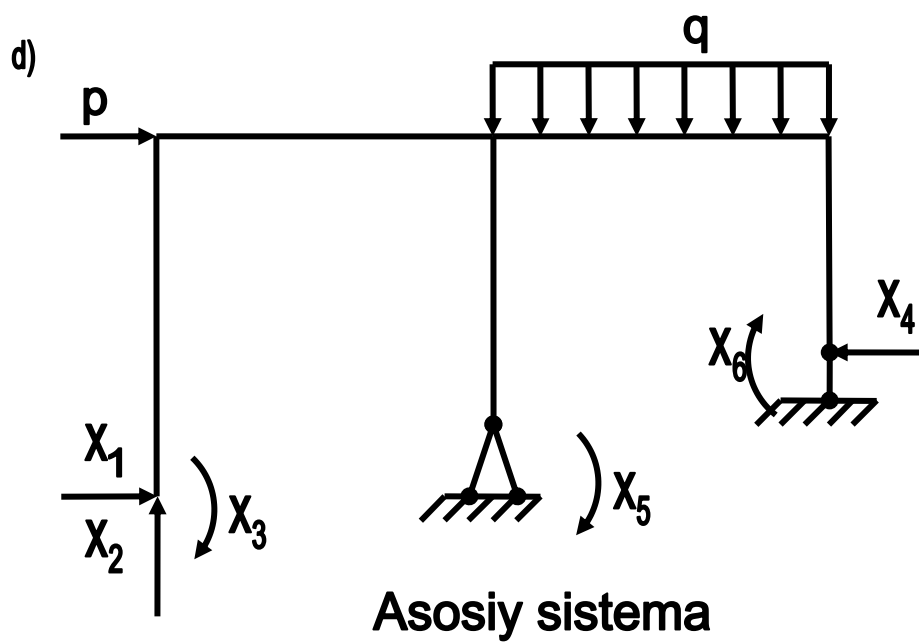


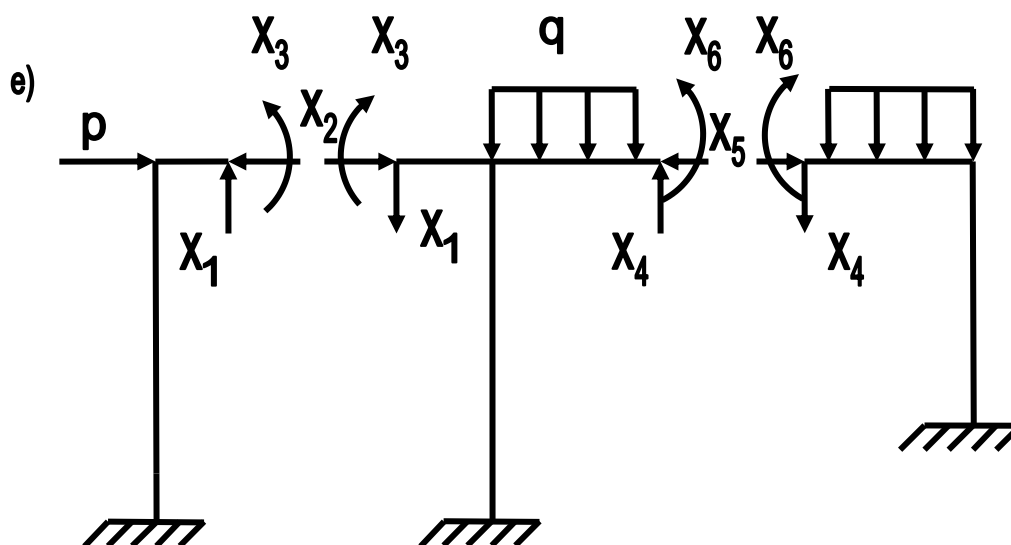
**Berilgan sistema**



**Asosiy sistema**







6.9-rasm

$$\begin{aligned}
 (6.3) \\
 \Delta 1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, p) &= 0, \\
 \Delta 2(x_1, x_2, \dots, x_6, p) &= 0, \\
 \Delta 3(x_1, x_2, \dots, x_6, p) &= 0, \\
 \Delta 4(x_1, x_2, \dots, x_6, p) &= 0, \\
 \Delta 5(x_1, x_2, \dots, x_6, p) &= 0, \\
 \Delta 6(x_1, x_2, \dots, x_6, p) &= 0,
 \end{aligned}$$

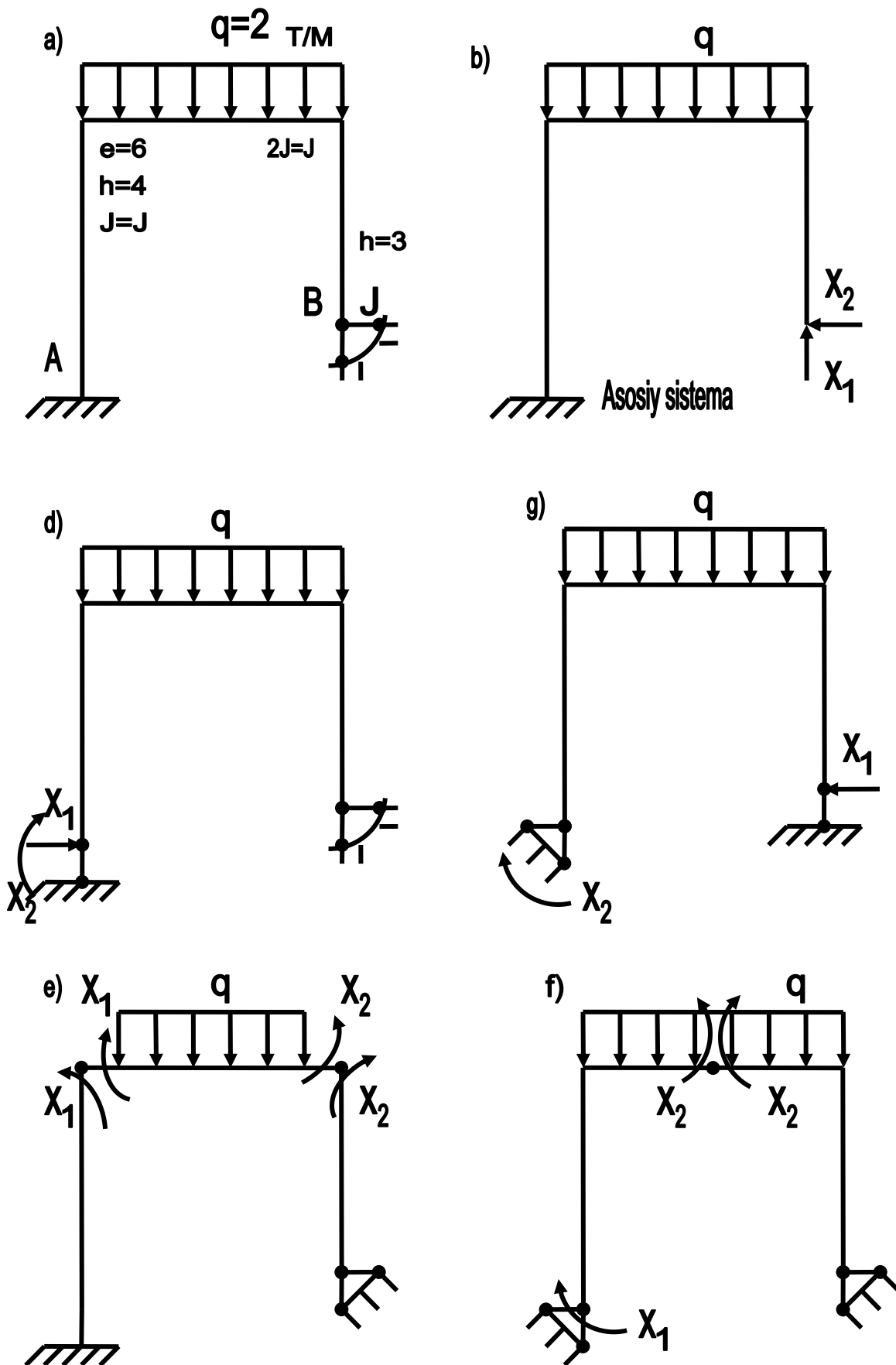
Bu tenglamalar sistemasi kuchlar metodining deformatsiya tenglamalari deyiladi. Agar asosiy sistema rama elementlarini kesish usuli bilan tanlangan bo'lsa, bu xolda (6.3) tenglamalarining xar biri ortiqcha nomalum zo'riqishlar yo'nalishi bo'yicha ikki kesimning o'zara ko'chishlari doim nolga teng bo'lishini ifodalaydi, chunki bu o'zara ko'chishlar berilgan ramada bo'lmaydi. (6.3) tenglamalar sistemasi kuchlar metodining asosiy tenglamalari bo'lib, xar bir statik aniqmas sistemalarni shu usulda xisoblashda qo'llaniladi.

### **Ma'ruza 2:** **KUHLAR METODINING KANONIK TENGLAMALARI .**

Statik aniqmas sistemaning nomalum zo'riqish kuchlari miqdorini aniqlash uchun statikaning uchta muvozanat tenglamasiga qo'shimcha ravishda ortiqcha nomalumlar soniga teng bo'lgan deformatsiya tenglamalarini tuzish kerak. Qo'shimcha tenglamalarni tuzish yo'qorida bayon

etilgan kabi, belgilagan rama bilan asosiy sistema orasidagi deformatsiya orasidagi farqini yo'qotish uchun ezilgan shartlarga asoslangan

Qo'shimcha tenglamalar tuzish pirintsipini oddiy ramalar misolida ko'rib chikamiz.



6.10-rasm

( 6.10) – rasm, a da ikki marta statik aniqmas rama ko'rsatilgan bo'lib, u berilgan sistema deb ataladi. Asosiy sistemani olish uchun undan ikkita ortiqcha bog'lanishni, masalan, ung tayanchdan gorizantal va vertikal tayanch bog'lanishlarni olib tashlash mumkun. Bu bog'lanishlarni olib tashlab, ulardagi nomalum zo'riqishlarni  $X_1$ ,  $X_2$ , deb belgilaymiz va asosiy sistemaning  $V$  kesimiga tasir ettiramiz (6.10 – rasm, b). Ramadan boshqa xildagi ortiqcha bog'lanishlarni olib tashlash yo'li bilan asosiy sistemaning bir nechta variantini xam tanlash mumkun.( 6.10-rasm, v,g,d,va e) .

Berilgan ramaning ung tayanchi  $V$  vertikal va garizantal ko'chishlar nolga teng bo'lgani uchun asosiy sistemadan xam ( uning berilgan ramadan ikkinchi farqini yo'qotish uchun )  $V$  kesimning vertikal va garizantal ko'chishlari nolga teng bo'lishi kerak. Bu shartni ( 4.3) formulaga asosan quyidagicha ezish mumkun.

$$\begin{aligned}\Delta_1(x_1, x_2, p) &= 0, \\ \Delta_2(x_1, x_2, p) &= 0,\end{aligned}$$

Bunda  $\Delta_1(X_1, X_2, P)$ -  $B$  kesimining vertikal ko'chishi, yani  $X_1$  zo'riqish kuchi yo'nalishi bo'yicha  $R$  tashqi yuk va  $X_1, X_2$ , zo'riqishlardan xosil bo'lgan ko'chish:

$\Delta_2(x_1, x_2, p)$  -zo'riqish kuchi  $X_2$  yo'nalishi bo'yicha  $R$  tashqi yuk va  $X_1, X_2$ , zo'riqishlardan xosil bo'lgan  $V$  kesimining gorizantal ko'chishi.

Kuchlar tasirining mustaqillik pirintsipiga asosan, tkuchlar sistemasi tasiridan xosil bo'lgan  $\Delta_1$  umumiy ko'chish  $X_1, X_2$ , va  $R$  kuchlarining xar biridan aloxida topilgan ko'chishlarining yig'indisiga teng. U xolda yo'qorida keltirilgan tenglamalarni quyidagicha ezish mumkin.

$$\begin{aligned}(6.4) \\ \Delta_1 x_1 + \Delta_1 x_2 + \Delta_1 p &= 0 \\ \Delta_2 x_1 + \Delta_2 x_2 + \Delta_2 p &= 0\end{aligned}$$

Bunda Birinchi indeks ko'chishning yo'nalishini, ikkinchi indeks esa ko'chishni xosil qiluvchi sabablarini ifodalaydi. Bu tenglamalardagi  $X_1$  va  $X_2$  zo'riqishlarda asosiy sistema vujudga kelgan kuchlarni tegishli birlik ko'chishlar orqali ifodalaymiz.

$$\begin{aligned}(6.5) \\ \Delta_1 x_1 = \delta_{11} X_1, \quad \Delta_1 x_2 = \delta_{12} X_2, \\ \Delta_2 x_1 = \delta_{21} X_1, \quad \Delta_2 x_2 = \delta_{22} X_2,\end{aligned}$$

Burda  $b_{11}$  zo'riqish kuchi  $X_1$  yo'nalishi bo'yicha, birlik kuchi  $X_1 = 1$  dan xosil bo'lgan ko'chish  $\delta_{12} - X_1$  ning yo'nalishi bo'yicha, birlik kuch  $X_2 = 1$  dan xosil bo'lgan ko'chish  $\delta_{22} - X_2$  ning yo'nalishi bo'yicha, birlik kuch  $X_2 = 1$  dan vujudga kelgan ko'chish:  $\Delta_1 p$ ,  $\Delta_2 p$  -zo'riqish kuchlari  $X_1$  va  $X_2$  yo'nalishi bo'yicha tashqi yuk tasiridan xosil bo'lgan ko'chishlar

( 6.5) ifodaga asosan, deformatksiya tenglamalari ( 6.4) ni nomalumlar orqali ezamiz.

$$\begin{aligned}(6.6) \\ \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \Delta_1 p &= 0 \\ \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \Delta_2 p &= 0\end{aligned}$$

( 6.6) tenglamalar kuchlar metodining kanonik tenglamalari deyiladi. Birlik ko'chish  $\delta_{11}$ ,  $\delta_{12} = \delta_{21}$  va  $b_{22}$  lar MOR formulasini eki Vereshshagik qoidasini tatbiq etib aniqlanadi, yani:

$$(6.7) \quad \delta_{11} = \int M_1 dx / EJ, \quad \delta_{22} = \int M_2 dx / EJ, \quad \delta_{12} = \int M_1 M_2 dx / EJ.$$

( 6.6) tenglamalardagi  $\Delta_1 p$  va  $\Delta_2 p$  ko'chishlar ozod xadlar deyiladi va ular xam Mor formulasiga asosan aniqlanadi:

$$\Delta 1p = \sum_{i=1,n} \int M_p M_i dx / EJ, \quad (6.8)$$

Asosiy sistema vujudga kelgan birlik ko'chishlar va ozod xadlar aniqlangandan so'ng, (6.6) tenglamalarni ezib  $X_1$  va  $X_2$  nomalum zo'riqishlar xisoblanadi.

Ramaning ixtiyoriy kesimdagi èguvchi mament  $M_k$ , kundalang kuch  $Q_k$  va bo'ylama kuch  $N_k$  quyidagi formulalarga asosan aniqlanadi.

$$\begin{aligned} M_k &= M_p + M_1 X_1 + M_2 X_2, \\ Q_k &= Q_k + M_1 X_1 + M_2 X_2, \\ N_k &= N_k + M_1 X_1 + M_2 X_2, \end{aligned} \quad (6.9)$$

Bu formulalarga asosan berilgan rama uchun M va Q,N ning umumiy èpyuralari chiziladi(6.12-rasm).

### Ma'ruza 3.4

### Statik aniqlamas sistemalarni kuchlar metodi bilan xisoblash.

Statik aniqmas elastik sistemalar ( ramalar ) kuchlar metodi bilan quyidagi tartibda xisoblanadi:

1. Ramalarning statik aniqlashtirish darajasi, ya'ni ortiqcha bog'lanishlar soni ( 6.1) va ( 6.2) formulalarga asosan topiladi.
2. Rama ortiqcha boshlanishlardan ozod qilinib, asosiy sistema tanlanadi. Asosiy sistema bilan rama orasida xosil bo'lgan farqlarni yo'qotish uchun, olib tashlangan bog'lanishlar tasiri nomalum zo'riqlashtirish bilan almashtiriladi.
3. Asosiy sistemaga quyilgan ortiqcha nomalumlarining yo'nalishi bo'yicha tashqi yuklar va nomalumlar tasiridan xosil bo'lgan ko'chishlar yig'indisining nolga tengligini ifodalovchi kanonik tenglamalar sistemasi ( 6.6) eziladi:

[illegible]

Bu n marta statik aniqlamas rama uchun ezilgan kuchlar metodining kanonik tenglamalar sistemasidir. Bunda  $\delta j_j$  va  $\delta j_k = \delta k_j$  asosiy sistemada birlik kuchlar tasiridan xosil bo'lgan ko'chishlar;  $\Delta i_p$  - asosiy sistemada  $X_i$  nomalum yo'nalishi bo'yicha tashqi yukdan xosil bo'lgan ko'chishlar- ozod xadlar ( $i=1, n$ ).

