

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

Ahmedov Burhon Ikromovich

QURILISH MEXANIKASI

(Darslik)

Mutaxassisliklar:

- 5340200 - Bino va inshootlar qurilishi
- 5340500 - Qurilish materiallari, buyumlari va konstruksiyalarini ishlab chiqarish
- 5341800 - Devorbop va pardobop qurilish materiallari texnologiyasi
- 5340400 - Muhandislik kommunikatsiyalari qurilishi va montaji



Jizzax - 2022

QURILISH MEXANIKASI

AHMEDOV BURHON IKROMOVICH

Darslikda qurilish mexanikasi fanining mohiyati va usullari, inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash, tayanchlar va ularning turlari, geometrik o'zgarmas, o'zgaruvchan va oniy o'zgaruvchan sistemalar, harakatlanuvchi yuklar va ta'sir chiziqlari haqida tushuncha, oddiy va konsol balkalarda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari, ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash, ko'p oraliqli statik aniq balkalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash, statik aniq tekis fermalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash, statik aniq tekis fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash, shprengelli fermalarni hisoblash, uch sharnirli arkalarni qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash, elastik sistemalardagi ko'chishlarni aniqlash, statik noaniq sistemalar va ularning xususiyatlari, statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash, simmetrik ramalarni kuchlar usulida hisoblash, statik noaniq arkalarni hisoblash, statik noaniq fermalarni hisoblash, uzluksiz balkalarni hisoblash, statik noaniq ramalarni ko'chishlar usulida hisoblash, statik noaniq ramalarni aralash usulida hisoblash mavzulari bayon qilingan.

Taqrizchilar:

Qosimov T. – Samarqand Davlat arxitektura va qurilish instituti “Qurilish konstruktsiyalari” kafedrası dotsenti, texnika fanlari nomzodi.

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

Annotatsiya. Darslik O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan namunaviy dastur asosida, 5340200 - Bino va inshootlar qurilishi, 5340500 - Qurilish materiallari, buyumlari va konstruksiyalarini ishlab chiqarish, 5341800 – Devorbop va pardozbop qurilish materiallari texnologiyasi va 5340400 - Muhandislik kommunikatsiyalari qurilishi va montaji bakalavriat ta’lim yo’nalishidagi talabalar uchun mo‘ljallangan bo‘lib, o‘quv dasturiga muvofiq tayyorlangan.

Darslikda qurilish mexanikasi fanining mohiyati va usullari, inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash, tayanchlar va ularning turlari, geometrik o‘zgarmas, o‘zgaruvchan va oniy o‘zgaruvchan sistemalar, harakatlanuvchi yuklar va ta’sir chiziqlari haqida tushunch, oddiy va konsol balkalarda zo‘riqishlarning ta’sir chiziqlari, ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash, ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni harakatlanuvchi yuklar ta’siriga hisoblash, statik aniq tekis fermalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash, statik aniq tekis fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta’siriga hisoblash, shprengelli fermalarni hisoblash, uch sharnirli arkalarni qo‘zg‘almas va harakatlanuvchi yuklar ta’siriga hisoblash, elastik sistemalardagi ko‘chishlarni aniqlash, statik noaniq sistemalar va ularning xususiyatlari, statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash, simmetrik ramalarni kuchlar usulida hisoblash, statik noaniq arkalarni hisoblash, statik noaniq fermalarni hisoblash, uzluksiz balkalarni hisoblash, statik noaniq ramalarni ko‘chishlar usulida hisoblash, statik noaniq ramalarni aralash usulida hisoblash mavzulari bayon qilingan.

Darslikda qurilish mexanikasi fanini o‘qitish metodikasi, fanining maqsad va vazifalari, oily ta’limning o‘quv-me’yoriy hujjatlari, ta’lim tamoyillari, qurilish mexanikasi fanidan ma’ruza, tajriba va amaliy mashg‘ulotlarini tashkil etish hamda o‘tkazish metodikasi bo’yicha o‘quv materiallar o‘z aksini topgan. Shuningdek, darslikda

talabalar bilim, ko‘nikma va malakalarini nazorat qilish va baholash hamda modulli va masofaviy ta’lim texnologiyalariga oid materiallar ham berilgan.

Аннотация. Учебник составлен на основе типовой программы, утвержденной Министерством высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан, 5340200 - Строительство зданий и сооружений, 5340500 - Производство строительных материалов, изделий и конструкций, 5341800 - Технология стеновых и декоративных строительных материалов и 5340400 - Строительство и монтаж инженерных коммуникаций для студентов бакалавриата в соответствии с учебным планом.

В учебнике рассмотрены сущности и методы науки строительной механики, выбор расчетных схем конструкций, понятие опор и их виды, геометрически неизменяемые, изменяемые и мгновенно изменяемые системы, подвижные нагрузки и линии влияния усилий в простых и консольных балках, многопролетные статические определимые балки при расчете от неподвижной нагрузки, многопролетные статические определимые балки при подвижных нагрузках, статические определимые плоские фермы при расчете от неподвижной нагрузки, расчет статических определимых плоских ферм при воздействии подвижных нагрузок, расчет шпренгельных ферм, расчет трехшарнирных арок под действием неподвижных и подвижных нагрузок, определение перемещений в упругих системах, статические неопределимые системы и их свойства, расчет статических неопределимых рам методом сил, расчет симметричных рам методом сил, расчет статических неопределимых арок, расчет статических неопределимых ферм, расчет неразрезных балок, расчет статически неопределимых рам методом перемещений, расчет статически неопределимых рам смешанным методом.

В учебник включены методика преподавания предмета строительная механика, цели и задачи предмета, учебные и нормативные документы высших учебных заведений, принципы организации обучения, организация лекций, экспериментов и практических занятий по предмету строительная механика. отражена методика обучения. В учебнике представлены материалы по контролю и оценке знаний, умений и навыков студентов, а также модульные и дистанционные технологии обучения.

Annotation. The textbook is compiled on the basis of a model program approved by the Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the Republic of Uzbekistan, 5340200 - Construction of buildings and structures, 5340500 - Production of building materials, products and structures, 5341800 - Technology of wall and decorative building materials and 5340400 - Construction and installation of utilities for undergraduate students in accordance with the curriculum.

The textbook discusses the essence and methods of the science of structural mechanics, the choice of design schemes for structures, the concept of supports and their types, geometrically unchanged, variable and instantly variable systems, moving loads and lines of influence of forces in simple and cantilever beams, multi-span static definable beams when calculating from a fixed loads, multi-span static determinable beams under moving loads, static determinable flat trusses when calculated from a fixed load, calculation of static determinable flat trusses under the influence of moving loads, calculation of truss trusses, calculation of three-hinged arches under the action of fixed and moving loads, determination of displacements in elastic systems, static indeterminate systems and their properties, calculation of static indeterminate frames by the force method, calculation of symmetrical frames by the force method, calculation of static indeterminate arches, calculation of static indeterminate trusses, calculation of continuous beams, calculation of statically indeterminate frames by the displacement method, calculation of statically indeterminate frames by the mixed method.

The textbook includes a methodology for teaching the subject of building mechanics, goals and objectives of the subject, educational and regulatory documents of higher educational institutions, principles for organizing training, organizing lectures, experiments and practical classes on the subject of building mechanics. the teaching methodology is reflected. The textbook presents materials on the control and assessment of knowledge, skills and abilities of students, as well as modular and distance learning technologies.

KIRISH

O'zbekiston Respublikasida "Ta'lim to'g'risida"gi qonunning qabul qilinishi, "Kadrlar tayyorlash Milliy dasturi"ning amalga oshirilayotganligi, mamlakatimiz oliy o'quv yurtlari oldiga jahon standartlari darajasidagi ta'lim-tarbiyaga erishish vazifasini qo'ymoqda. Bu vazifalarni hal etish uchun talabalar ilmiy va uslubiy jihatdan yuqori saviyali qurilish bakalavri va magistri darajasiga erishgan quruvchi-muhandis sifatida, turli muhandislik inshootlarini va konstruksiyalarini mustahkamlikka, birklikka va ustivorlikka hisoblash usullarini biladigan, hisoblash nazariyalarini puxta o'zlashtirgan va amaliy masalalarni yecha oladigan hamda zamonaviy hisoblash texnikasini mukammal egallagan bo'lishi shart.

Qurilish mexanikasi "Bino va inshootlar qurilishi", "Qurilish materiallari, buyumlari va konstruksiyalarini ishlab chiqarish", "Devorbop va pardozbop qurilish materiallari texnologiyasi" hamda "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 birkirligi 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, birkirligi 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, birkirligi va ustivorligini ta'minlashdan iboratdir.

Hisoblashlar bajarilayotganda bino va inshootlarning ishonchli ishlashi bilan birga uning tejamli bo'lishiga e'tibor berish, ya'ni materiallar eng kam sarflangan holda zarur mustahkamlik, birkirlik 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.

Talabalarining "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 bilimini 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 darslik 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.

Ushbu darslik to'g'risidagi barcha fikr va mulohazalarni muallif mamnuniyat bilan qabul qiladi.

I- BOB. QURILISH MEXANIKASINING ASOSIY TUSHUNCHALARI.

1.1-§. Qurilish mexanikasi faniga kirish.

Qurilish mexanikasi fanining mohiyati va usullari. Qurilish mexanikasi - konsruksiya va inshootlarning mustahkamligi, bikirligi va ustivorligini hisoblash prinsiplari hamda metodlari to'g'risidagi fandır. Unda inshootlarning mustahkamligini hisoblash bilan birga ularning tashqi kuchlarga chidamli bo'lishini tahminlash masalasi tekshiriladi.

Inshootlarning ustivorligini hisoblashda konsruksiyalarning aynan o'rni va muvozonat holidagi shaklini deformatsiyalangandan keyin ham saqlab qolish qobiliyati aniqlanadi.

Inshootlarning katta ko'chish (siljish) tebranishlar ta'siriga chidamliligini, ulardan normal foydalanishni aniqlash maqsadida bikirlikga hisoblanadi.

Inshootlarning mustahkamligi, bikirligi va ustivorligi masalalarini hal qilish uchun tashqi kuchlar ta'siridagi sistemalarda hosil bo'ladigan ichki zo'riqishlar va deformatsiyalarni aniqlash metodlarini bilish kerak.

Qurilish mexanikasining asosiy vazifalaridan biri- inshootlarda hosil bo'ladigan ichki zo'riqish kuchlari va deformatsiyalarini aniqlashdan iborat.

Agar inshoot elementlarining materiali va o'lchamlari ma'lum bo'lsa aniqlangan ichki zo'riqish kuchlari va deformatsiyalar miqdoriga ko'ra har bir element va butun inshootning mustahkamligi, bikirligi va ustivorligini tekshirish mumkin.

Qurilish mexanikasi statik va dinamik kuchlar ta'sirida bo'lgan inshootlarni hisoblash nazariyalari to'g'risida ma'lumot beradi.

Qurilish mehanikasining yana bir vazifasi – inshootlarning tuzilishi, uning elementlarining bir - biriga biriktirilishi qonunlarini tekshirish va ularning eng ratsional (havfsiz, tejamli) shakllarini yaratishdan iborat.

Inshootlar va ularni konstruksiyalarini hisoblashda har qanday muxandis 2ta omilni: inshootga ta'sir qiluvchi kuchlarni va uning ta'siridan inshoot va uning elementlarida hosil bo'ladigan ichki zo'riqishlarni aniqlashni bilishi muhim ro'l o'ynaydi.

Qurilish mexanikasining rivojlanishiga oid ma'lumotlar. Qurilish mexanikasi rivojlanish jarayonining dastlabki bosqichlarda mustaqil fan bo'lmay, umumiy mexanikaning tarkibiy qismlaridan biri bo'lgan. Binobarin umumiy mexanikaning ibtidoiy davrlardan hozirgi davrgacha bo'lgan tarixi qurilish mexanikasiga ham bevosita bog'liqdir.

10–12 ming yil davom etgan neolit (yangi tosh asri) davrining oxiriga kelib Nil, Tigr va Efrat daryolari sohillarida dastlabki shaharlar paydo bo'la boshlaydi. Eramizdan avvalgi III– V asrlarda dastlabki mashina – suv tegirmoni ixtiro qilinadi. Eradan avvalgi VI–asrlarga kelib, qadimgi ajdodlarimiz hozirgi zamon atamasi bilan aytganda, gidravlika, qurilish mexanikasi, statika, dinamika va koinot mexanikasiga oid boshlang'ich bilimlardan xabardor bo'lganlar. Masalan: kanallar o'tkazish, ekinlarni sug'orish, suvni tepaliklarga olib chiqish kabi ishlarni bajarganlar. Hozirgi Pokiston hududida joylashgan Mohinja–Dora shahrida eramizdan avvalgi III asrda suv quvurlari (vodoprovod) va yomg'ir suvlarini chetga chiqaradigan kanalizatsiya tarmog'i bo'lgan. Vodoprovod tarmog'i bundan 2500 yil muqaddam respublika hududida joylashgan afrosiyob (qadimgi Samarqand) ahlini zilol suv bilan ta'minlab turgan. Ko'p asrlik tajriba asosida tosh, hom g'isht va pishiq g'isht mustahkamliklari orasidagi tafovut to'la o'rganildi. Baland binolarning maqbul shakllari topildi.

Mexanikaning nazariy asoslari dastlab qadimgi Yunoniston va Misrda paydo bo'lgan. Mexanikaga doir ilk yozma asar Yunonistonning mashhur faylasufi, eramizdan avvalgi 384–322 yillar muqaddam yashab ijod etgan buyuk olim Aristotelning qalamiga mansub «Mexanika» so'zini ilmiy atama sifatida fanga birinchi bor olib kirgan olim ham ana shu buyuk insondir. Mexanikaning xilma–xil masala va muammolarini hal etishda qadimgi zamon olimlari Arximed, Geron, Platon, Appoloni, Gipparx, Ptolemey, Nikomed, Arxit va boshqalarning xizmatlari benihoya kattadir.

Sharq mamlakatlarida mexanika fani IX–XII asrlarda taraqqiy eta boshladi. Bu davrga kelib sharqning buyuk olimlari aka–uka Banu–Musolar, Sobit ibn Qurra, Abu Rayhon Beruniy, Abu Abdullo al–Xorazmiy, Abu Ali ibn Sino, Umar Xayyom, al–

Xorazmiy, al-Farobiy singari o'lgan siymolar tabiiy fanlar, xususan, mexanika sohasida barakali ijod etdilar.

Buxoroda Minorai Kalon nomi bilan ataluvchi dunyoga dong'i ketgan ulkan minora bor. Minora 1127-yilda muhandis va me'mor Baqo tomonidan bunyod etilgan. Buni hulosa qilsak, qadimiy me'morchilik obidalarini asrlar osha bizning davrimizga yetib kelishi bobokalon me'morlar va usta binokorlarning amaliy qurilish mexanikasidan chuqur habardor ekanliklaridan dalolat beradi.

Mexanikaning keyingi rivoji uyg'onish davrida Yevropaga ko'chdi. Bu davr mexanikasi buyuk olimlar Leonardo da Vinchi, Stevin, Kopernik, Kepler, Galiley va Nyutonlarning buyuk ixtirolari bilan boyidi. Bu davrda qurilish mexanikasidan birinchi bor kitob yaratilib u «Ikki yangi fan haqida suhbatlar va matematik isbotlar» deb atalardi. Bu kitobni italyan olimi (1564–1642) Galileo Galiley yozgan edi. 1678 yilda yirik ingliz olimi Robert Guk (1635–1703) o'zining mashhur qonuni, ya'ni Guk qonunini kashf etdi. Hozirgi zamon qurilish mexanikasining deyarli barcha nazariya va usullari ana shu oddiy qonunga asoslanadi.

XVIII asrda sanoatning keng rivojlanishi ildm fanga yangi–yangi vazifalar qo'ydi. Buundan keyingi davrlarda qurilish mexanikasining rivojiga chet ellik olimlardan Dalamber, Lagranj, Kulon, Lams, Sen–Venan, Eyler, Maksvell, Mor, Myuller–Breslau va boshqalar, rus va sovet olimlaridan Juravskiy, Yasinskiy, Beleyubskiy, Shuxov, Kirpigev, Proskuryakov, Krilov, Bubnov, Galyorkin, keyinchalik Rabinovich, Vlasov, Zavriev, Smirnov, Bezixov, Bolotin, Darkov va boshqalar katta xissa qo'shdilar. Qurilish mexanikasining og'ir yukini ko'tarishda o'zbek olimlari ham o'zining salmoqli ulushlarini qo'shdilar.

Nazariy mexanika va materiallar qarshiligi kursidan o'zbek tilida birinchi darslik yaratgan olim akademik O'razboyev o'zbek mexaniklarining otasi hisoblanadi. Ustozning sinfdoshi akademik Raxmatulin umrining oxirigacha MGU da talabalarga saboq berdi. O'zbekistonda kibernetikaning taraqqiyoti akademik Qobilovning nomi bilan chambarchas bog'liqdir. Zilzilalar tez–tez sodir bo'lib turadigan bizning Respublikamizda zilzilabardosh konstruksiyalar ustida olib borilayotgan ishlarning ahamiyati katta ekanligi sir emas. Bu sohaning o'tkir

bilimdoni akademik T.R.Rashidov yer osti inshootlari seysmik mustahkamligi nazariyasiga ko'ra qo'shgan hissasi behad kattadirdir. Akademik Shirinqulovning zamin va poydevorlar sohasida olib borgan ilmiy tadqiqotlari sobiq ittifoq miqyosida tan olingan va ularga yuksak baho berilgan.

Oddiy konstruksiyalar hisobini qo'lda bajarish mumkin bo'lsa, muakkab konstruksiyalarning hisobini kompyuterlarsiz tasavvur qilib bo'lmaydi. Shu boisdan endilikda qurilish mexanikasida kompyuterlardan fodalanish imkonini beradigan analitik va sonli taqribiy usullarning roli ortib bormoqda.

Qurilish mexanikasi fanining qisqacha rivojlanish tarixi. IX asrning boshlariga kelib sanoat, temir yo'l transporti va gidrotexnika inshootlarining rivojlanishi quruvchilar oldiga yangi injenerlik masalalarini qo'ydi.

Bu davrda temirdan tayyorlangan temir yo'l ko'priklari, katta oraliqli (prolyotli) fermalar qurilishi keng tarqaldi.

Rus mexanigi I.P.Kulibin (1735-1813) bu sohada o'zining bir qancha ixtirolarini e'lon qildi. U 1776 yilda Neva daryosiga mo'ljallangan, prolyoti 300 metrli arka tipidagi yog'och ko'priknı hisoblash nazariyasini yaratdi. Arka modelini (10 marta kichraytirilgan) 3500 pudli yuk bilan tekshirib sinab ko'rdi.

Rus ko'priksunos injeneri D.I.Juravskiy (1821-1891) o'z nazariyalari va eksperimental ishlari bilan qurilish mexanikasining rivojlanishiga katta xissa qo'shdi. U 1855 yilda tashqi kuchlar ta'sirida ferma elementlarida hosil bo'ladigan zo'riqishlarning qonunini aniqladi va ferma modelida tekshirib ko'rdi. Birinchi bo'lib balkalarnı mustahkamligini faqat normal kuchlanishlariga emas, balki urinma kuchlanishlariga ham bog'liqligini, ularni aniqlash nazariyasini yaratadi.

Bu davrda qurilish mexanikasining rivojlanishiga buyuk olimlar D.Maksvell (1831-1879), O. Mor (1835-1918), D. Reley (1842-1919), S.P.Timoshenko (1878-1972) va boshqalar katta xissa qo'shdilar.

Professor X.S.Golovin (1844-1904) arkalarnı hisoblashda elastiklik nazariyasini tadbiq etdi va qurilish mexanikasiga oid kitobini nashr qildi. Bulardan tashqari X.S.Golovin ko'p panjarali fermalarnı taqribiy hisoblash usulini va qurilish mexanikasida eng kichik ish printsipini yaratdi.

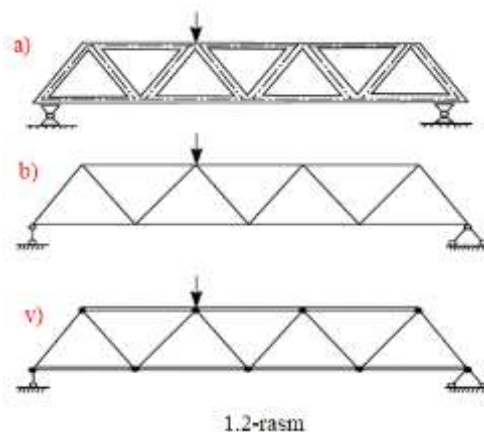
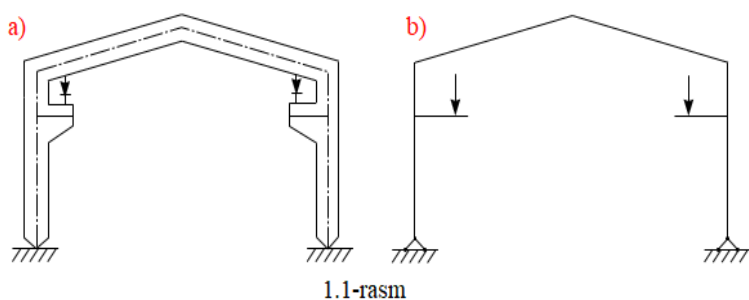
Professor F.S.Yasinskiy (1856-1899) yaratgan sterjenlarining ustuvorlik nazariyasi va fazoviy hamda panjarali simmetrik fermalarni hisoblash sohasidagi ishlari, olim va pedagog V.L. Kirpichevning grafostatikaga tegishli va statik aniqmas sistemalarni hisoblash nazariyasi, professor L.D.Proskuryakovning (1859- 1926) grafik va grafoanalitik hisoblash metodlari va Rossiya fanlar akademiyasining faxriy a'zosi V.G.Shuxovning (1853— 1939) ko'pgina asarlari giperbolik shaklidagi po'lat minoralari va boshqa ishlari qurilish mexanikasining rivojlanishiga katta hissa qo'shdi.