4. Kanonik tenglamalar sistemasida nomalum oldidagi birlik ko'chishlar (ko'effitsientlar) va ozod xadlar aniqlanadi. Buning uchun Mor formulasidan eki Vershsagin usulidan foydalaniladi:

$$\begin{aligned} \delta_{ii} &= \sum_j \int M_i dx / EJ = \sum \omega_i \gamma_i / EJ. \\ \delta_{ik} &= \delta_{ik} = \sum_j \int M_i M_k dx / EJ = \sum \omega_i \gamma_k / EJ. \\ \Delta_{ip} &= \sum_j \int M_p M_i dx / EJ = \sum \omega_p \gamma_k / EJ \end{aligned} \quad (6.11)$$

Xar bir birlik nomalum asosiy sistema uchun aloxida  $M_1, M_2, \dots, M_n$ , xamda  $M_3$  èpyuralari chiziladi.

5.  $\delta l$ ,  $\delta i_k$ , va  $\Delta i_p$  ko'chishlar to'g'ri xisoblab topilganlik tekshiriladi. Buning uchun asosiy sistemani barcha birlik nomalum bilan yuklab,  $M$  yig'indi èguvchi mamentning èpyurasi bilan ko'paytirilsa, nomalum  $X_i$  yo'nalishida xosil bo'lgan birlik ko'chishlar yig'indisi kelib chikishi kerak, yani:

$$M_{\Sigma} = M_1 + M_2 + \dots + M_n.$$

$$\delta l_{\Sigma} = \sum \int M_p M_{\Sigma} dx / EJ = \sum \int (M_1 + M_2 + \dots + M_n) M_i dx / EJ = \sum \int M_1 M_i dx / EJ + \sum \int M_2 M_i dx / EJ + \dots + \sum \int M_n M_i dx / EJ = \delta i_1 + \delta i_2 + \dots + \delta i_n. \quad (6.12)$$

Agar  $M_{\Sigma}$  yig'indi èguvchi mamentining èpyurasini  $M_r$  ning èpyurasiniga Vereshshagin usuli bilan ko'paytirsak, u xolda ozod xadlarning yig'indisi kelib chikishi kerak, yani:

$$\Delta \Sigma p = \sum \int M_p M_{\Sigma} dx / EJ = \Delta l_p + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_n \quad (6.12)$$

6. Kanonik tenglamalar sistemasi ( 6.10) ni eshib,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  nomalum zerikishlarning miqdori aniqlanadi.

7. Ramaning ixtiyoriy qismidagi èguvchi moment  $M_k$  ko'ndalang kuch  $Q_k$  va bo'ylama kuch  $N_k$  aniqlanadi. Buning uchun ( 6.9) formulalardan foydalaniladi;

$$\begin{aligned} M_{\Sigma} &= M_p + M_1 X_1 + M_2 X_2 + \dots + M_n X_n, \\ Q_{\Sigma} &= Q_p + Q_1 X_1 + Q_2 X_2 + \dots + Q_n X_n, \\ N_{\Sigma} &= N_p + N_1 X_1 + N_2 X_2 + \dots + N_n X_n, \end{aligned} \quad (6.13)$$

Bu formulalar asosida eki aniqlangan  $X_1, X_2, \dots, X_n$  zo'riqishlar va tashqi yuklarni asosiy sistemaga tasr èttirib xamda statik aniq sinik sterjenlarni xisoblash usullaridan foydalanib, ramaning  $M_{\Sigma}$ ,  $Q_{\Sigma}$  va  $N_{\Sigma}$  èpyurlari chiziladi.

8. Berilgan rama èpyurlarining to'g'ri chizilganligi tekshiriladi. Tekshirishlar quyidagi usullarda bajariladi:

a ) statik tekshirish. Ramada tugunlar kirkib olinib ularga qolgan qismining tasirini tegishli  $M$ ,  $Q$  va  $N$  zo'riqishlar bilan almashtiriladi va statik muvozanat tenglamalari eziladi.

$$\Sigma M = 0; \quad \Sigma X = 0; \quad \Sigma Y = 0,$$

b ) deformattsiya tekshirish: Agar rama uchun èguvchi mamentlarning umumiy èpyurasi  $M_{\Sigma}$  to'g'ri chizilgan bo'lsa, u xolda xar bir nomalum zo'riqish yo'nalishi bo'yicha ko'chish nolga teng bo'lishi kerak:

$$\sum \int M_{\Sigma} M_i dx / EJ = 0. \quad (i=1, \dots, n) \quad (6.14)$$

(6.14) ifoda kanonik tenglamalar sistemasining xar bir tenglamasi nolga tengligini ko'rsatadi.

Xakikatdan, (6.14) ifodadagi  $M_{\Sigma}$  ni ( 6.13) asosan almashtirsak, quyidagi tenglama xosil bo'ladi:

$$X_1 \sum \int M_1 M_i dx / EJ + X_2 \sum \int M_2 M_i dx / EJ + \dots + X_n \sum \int M_n M_i dx / EJ + \sum \int M_p M_i dx / EJ = 0$$

eki

$$\sum \int M \sum M_1 dx / EJ = \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \dots + \delta_{1n} X_n + \Delta_{1p} = 0.$$

Misol. 6.10 –rasm, a da ko'rsatilgan rama metodi bilan xisoblansin. Rama elementlarining o'lchamlari shaqilida ko'rsatiladi.

Yechim. Ramani xisoblash yo'qorida bayon etilgan tartibda bajariladi.

1. ( 6.2 ) formulaga ko'ra ramaning statik aniqmaslik darajasi aniqlanadi:

Ramada  $K=1$ ,  $SH=1$ .u xolda  $n=2$  bo'ladi. Demak , rama ikki marta statik aniqmas ,u ikkita ortiqcha bog'lanishga ega.

2. Ramani ikkita ortiqcha bog'lanishlardan ozod qilib, asosiy,sistema tanlanadi

( 6.10 –rasm .b). Ortiqcha bog'lanishning nomalum zo'riqlarini  $X_1$  va  $X_2$  deb belgilaymiz.

3.Bu asosiy sistema uchun komaniq tenglamalar sistemasini ezamiz:

$$\delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \Delta_{1p} = 0$$

$$\delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \Delta_{2p} = 0$$

Asosiy sistemaning boshqa variantlari uchun xam kanonik tenglamalar sistemasi ( a ) ko'rinishda eziladi. Asosiy sistemani aloxida-aloxida  $X_1=1$  va  $X_2=1$  bilan yuklab,  $M_1$  va  $M_2$  eguvchi mamentlarning eguvchi mamentlarining epyuralarini xamda tashqi yuk tasiridan xosil bo'lgan  $M_r$  ning epyurasini chizamiz ( 6.11-rasm ). Bu epyuralardan foydalanib ( a ) tenglamalardan birlik ko'chishlar va ozod xadlarni Vereshshagen usuli yordamida xisoblaymiz:

$$\delta_{11} = \sum \omega \tau \tau / EJ \tau = \omega_1 \gamma_1 / EJ_1 + \omega_2 \gamma_2 / EJ_2 = 4.6 * 6 / EJ + 18 * 4 / EJ = 180 / EJ;$$

$$\delta_{22} = \omega_3 \gamma_3 / EJ_3 = \omega_4 \gamma_4 / EJ_1 + \omega_5 \gamma_5 / EJ_1 + \omega_6 \gamma_6 / EJ_2 = 45.33 / EJ;$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \omega_1 \gamma_1 / EJ_1 = \omega_2 \gamma_2 / EJ_2 = 6 * 4 * 1 / EJ - 18 * 3 / EJ = - 51 / EJ;$$

$$\Delta_{1p} = \omega_7 \gamma_7 / EJ_1 = \omega_8 \gamma_8 / EJ_1 = -36 * 4 * 6 / EJ - 2 * 6 * 4.5 / EJ = - 1026 / EJ;$$

$$\Delta_{2p} = \omega_7 \gamma_7 / EJ = \omega_8 \gamma_8 / EJ = 4 * 36 * 1 / EJ + 2 * 6 * 3 / EJ = 252 / EJ;$$

Bu ko'chishlar to'g'ri xisoblanganligini tekshirish uchun asosiy sistemani birlik nomalum  $X_1=1$   $X_2=1$  bilan yuklab,  $M$  yig'indi eguvchi mamentning epyurasi chiziladi ( 6.11-rasm,b) ( 6.12) va ( 6.12) formulalarga asosan ko'chishlar tygri xisoblanganligi tekshiriladi :

$$\delta_{11} = \sum \int M \sum M_1 dx / EJ = \delta_{11} + \delta_{12} = 129 / EJ;$$

$$\delta_{21} = \sum \int M \sum M_2 dx / EJ = \delta_{21} + \delta_{22} = -5.67 / EJ;$$

$$\Delta_{1p} = \sum \int M_p M \sum dx / EJ = \Delta_{1p} + \Delta_{2p} = -774 / EJ;$$

Demak, kuchshlar to'g'ri xisoblangan. Bu ko'chishlarning kiymatini kononik tenglamalar sistemasi (a) ga quyamiz:

$$180X_1 - 51X_2 - 1026 = 0,$$

$$-51X_1 + 45.33X_2 + 252 = 0.$$

Tenglamalarni birgalikda eshsak:  $X_1=6.06$  t va  $X_2=1.25$ t.

3.  $M \sum$ ,  $Q \sum$  va  $N \sum$  larning epyuralari ni ko'rishda ularning ordinatalari ishoralarini quyidagicha qabul qilamiz:

eguvchi mament uchun , xar bir sterjenga chizmalrni o'qish qoidasi bo'yicha karaymiz vapastki tolalar tomaniga ulshab quyiladi.

Kundalang kuchining shorasi oddiy balkalar uchun yo'qorida keltirilgan qoida bo'yicha olinadi.

Bo'ylama kuchning ishorasi: agar cho'zuvchi kuch bo'lsa, musbat. deb qabul qilinadi,akis xolda manfiy bo'ladi .

Tashqi tashqi yuklarni va aniqlangan  $X_1$  va  $X_2$  zo'riqlarini asosiy sistemaga tegishli yo'nalish bo'yicha tasir ettirib,uni oraliklarga bo'lamiz ( 6.17-rasm a):

1 oralik  $0 \leq x_1 \leq 3m$

$$M(x_1) = -X_2 x_1; \quad M(0) = 0, \quad M(3) = -3.75t.m.$$



$$Q(x_1)=X_2=1,25t.$$

$$N(x_1)=-X_1=-6,06t$$

II oralik  $0 \leq x_2 \leq 6m$

$$M(x_2)=X_1x_2-qx_2^2/2 - X_2x_2^3/6;$$

$$M(0)=-3,75t.m, \quad M(6)=-3,43 t.m \quad x_2=3,0,3 m \quad da \quad M_{max}=5,34 t.m$$

$$Q(x_2)=-X_1+qx_2; \quad Q(0)=-6,06 t \quad Q(6)=5,94 t. \quad N(x_2)=-X_2=-1,25 t.$$

Xuddi shuningdek qolgan oraliklar uchun xam  $M(x)$ ,  $Q(x)$  va  $N(x)$  ning tenglamalarini tuzib, bu zo'riqlarning epyuralarini chizamiz (6.12-rasm b.v.g)

5. Epyuralarni tekshirish:

*Statik tekshirish.* Ramaning 1-tuginini kirkib olib, uning uchun muvozanat tenglamalarini ezamiz (6.12-rasm b):

$$\sum X=0, \quad -N_{12}+Q_{13}=0, \quad -1,25+1,25=0.$$

$$\sum Y=0, \quad N_{13}-Q_{12}=0, \quad 5,94-5,94=0.$$

$$\sum M=0, \quad M_{12}-M_{13}=0, \quad -3,43-3,43=0.$$

*Defarmotsion tekshirish.*  $M \sum$  epyurasining to'g'ri chizilganligi quyidagi formula yordamida tekshiriladi:

$$\int_0^l M \sum M_1 dx / EJ = 0 \quad va \quad \int_0^l M \sum M_2 dx / EJ = 0 \quad bo'lishi kerak.$$

6.12-rasm. e. j. xamda 6.11-rasmda ifodalangan epyuralarga asosan

$$\int_0^l M \sum M_1 dx / EJ = 36 \cdot 3 / 2 EJ - 3,75 \cdot 6^2 / 2 EJ - 3,43 \cdot 6^4 / 2 EJ - 3,43 \cdot 4 \cdot 6 / 2 EJ + 1,61 \cdot 4 \cdot 6^2 / 2 EJ = 0$$

Shunga uxshash,  $\int_0^l M \sum M_2 dx / EJ = 0$  eanligiga xam ishonsh xosil qilish mumkun. Demak rama to'g'ri xisoblangan.

## Ma'ruza 5.

### Statik aniqmas sistemalarni temperatura tasiriga xisoblash.

Tashqi muxum tempuraturasining o'zgarishi natijasida statik aniqmas sistema elementlarida qo'shimcha zo'riqlash kuchlari xosil bo'ladi.

Bu zo'riqlash kuchlarini aniqlash uchun kuchlar metodini tatbiq etamiz. Statik aniqmas sistemalarni temperatura tasiriga kuchlar kuchlar metodi bilan xisoblash tartibiularni tashqi yuklar tasiriga xisoblash tartibidan farq qilmaydi, lekin kanonik tenglamalar sistemasidagi ozod xadlar urniga asosiy sistemada nomalum yo'nalishi bo'yicha temperaturadan xosil bo'lgan qo'shimchalar eziladi, yani:

(6.10)

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \dots + \delta_{1n}X_n + \Delta_{1t} = 0,$$

$$\delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \dots + \delta_{2n}X_n + \Delta_{2t} = 0,$$

.....

$$\delta_{n1}X_1 + \delta_{n2}X_2 + \dots + \delta_{nn}X_n + \Delta_{nt} = 0,$$

Bunda  $\delta_{ii}$  va  $\delta_{ik}$  - asosiy sistemadagi birlik ko'chishlar, ularning miqdori temperaturaning o'zgarishiga bog'lik emas;  $\Delta_{1t}$ ,  $\Delta_{2t}$ , ...,  $\Delta_{nt}$  - asosiy sistemada nomalum zo'riqlashlar yo'nalishi bo'yicha temperaturaning o'zgarishidan xosil bo'lgan ko'chishlar, ularning miqdori Mor formulasiga asosan aniqlanadi:

$$\Delta_{it} = \sum \alpha t_1 + t_2 / 2$$

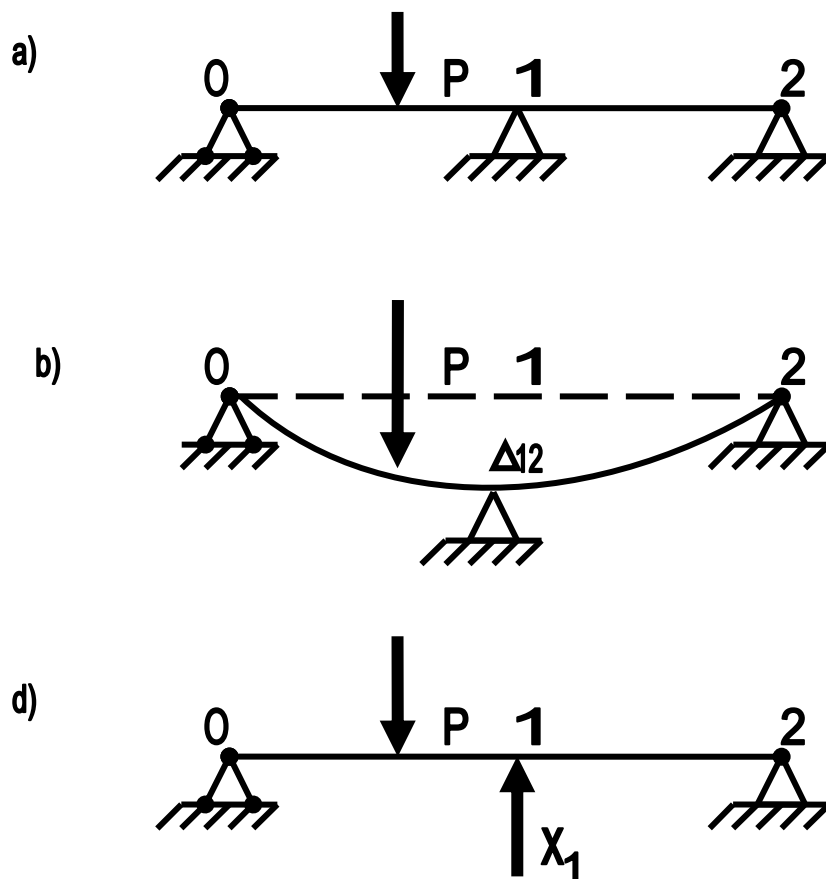
Bu yorda  $\alpha$  - rama elementlari materialining temperaturadankengayish ko'effitsenti  $t_1$  va  $t_2$  - rama elementlari shki va tashqi tolashalari temperaturasining o'zgarishi;  $d_0$ -kundalang kesm balandligi.

Kanonik tenglamalar sistemasi ( 6.10) ni eshib, ramada temperatura o'zgarishidan xosil bo'lgan  $X_1, X_2, \dots, X_n$  nomalum zo'riqishlar aniqlangan so'ng, uning eguvchi momentlari, kundalang va bo'ylama kuchlarning umumlashgan epyurlari ( 6.13) formulaga asosan chiziladi, yani;

$$M \sum M_1 X_1 + M_2 X_2 + \dots M_n X_n$$

#### Statik aniqmas sistemalarni tayanchlar cho'kishiga xisoblash.

Statik aniqmas sistema elementlarida temperaturaning o'zgarishidan zo'riqish kuchlari xosil bo'lishi bilan birga uning biror tayanch cho'kishi natijasida xam zo'riqishlar xosil bo'ladi. Bu zo'riqishlarni aniqlashda kuchlar metodini tadbqiq qilamiz.



6.13-rasm

Masalan, 6.13-rasm, a da ko'rsatilgan tutash balkaning urta tayanchi vertikal bo'yicha  $\Delta l_{sh}$  miqdorga shuksin (6.13-rasm, b) . xosil bo'lgan qo'shimcha zo'riqish kuchlarini aniqlaymiz. Tutash balkaning urta tayanch bog'lanishini ortiqcha deb, asosiy sistemani tanlaymiz ( 6.13-rasm, v). Ortiqcha tayanch bog'lanishidan zo'riqishni nomalum reaksiya kuchi  $X_1$ , bilan almashtirib, asosiy sistemaga tasir ettiramiz.

Asosiy sistemada  $X_1$  yo'nalishi bo'yicha tashqi yuk  $R$  va nomalum reaksiya kuchi  $X_1$  dan xosil bo'lgan ko'chishlar yig'indisi urta tayanchni cho'kishiga teng bo'lishi kerak. Bu shartni ifodalovchi kuchlar metodining kanonik tenglamasini ezamiz;

$$\delta l_{X_1} + \Delta l_r = \Delta l_{sh},$$

Bunda  $\Delta l_r$  -asosiy sistemada  $X_1$  yo'nalishi bo'yicha tashqi yuk  $R$  dan xosil bo'lgan ko'chish;  $\Delta l_{sh}$  -urta tayanchning cho'kish miqdori.

Kanonik tenglamadan nomalum reaksiya kuchini aniqlaymiz:

$$X = \Delta l - \Delta l_p / \delta l_{X_1}$$

Sistema eguvchi mamentining umumiy epyurasi (6.13) formulaga asosan chiziladi, yani:

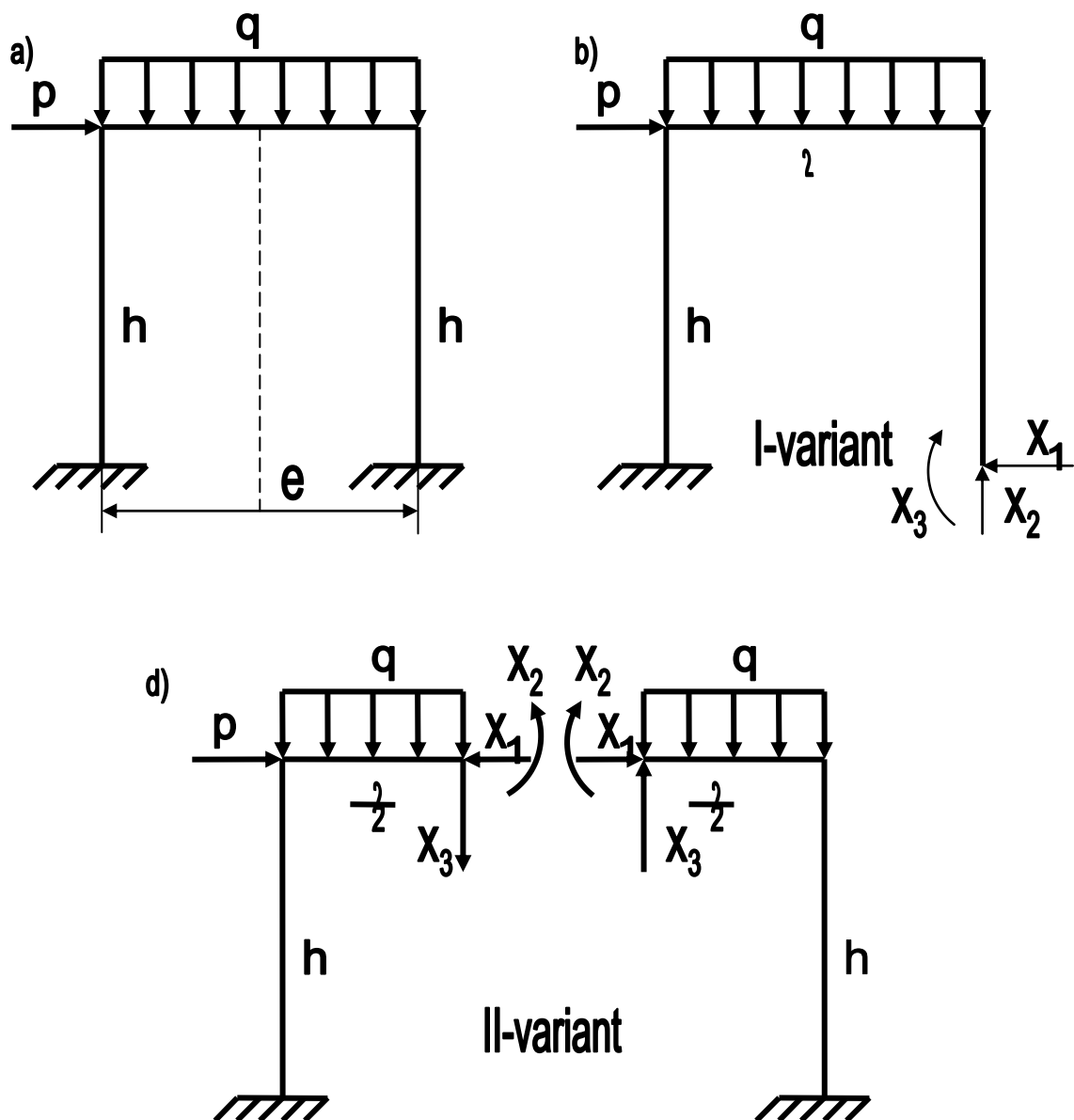
$$M_{\Sigma} = M_p + M_1 X_1$$

### **SIMMETRIK RAMALARNI XISOBLASH.**

Agar ramalarning geometrik sxemasi simmetrik o'qiga ega bo'lib, unga nisbatan simmetrik joylashgan elementlarning birkliklari bir biriga teng bo'lsa, bunday ramalar simmetrik ramalar deyiladi.

Statik aniqmaslik darajasi katta bo'lgan ramalarni xisoblashda birlik ko'chishlar va ozod xadlarni aniqlash bilan birga, ko'p nomalumli kanonik tenglamalar sistemasini eshish to'g'ri keladi. Bu xisoblash ishlarini ancha kiyinlashtiradi. Kiyinchiliklarni yo'qotish uchun simmetirik ramalarni xisoblashda simmetirik asosiy sistema tanlanadi. Bu soddalashtirish usulini 6.14-rasm, a da ko'rsatilgan simmetrik ramani xisoblash misolida ko'rib

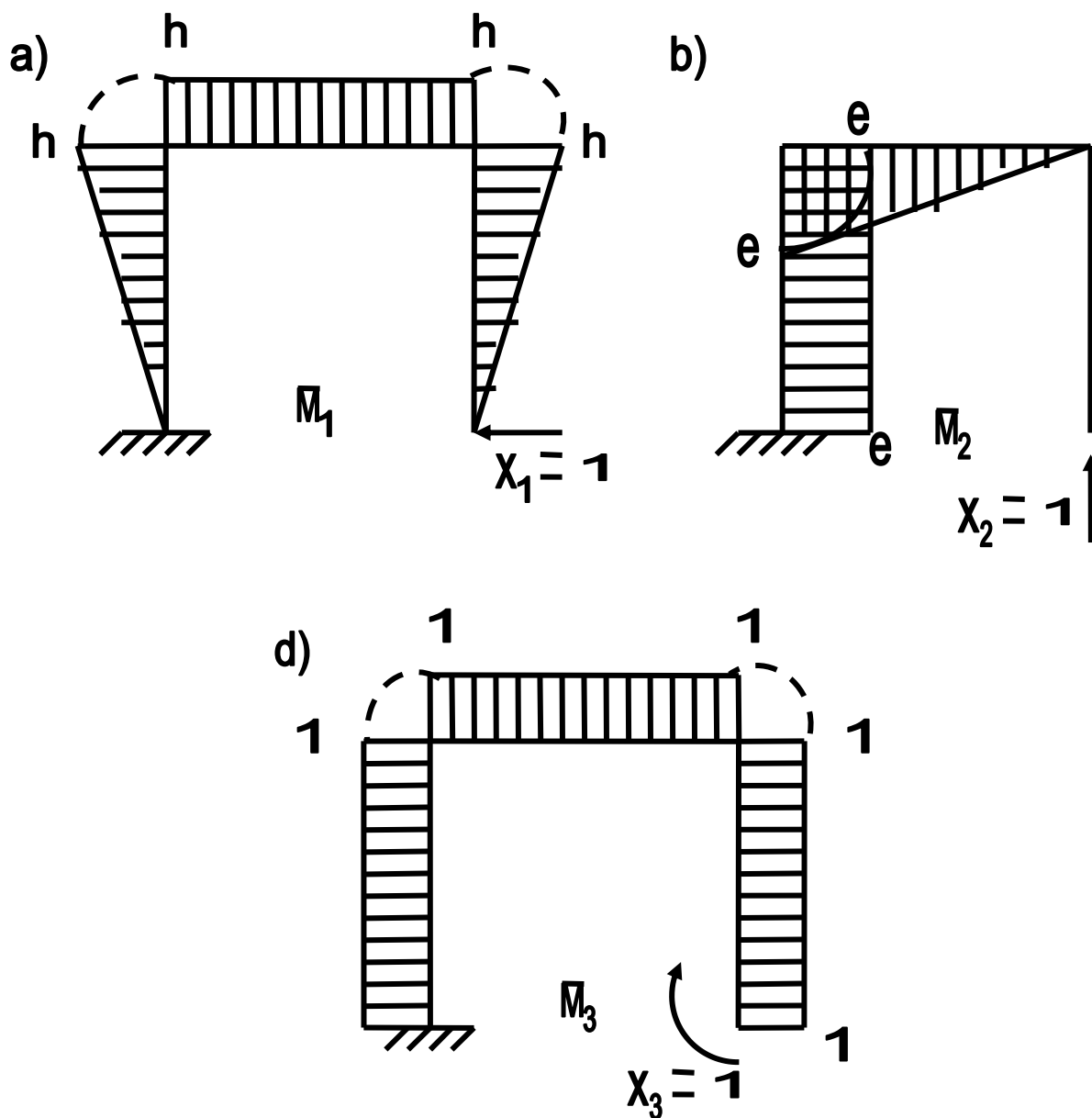
chikamiz.



6.14-rasm

Uch marta statik aniqmas rama asosiy sistemaning ikki variantini ko'raylik. 6-14-rasm, b da tasvirlangan asosiy sistemaning Birinchi varianti ung tayanch bog'lanishlaridan ozod ètilib tanlangan. Nomalum zo'riqlarni aniqlash uchun ( 6.10) ifodaga asosan kanonik tenglamalar sistemasini ezamiz:

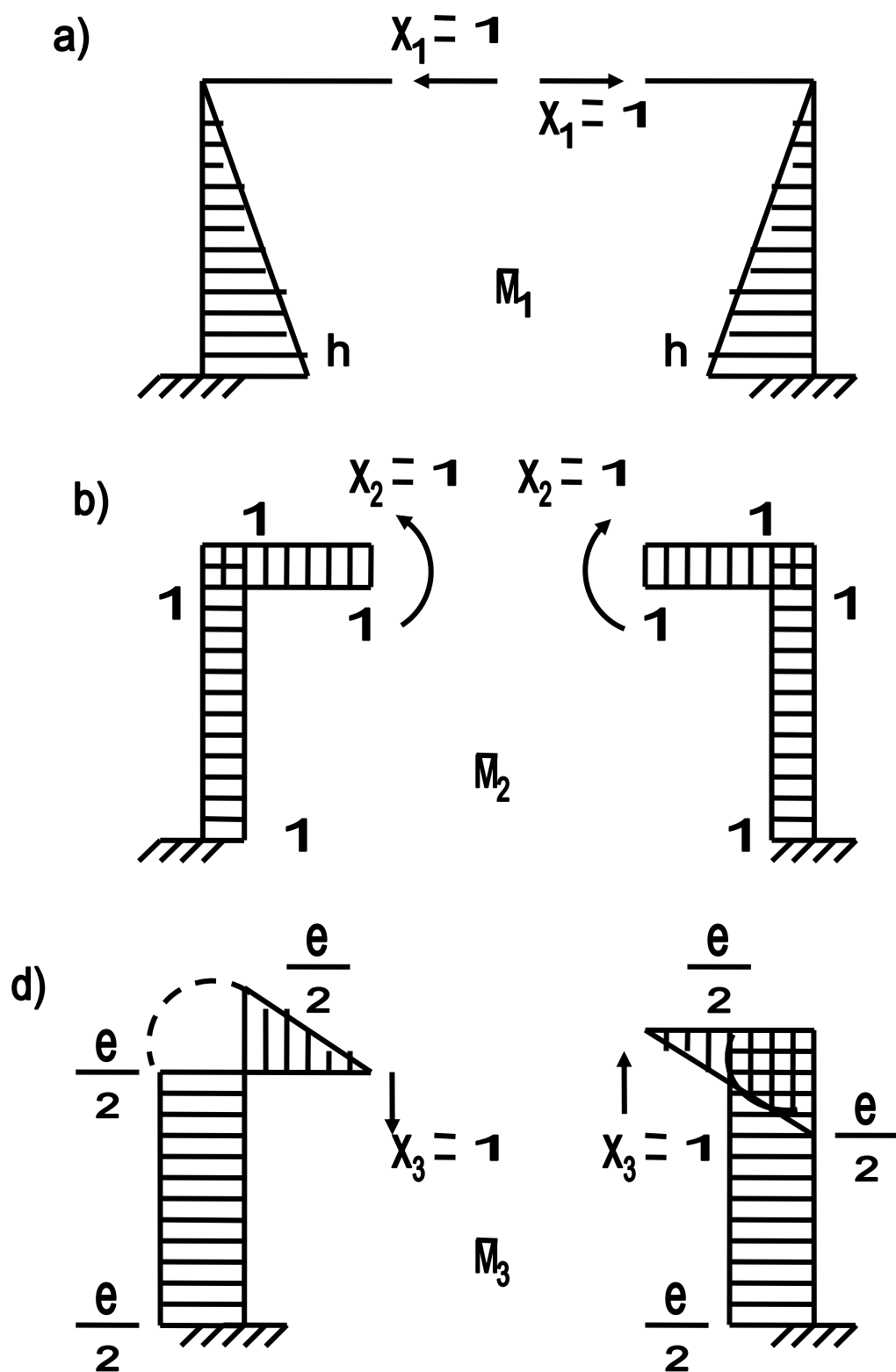
$$\begin{aligned} \delta_{11}Y_1 + \delta_{12}Y_2 + \delta_{13}Y_3 + \Delta_1 r &= 0, \\ \delta_{21}Y_1 + \delta_{22}Y_2 + \delta_{23}Y_3 + \Delta_2 r &= 0, \\ \delta_{31}Y_1 + \delta_{32}Y_2 + \delta_{33}Y_3 + \Delta_3 r &= 0, \end{aligned}$$



6.15-rasm

Asosiy sistemaning Birinchi varianti uchun birlik nomalumlardan eguvchi mament epyuralarini ko'rib ( 6.15-rasm, a.b.v) , birlik ko'chishlar va ozod xadlarni xisoblaymiz, lekin bu vriant uchun birorta xam yordamshi birlik ko'chishlar  $\delta_{jk}$  nolga teng bo'lmaydi. Demk, asosiy sistemaning bu varianti noqulay variantlidir.