Statik aniqmas sistemalarni hisoblash nazariyasining rivojlanishida B.G.Golyorkin, I.M.Rabinovich, N.S.Streletskiy, A.A.Gvozdev, B.N.Jemochkin, N.I.Bezuxov, I.P.Prokofev, A.P.Filin, V.A.Kiselov va boshqa ko'pgina olimlarning asarlari, O'zbekistonlik olimlar M.T.O'rozboev, X.A.Raxmatulin, V.K.Qobulov, T.R.Rashidov, T.Sh.Shirinqulov, K.S.Abdurashidov va boshqalarning ishlari salmoqli bo'lib qo'shildilar.

1.2-§. Inshootlar hisoblash sxemalari va ularning turlari.

Inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash. Inshoot va tuzilmalar (konstruksiyalar)ining hisobini osonlashtirish uchun ularning haqiqiy sxemasi hisoblash sxemasi bilan almashtiriladi.

Inshootlarning asosiy xususiyatlarini hisobga oluvchi uning soddalashtirilgan



tasviri (sxemasi) hisoblash tasviri deyiladi.

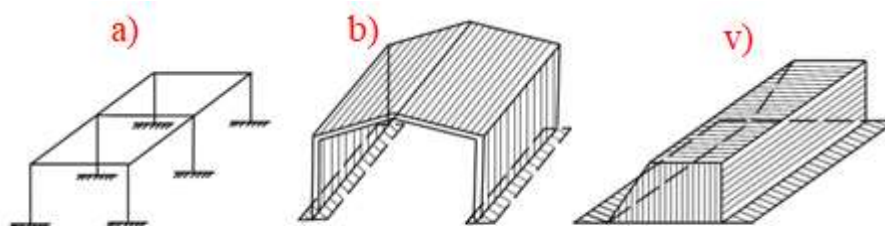
Hisoblash tasviri imkoni boricha ko'proq xaqiqiy tasvirni ifodalashi zarur. 1.1, 1.2 - rasmlarda bahzi inshootlar, ularning to'liq va hisoblash tasvirlari ko'rsatilgan.

Inshootlar klassifikatsiyasi. Inshootlar va ularning hisoblash sxemalari elementlarning geometrik shakliga ko'ra quyidagicha klassifikatsiyalanadi (turlanadi):

Sterjenlar birikmasidan tashkil topgan inshootlar (1.3a—rasm) sterjenli sistemalar deyiladi.

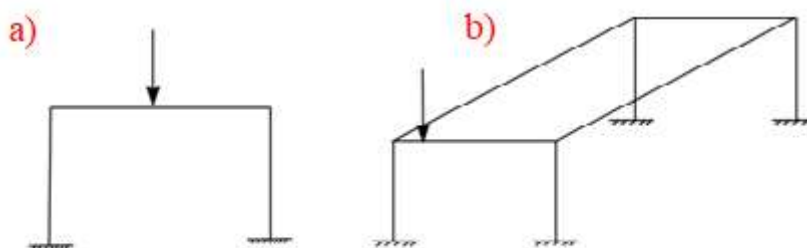
Plastinka, plita va qobiqlar hamda ularning birikmasidan tashkil topgan inshootlar (1.3b —rasm).

Uch o'lchami bir-biriga yaqin bo'lgan inshootlar (1.3v—rasmda) massiv sistemalar deyiladi.



1.3-rasm

Inshootlar elementlarning joylashuviga ko'ra yassi va fazoviy sistemalarga bo'linadi (1.4—rasm).



1.4-rasm

Inshootlarning fizik hisoblash modeli tanlangandan so'ng hisoblash usuli (metodi) tanlanadi va uning yordamida hisoblash modeli o'rganiladi.

Inshootlarga ta'sir etuvchi yuklar va ularning klassifikatsiyasi. Yuklarning uchta asosiy guruhi bo'lishi mumkin:

1. Foydali yuklar-inshoot qabul qilishi lozim bo'lgan yuklar. Masalan, odamlar, asbob-uskunalar, avtomobillar va hokozo.
2. Inshootlarning xususiy og'irligi.

3. Qor va shamol (atmosfera) yuklari (ta'siri).

Yuklarning qo'yilishiga ko'ra ular to'plangan va yoyilgan bo'ladi.

Yuklar ta'sir qilish vaqtiga ko'ra doimiy va muvaqqat yuklarga bo'linadi. Ta'sir qilish xarakteriga ko'ra statik va dinamik bo'ladi.

Statik kuchlar ta'siridan inshoot qisimlarida inertsiya kuchi hosil bo'lmaydi.

Inshootga ta'sir qiluvchi yuklar qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar guruhiga bo'linadi.

Inshootlar tayanchlarining cho'kish va tashqi haroratning o'zgarishi natijasida ham ularga ta'sir etuvchi qo'shimcha yuklar hosil bo'lishi mumkin.

Tashqi yuklarning turlari materiallar qarshiligida o'rganilgan turlarga aynan mosdir. Shu bilan birga qurilish mexanikasida qo'yilish nuqtasiga qarab quyidagi turlarga bo'linadi:

1. Qo'zgalmas yuklar – bu yuklar inshootga ta'sir qilish davrida o'z o'rnini o'zgartirmaydi.
2. Qo'zg'aluvchan yuklar – inshootga qo'yilgan o'rnini o'zgartiradigan yukdir.

1.3-§. Inshootlar hisoblash sxemalarining kinematik analizi.

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.

H i s o b l a s h s x e m a s i deb, haqiqiy inshootlarni soddalashtirilgan tasviri tushuniladi.

Yassi sterjenli sistemalarning *e r k i n l i k d a r a j a s i* 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* s 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, *o'niy o'zgaruvchan* sistema deyiladi. Ko'chishlar to'xtaganidan so'ng u o'zgarma 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.

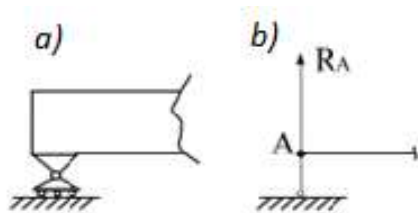
1. Statik aniq sistemalarda issiqlik ta'siridan, tayanchlar siljishidan va yig'ishdagi noanqliklardan tayanch reaksiyalari va ichki zo'riqishlar (M,Q,N) hosil bo'lmaydi.
2. Statik aniq sistemalarning reaksiyalari va elementlaridagi zo'riqishlar, ko'ndalang kesim shakli va o'lchamlariga hamda inshoot materialining elastik xususiyatlariga bog'liq emas.
3. Statik aniq sistemalarda ko'pincha, xususiy qo'zg'almaslikka va geometrik o'zgarma sistemaga ega bo'lgan asosiy qismini ajratish mumkin, sistemaning qolgan qismi esa unga tayanib o'zining qo'zg'almasligi va geometrik o'zgarma sistemaga ega bo'ladi.
4. Statik aniq sistemaning muayyan geometrik o'zgarma qismiga qo'yilgan muvozanatlashgan yuk faqat shu qismida zo'riqish hosil qiladi, sistemaning barcha qolgan qismida esa zo'riqishlar nolga teng.

Tayanchlar va ularning turlari. Inshootlarni asos bilan biriktiruvchi va ularning ko'chishini cheklovchi qurilmalar tayanchlar deb ataladi.

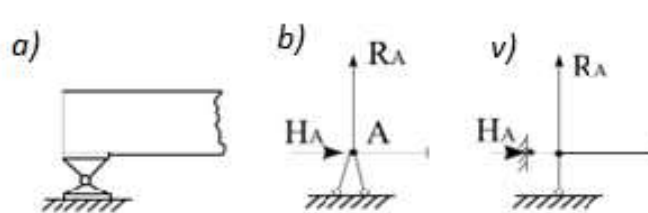
Tekis inshootlar tayanchlari asosan quyidagi turlarda bo'ladi:

1. Sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch (1.5—rasm).

2. Sharnirli qo'zg'almas tayanch (1.6—rasm).
3. Qistirib mahkamlangan tayanch (1.7—rasm):



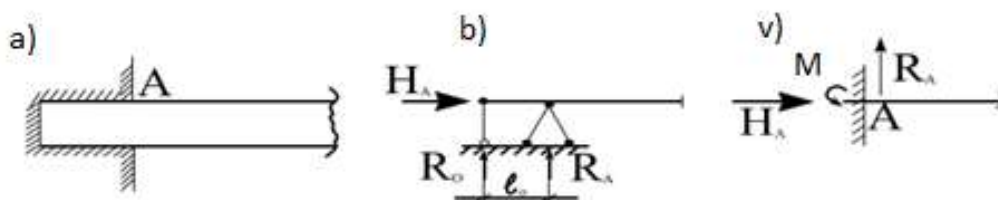
1.5-rasm



1.6-rasm

Geometrik o'zgaras, o'zgaruvchan va oniy o'zgaruvchan sistemalar.

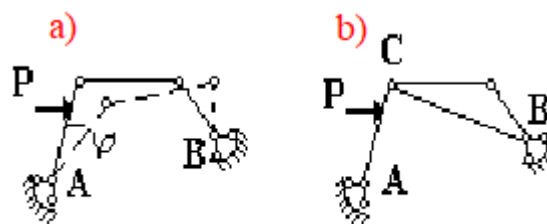
Kinematik analizdan ko'zlangan maqsad. Bir-biri bilan sharnirli yoki tashqi yuklar ta'sirida o'zining shakli va holatini o'zgartirmasligi lozim.



1.7- rasm

Bunday talabni qanoatlantiruvchi inshoot geometrik o'zgaras sistema bo'ladi. Inshoot shakli yoki holatining o'zgarishi uni tashkil etuvchi elementlarning deformatsiyalanishi tufayligina sodir bo'lishi mumkin.