Asosiy sistemaning ikkinchi variantini tanlash uchun ramani vertikal simmetiriya o'qi bo'yicha kesib, uni teng ikki bo'lakka ajratamiz ( 6.14-rasm, v) va xar bir bo'lak uchun birlik nomalum  $X_1=1$ ,  $X_2=1$ ,  $X_3=1$  lardan eguvchi mamentlar epyurasini chizamiz (6.16-rasm, a, b va v ).



6.16-rasm

Bu xolda  $M_1$   $M_2$  èpyuralar simmetrik va  $M_3$  èpyura èsa teskari simmetrik bo'ladi. Simmetrik va teskari simmetrik funktsiyalarining o'zaro ortoganallik xususiyatlariga asosan asosiy sistemaning bu variant uchun bir necha yordamshi qo'shimchalar  $\delta_{ik}$  nolga teng bo'ladi, yani:

$$\delta_{rk} = \sum \int M_r M_k / EJ \, dx = 0 \quad (6.17)$$

Bu shartni qanoatlantiruvchi  $M_r$  va  $M_k$  èguvchi mament èpyuralari o'zaro ortog'onal èpyuralar deyiladi.

Xakikatdan, simmetrik asosiy sistema uchun yordamshi  $\delta_{13}$  ko'chishni xisoblask, nolga teng bo'ladi chunki  $M_1$  èpyurasi simmetrik,  $M_3$  èpyurasi èsa teskari simmetrik, shuning uchun ular o'zaro ortog'onal èpyuralardir, ya'ni  $\delta_{13} = \delta_{31} = 0$  va shunga uxshash  $\delta_{23} = \delta_{32} = 0$  bo'ladi.

Asosiy sistemaning ikkinchi varianti uchun kanonik tenglamalar sistemasi ikki mustaqil gruppaga ajratiladi:

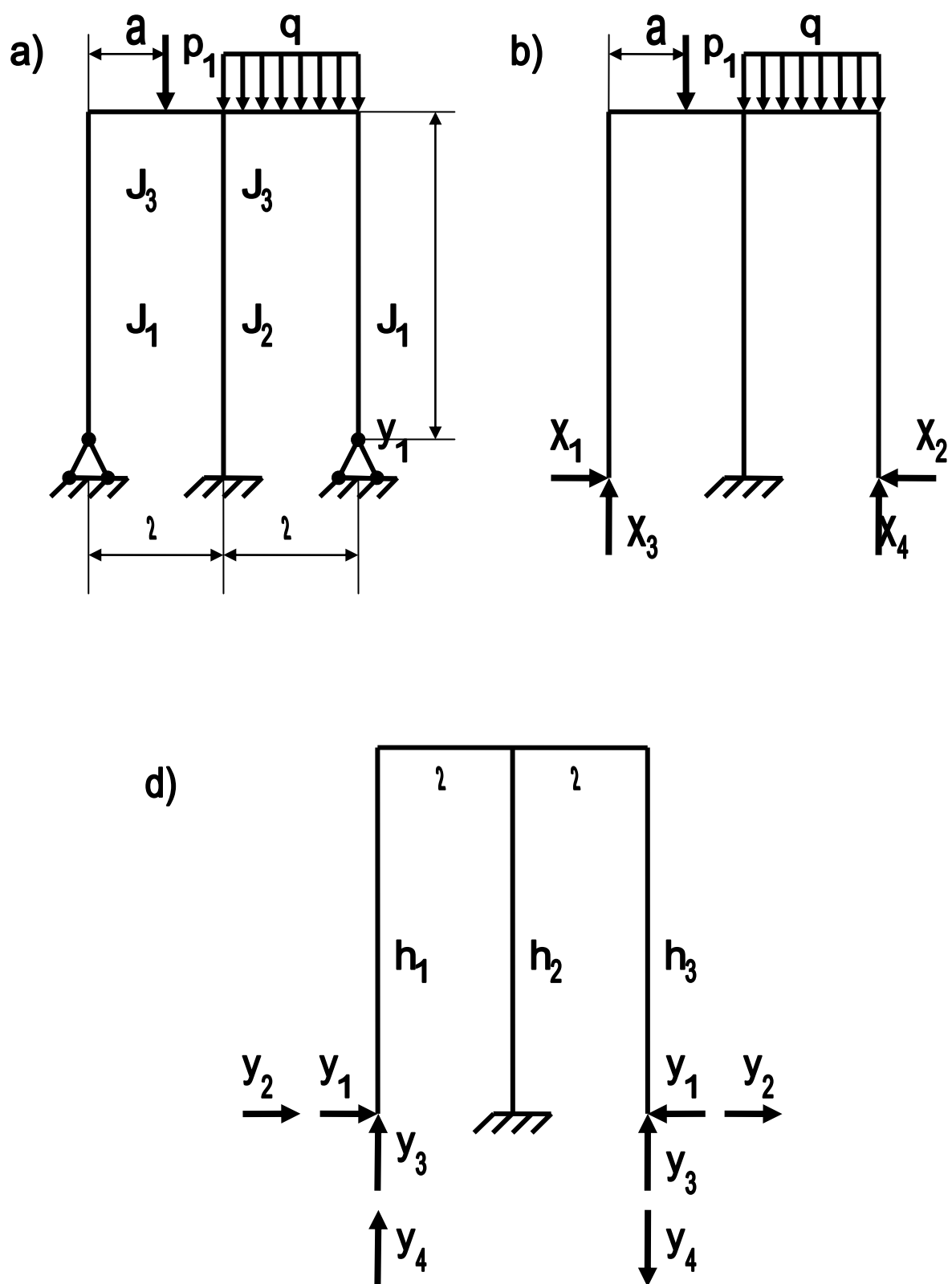
$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_1 r &= 0 \\ \delta_{22}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_2 r &= 0 & \text{I grupp} \\ \delta_{33}X_3 + \Delta_3 r &= 0 & \text{II grupp} \end{aligned}$$

I tenglamalar gruppasida simmetrik noma'lum zo'riqishlar, II gruppada èsa teskari simmetrik noma'lum zo'riqishlar ishtirok etadi. Demak, simmetrik rama uchun asosiy sistema doimo simmetrik bo'lishi kerak. Bu shart bajarilganda uning bir necha yordamshi birlik ko'rinishlari no'lga teng bo'lishi bilan birga, kanonik tenglamalar sistemasini eshish osonlashadi.

## Ma'ruza 6

### Noma'lumlarni gruppalash usuli.

Bir necha prolyotli simmetrik ramalarni xisoblashda noma'lum zo'riqishlarni simmetriya o'qi utgan kesimga joylashtirishning imkoni bo'lmaganligi sababli (6,17- rasm,b) yuukorida ko'rsatilgan soddalashtirish usullarini tadbqiq qilish mumkin bo'lmaydi. Lekin bunday ramalarda xosil bo'lgan xar bir noma'lum zo'riqishlar urniga noma'lumlar gruppasini qabul qilsak, u xolda ramalarni xisoblash uchun ancha osonlashadi.



6.17-rasm



Noma'lumlarni gruppash usuli xar qanday a va b sonlarini boshqa ikki s va d sonlarning yig'indisi va ularning ayirmasi orqali ifodalashga asoslangan, ya'ni

$$a = s+d, \quad b=s-d$$

Bu shartni bajarish uchun va bo'lishi kerak.

Bu shartga asosan, 6,17 rasm, b da ko'rsatilgan X1 va X2 noma'lum zo'riqishlardan birini noma'lumlar gruppasi Y1 va Y2 ning yig'indisi bilan, ikinshisini esa ularning ayirmasi orqali ifodalaymiz (6,17 rasm,v).

$$X1= Y1+Y2, \quad X2= Y1-Y2.$$

Shunga uxshash, qolgan ikki noma'lum X3 va X4 ni uchinshi va turtinshi Y3, Y4 gruppalariga almashtirib ezamiz:

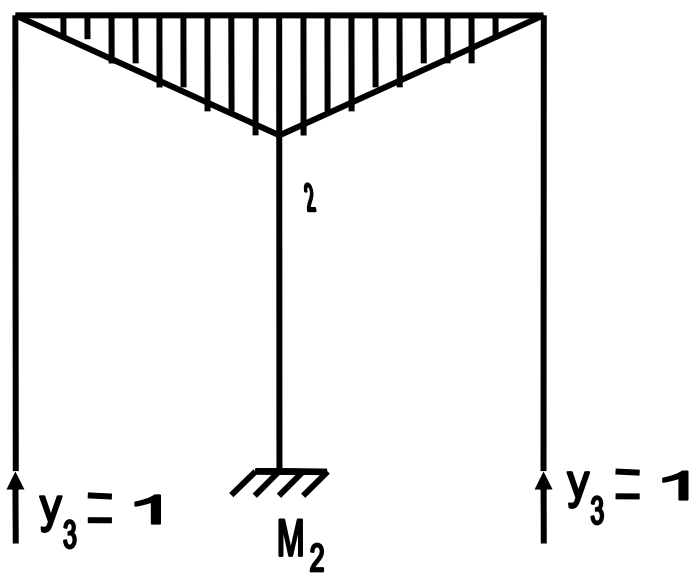
Demak, X1, X2, X3 va X4 noma'lumlar urniga yangi noma'lumlar gruppasi Y1, Y2, Y3 va Y4 xosil bo'ladi. Bo'lardan Y1 va Y3 simmetrik, Y2, Y4 teskari simmetrik noma'lumlar gruppasini tashqil etadi. 6,17- rasm, v da tasvirlangan asosiy sistema uchun kuchlar metodining kanonik tenglamalar sistemasini ezamiz:

$$\begin{aligned} \delta_{11}Y1 + \delta_{12}Y2 + \delta_{13}Y3 + \delta_{14}Y4 + \Delta_1 r &= 0, \\ \delta_{21}Y1 + \delta_{22}Y2 + \delta_{23}Y3 + \delta_{24}Y4 + \Delta_2 r &= 0, \\ \delta_{31}Y1 + \delta_{32}Y2 + \delta_{33}Y3 + \delta_{34}Y4 + \Delta_3 r &= 0, \\ \delta_{41}Y1 + \delta_{42}Y2 + \delta_{43}Y3 + \delta_{44}Y4 + \Delta_4 r &= 0, \end{aligned}$$

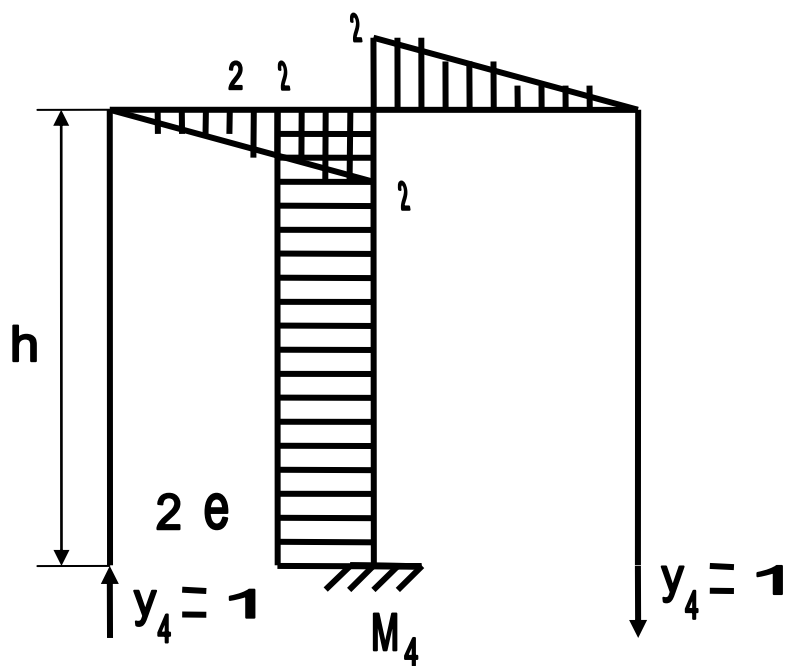
bunda bik-i bikrluk noma'lum gruppasi yo'nalishi bo'yicha k birlik noma'lumlar gruppasi ta'siridan xosil bo'lgan ko'chish; ik-i birlik noma'lumlar gruppasi yo'nalishi bo'yicha tashqi yuuklardan xosil bo'lgan ko'chish.

Asosiy sistema uchun birlik noma'lumlar gruppasi tasiridan chizilgan M1 va M2 eguvchi moment epyuralari simmetrik, M2 va M4 epyuralari esa teskari simmetrik ko'rinishga ega (6,18- rasm ).

d)



g)



6.18-rasm

Simmetrik va teskari èpyuralarning o'zaro ortog'onallik xususyati (6,17) ga ko'ra quyidagi yordamshi birlik ko'chishlar gruppasi nolga teng bo'ladi.

$$\delta_{12} = \delta_{21} = 0, \quad \delta_{14} = \delta_{41} = 0, \quad \delta_{23} = \delta_{32} = 0, \quad \delta_{34} = \delta_{43} = 0.$$

U xolda kuchlar metodining kanonik tenglamalar sistemasi mustaqil ikki sistemaga ajratiladi. Birinchi sistemada fakat simmetrik noma'lumlar gruppasi ishtirok etadi:

$$\begin{aligned} \delta_{11}Y_1 + \delta_{13}Y_3 + \Delta_1 r &= 0, \\ \delta_{31}Y_1 + \delta_{33}Y_3 + \Delta_3 r &= 0, \end{aligned}$$

Ikkinchi sistema esa teskari simmetrik noma'lum gruppasidan iborat bo'ladi:

$$\begin{aligned} \delta_{22}Y_2 + \delta_{24}Y_4 + \Delta_2 r &= 0, \\ \delta_{42}Y_2 + \delta_{44}Y_4 + \Delta_4 r &= 0, \end{aligned}$$

Demak, ko'p prolyotli simmetrik ramalarni noma'lumlarni gruppalash usuli bilan xisoblashda bir qancha yordamshi ko'chishlarning nolga tengligiga èrishish bilan birga, kanonik tenglamalar sistemasi ikkiga bo'linadi.

## **TUTASH BALKALAR XISOBI.**

### **Umumiy tuchunshalar.**

Bir necha prolyotli koplaydigan uzluksiz balkalar tutash balkalar deb ataladi (7.1-rasm) tutash balkalar ukirilish praktikasida ko'p uchraydigan inshoot èlemenlaridan biri xisoblanadi. Ular ko'priklar va boshqa konstruksiyalarning asosiy èlementlari sifatida ishlatiladi.

Tashqi yuk ta'siridagi tutash balkalarning barcha tayanch bog'lanishlardagi reaksiyalar soni statikaning shu sistema uchun tuzilishi mumkin bo'lgan muvozonat tenglamalari sonidan ko'p bo'lganligi sababli, ular statik aniqmas sistemadir.

Gorizotal yuk ta'siri qilganda balka muvozonatni ta'minlash uchun uning tayanchlaridan bittasi ko'zgalmas sharnirli va qolgan tayanchlari ko'zgaluvchan sharnirli bo'lishi shart. Bir eki ikkala uchi bilan maxkamlangan balkalar xam tutash balkalar qatoriga kiradi (7.1-rasm, b va v)

Tashqi ko'zgalmas va ko'zgaluvchan yuklar ta'siridagi tutash balkalar kuchlar metodi bilan xisoblanadi. Tutash balkalarning statik aniqmaslik darajasini quyidagi formulaga asosan aniqlash mumkin.

$$n = 2SH + St - 3D \quad (7.1)$$

Bunda SH-ikkita diskni o'zaro biriktiruvchi oddiy sharnilar soni, St- tayanch bog'lanishlar soni, D- disklar soni.

Tutash balkalarning statik aniqmaslik darajasini tayanch bog'lanishlar soni orqali xam ifodalash mumkin (SH=0, D=1):

$$n = St - 3$$

7.1 –rasmda ko'rsatilgan balkalar statik aniqmasdir, chunki ularning xar biri uchun noma'lum tayanch reaksiyalarining soni statikaning muvozonat tenglamalari sonidan ortiq. 7.1-rasm, a da tasvirlangan balkaning tayanch bog'lanishlar soni St=5, u xolda n= 5-3=2 bo'ladi. Demak, balka ikki marta statik aniqmasdir. 7.1-rasm b da ko'rsatilgan balka uch marta statik aniqmasdir (St=6). 7.1-rasm v da balka uchun n= 7-3=4 bo'ladi.

7.1 - rasmda ko'rsatilgan tutash balkalarning statik aniqmaslik darajasini (7.1) formulaga asosan aniqlashni o'quvchining o'ziga xavola etamiz.

7.2 Qo'zgalmas yuklar ta'siridagi tutash balkalarni hisoblash.

**Asosiy sistemani tanlash.** Tutash balkalarning statik aniqmaslik darajasi ulardagi ortiqcha tayanch bog'lanishlarning sonini ifodalaydi. Tutash balkalarni bu ortiqcha bog'lanishlardan ozod etib, asosiy sistemaning bir necha variantini tanlaymiz.

7.2 - Rasm, *b* da ko'rsatilgan asosiy sistemaning birinchi varianti tutash balkada bo'lgan ortiqcha tayanch bog'lanishlarni olib tashlash yo'l bilan xosil qilingan. Ularning ta'sirini noma'lum reaksiya kuchlari  $X_1$ ,  $X_2$  va  $X_3$  bilan almashtiramiz.

7.3 - Rasm, *b* da tasvirlangan asosiy sistemaning ikkinchi variantini, tutash balkaning oraliq tayanch kesimlariga sharnir kiritish yo'li bilan tanlab, ichki bog'lanishlarning ta'sirini tegishli noma'lum tayanch momentlari bilan almashtiramiz.

Tutash balka bilan asosiy sistema orasidagi farqni yo'qotish uchun kuchlar metodining kanonik tenglamalari sistemasini yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1r} &= 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2r} &= 0 \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3r} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Kanonik tenglamalarning xar biri, asosiy sistemadagi noma'lumlarning yo'nalishi bo'yicha xosil bo'lgan ko'chishlarning yig'indisi nolga tengligini ifodalaydi, chunki tutash balkaning xar bir tayanchida bu ko'chishlar xosil bulmaydi. Birinchi variantda ko'rsatilgan asosiy sistemadagi yordamchi ko'chishlarning birortasi xam nolga teng bo'lmaydi (7.2-rasm,v). Ikkinchi variantdagi asosiy sistema uchun kanonik tenglamaning xar biri, noma'lum tayanch momentlari yo'nalishi bo'yicha o'zaro burchak ko'chishlarning yigindisi nolga tengligini ifodalaydi. Bu asosiy sistemada ayrim yordamchi ko'chishlar nolga teng buladi. Masalan:  $\delta_{13} = \delta_{31}$ .

Demak, tutash balkalarni hisoblashni osonlashtirish uchun ortiqcha noma'lumlar sifatida tayanch momentlarni qabul qilish qulaydir. Bu xolda asosiy sistema oddiy statik aniq balkalardan iborat bo'ladi.

**Uch momentlar tenglamasi.** 7.4-Rasm, *a* da ko'rsatilgan tutash balka berilgan bo'lsin. Uning tayanchlari o'ngga tomon nomerlab boriladi; birinchi tayanchga 0 raqami, keyingilariga esa tegishli, 1, 2, ...,  $n-1$ ,  $n$ ,  $n+1$ , ... raqamlari quyiladi. Balkaning oraliqlari  $l_1$ ,  $l_2$ , ...,  $l_{n-1}$ ,  $l_n$ ,  $l_{n+1}$ , ... bilan ko'rsatiladi. Xar bir Prolyotning uzunlik indeksi shu Prolyotdagi o'ng tayanch nomeriga to'g'ri keladi.

Tutash balkada xamma Prolyotlarning bikrligi o'zgarmas deb qabul qilinadi. Bu balka uchun ortiqcha noma'lumlar sifatida tayanch momentlarni qabul qilib, asosiy sistema tanlaymiz. Bunday asosiy sistema 7.4-rasm, *b* da ko'rsatilgan. Tayanch momentlari shu tayanch nomerlariga tegishli indekslar bilan belgilangan:  $M_1$ ,  $M_2$ , ...,  $M_{n-1}$ ,  $M_n$ ,  $M_{n+1}$ , ...

Bu xolda asosiy sistema oddiy balkalardan iborat bo'ladi. Xar bir oddiy balka o'ziga ko'yilgan yuk xamda tayanch momentlari bilan yuklangan bo'ladi.

Asosiy sistemaningsharnir qo'yilgan xar bir tayanchi uchun ikki qo'shni kesimning o'zaro burilish burchaklari yig'indisi nolga tengligini ifodalaydigan kuchlar metodining tenglamasini yozamiz. Masalan,  $n$  tayanch uchun yozilgan tenglamani kuraylik:

$$\delta_{n1}M_1 + \delta_{n2}M_2 + \dots + \delta_{ron-1}M_{n-1} + \delta_{ron}M_n + \delta_{ro\ n+1}M_{n+1} + \dots \Delta_{np} = 0 \quad (7.3)$$

Birlik ko'chishlarni aniqlash uchun asosiy sistemaning birlik eguvchi moment ePyuralarini quramiz (7.14-rasm, *v*, *g*, *d*, ...). Bu ePyuralarga asosan (7.3) tenglamaning  $\delta_{ron-1}$ ,  $\delta_{ron}$  va  $\delta_{ron+1}$  birlik ko'chishlardan boshka xamma yordamchi ko'chishlari nolga teng bo'ladi, ya'ni  $\delta_{n1} = 0$ ,  $\delta_{n2} = 0$ , ...,  $\delta_{n, n-2} = 0$ . U xolda  $n$ -tayanch uchun yozilgan (7.13) tenglama uch xadli bulib, quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\delta_{n,n-1}M_{n-1} + \delta_{nn}M_n + \delta_{n,n+1}M_{n+1} + \Delta_{np} = 0 \quad (7.3')$$

EPyuralarni Vereshchagin usuli bilan kuPaytirib (7.3') tenglamadagi ko'chishlarni aniklaymiz (7.4-rasm):

$$\delta_{n,n-1} = \sum \int \frac{M_n M_{n-1} dx}{EJ} = \frac{1}{EJ} \frac{1}{2} l_n \cdot \frac{1}{3} = \frac{l_n}{6EJ}$$

$$\delta_{nn} = \sum \int \frac{M_n dx}{EJ} = \frac{1}{EJ} \frac{l_n}{2} \frac{1}{3} \frac{2}{3} + \left( \frac{n+1}{2} \frac{1}{3} \frac{2}{3} = \frac{1}{3EJ} l_n \right) l_{n+1}; \quad \left( \quad \right)$$

$$\delta_{n,n+1} = \sum \int \frac{M_n M_{n+1} dx}{EJ} = \frac{l_{n+1}}{6EJ},$$

$$\Delta_{np} = \beta_n + \alpha_{n+1}$$

$\alpha_n$  va  $\beta_n$  - asosiy sistemaning  $n$ - Prolitidagi tashqi yuklardan xosil bo'lgan tayanch kesimlarining burilish burchaklari (7.4-rasm, j), ularning miqdorlari 7.1-jadvaldan olinadi.

Tayanch kesimlarining  $\alpha_n$  va  $\beta_n$  burilish burchaklari  $M_{n-1}$  va  $M_n$  tayanch momentlarining yo'nalishga mos kelsa, musbat, aks xolda manfiy olinadi. Ko'chishlarni (7.3') tenglamaga quyib, umumiy maxrajga keltirilgandan so'ng u quydagi ko'rinishni oladi:

$$M_{n-1}l_n + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1}l_{n+1} = -6EJ(\alpha_n + \beta_{n+1}). \quad (7.4)$$

(7.4) tenglama uchta qo'shni tayanch momentlarini o'zaro bog'langanligi sababli, u uch momentlar tenglamasi deb ataladi.

Tutash balkada qancha oraliq tayanchlar bo'lsa, shuncha uch momentlar tenglamalarining soni tutash balkaning statik aniqlashtirish darajasiga teng ekan. Uch momentlar tenglamasini yozishda quydagi xollarni e'tiborga olish kerak:

1. Tutash balkaning uchi sharnirli tayanch bo'lsa, undagi tayanch momenti nolga teng bo'ladi.

2. Tutash balkaning biror uchi konsolli bo'lsa (7.5-rasm, a), bu konsoldagi tashqi yukdan xosil bo'lgan tayanch momenti ma'lum deb, asosiy sistemaga quyiladi (7.5-rasm, b).

3. Tutash balkaning bir uchi qistirib maxkamlangan bo'lsa, (7.6-rasm, a), asosiy sistema tanlashda balkaning qistirilgan uchini fikran davom ettirib, yana bir Prolet qushiladi (7.6-rasm, b). Bu Prolyotning uzunligi tenglama tuzilgandan so'ng nolga teng deb olinadi va bu Proletning bikriligi cheksiz deb hisoblanadi. SHunday qilingandagina maxkamlangan tayanchning noma'lum momenti uch momentlar tenglamasida ishtirok etadi.

Uch momentlar tenglamalari sistemasini birgalikda echib, noma'lum tayanch momentlari aniqlangandan so'ng tutash balka uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuchlar ePyuralari chiziladi. Bunda asosiy sistemaning xar bir Proletini ajratib olib, ularni tashqi yuklar va aniqlangan tayanch momentlari bilan yuklanadi, so'ngra eguvchi moment xamda ko'ndalang kuchlar ePyuralari chiziladi. Agar tutash balkaning biror uchi konsol bilan boshlangan yoki tugagan bulsa, u xolda bu konsolni o'ziga birikkan oddiy balka bilan birga qo'shib tekshirish kerak.

Xar bir Prolyotning eguvchi moment va ko'ndalang kuch ePyuralari bir xil masshtab bilan chizilgandan sung, ular birg'biri bilan birlashtirilsa, tutash balkaning eguvchi moment va ko'ndalang kuch ePyuralari xosil buladi.

## Ma'ruza 7

### Tutash balkalardagi eguvchi moment, ko'ndalang kuch va tayanch reaksiyalarni anaqlash.

Tayanch momentlar aniqlangandan so'ng tutash balkaning xar bir Prolyotini berilgan tashqi yuk va shu tayanch momentlari ta'siridagi oddiy balka deb qarash mumkin. Masalan, tutash balkaning  $n$ -Prolyoti uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch ePyuralari quramiz (7.7-rasm).

Kuchlar ta'sirining mustaqillik Printsipi ga ko'ra, bu Prolyotning istalagan kesimidagi eguvchi moment tashqi yuk va tayanch momentlardan qurilgan ePyuralari ordinatalarining yig'indisiga teng bo'ladi (7.7-rasm, b, v, g):

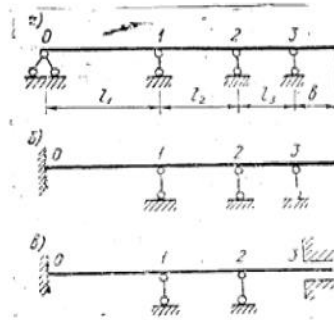
$$M_{(x)} = M_{(x)}^0 + \frac{M_{n-1}}{l_n} (l_n - x) + \frac{M_n}{l_n} x, \quad (7.5)$$

bu erda  $M_{(x)}^0$  -oddiy balkadagi tashqi yukdan xosil bo'lgan eguvchi moment, qolgan ordinatalar esa, tayanch momentlar ePyurasidan olingan.

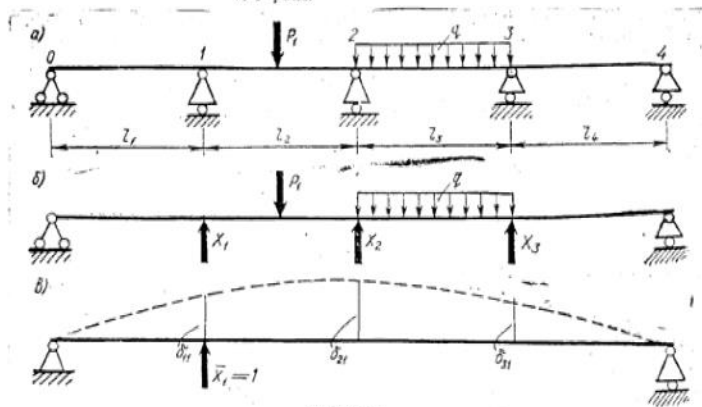
Tutash balkaning  $n$ - Prolyotidagi  $x$  masofada olingan kesimning ko'ndaligan kuchi (7.5) ifodalangan xosila olish yo'li bilan aniqlanadi:

$$Q(x) = \frac{dM(x)}{dx} = Q^0(x) + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n}, \quad (7.6)$$

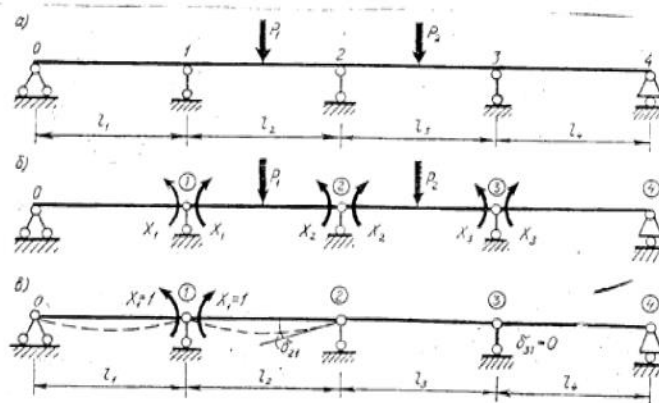
24



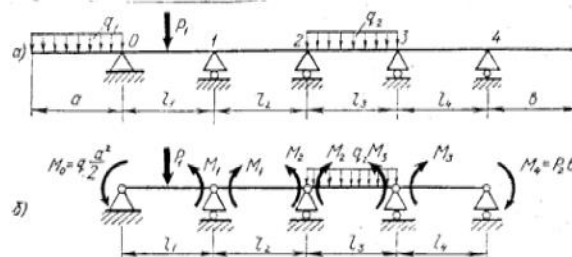
7. 1- расм.



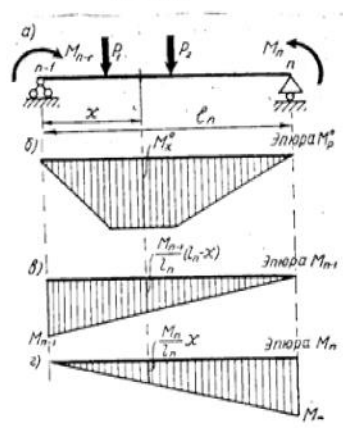
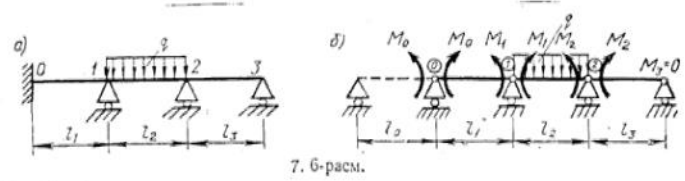
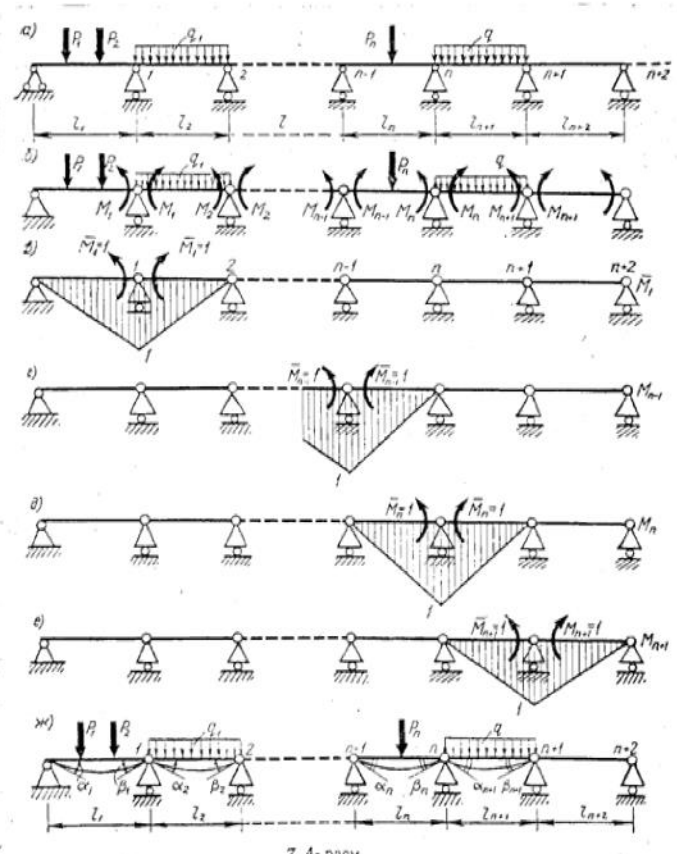
7. 2- расм.