Har bir inshootni hisoblashdan oldin uning sxemasini geometrik o'zgaraslik shartlariga asosan kinematik analiz qilish kerak. Masalan, 1.8-rasmda tasvirlangan sistemaning sterjenlaridagi zo'riqishlarini



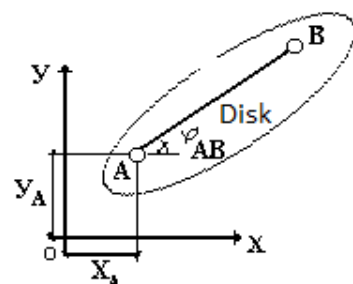
1.8-rasm

aniqlash mumkin emas, chunki oz miqdordagi P kuchning ta'siri ham uning shakli va holatini o'zgartiradi. Demak, berilgan sistema geometrik o'zgaruvchan sistema, ya'ni mexanizmdir. Sistema geometrik o'zgaras bo'lishi uchun unga qo'shimcha bog'lovchi element (masalan, BC)ni kiritish kerak (1.8-rasm,b).

Sistemani asosiy hamda yordamchi elementlarga ajratishda va ularning bir-biri bilan qanday bog'lanishda ekanligini tekshirishda kinematik analizning ahamiyati katta. Kinematik analiz yordamida sistemaning geometrik o'zgarmas yoki o'zgaruvchi ekanligi bilib olinadi. Faqat geometrik o'zgarmas inshootlarga tashqi yuklarni qabul qilib, ularga qarshilik ko'rsatishi, ya'ni yuklar ta'sirida ishlashi mumkin.

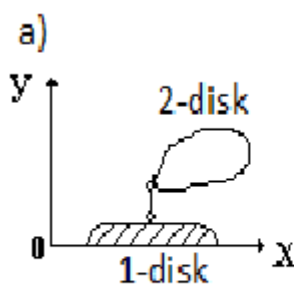
Sistemalarning erkinlik darajasi. Har qanday yassi jism yoki yassi jismlar sistemasining tekislikda olgan o'rnini to'la aniqlab beruvchi, bir-biriga bog'liq bo'lmagan geometrik parametrlar miqdori shu sistemaning erkinlik darajasi soni deb ataladi. Tekislikda olingan biror A nuqtaning ixtiyoriy qabul qilingan qo'zg'almas koordinatalar o'qiga nisbatan olgan o'rne ikkita koordinata X_A , Y_A bilan aniqlanadi. Shuning uchun nuqtaning o'zi yotgan tekislikdagi erkinlik darajasi soni ikkiga teng bo'ladi.

Har qanday geometrik o'zgarmas tekis sistema disk deb ataladi. Masalan: sterjen, plastinka, balka va fermalarni disk deb qabul qilish mumkin. Tekislikdagi biror diskning koordinatalar o'qiga nisbatan olgan o'rne uchta parametr X , Y va φ_{AB} bilan aniqlanadi (1.9-rasm). Demak, har bir disk o'zi yotgan tekislikda uchta erkinlik darajasiga ega bo'ladi. Diskning erkin harakatini, ya'ni erkinlik darajasini turli qurilmalar yordamida cheklash mumkin. Bitta erkinlik darajasini cheklovchi qurilma kinematik bog'lanish deyiladi. Bunga

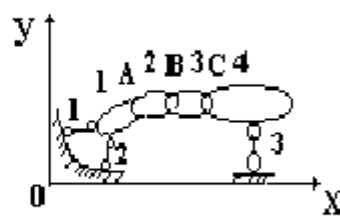
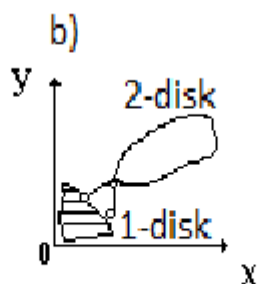


1.9-rasm

misol qilib, ikkita diskni bir-biri bilan bog'lovchi sterjenni ko'rsatish mumkin (1.10 - rasm,a). Bu sterjen ikkinchi diskning birinchi diskka nisbatan chiziqli ko'chishiga qarshilik ko'rsatadi.



1.10-rasm

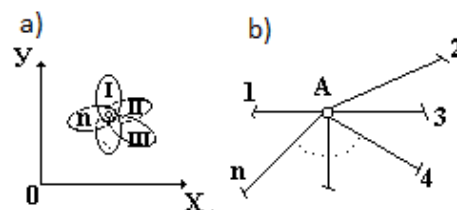


1.11-rasm

Ikki disk bir-biri bilan silindrik sharnir vositasida bog'langanda (1.10-rasm,b) birinchi diskka nisbatan ikkinchi disk ikkita erkinlik darajasini yuqotadi. Demak, silindrik sharnir ikkita sterjenga ekvivalentdir(1.10-rasm,b). Inshootlarning hisoblash sxemalari, asosan, geometrik tekis elementlar (disklar)dan iborat bo'lgan kinematik zanjirlardan tuziladi (1.11-rasm). Bu disklar (elementlar) bir-biriga sharnirlar yordamida, yerga esa tayanch sterjenlar orqali bog'lanadi.

Bunday murakkab sistemaning erkinlik darajalari soni quyidagicha aniqlanadi. Sistemadagi disklar soni D bo'lsa, uning erkinlik darajasi soni $3D$ bo'ladi, chunki har bir disk uchta erkinlik darajasiga ega. Bu disklar bir-biri bilan Sh ta oddiy sharnirlar bilan bog'langan bo'lsa, sistemaning erkinlik darajasi $2Sh$ ga kamayadi, chunki har bir sharnir ikkita erkinlik darajasini yo'qotadi. Sistemani yerga bog'lovchi har bir tayanch sterjen uning bitta erkinlik darajasini yo'qotadi. Demak, murakkab sistemaning erkinlik darajasi soni W quyidagi ifodaga asosan topiladi:

$$W = 3D - 2Sh - S_T \quad (1.1)$$



1.12-rasm

bunda D - disklar soni, Sh - disklarni o'zaro bog'hlovchi oddiy sharnirlar soni, S_T - tayanch sterjenlar soni.

Agar berilgan sistema uchun $W > 0$ bo'lsa, sistema geometrik o'zgaruvchandir; $W = 0$ bo'lsa, sistema geometrik o'zgarmas; $W < 0$ bo'lganda esa sistema geometrik o'zgarmas bo'lish bilan birga, o'z tarkibida ortiqcha bog'lanishlariga ega bo'ladi. Ortiqcha bog'lanishlarga ega bo'lgan sistemalar statik aniqmas sistemalar deyiladi.

Agar berilgan sistemaning biror sharnirli tugunida bir nechta disklar bir-biri bilan bog'langan bo'lsa, bunday sharnir murakkab sharnir deb ataladi (1.12-rasm). Murakkab sharnirli sistemalarning erkinlik darajalari soni (1.1) formula bilan aniqlanadi; lekin murakkab sharnirlar sonini oddiy sharnirlar soni bilan almashtirish kerak.

Agar murakkab sharnirda n ta disklar bir-biri bilan bog'langan bo'lsa, uning oddiy sharnirlar soni bog'langan disklar sonidan bitta kam ($n-1$) bo'ladi.

Sterjenli sistemalarning geometrik o'zgarasligining zaruriy sharti. Tekis sistemalarning geometrik o'zgaras ekanligiga ishonch hosil qilish uchun $W < 0$ shart bajarilishi bilan birga uning geometrik tuzilishini analiz qilish kerak.

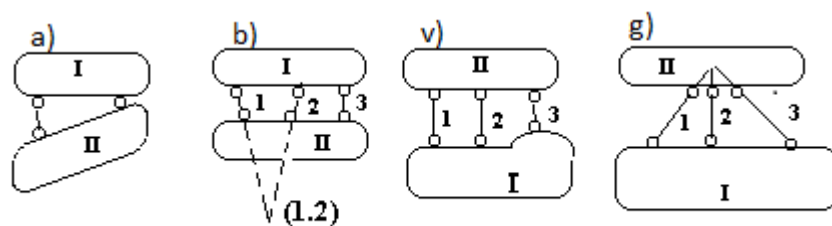
Agar berilgan sxema uchun $W < 0$ shart bajarilgan bo'lsa, u geometrik o'zgaruvchan bo'lishi ham mumkin. Masalan, 1.13- rasm, a va b da ko'rsatilgan ikki sistemadagi disklar soni $D=3$, oddiy sharnirlar soni $Sh=2$ va tayanch sterjenlar soni $S_r=5$ bo'lsa. U holda ularning erkinlik darajasi (1.1) formulaga asosan:

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 5 = 0$$

Birinchi sxema (1.13-rasm,a) geometrik o'zgarasdir. Lekin 2-chi sxemaning 3-chi oralig'idagi S sharniri pastga yoki yuqoriga erkin ko'chishi mumkin. (1.13 –rasm)

Demak, balkaning BCD qismi geometrik o'zgaruvchan va AB qismi esa ortiqcha tayanch bog'lovchiga ega.

Inshootni hisoblash sxemasi geometrik o'zgaras bo'lishi uchun uni tashkil etuvchi elementlar bir-biri bilan o'zaro quyidagi shartlarga asosan bog'langan bo'lishi kerak. Ikki diskdan iborat sistemani o'zaro geometrik o'zgaras qilib birlashtirish uchun ularni bitta sterjen va bitta oddiy sharnir bilan bog'lash kerak (1.14-rasm,a) yoki bir nuqtada kesishmaydigan yo'nalishlari bir-biriga parallel bo'lmagan uchta sterjendan foydalanish lozim (1.14-rasm,b). Aks holda hosil bo'lgan sistema oniy o'zgaruvchan sistema bo'ladi (1.14-rasm,v va g).

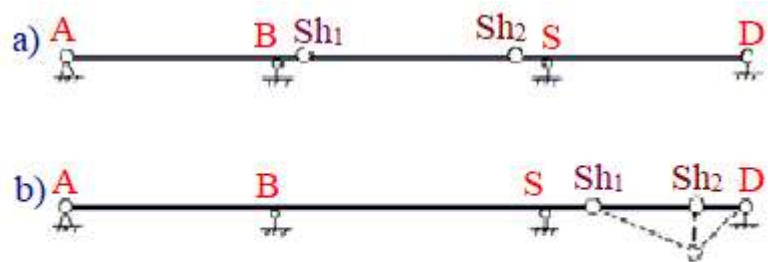


1.14-rasm

Tekis sistemalarning geometrik o'zgaras ekanligiga ishonch hosil qilish uchun $W \leq 0$ shart bajarilishi bilan birga uning geometrik tuzilishini analiz qilish kerak. Masalan, 1.15 – rasmda $W \leq 0$ sharti bajarilgan bo'lsa ham, geometrik o'zgaruvchan bo'lgan balka ko'rsatilgan.