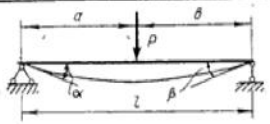
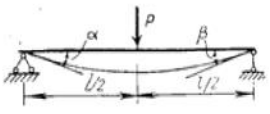
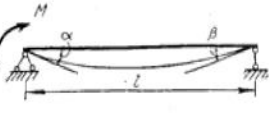
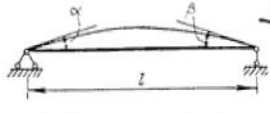
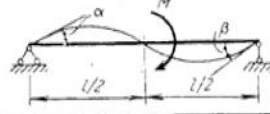
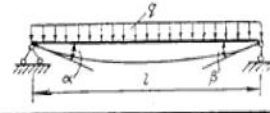
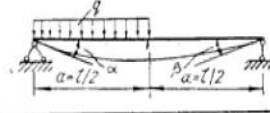
7. 3- расм.



7. 5- расм.



7.1-жадвал

| $N \equiv$ | Юкланиш схемалари                                                                   | $\alpha$                                  | $\beta$                          |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------|
| 1          |    | $\frac{Pa\beta(l+\beta)}{6lEJ}$           | $\frac{Pa\beta(l+\alpha)}{6lEJ}$ |
| 2          |    | $\frac{Pl^2}{16EJ}$                       | $\frac{Pl^2}{16EJ}$              |
| 3          |    | $\frac{Ml}{3EJ}$                          | $\frac{Ml}{6EJ}$                 |
| 4          |   | $-\frac{Ml}{6EJ}$                         | $-\frac{Ml}{3EJ}$                |
| 5          |  | $-\frac{Ml}{24EJ}$                        | $\frac{Ml}{24EJ}$                |
| 6          |  | $\frac{ql^3}{24EJ}$                       | $\frac{ql^3}{24EJ}$              |
| 7          |  | $\frac{9qa^3}{48EJ}$<br>$a = \frac{l}{2}$ | $\frac{7qa^3}{48EJ}$             |

bunda  $Q^0(x)$  – oddiy balkadagi tashqi yukdan xosil bo'lgan ko'ndalang kuch.

$P$  – tayanch reaksiya kuchini aniqlash uchun ko'ndalgan kuchlar ifodasidan foydalanish mumkin:

$$R_n = Q_n^{chaP} + Q_{n+1}^{ung} \quad (7.7)$$

$Q_n^{chaP}$  va  $Q_{n+1}^{ung}$  miqdorlarni (7.6) formulaga asosan ifodalab (7.7) formulani quyidagicha yozamiz:



$$R_n = R_n^0 + \frac{M_{n-1} - M_n}{l_n} + \frac{M_{n+1} - M_n}{l_{n+1}}, \quad (7.8)$$

bunda  $R_n^0$  -asosiy sistemaning  $l_n$  va  $l_{n+1}$  Prolyotdagi tashqi yuklardan  $P$  – tayanchda xosil bo'lgan reaksiya kuchi.

## Ma'ruza 8

### Tutash balkalarni moment fokuslari metodi bilan hisoblash.

Faqat bir Prolyoti yuklangan tutash balka uchun chizilgan eguvchi moment ePyurasini quraylik (7.9-rasm). Bu ePyura asosida quyidagi ta'riflarni yozish mumkin:

Tutash balkaning yuklanmagan Prolyotlardagi tayanch mometlarning miqdori yuklangan Prolyotdan boshlab kamayib boradi va moment chizig'i xar bir Prolyotini ma'lum nuqtada kesib o'tadi xamda bu nuqtada eguvchi moment nolga teng bo'ladi (7.9-rasm). YUklanmagan Proletdagi eguvchi moment  $M(x)$  nolga teng bo'lgan nuqta *moment fokusi* deyiladi.

Agar nolinchi yuklangan Prolyotdan chaP tomonda joylashgan bo'lsa, bu nuqtalar chaP moment fokuslari  $F_1, F_2, F_3, \dots$  deb ataladi. Agar nolinchi nuqtalar o'ng moment fokuslari  $F'_5, F'_6, F'_7, \dots$  deyiladi.

Tutash balkada yuklanmagan Prolyotning tayanch momentlari nisbati fokuslar nisbati deb ataladi. YUklanmagan PrPolyotdagi fokuslarning xolati fokuslari nisbati orqali aniqlangan. Masalan, ikkinchi Prolyotning chaP fokus nisbati quyidagaga teng (7.9-rasm):

$$K_2 = \frac{V_r}{U_r}, \quad (a)$$

bunda  $U_r$  birinchi tayanchdan fokusgacha bo'lgan masofa;  $V_r$  chaP fokusdan ikkinchi tayanchgacha bo'lgan masofa.

O'ng tomondagi yuklanmagan Prolyotlarning o'ng fokus nisbatlari xam shunga o'xshash toPiladi. Masalan, 5-Prolyot uchun o'ng fokus nisbatini yozamiz (7.9rasm):

$$K_5 = \frac{U_5}{V_5}, \quad (b)$$

bunda  $V_5$  va  $U_5$  uning fokus xolatini belgilovchi masofalar.

CHaP va o'ng fokus nisbatlar (a) va (b) ifodalarga asosan doim musbat bo'ladi. Fokuslarning joylashuvi tashqi yuklarga bog'lik bo'lmaganligi uchun berilgan tutash balkaning fokuslar xolatini unga yuk quymasdan oldin hisoblash mumkin.

Fokuslar nisbatlarini yuklanmagan Prolyotlar tayanch momentlarining nisbati orqali ifodalaymiz. Ikkinchi Prolyotning eguvchi moment eP-yuralda kursatilgan uchburchakliklarning o'xshashligiga asosan:

$$\frac{V_2}{u_2} = \frac{M_2}{M_1} \parallel K_2 \text{ yoki } K_2 = - \frac{M_2}{M_1} \quad (v)$$

$M_1$  va  $M_2$  momentlar xar xil ishorali bo'lgan uchun (v) ifoda xam manfiy bo'ladi. YUklanmangan uchinchi Prolyot uchun chaP fokus nisbatini yozamiz:

$$K_3 = - \frac{M_3}{M_2}$$

SHunga o'xshash, balkaning yuklanmagan  $n$ -Prolyoti uchun chaP fokus nisbatini ifodalaymiz:

$$K_n = - \frac{M_1}{M_{n-1}}. \quad (7.9)$$

Agar balkaning yuklanmagan  $n$ -Prolyoti yuklangan troletga nisbatan o'ng tomonda bo'lsa, u xola bu Proletning o'ng fokus nisbati quyidagicha ifodalanadi:

$$K_n = - \frac{M_{n-1}}{M_n}. \quad (7.10)$$

Demak, tutash balkaning biror yuklangan  $n$ - Prolyotning tayanch momentlari ma'lum bo'lsa, u xolda uning yuklanmagan chaP va o'ng Prolyotlari tayanch momentlarining fokus nisbatlari (7.9) va (7.10) formulalar yordamida aniqlanadi.

Agar yuklanmagan Prolyotlar yuklangan  $n$ -Prolyotning chaP tomonida bo'lsa u xolda eguvchi momentlar ePyurasining chizig'i chaP fokusdan o'tadi, u xolda yuklanmagan Prolyotning tayanch momentlari miqdori quyidagicha hisoblanadi:

$$M_{n-2} = -\frac{M_{n-1}}{K_{n-1}}, M_{n-3} = -\frac{M_{n-2}}{K_{n-2}}, \dots, \quad (7.11)$$

$$M_2 = -\frac{M_3}{K_3}, M_1 = -\frac{M_2}{K_2}.$$

Agar yuklanmagan Proletlar yuklangan  $n$ -Prolyotdan o'ng tomonda bo'lsa, u xolda eguvchi momentlar ePyurasining chizig'i o'ng fokusdan o'tadi va uning tayanch momentlari esa quyidagi tartibda hisoblanadi:

$$M_{n+2} = -\frac{M_n}{K_{n+1}}, M_{n+2} = -\frac{M_{n+1}}{K_{n+2}}, M_{n+3} = -\frac{M_{n+2}}{K_{n+3}}, \dots, \quad (7.12)$$

Tutash balkalarni moment fokuslari metodi bilan hisoblash uchun dastlab fokus nisbatlarini va yuklangan Proletning tayanch momentlarini aniqlash kerak.

Fokus nisbatlarini aniqlash uchun yuklangan Proletdan chaP tomonda bo'lgan ikki qo'shni  $n-1$  va  $n$ - Proletni ko'ramiz (7.10-rasm).  $N-1$  tayanch uchun uch moment tenglamasini yozamiz:

$$M_{n-2}l_{n-1} + 2M_{n-1}(l_{n-1}+l_n) + M_nl_n = 0.$$

Bo'ni  $M_{n-1}$  ga bo'lsak, quyidagi tenglama xosil bo'ladi.

$$\frac{M_{n-2}}{M_{n-1}}l_{n-1} + 2(l_{n-1}+l_n) + \frac{M_n}{M_{n-1}}l_n = 0.$$

Bu tenglamadagi tayanch momenti nisbatlarini (7.9) formulaga asosan chaP fokus nisbatlari orqali ifodalaymiz:

$$-\frac{1}{K_{n-1}}l_{n-1} + 2(l_{n-1}+l_n) - K_nl_n = 0.$$

Bundan  $n$ - Prolyotning fokus nisbati  $K_n$  ni topamiz:

$$K_n = 2 + \frac{l_{n-1}}{l_n} \left(2 - \frac{1}{K_{n-1}}\right). \quad (7.13)$$

SHunga o'xshan, o'ng fokus nisbatlarini aniqlash uchun quyidagi formulani yozamiz:

$$K_n = 2 + \frac{l_{n+1}}{l_n} \left(2 - \frac{1}{K_{n+1}}\right). \quad (7.14)$$

CHaP fokus nisbatlarini aniqlash tutash balkaning birinchi Prolyotidan boshlanadi. O'ng fokus nisbatlarini hisoblash esa balkaning oxirgi Prolyotidan boshlanib, ketma-ket birinchi Prolyotgacha davom ettiriladi. Tutash balka chaP va o'ng uchlarining tiralishga qarab birinchi va oxirgi Prolyotlarining fokus nisbatlarini aniqlaymiz.

Agar balkaning chaP uchi sharnirli qilib maxkamlangan bo'lsa, (7.11-rasm, a), u xolda birinchi Prolyot uchun chaP fokus nisbati quyidagicha bo'ladi:

$$K_1 = -\frac{M_1}{0} = \infty.$$

Agar balkaning chaP uchi kistirib qo'yilgan bo'lsa (7.11-rasm, b), u xolda balkaning qistirilgan uchini fikran davom ettirib, yana bir Prolyot qo'yshiladi (7.11-rasm, v) va bu Prolyot uchun

$$K_0 = -\frac{M_0}{M_{-1}} = -\frac{M_0}{0} = \infty \text{ bo'ladi.}$$

(7.13) formulaga asosan birinchi Prolyot uchun  $K_1 = 2 + \frac{l_0}{l_1} (2 - \frac{1}{K_0})$ . Bunda  $l_0 = 0$  va  $K_0 = \infty$ , u

xolda  $K_1 = 2$  buladi. Demak, balkaning chaP uchi sharnirli qilib tiralgan bo'lsa, birinchi Prolyotning chaP fokus nisbati  $K_0 = \infty$ , agar chaP uchi qistirib qo'yilgan bo'lsa  $K_1 = 2$  bo'ladi.

O'ng fokus nisbatlari tutash balkaning oxirgi Prolyotidan, chaP tomonga qarab hisoblanishi kerak. Agar tutash balkaning o'ng uchi sharnirli qilib tiralgan bo'lsa, u xolda oxirgi Prolyotning o'ng fokus nisbati cheksiz bo'ladi, agar uning o'ng uchi qistirib maxkamlangshshan bo'lsa, oxirgi Prolyotning o'ng fokus nisbati ikkiga teng buladi.

### Ma'ruza 9

#### Tutash balka yuklangan Proletining tayanch momentlarini aniqlash.

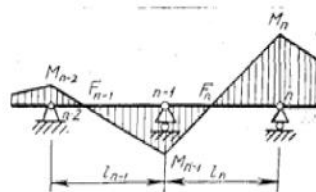
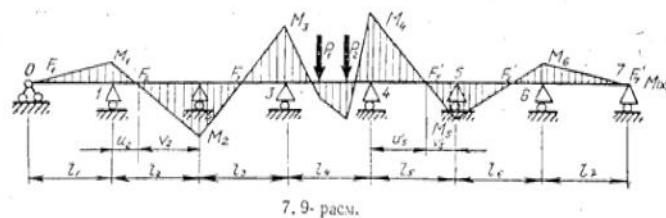
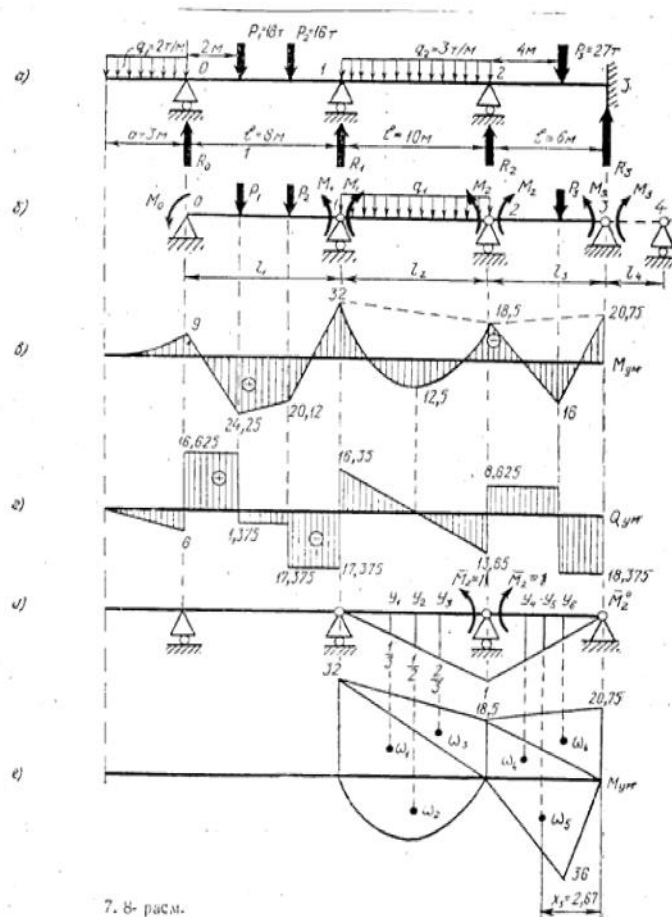
Tutash balkaning fakat  $n$ -Prolyoti yuklangan bo'lsin(7.12-rasm). Bu tashqi yukdan xosil bo'lgan chaP va ung tayanch momentlari  $M_{n-1}$  va  $M_n$  ni aniqlash uchun balkaning  $n-1$  va  $n$ -tayanchlariga tegishli uch momentlar tenglamasini (7.4) formulaga asosan yozamiz (7.12-rasm):

$$\left. \begin{aligned} M_{n-1}l_{n-1} + 2M_{n-1}(l_{n-1} + l_n) + M_n l_n &= -6Ej\alpha_n \\ M_{n-2}l_n + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1}l_{n+1} &= -6Ej\beta_n \end{aligned} \right\}$$

Bu tenglamalarda to'rtta tayanch momentlari ( $M_{n-2}$ ,  $M_{n-1}$ ,  $M_n$  va  $M_{n+1}$ ) ishtiroq etadi. Bularda ikkitasi  $M_{n-2}$  va  $M_{n+1}$  ni fokuslar nisbati formulasi yordamida, qolgan ikkita tayanch momentlari

orqali ifodalash mumkin:

30



$$(7.11) \text{ formulaga asosan } M_{n-2} = - \frac{M_{n-1}}{K_{n-1}},$$

$$(7.12) \text{ formulaga asosan } M_{n+2} = - \frac{M_n}{K_{n+1}}, \quad |$$

$M_{n-2}$  va  $M_{n+1}$  ning qiymatlarini uch momentlar tenglamalariga quyamiz:

$$\left. \begin{aligned} M_{n-1} \left\{ \frac{l_{n-2}}{K_{n-1}} + 2(l_{n-1} + l_n) \right\} + M_n &= -6Eja_n \\ M_{n-1}l_n + M_n - \left\{ \frac{l_{n+1}}{K_{n+1}} + 2(l_n + l_{n+1}) \right\} &= -6Ej\beta_n \end{aligned} \right\}$$

Bu tenglamalarni ikkala tomonini  $l_n$  ga bo'lib quyidagini xosil qilamiz:

$$\left. \begin{aligned} M_{n-1} \left\{ 2 + \frac{l_{n-1}}{l_n} \left[ 2 - \frac{1}{K_{n-1}} \right] \right\} + M_n &= - \frac{6Eja_n}{l_n} \\ M_{n-1} + M_n \left\{ 2 + \frac{l_{n+1}}{l_n} \left[ 2 - \frac{1}{K_{n+1}} \right] \right\} &= - \frac{6Ej\beta_n}{l_n} \end{aligned} \right\}$$

Bu tenglamalarni (7.13) va (7.14) formulalarga asosan, yuklangan Prolyotning chaP va o'ng fokuslari nisbati orqali ifodalaymiz:

$$\left. \begin{aligned} M_{n-1}K_n + M_n &= - \frac{6Eja_n}{l_n} \\ M_{n-1} + M_nK_n &= - \frac{6Ej\beta_n}{l_n} \end{aligned} \right\}$$

Bu tenglamalarni birgalikda echib, yuklangan Prolyotning tayanch momentlarini aniklaymiz:

$$\left. \begin{aligned} M_{n-1} &= \frac{6Ej(\alpha_n K_n - \beta_n)}{l_n(K_n K_n - 1)} \\ M_n &= \frac{6Ej(\beta_n K_n - \alpha_n)}{l_n(K_n K_n - 1)} \end{aligned} \right\} \quad (7.15)$$

Bunda  $\alpha_n$  va  $\beta_n$  – asosiy sistemaning  $n$ - Prolyotidagi tashqi yuklardan xosil bo'lgan tayanch kesimlarining burilish burchaklari (7.12-rasm, b).

Agar uchlari sharnirli qilib tiralgan tutash balkaning birinchi yoki oxirgi Proleti yuklangan bo'lsa, bu Proletlarning tayanch momentlari quydagicha toPiladi:

$$\text{a) birinchi Prolet uchun } M_0 = 0 \text{ va } M_n = - \frac{6Ej\beta_1}{l_1 K_1}. \quad (7.16)$$

$$\text{b) oxirgi } n\text{- Prolet uchun } M_{n-1} = - \frac{6Eja_n}{l_n K_n}, M_n = 0. \quad (7.17)$$

Tutash balkalarni moment fokuslari usulida hisoblash quyidagi tartiba bajariladi: 1) xar bir Proletning chaP va o'ng fokuslar; nisbatlari  $K_n$ ,  $K_n$  (7.13) va (7.14) formulalarga asosan toPiladi; 2) yuklangan Proletlarning tayanch momentlari (7.15) va (7.16) va (7.17) formulalar ermamida aniklanadi; 3) (7.11) va (7.12) formulalardan foydalanib, yuklanmagan Proletlarning tayanch momentlari hisoblanadi.

Agar tutash balkaning bir necha Proleti yuklangan bo'lsa, xar bir yuklangan Prolet aloxida-aloxida tekshirilib, ulardan xosil bo'lgan tayanch momentlari aniqlanadi.

**Xarakatlanuvchi yuklar ta'siriidagi tutash balkalarni hisoblash.**  
**Tutash balkalar tayanch momentlarining ta'sir chizig'ini chizish.**

Tutash balkada birlik yuk ( $R=1$ ) xarakatlanishidan xosil bo'ladigan tayanch momentlarining ta'sir chizig'ini fokuslar metodidan foydalanib chizish ancha qulaylik tug'diradi. Tayanch momentlarining ta'sir chiziqlari fokuslar metodi bilan quyidagi tartibda quriladi:

1. Tutash balkaning xar bir Proleti uchun chaP va o'ng fokus nisbatlari  $K_n$  va  $K_n$  (7.13) va (7.14) formulalarga asosan hisoblanadi.

2. Tutash balkaning xar bir Proleti bo'yicha birlik yukning xarakatlanishi natijasida xosil bo'ladigan tayanch momentlarining ordinatalari (7.15) va (7.16) formulalarga asosan aniqlanadi. Birlik yukning xolatini ko'rsatuvchi abstsissani  $x = \xi l_n$  deb qabulqilamiz. Bunda abstsissa  $x$  ning o'zgarish chegarasi

$0 \leq x \leq l_n$  ekinchi  $0 \leq \xi \leq 1$  intervalda bo'ladi (7.14-rasm, a).

Bu  $n$ - Prolet chaP va o'ng tayanch momentlarining ta'sir chiziqlari tenglamalarini (7.15) formulaga asosan tuzamiz:

$$\left. \begin{aligned} M_{n-1} &= \frac{6EJ(\alpha_n K_n - \beta_n)}{l_n(K_n K_n - 1)} \\ M_n &= \frac{6EJ(\beta_n K_n - \alpha_n)}{l_n(K_n K_n - 1)} \end{aligned} \right\} \quad (7.15')$$

bunda  $\alpha_n$  va  $\beta_n$  – asosiy sistemaning  $n$ -Proletidagi chaP va o'ng tayanch kesimlarining ko'chma yukdan xosil bo'lgan burilish burchagi, ularning miqdori

7.1-jadvaldan olinadi:

$$\begin{aligned} \alpha_n &= \frac{l_n^2 \xi(1-\xi)(2-\xi)}{6EJ} = \frac{l_n^2}{6EJ} U(\xi), \\ \beta_n &= \frac{l_n^2 \xi(1-\xi)(1+\xi)}{6EJ} = \frac{l_n^2}{6EJ} V(\xi) \end{aligned} \quad (7.18)$$

(7.18) formulada quyidagicha olingan:

$$U(\xi) = \xi(1-\xi)(2-\xi);$$

$$V(\xi) = \xi(1-\xi)(1+\xi) \quad (7.19)$$

$U(\xi)$  va  $V(\xi)$  funktsiyalarning qiymati birlik kuch xolatini ko'rsatuvchi abstsissa  $\xi$  ga bog'lik ( $0 \leq \xi \leq 1$ ).

$\alpha_n$  va  $\beta_n$  ning qiymatlarini (7.15) formulaga quyib, tutash balka  $n$ -Proletning chaP va o'ng tayanch momentlari ta'sir chizig'ining tenglamalarini xosil qilamiz:

$$\left. \begin{aligned} M_{n-1} &= \frac{l_n[K_n U(\xi) - V(\xi)]}{K_n K_n - 1}; \\ M_n &= \frac{l_n[K_n V(\xi) - U(\xi)]}{K_n K_n - 1}. \end{aligned} \right\} \quad (7.20)$$

Agar ko'chma birlik yuk uchlari sharnir vositasda tutashgan balkaning birinchi yoki oxirgi  $i$ -Proleti bo'yicha xarakatlansa, u xolda bu Prolyotlar tayanch momentlarining ta'sir chiziq tenglamalari (7.16) yoki (7.17) formulaga asosan quyidagicha yoziladi:

$$\text{birinchi Prolyot uchun} \quad M_0 = 0, M_1 = -\frac{l_1 v(\xi)}{K_1}$$

$$M_1 = 0, M_{i-1} = -\frac{l_1 U(\xi)}{K_1} \quad (7.21)$$

oxirgi  $i$ - Prolet uchun

Birlik kuch ( $R = 1$ ) xolatini ko'rsatuvchi koordinata  $\xi$  ga 0,1; 0,2; ...; 1,0 qiymatlar berib (7.19) formuladagi  $U(\xi)$  va  $v(\xi)$  ning qiymatlari aniqlanadi va ularga tegishli bo'lgan tayanch momentlari ta'sir chizig'ining ordinatalari (7.20) yoki (7.21) formulalar erdamida hisoblanadi.

Tutash balkaning yuklangan Proletlari tayanch momentlari uchun ta'sir chizig'ining ordinatlari  $M_{n-1}$  va  $M_n$  aniqlangandan so'ng, uning yuklamagan Proletlari uchun tayanch momentlar ta'sir chizig'ining ordinatlari tegishli fokuslar nisbati erdamida hisoblanadi. Agar yuklanmagan Proletlar balkaning tayanch momentlari ta'sir chizig'ining ordinatlari (7.11) formulaga asosan quyidani tartiba hisoblanadi:

$$M_n = -\frac{M_{n-1}}{K_{n-1}}; M_{n-3} = -\frac{M_{n-2}}{K_{n-2}}; \dots; M_1 = -\frac{M_2}{K_2}. \quad (7.11')$$

Agar tutash balkaning yuklanmagan Proletlari uning yuklangan Proletidan o'ng tomonda bo'lsa, u xolda bu Proletlar tayanch momentlarining ta'sir chiziq ordinatlari (7.12) formulaga asosan quyidagi tartibda hisoblanadi:

$$M_{n+1} = -\frac{M_n}{K_{n+1}}; M_{n+2} = -\frac{M_{n+1}}{K_{n+2}}; M_{n+3} = -\frac{M_{n+2}}{K_{n+3}}; \dots \quad (7.12')$$

Asosiy sistemaning xar bir qismida birlik juft momentlardan xosil bo'lgan ko'chishlar ePyurasini chizamiz (7.15-rasm, d). Asosiy sistemada vertikal ko'chishlar ePyurasi ordinatlarining bosh burchakli ko'chish ( $-\delta_{11}$ ) ga nisbatni tutash balka tayanch momentining ta'sir chizig'ini ifodalaydi (7.15-rasm, e). Kinematik metod bilan tutash balkadagi boshka zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini qurish usuli yuqorida ko'rsatilgan tartiba bajariladi.

## Ma'ruza 10

### Tutash balkaning ko'ndalang kesim zo'riqishlari va tayanch Reaktsiyasining ta'sir chiziqlari.

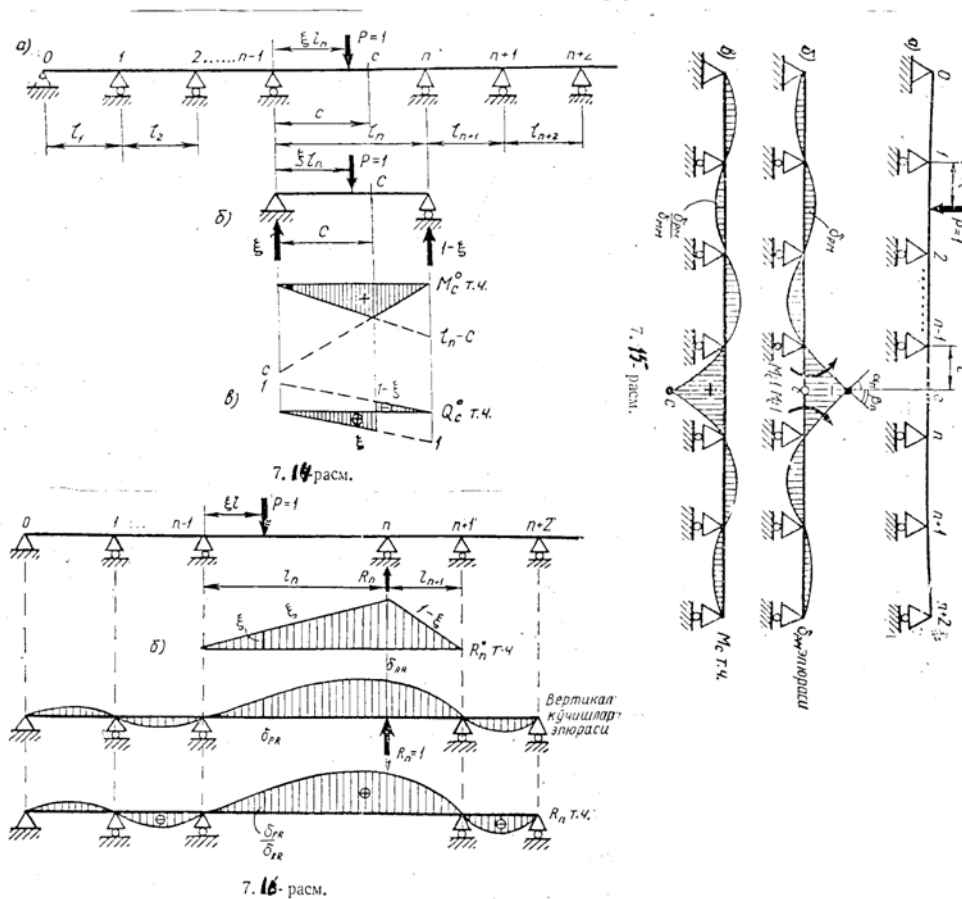
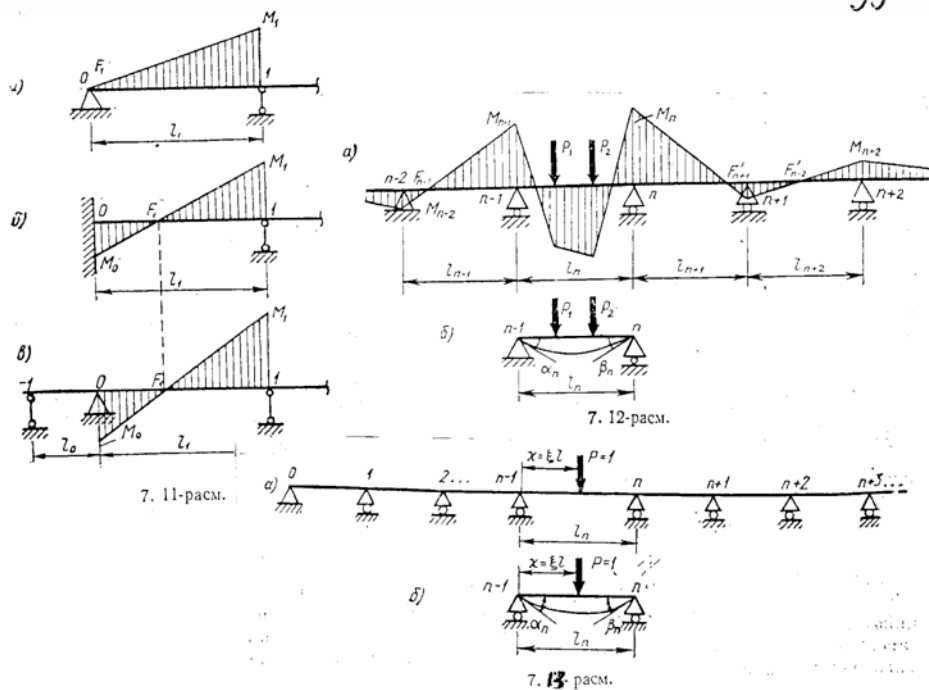
Tutash balka tayanch momentlarining ta'sir chiziqlari qurilgandan sung, uning ixtieriy ko'ndalang kesim zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini qurish mumkin. Masalan, birlik kuch tutash balkaning  $P$ - Proletlari bo'yicha xarakatlanaetganda uning  $S$  ko'ndalang kesimda xosil bo'ladigan eguvchi moment  $M_s$  va ko'ndalang kuch  $Q_c$  ning ta'sir chiziqlarini qurish talab qilinsin (7.16-rasm, a). Bu xol uchun balkaning shu ko'ndalang kesimidagi  $M$  va  $Q$  ta'sir chiziqlarining ordinatlari (7.5) va (7.6) formulalar erdamida aniqlanadi:

$$M_C = M_c^0 + M_{n-1} \frac{l_n - c}{l_n} + M_n \frac{c}{l_n}; \quad (7.24)$$

$$Q_C = Q_c^0 + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n}, \quad (7.25)$$

bunda  $M_C$  va  $Q_C$  -tutash balkaning  $P$ -Proletiga tugri kelgan oddiy balkaning  $S$  ko'ndalang kesimidagi eguvchi moment va kundalang kuch ta'sir chiziqlarining ordinatalari (7.14-rasm, b va v).

Agar birlik yuk tutash balkaning boshqa Proletlari bo'yicha xarakatlansa, u xolda (7.24) va (7.25) formulalarda  $M_s = 0$  va  $Q_c = 0$  bo'ladi. Tutash balkaning ixtieriy ko'ndalang kesimidagi eguvchi momentning ta'sir chizig'ini balkaning  $S$  kesimiga sharnirkiritib, asosiy sistema tanlaymiz (7.15-rasm, b). Asosiy sistema bilan tutash balka orasidagi farqni cheklash uchun  $S$  kesimga juft



m

omentlar ta'sir ettirib,  $M_S$  tasir chizig'ining tenglamasini (7.23) formulaga asosan yozamiz:

$$M_C = \frac{\delta_{PM}}{\delta_{MM}}, \quad (7.23')$$



bunda  $\delta_{rm}$  – asosiy sistemada birlik juft momentlar  $M_C = 1$  dan xosil bo'lgan, vertikal ko'chishlar ePyurasidan olingan ordinata (7.17-rasm, b);

$\delta_{rm}$  sharnir kiritilgan kesimning o'zaro burchakli ko'chtash:

$$\delta_{mm} = \alpha_C + \beta_C$$

(7.23') formulaga asosan sistemada vertikal ko'chishlar ePyurasi tegishli ordinatalarining burchakli ko'chish ( $-\delta_{mm}$ ) ga nisbati eguvchi moment  $S_s$  ning ta'sir chizig'ini ifodalaydi (7.15-rasm, v).