1.13-rasm

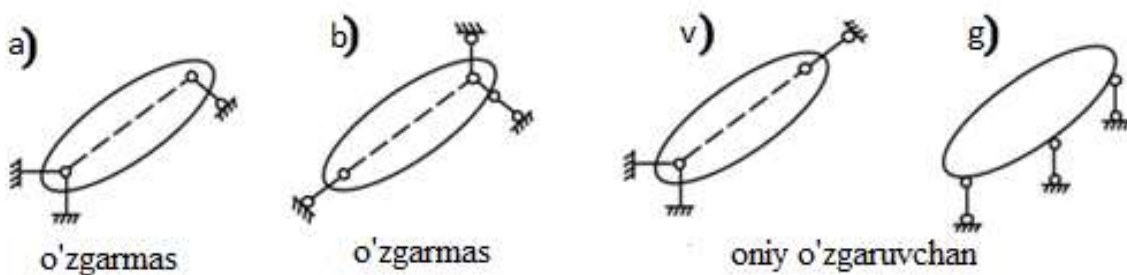


1.15-rasm

Erkinlik darajasi $W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 5 = 0$.

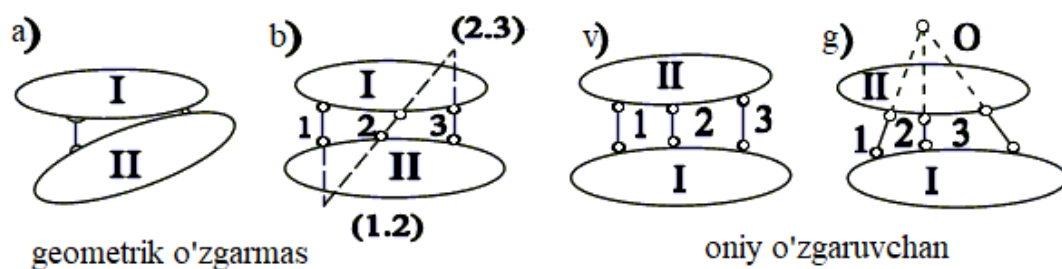
Inshootni hisoblash sxemasi geometrik o'zgarmas bo'lishi uchun ular yer bilan va o'zaro quyidagi shartlarga asosan bog'langan bo'lishi kerak.

1) Bir disk va uch sterjenlardan iborat bo'lgan sistema (1.16 - rasm)



1.16 - rasm

2) Ikki disk, bir sterjen va bitta oddiy sharnirdan yoki 3ta sterjendan iborat sistema (1.17- rasm).

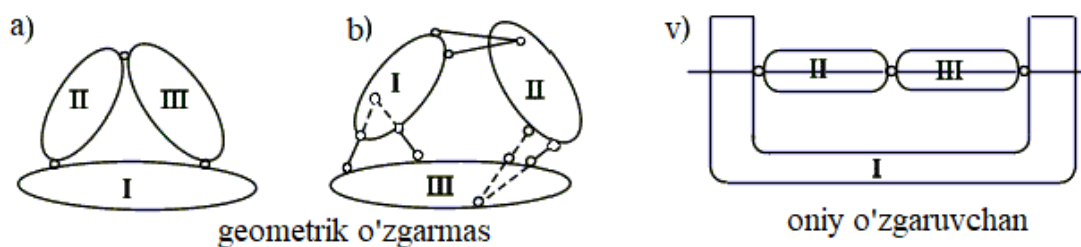


1.17 - rasm

Demak, ikki disk o'zaro geometrik o'zgarmas bo'lishi uchun ular bitta sharnir va bitta sterjen bilan bog'langan yoki bir nuqtada kesishuvchi 3ta sterjen bilan bog'langan bo'lishi kerak.

3) Uchta diskni geometrik o'zgarmas qilib bog'lash uchun bir to'g'ri chiziqda

yotmagan uchta oddiy sharnir yoki 6ta sterjen kerak bo'ladi (1.18- rasm). Aks holda hosil bo'lgan sistema oniy o'zgaruvchan bo'ladi.

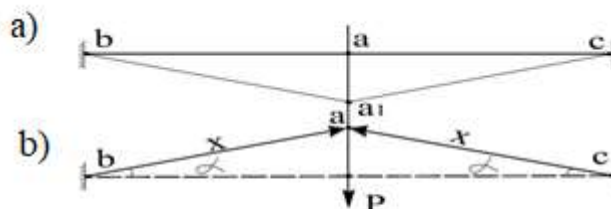


1.18- rasm

elementlari bir-biri bilan yuqorida keltirilgan shartlarga binoan bog'liqligini tekshirish kerak.

Demak, $W \leq 0$ shart sistemaning geometrik o'zgarimas bo'lishi uchun zarur, 1.19- rasm

lekin yetarli emas ekan. Shuning uchun $W \leq 0$ bo'lishidan tashqari sistemaning



1.19-rasm

Demak, $W \leq 0$ shart sistemaning geometrik o'zgarimas bo'lishi uchun zarur, lekin yetarli emas ekan. Shuning uchun $W \leq 0$ bo'lishidan tashqari sistemaning elementlari bir-biri bilan yuqorida keltirilgan shartlarga binoan bog'liqligini tekshirish kerak.

Demak, $W \leq 0$ shart sistemaning geometrik o'zgarimas bo'lishi uchun zarur, lekin yetarli emas ekan. Shuning uchun $W \leq 0$ bo'lishidan tashqari sistemaning elementlari bir-biri bilan yuqorida keltirilgan shartlarga binoan bog'liqligini tekshirish kerak.

Bir to'g'ri chiziqda yotgan ikkita to'g'ri chiziqdan iborat sistema, oniy o'zgaruvchi sistema bo'ladi (1.19- rasm).

Oniy o'zgaruvchi sistemalarda tashqi yuklar ta'siridan yoki ularning ta'sirisiz cheksiz katta zo'riqishlar yoki noaniqlikka ega bo'lgan zo'riqishlar hosil bo'ladi. Bu bunday sistemalarning statik belgisi bo'ladi. 1.19-rasmda ko'rsatilgan oniy o'zgaruvchi

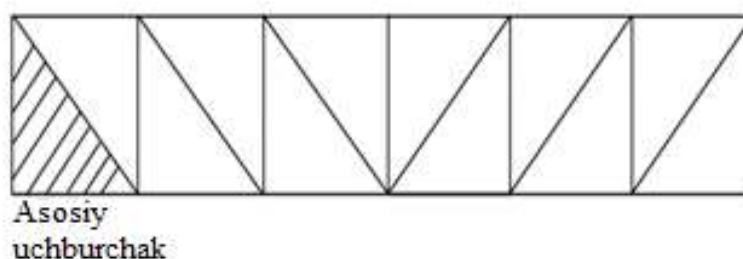
sistemaning hisoblash sxemasini (1.19 – rasm) qaraylik:

Agar $\alpha \rightarrow 0$ bo'lsa, noma'lum kuch X katta yoki cheksiz qiymatlarga teng bo'ladi.

$$\sum y = 0, 2X \cdot \sin \alpha - R = 0, X = \frac{R}{2 \sin \alpha}$$

Bundan tashqari, oniy o'zgaruvchanlikni aniqlash uchun yuklanmagan sistemalar o'rganiladi. Agar sistema oniy o'zgaruvchi bo'lsa, u holda tayanch reaksiyalari noaniqlikka teng bo'ladi.

Ferma konstruksiyasi uch burchakdan iborat bo'lganligi sababli geometrik o'zgarmas sistemalar kiradi (1.20 – rasm).



1.20 — rasm

Sharnirli-sterjenli sistemalarning (fermalarni) erkinlik darajasi quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

$$W = 2T - S - S_T. \quad (1.2)$$

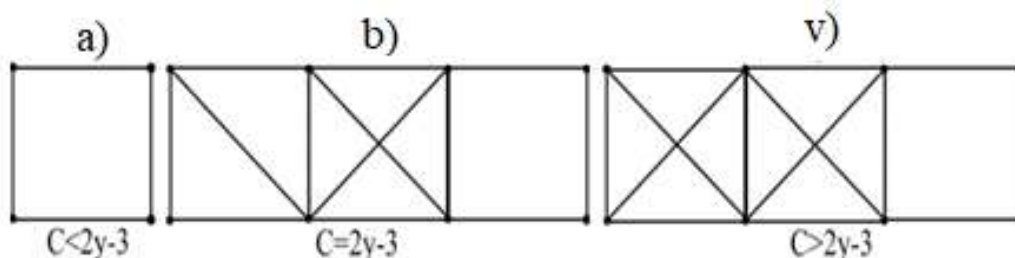
Bu yerda T – tugunlar soni, S – sterjenlar soni, S_T – tayanch sterjenlar soni.

Tayanchlardan ajratilgan sistemalar uchun (1.20 – rasm).

$V = W - 3 = 2Y - S = 3$ geometrik o'zgarmaslik sharti $V = 0$ bo'ladi yoki $V = W - 3 = 2Y - S = 3$ bu yerdan

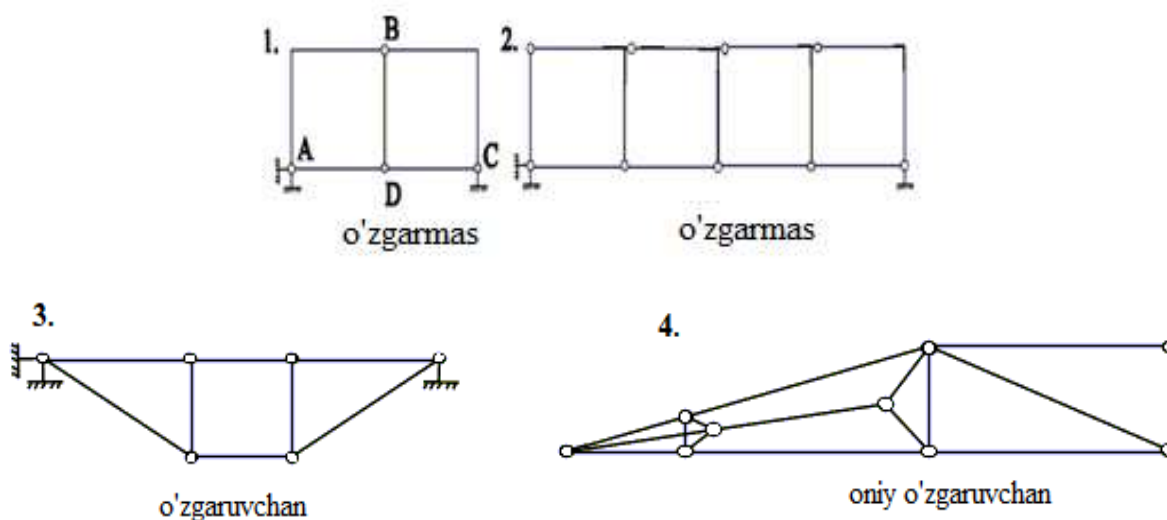
$$S = 2Y - 3$$

Agar $S = 2Y - 3$ bo'lsa sistema geometrik o'zgaruvchan bo'ladi (1.21a – rasm).