Tutash balka  $P$ -tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini kuramiz (7.16-rasm, a).

Bu reaksiya ta'sir chizig'ining ordinatasi (7.8) formula erdamida aniqlanadi:

$$R_n = R_n^0 + \frac{M_{n-1} - M_n}{l_n} + \frac{M_{n+1} - M_n}{l_n}, \quad (7.26)$$

bunda  $R_n^0$  asosiy sistemada  $P$ - tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ining ordinatasi.

Agar birlik kuch  $P$ -Proletda bo'lsa,  $R_n^0 = B_n^0 = \zeta$  eki birlik  $P + 1$  Proletda bo'lsa,  $R_n^0 A_{n+1} = 1 - \zeta$  bo'ladi. Bu tenglamalarga asosan qurilgan  $R_n$  ning ta'sir chizig'i 7.16-rasm, b da tasvirlangan.

Agar birlik yuk  $R = 1$  tutash balkaning  $P$  va  $P + 1$  – Proletlaridan boshqa Proletlari bo'yicha xarakatlansa, u xolda (7.26) formuladagi  $R_n^0$  ning ordinatsi nolga teng bo'ladi. Tutash balkada  $R_n$  tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini kinematik metod bilan qurish (7.23) formulaga asosalangan. Bu ta'sir chiziq tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$R_n = - \frac{\delta_{pR}}{\delta_{RR}}. \quad (7.26')$$

Kinematik metod bilan (7.26') formulaga asosan qurilgan  $R_n$  ning ta'sir chizig'i 7.16-rasm, g da tasvirlangan.

## Ma'ruza 11 12

### STATIK ANIQMAS ARKALARNI KUHLAR METODI BILAN HISOBLASH NAZARIYASI

#### Umumiy tushunchalar.

Statik aniqmas arkalar ikki sharnirli va sharnirsiz bo'lishi mumkin. Ikki sharnirli arka (8.1.-rasm) ikki uchi sharnirli vositasida tayanchlarga tiralgan egri brus bo'lib, u bir marta statik aniqmas sistemadir.

Statik aniqmas arkalar temir yo'llar va odiy ko'Priklarning konstruksiyalari sifatida qullaniladi. Bundan tashqari, statik aniqmas sistemalariga revoqli konstruksiyalar xam kiradi (8.2-rasm, b).

Egri sirtlar bilan chegaralangan va eni katga o'lchamiga ega bulgan, keruvchi reaksiyali sistema ravoq deb ataladi. Ravoqning hisoblash sxemasini tanlashda, uni bir-birga Parallel va oraliqlari bir birlikka teng bo'lgan tekisliklar biln kesib bo'lakcha (oraliqlar) ga ajratish mumkin (8.2-rasm, b). Demak, ravoqni hisoblashda uning eni bir birlikka teng bo'lgan, qator joylashgan arkalaridan iborat deb qabul qilinadi. Uning xar bir bo'lakchasini hisoblash sharnirsiz arkalarini hisoblash kabi bajariladi.

Statik aniqmas arkalarini ratsional kesim erdamida bajariladi. Statik aniqmas arkalarda ratsional kesim tanlash maqsadida, uning ko'ndalang kesim yuzasi  $F$  va inertsia momenti  $J$  Prolet bo'yicha o'zgaruvchan deb qabul qilinadi. Arkalarining kesim inertsia momentlarining o'zgarish qonunin uchun quyidagi tenglamalar tavsia qilinadi:

$$1. I_x = I_0 \cos^2 \varphi_x, \quad (8.1).$$

bunda  $I_0 = \frac{bh_0^3}{12}$  - arka qulfidagi ko'ndalang kesimning inertsia momenti,

$I_x = \frac{bh_x^3}{12}$  - absissasi  $x$  bo'lgan kesim inertsia momenti (8.3-rasm).

$b$  va  $h$  ko'ndalang kesimning eni va balandligi.

$\varphi_x$  - arka uqiga o'tkazilgan urinma chiziqli bilan gorizontall chiziqli orasidagi burchak.

### Qo'zg'almas yuklar ta'sirida bo'lgan iki sharnirli arkalarni hisoblash.

Ikki sharnirli arka (8.3-rasm *a*) bir marta statik aniqmas sistema bo'lgani uchun uni bitta ortiqcha bog'lanishdan ozod etib, asosiy sistemaning bir necha variantini tanlaymiz (8.3-rasm, *b* va *v*).

$V$  tayanchning gorizontall keruvchi reaksiyasini noma'lum  $X_1$  deb qabul qilib, uni ortiqcha bog'lanish yo'nalishi bo'yicha ta'sir ettiramiz (8.3-rasm, *b*).

Asosiy sistemaning  $V$  tayanch kesimida tashqi yuklardan  $v$  noma'lum  $X_1$  zo'riqlashlan xosil bo'lgan gorizontall kuchlanishlarning yig'indisi nolga teng bo'lish kerak, chunki arkaning  $V$  tayanch sharniri qo'zg'almas tayanchdir. Bu shartni ifodolovchi kuchlar metodining kanonik tenglamasini yozamiz:

$$\delta_{11} X_1 + \Delta_{1P} = 0, \quad (8.2)$$

bu erda  $\Delta_{1P}$  -asosiy sistemaga qo'yilgan tashqi yuklardan  $V$  tayanchda xosil bo'lgan gorizontall ko'chish (8.3-rasm, *g*);  $\delta_{11}$  -asosiy sistemaning  $V$  tayanchiga gorizontall qo'yilgan birlik noma'lum zo'riqlash  $X_1 = 1$  dan uning yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan birlik ko'chish (8.3-rasm *d*).

Qurilishda uchraydigan arkalarning egriligi kichik bo'lganligi sababli (egrilik radiusi  $R_0$  katta va  $\frac{R_0}{h} \geq 8$  buladi)  $\Delta_{1P}$  va  $\delta_{11}$  ko'chishlari aniqlashda to'g'ri uqli bruslar uchun olingan Mor formulasidan foydalaniladi:

$$\Delta_{1P} = \sum \int_0^S \frac{M_p M_1 dS}{EI_x} + \sum \int_0^S \frac{N_p N_1 dS}{EF_x}. \quad (8.3)$$

$$\delta_{11} = \sum \int_0^S \frac{M_1^2 dS}{EI_x} + \sum \int_0^S \frac{N_1^2 dS}{EF_x}. \quad (8.4)$$

8.3-rasm, *g* va *d* da tasvirlangan asosiy sistemalardan quyidagilarni hosil qilamiz:

$$M_p = M^0(x); \quad N_p = Q^0(x) \sin \varphi_x;$$

$$M_1 = -I \cdot y; \quad N_1 = I \cdot \cos \varphi_x;$$

Agar arka uchun  $\frac{f}{l} \leq \frac{1}{6}$  bo'lsa,  $\sin \varphi_x$  juda kichik miqdorga ega bo'lganligi sababli (8.3) formuladagi  $N_p$  ni hisobga olmasa xam bo'ladi. U xolda (8.3) va (8.4) formulalar quyidagicha yoziladi:

$$\Delta_{1P} = \sum \int_0^S \frac{M_p y dS}{EI_x}, \quad (8.5)$$

$$\delta_{11} = \sum \int_0^S \frac{y^2 dS}{EI_x} + \sum \int_0^S \frac{\cos^2 \varphi_x dS}{EF_x}, \quad (8.6)$$

bunda  $dS = \frac{dx}{\cos \varphi_x}$ ;  $S$  - arka uqining uzunligi.

Keruvchi kuch  $X_1$  (8.2) tenglamadan aniqlangandan so'ng, arkaning ixtiyoriy  $k$  kisimida hosil bo'lgan eo'riqlashlar quydagi formulalarga asosan hisoblanadi:

$$\left. \begin{aligned} M_k &= M_k^0 - X_1 y_k \\ N_k &= Q_k^0 \sin \varphi_k + X_1 \cos \varphi_k \\ Q_k &= Q_k^0 \cos \varphi_k - X_1 \sin \varphi_k \end{aligned} \right\} \quad (8.7)$$

bu erda  $M_k^0$  va  $Q_k^0$  Prolyoti arka Prolyotiga teng bo'lgan oddiy balkaning  $k$  kesimida tashqi yuklardan hosil bo'lgan eguvchi moment va ko'ndalgan kuch;  $u_k$  arka uqining ordinatasi.

### **Xarakatlanuvchi yuklar ta'sirida bo'lgan ikki sharnirli arkani**

#### **Hisoblash.**

**Zo'riqishlar ta'sir chizig'ini kurish.** Ikki sharnirli arka zo'riqishlarining ta'sir chizig'ini qurishda yuqorida keltirilgan (8.4) va (8.7) formulalardan foydalaniladi. Bu formulalarga asosan ko'chma birlik yuk  $R = 1$  dan hosil bo'ladigan zo'riqish kuchlarining ta'sir chiziqlari kuriladi.

1 . Arkaning keruvchi reaksiya kuchining ta'sir chizig'i. Keruvchi reaksiya kuchi  $X_1$  ning ta'sir chizig'ini chizish uchun arka bo'yicha xarakatlanuvchi birlik yuk  $R=1$  ning biror ixtiyoriy xolatini ko'ramiz (8.6-rasm,a).

Asosiy sistema 8.6-rasm,  $b$  da tasvirlangan. Kuchlar metodining kanonik tenglamasini yozamiz:

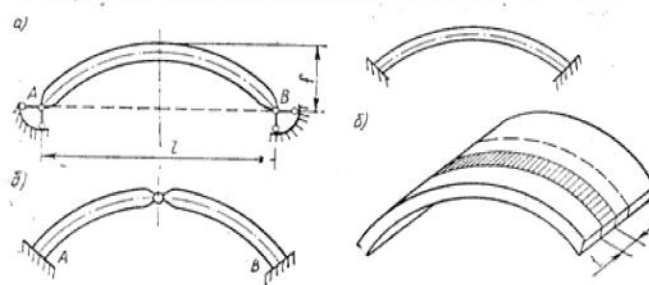
$$\delta_{11}X_1 + \delta_{1R} = 0.$$

Bundan keruvchi zo'riqish kuchi  $X_1$  ning ta'sir chizig'i quydagicha aniqlanadi:

$$X_1 = - \frac{\delta_{1P}}{\delta_{11}}.$$

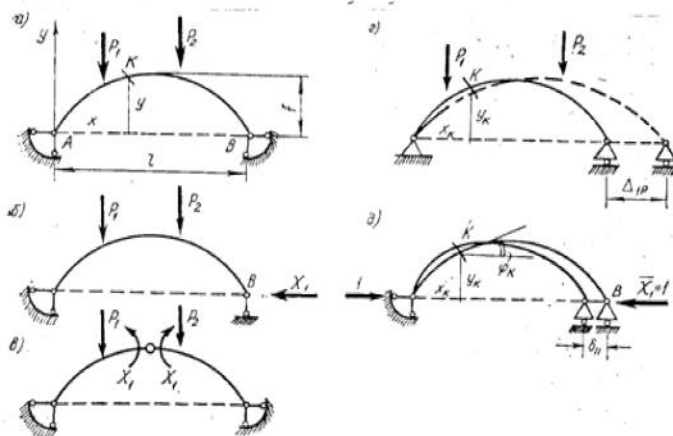
$\delta_{11}$  va  $\delta_{1R}$  birlik kuchishlar (8.5') va (8.6') formulalarga asosan aniqlanadi. Birlik ko'chishlarning o'zaro tenglik teoremasiga ko'ra  $\delta_{1R} = \delta_{R1}$  bo'ladi.

39

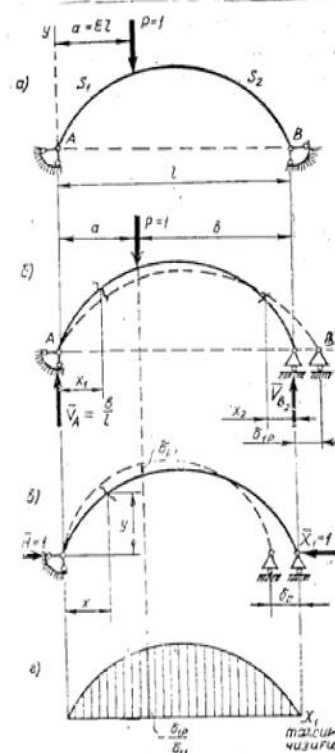


8.1-расм.

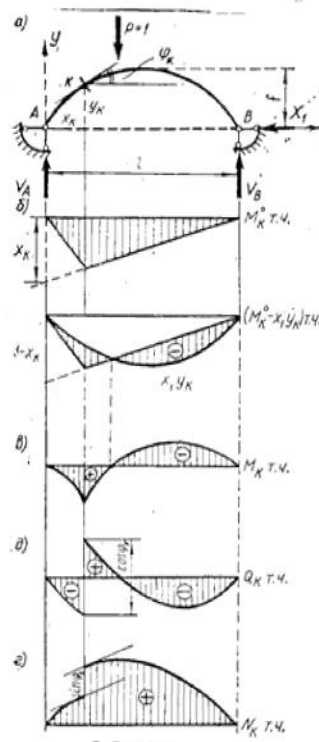
8.2-расм.



8.3-расм.



8.3'-расм.



8.7-расм.

Bu teoremadan foydalanib X 1 ning ta'sir chizig'i tenglamasini quyidagicha yozamiz:

$$X_1 = - \frac{\delta_{P1}}{\delta_{11}}. \quad (8.8')$$

2. Arkaning ixtiriy  $k$  kesimidagi eguvchi moment, ko'ndalagan va bo'ylama kuchlar uchun ta'sir chiziqlarini qurish (8.7-rasm a).

Arkaning keruvchi kuchi  $X_1$  ning ta'sir chizig'i qurilgandan so'ng uning ixtiriy ko'ndalang kuchlarning ta'sir chiziqlari tenglamalari (8.7) formulaga asosan quyidagicha yoziladi:

$$M_k = M_k^0 - X_1 y_k; \quad (8.9)$$

$$N_k = Q_k^0 - \sin \varphi_k + X_1 \cos \varphi_k; \quad (8.10)$$

$$Q_k = Q_k^0 \cos \varphi_k - X_1 \sin \varphi_k; \quad (8.11)$$

bu erda  $M_k^0$  va  $Q_k^0$  - oddiy balkaning  $k$  kesimidagi eguvchi moment va ko'ndalang kuch ta'sir chiziqlarining tenglamasi (8.7 –rasm, b);  $u_k$  –kesim  $k$  ning ordinatasi.

(8.9) tanglamaga asosan, eguvchi moment  $M_k$  ta'sir chizigining ordinatalari oddiy balkaning  $M_k^0$  ta'sir chizig'i ordinatalaridan  $X_1$  uk ordinatalarni ayirish orqali hosil qilinadigan. Bu yul bilan qurilgan  $M_k$  ning ta'sir chizig'i 8.7 –rasm, v da tasvirlangan. (8.10) va (8.11) tenglamalarga asosan quriladigan arkaning  $Q_k$  va  $N_k$  ta'sir chiziqlari 8.7-rasm, d va g da tasvirlangan.

### Qo'zgalmas yuklar ta'siridagi sharnirsiz arkalarni hisoblash.

SHarnirsiz arka (8.4-rasm, a) uch marta statik aniqmas sistemadir. Arkani uchta ortiqcha bog'lanishlardan ozod qilib asosiy sistema tanlanadi. Ortiqcha bog'lanishlardagi ichki kuchlarni noma'lum  $X_1$ ,  $X_2$  va  $X_3$ , zo'riqishlar bilan almashtirib asosiy sistemaga ta'sir ettiramiz. Asosiy sistemaning bir necha varianti 8.4-rasm, b, v, va g, da tasvirlangan.

Asosiy sistemaga quyilgan tashqi yuk va noma'lum zo'riqishlar ta'siridan ortiqcha bog'lanishlar yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan ko'chishlar yig'indisi nolga tengligini ifodalovchi kuchlar metodining kanonik tenglamalar sistemasini yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1r} &= 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2r} &= 0 \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3r} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8.8)$$

Simetrik sharnirsiz arkaning asosiy sistemasi xam simmetrik bo'lishi kerak (8.4-rasm,g). Bunday asosiy sistema uchun birlik noma'lum zo'riqish  $X_1 = 1$ ,  $X_2 = 1$ ,  $X_3 = 1$  lardan chizilgan eguvchi moment ePyuralari  $M_1$  va  $M_2$  simmetrik,  $M_3$  esa teskari simmetrik bo'ladi (8.5-rasm, a, b va v). SHuning uchun kanonik tenglamalardagi ayrim yordamchi ko'chishlar nolga