1.21 — rasm

$S \geq 2Y - 3$ sharti zaruriy bo'lsa ham, lekin yetarli emasdir (1.21 b, v – rasmlar).



1.22-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 muvozonat 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'zgarmas 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'zgarmas 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'kishi 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 balkalarni analitik usulda hisoblash deganda nimani tushunasiz?
18. Asosiy va osma balkalar deb qanday balkalarga aytiladi?

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 (Названия)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. TA'SIR CHIZIQLAR NAZARIYASI

2.1-§. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari.

Tayanch so'z va iboralar: harakatlanuvchi yuklar, harakatlanuvchi birlik kuch, ta'sir chizig'i, reaksiyaning ta'sir chizig'i, eguvchi moment va kesuvchi kuchlarning ta'sir chiziqlari, statik usul, $R=1$ kuchining holatlari, oddiy balkalarda ta'sir chiziqlarini qurish, konsolli balkalarda ta'sir chiziqlari, harakatlanuvchi kuchlar, chiziqli yoyilgan kuchlar, juft kuchlar ta'siri, zo'riqishlarni aniqlash formulalari, asosiy balka, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar, yordamchi balkalar, tugun orqali uzatilish.

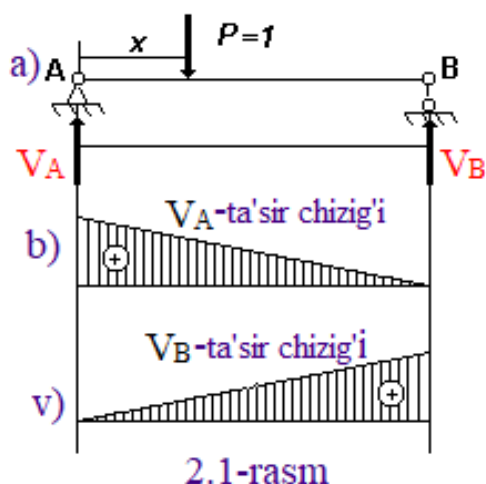
Harakatlanuvchi yuklar va ta'sir chiziqlari haqida tushuncha.

Harakatlanuvchi kuchlar sistemasi qo'yilgan balkalarni hisoblash uchun ularni avval birlik ko'chma kuch ($P=1$) ta'siriga hisoblash kerak. Balkaning tayanch reaksiyalari, eguvchi moment va ko'ndalang kuchlarning miqdorlari uning ustida harakatlanuvchi birlik kuchning vaziyatiga bog'liq (2.1-rasm):

$$A = f_1(x); \quad B = f_1(x); \quad M = f_3(x); \quad \text{va} \quad Q = f_2(x); \quad (2.1')$$

Ta'sir chizig'ini qurish uchun birlik kuch ($P=1$) balka ustidagi ma'lum nuqtalarga ketma-ket qo'yilib, bizni qiziqtirayotgan miqdorning o'zgarish qonunini ifodalovchi funksiya (2.1) aniqlanadi. So'ngra bu funksiyaning grafigi chiziladi.

Oddiy va konsol balkalarda tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlarini chizish. Chap tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini qurish uchun balka ustida harakatlanuvchi birlik yukni ($P=1$) chap tayanchdan x masofada



joylashtiramiz va statikaning muvozanat tenglamasini yozamiz (2.1-rasm):

$$\sum M_B = 0, Al - P(1 - x) = 0.$$

Bundan,

$$A = P \frac{l-x}{l} \quad \text{yoki} \quad A = \frac{l-x}{l} \quad (2.2)$$

(2.2) ifoda tayanch reaksiyasi A ning ta'sir chizig'i tenglamasidir. O'zgaruvchan abssissa x

birinchi darajali bo'lgani uchun (2.2) ifoda to'g'ri chiziq tenglamasi bo'ladi.

Tayanch reaksiyasi A ning ta'sir chizig'ini chizish uchun (2.2) tenglamadagi abssissa x ga $0 \leq x \leq 1$ oraliqda qiymatlar beramiz ($P=1$) yuk chap va o'ng tayanchlar orasida harakatlanadi). $x=0$ da $A=1$ va $x=1$ bo'lganda $A=0$ bo'ladi.

Koordinatalar sistemasida A tayanchning tagiga biror masshtabda birga teng bo'lgan ordinatani $x=0$ da $A=1$, B tayanchning tagiga esa nolga teng bo'lgan ordinatani $x=1$ da $A=0$ qo'yib, hosil bo'lgan nuqtalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtiramiz (2.2-rasm, b). Bu grafik reaksiya A ning ta'sir chizig'i bo'ladi. Uni qisqacha A t.ch. deb belgilaymiz

A ta'sir chizig'ining har bir ordinatasi harakatlanuvchi birlik kuch shu ordinataga to'g'ri kelgan kesim ustida turgan vaziyatida hosil bo'lgan A tayanch reaksiyasining qabo'l qilingan masshtabdagi miqdorini ifodalaydi.

O'ng tayanch reaksiya B ning ta'sir chizig'ini quramiz. Birlik yuk ($P=1$) ni chap tayanchdan x masofada balka ustida turgan vaziyati uchun statikaning $\sum M_A = 0$ muvozanat tenglamasini yozamiz (2.1-rasm):

$$-B l + P x = 0, \quad \text{bundan} \quad B = \frac{x}{l}. \quad (2.3)$$

(2.3) tenglik B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i tenglamasidir, bunda $0 \leq x \leq 1$ $x=0$ da $B=0$ $x=1$ da esa $B=1$ bo'ladi.

B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizish uchun koordinalar sistemasida o'ng tayanch ostiga birga teng bo'lgan ordinatani, chap tayanch tagida esa nollik ordinatani qo'yib nuqtalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtiramiz. Bu grafik (2.2-rasm,v) B reaksiyaning ta'sir chizig'i (V t.ch.) bo'ladi.

(2.2) va (2.3) ifodalarga ko'ra, A va B tayanch reaksiya ta'sir chiziqlarining ordinalari musbat ishorali bo'lib, o'lchamsiz miqdordir.

Oddiy va konsol balkalarning biror kesimi uchun ichki zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini chizish.

Ko'ndalang kuchning ta'sir chizig'i. Balkaning berilgan kesimi C dagi ko'ndalang kuch Q_c ning ta'sir chizig'ini qurish uchun birlik kuch ($P=1$) ning ikki vaziyatini tekshirish kerak (2.2-rasm).

Birinchi vaziyat. Birlik ko'chma kuch ($P=1$) C kesimdan chap tomonda harakat qiladi, ya'ni $0 \leq x \leq a$. Balka o'ng tomoning muvozanatini ko'rib Q_c^{uan} ni aniqlaymiz:

$$\sum Y = 0, \quad \text{bundan } Q_c^{uan} = -B = -\frac{x}{l}. \quad (2.4)$$

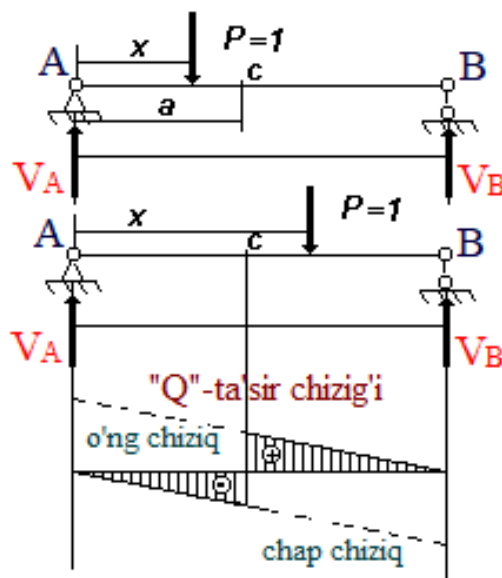
Ikkinchi vaziyat. Birlik ko'chma kuch C kesimdan o'ng tomonda harakat qilsin. Unda $0 \leq x \leq 1$ (2.2-rasm). Balka chap qismining muvozanatini tekshiramiz:

$$Q_c^{uan} = -A = -\frac{x}{l}. \quad (2.4')$$

(2.4) ga asosan, Q_c^{uan} chap chiziq ordinatalari chap tayanchdan C kesimgacha balkaning B tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ining teskari ishora bilan olingan ordinatalari qiymatiga va (2.4') ga asosan, Q_c^{uan} chiziq esa C kesimdan balkaning oxirigacha A reaksiyaning ta'sir chizig'iga mos keladi.

Q_c ning ta'sir chizig'ini chizish uchun chap tayanch ostiga biror masshtabda musbat birlik ordinata qo'yib, uni o'ng tayanch tagidagi nollik ordinata bilan tutashtiramiz (bu o'ng chiziq deb ataladi), so'ngra o'ng tayanch ostiga manfiy birlik ordinata ko'yib, uni chap tayanch tagidagi nollik ordinata bilan tutashtiramiz (bu o'ng chiziq deb ataladi), so'ngra o'ng tayanch ostiga manfiy birlik ordinata ko'yib, uni chap tayanch tagidagi nollik ordinata bilan tutashtiramiz (chap chiziq).

O'ng va chap chiziqlar bir-biriga parallel bo'ladi. Chap chiziq balkaning chap tayanchidan C kesimgacha, o'ng chiziq esa C kesimdan o'ng tayanchgacha Q_c ning o'zgarishini ifodalaydi (2.2-rasmdagi shtrix chiziq).



2.2-rasm

Ko'ndalang kuch ta'sir chiziqlarining ordinatalari yuqorida keltirilgan tenglamalarga asosan o'lchamsiz miqdordir.

Eguvchi momentning ta'sir chizig'i. Balkaning C kesimida hosil bo'ladigan eguvchi moment ta'sir chizig'ini qurish uchun ham birlik kuchning ikki holatini tekshiramiz (2.3-rasm).

Birinchi holat. ($P=1$) kuch C kesimning chap tomonida harakatlanadi ($0 \leq x \leq a$) deb faraz qilib (2.3-rasm, a), M_C^{uan} eguvchi moment tenglamasini balkaning o'ng tomoni muvozanatiga asosan yozamiz:

$$M_C^{uan} = B(1-a) = x/1 \quad (2.5)$$

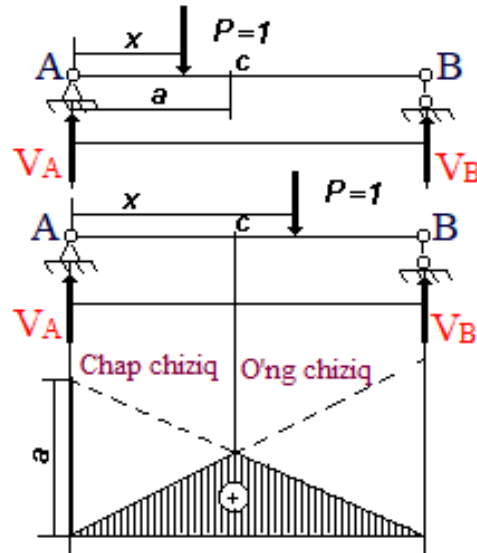
Bu tenglama $P=1$ yuk chap tayanchdan kesimgacha harakatlanganda M_C eguvchi moment qiymatining o'zgarishini ifodalaydi. Uning grafigini (chap chiziq deb ataladi) chizish uchun, o'ng tayanch ostiga $1-a$ o'zgarmas songa teng ordinata qo'yib, A tayanch ostidagi nollik ordinata bilan birlashtiramiz.

Ikkinchi holat $P=1$ ko'chma kuch C kesimning o'ng tomonida (2.3-rasm, b) harakat qiladi ($a \leq x \leq 1$) deb, M_C^{yn2} ni aniqlaymiz. Balka chap tomonining muvozanatini tekshiramiz, bunda:

$$M_C^{yn2} = A \cdot a = (1-x/1) \cdot a \quad (2.5')$$

Demak, M_C^{yn2} chiziq bu chegarada A reaksiyaning ta'sir chizig'i ordinatalarini a o'zgarmas songa Ko'paytirib chizilganiga to'g'ri keladi. Bu chiziq o'ng chiziq deyiladi (2.3-rasm,).

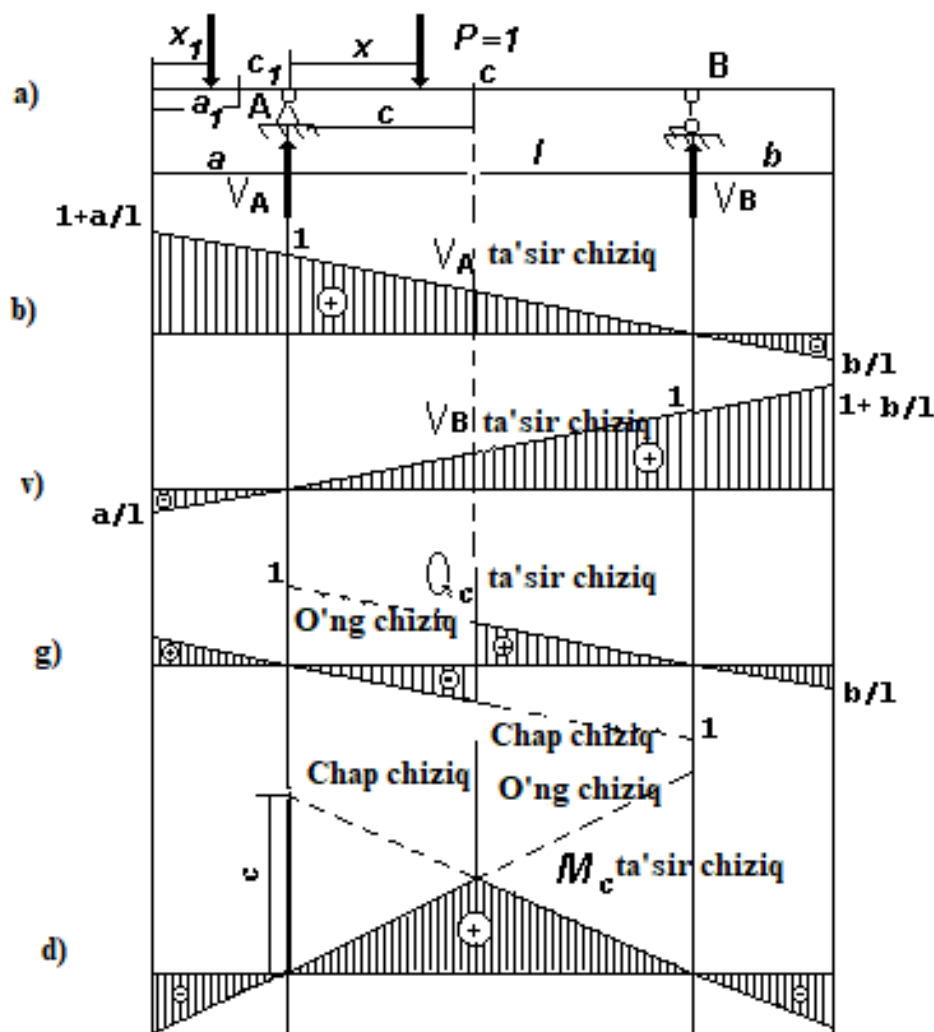
Chap chiziq bilan o'ng chiziq C kesim tagida kesishadi, chunki $x=a$ ni (2.5) va (2.5') ifodalarga qo'ysak M_C^{uan} va M_C^{yn2} ordinatalarning tengligini



2.3-rasm

ko'ramiz. M_C ta'sir chizig'ining ordinatasi $P=1$ ko'chma yuk shu ordinata ustida turganida C kesimda hosil bo'lgan eguvchi momentning miqdorini qabo'l qilingan masshtabda ifodalaydi. (2.5) va (2.5') formulalarga asosan, bu ordinataning o'lchov birligi metr bo'ladi.

Ikki konsolli balka uchun ta'sir chizig'ini qurish. Ikki konsolli balka uchun tayanch reaksiyalari va uning biror kesimidagi Q_c hamda M_c ning ta'sir chiziqlarini chizishda oddiybalka uchun olingan formulalardan foydalaniladi.



2.4-rasm

Masalan, balka chap tayanch reaksiyasi A ning ta'sir chizig'ini chizish uchen birlik yukni A tayanchdan o'ng tomonda x masofada joylashtiramiz (2.4-rasm,a) $\sum M_B = 0$ tenglamadan $A = 1 - x/l$ ni hosil qilamiz. Demak, bu ifodadagi abssissa x ga $-a \leq x \leq 1+b$ oraliqda qiymatlar beramiz:

$$x = 0 \text{ da } A = 1, \quad x = 1 \text{ da } A = 0, \quad x = 1+b \text{ da } A = -b/l \quad x = -a \text{ da}$$

$$A = \frac{l+a}{l} = 1 + \frac{a}{l}$$

Bu ordinatalar yordamida chizilgan A ning ta'sir chizig'i 2.4-rasm,b da ko'rsatilgan. B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i ham (2.3) formuladan foydalanib chiziladi (2.5-rasm,v):

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

Demak, konsolli balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari oddiybalka tayanch reaksiyalari ta'sir chiziqlar kabi chizilib, so'ngra ular konsolning uchlarigacha davom yettiriladi.

Konsolli balkaning oraliqida C kesimidagi Q_c va M_c larning ta'sir chizig'i oddiybalkalardagi ko'ndalang kuch va eguvchi momentning ta'sir chiziqlari kabi chizilib, so'ngra chap chiziqni chap tomondagi konsolning oxirigacha, o'ng chiziqni esa o'ng tomondagi konsolning oxirigacha davom yettiriladi (2.4 - rasm, g va d). Konsolli balkaning konsol qismidagi kesimi uchun ko'ndalang kuch va eguvchi momentning ta'sir chiziqlarini quramiz. Masalan, berilgan C_1 kesim balkaning chap konsolida bo'lsin (2.4-rasm,a). Birlik yuk $P=1$ bu kesimdan chap tomonda harakatlenganda ($0 \leq x_1 < a$), konsol qismining muvozanatini ko'ramiz. Bunda $Q_{c_1}^{uan} = -P = -1$ bo'ladi. Demak, $Q_{c_1}^{uan}$ ning chap chizig'i konsol uchidan kesimgacha sanoq o'qiga parallel bo'ladi (2.4 - rasm , e).

Birlik yuk $P=1$ C_1 kesimdan o'ng tomonda bo'lsin [$a_1 \leq x \leq a$] Bunda ham konsol chap qismining muvozanatini ko'ramiz: $Q_{c_1}^{yuz} = 0$ Demak o'ng chiziq nul bo'lib sanoq chizig'ining ustida yotadi (2.4- rasm, e)

M_{c_1} ta'sir chizig'ini qurish uchun ham birlik yukning ikki holatini tekshiramiz.

Birlik yuk C_1 kesimdan chap tomonda harakat qiladi

($0 \leq x_1 < a$), U holda $M_C^{uan} = -P(a_1 - x_1)$ va $x_1 = 0$ da $M_{c_1}^{uan} = -a$ va $x = a$ da $M = 0$ bo'ladi. Chap chiziqni chizish uchun koordinatalar sistemasida $x_1 = 0$ kesimdagi ordinata a_1 ni masshtabda ko'yib, $x = a$ kesimdagi nol ordinata bilan birlashtirish kerak (2.4- rasm,j). Birlik yuk C kesimdan o'ng tomonda

bo'lganda esa $M_{c_1}^{uan} = 0$ bo'ladi. Demak, o'ng chiziq nolinchi bo'lib, sanok chizig'i ustida yotadi. M_{c_1} ta'sir chizig'ining chap o'ng chiziqlari C kesimning tagida kesishadi.

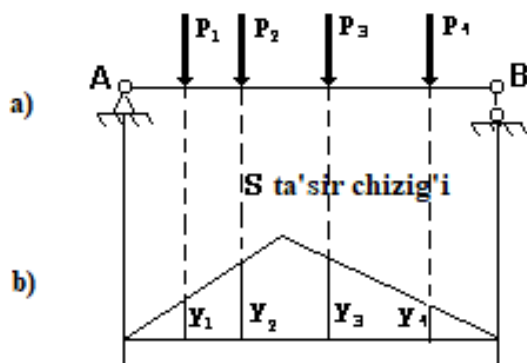
Agar C_2 kesim balkaning o'ng konsolida bo'lsa, u holda Q_{c_2} va M_{c_2} uchun ta'sir chiziqlar yuqoridagi kabi chiziladi.

2.2-§. Ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqlashlarni aniqlash.

Tugunlar orqali yuk uzatilganda ta'sir chiziqlarini chizish. Qo'zg'almas yuklar qo'yilgan inshootning zo'riqlash, ya'ni eguvchi moment, ko'ndalang kuch va tayanch reaksiyalari miqdorini ta'sir chizig'i yordamida aniqlashni ko'ramiz. Masalan, vertikal qo'zg'almas yuklar ta'sirida bo'lgan inshootning biror S zo'riqlashi uchun ta'sir chizig'i qurilgan bo'lsin (2.5-rasm). Bu zo'riqlash ta'sir chizig'ining har bir u_i ordinatasida birlik yuk $P=1$ shu ordinata ustida bo'lganida S zo'riqlashning miqdorini ifodalaydi.

1. Inshootga to'plangan kuchlar sistemasi ko'yilgan bo'lsin. Agar S zo'riqlash ta'sir chizig'ining y_1 ordinatasi ustiga biror P_1 kuch qo'yilgan bo'lsa, u holda zo'riqlashning miqdori $P_1 \cdot y_1$; P_2 kuch ta'sirida esa S zo'riqlashning miqdori $P_1 \cdot y_2$ bo'ladi; boshqa to'plangan kuchlardan ham zo'riqlashning miqdori shunga o'xshash aniqlanadi (2.5 - rasm).

Agar inshootga n ta to'plangan kuchlardan iborat yuklar sistemasi qo'yilgan bo'lsa, hosil bo'lgan to'la zo'riqlashning miqdori, kuchlar ta'sirining mustaqilligi



2.5-rasm

'rinsi'ga asosan quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$S = P_1 y_1 + P_2 y_2 + \dots + P_n y_n = \sum P_i y_i \quad (2.6)$$

bunda y_i – ta'sir chizig'idan P_i kuch ostida olingan ordinata.

(2.6) formulada ordinatalar S_3 ishoralari bilan olinadi.

Tashqi kuchlar sistemasi ta'sirida inshoot zo'riqishlarining miqdorini (2.6) formulaga asosan aniqlashda, uning ta'sir chizig'ining har bir to'g'ri chiziqli uchastkasiga to'g'ri kelgan tashqi kuchlarni ularning teng ta'sir etuvchisi orqali ifodalash mumkin. Masalan, S zo'riqish ta'sir chizig'ining ab uchastkasida tashqi kuchlar sistemasi qo'yilgan bo'lsin (2.6 rasm) . Bu kuchlar sistemasidan hosil bo'lgan S zo'riqishning miqdorini (2.6) formulaga asosan hisoblaymiz:

$$S = P_1 y_1 + P_2 y_2 + \dots + P_n y_n$$

Bu yerdagi $y_1, y_2, \dots, y_n$ ordinatalarni rasmga ko'ra quyidagicha ifodalaymiz:

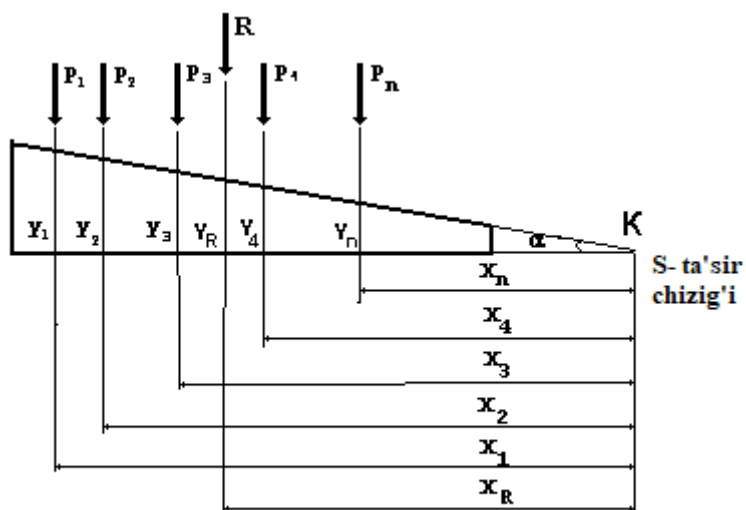
$$y_1 = x_1 \operatorname{tg} \alpha; \dots y_n = x_n \operatorname{tg} \alpha;$$

u holda
$$S = (P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots + P_n x_n) \operatorname{tg} \alpha$$

qavs ichidagi yig'indi K nuqtaga nisbatan kuchlar sistemasidan olingan momentlarning yig'indisini ifodalaydi. Kuchlar sistemasi momentlarning yig'indisini ularning teng ta'sir etuvchisi momenti orqali belgilaymiz; ya'ni :

$$S = x_R \operatorname{tg} \alpha;$$

bunda R kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi ; x_R — teng ta'sir etuvchi kuchlardan K nuqtagacha bo'lgan masofa. 2.6 -rasmdan



2.6-rasm

$$y_R = x_R \operatorname{tg} \alpha;$$

(2.7)

ekanligini e'tiborga olsak

$$S = R y_R$$

(2.7) formulada y_R - teng ta'sir etuvchi R ga mos kelgan ordinata (2.6-rasm). Demak, to'g'ri chiziqli uchastkaga qo'yilgan kuchlar sistemasini ularning teng

ta'sir etuvchisi R orqali almashtirish yo'li bilan hisoblanayotgan zo'riqish miqdorini (2.7) formulaga asosan aniqlash mumkin.

2. Inshootga taralgan yuk $q(x)$ ko'yilgan bo'lsin. S zo'riqishning to'la miqdorini aniqlash uchun taralgan yuk uzunligini elementar bo'lakchalarga bo'lamiz (2.7-rasm). Biror elementar bo'lak dx ga mos kelgan taralgan yukni elementar to'plangan kuch $q(x) \cdot dx$ orqali ifodalaymiz. U holda bu elementar kuchdan hosil bo'lgan elementar zo'riqish (2.6) formulaga asosan aniqlanadi.

$$dS = q(x) dx y = q(x) d\omega$$

bunda $d\omega = y dx = S$ ta'sir chizig'idagi dx oraliqqa mos kelgan elementar yuza.

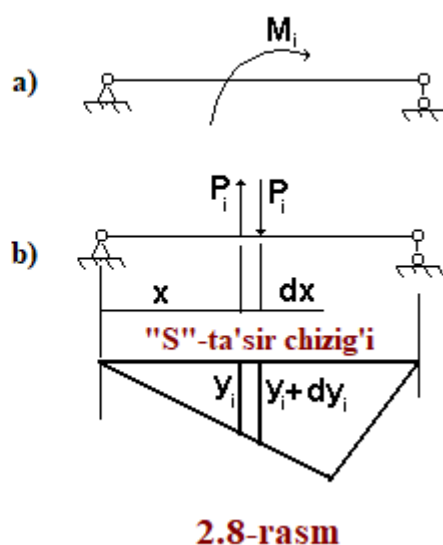
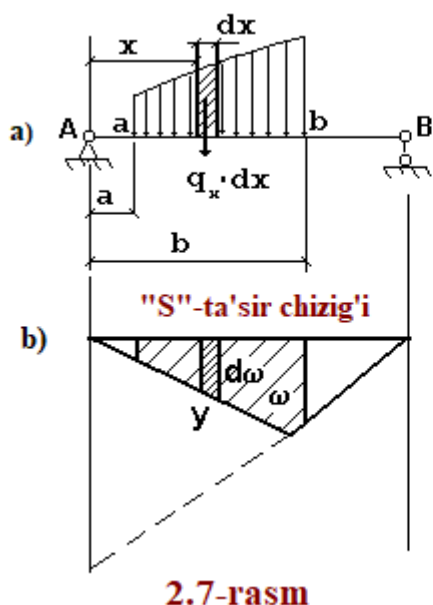
Hamma taralgan yukdan hosil bo'lgan zo'riqish miqdorini aniqlash uchun (a) ifodani integrallaymiz.

$$S = \int_{\epsilon}^{\omega} q(x) d\omega$$

bu yerda n – har xil intensivlikdagi tekis taralgan yuklar soni.

Agar inshootga tekis taralgan yuk qo'yilgan bo'lsa, ya'ni $q(x) = q = \text{const}$ da (2.8) formula soddalashadi

$$S = q\omega, \quad (2.9)$$



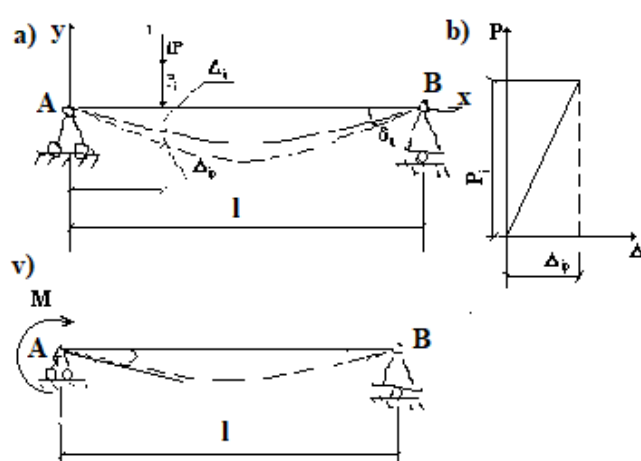
bu yerda q – taralgan yuk intensivligi, ω – tekis taralgan yuk qo'yilgan oraliqqa mos keluvchi ta'sir chizig'idan olingan yuza (2.7- rasm,b).

Agar inshootga har xil intensivlikdagi bir necha tekis taralgan yuk qo'yilgan bo'lsa, u holda kuchlar ta'sirining mustaqillik 'rinsi'ga asosan S zo'riqishni (2.9) ifodadan foydalanib quyidagicha aniqlash mumkin:

$$S = \sum_{i=1}^n q_i \omega_i \quad (2.9')$$

bu yerda n – har xil intensivlikdagi tekis taralgan yuklar soni.

3. Inshootga juft kuchlar qo'yilgan bo'lsin, momenti M bo'lgan juft kuchlar qo'yilgan inshootning biror zo'riqishi uchun ta'sir chizig'i chizilgan (2.8-rasm). Momentdan hosil bo'lgan S zo'riqishning miqdorini uning ta'sir chizig'i yordamida aniqlash uchun momentni juft kuchlar bilan almashtiramiz (2.9 - rasm,b):



2.9-rasm

$$M_i = P_i dx \quad \text{yoki} \quad P_i = \frac{M_i}{dx}$$

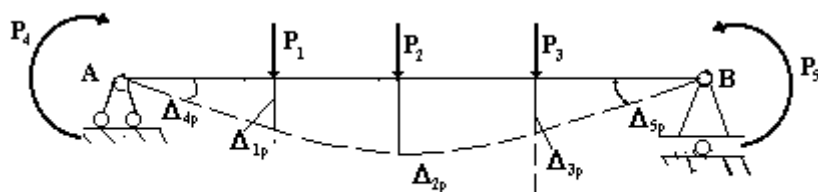
Bunda φ -juft kuch qo'yilgan ko'ndalang qismining burilish burchagi.

Ish tushunchasini umumlashtirish uchun elastik sistemaga qo'yilgan har kanday faktorlarini (P, M va hokazo)

umumlashtirilgan kuch deb karaymiz. Elastik sistemaning deformatsiyalangan holatini tula aniqlaydigan va o'zaro bog'liq bulmagan ko'chishlar umumlashtirilgan ko'chishlar deb ataladi.

Umumlashtirilgan ko'chishlar umumlashtirilgan ko'chishlarga mos bo'lishi kerak, ya'ni ularning ku'aytmasining yarmi umumlashtirilgan kuch bajargan ishni berishi lozim. Shunga kura umumlashtirilgan kuch P_i ga umumlashtirilgan koordinata

Δ_{ip} va umumlashtirilgan juft kuch momenti M_i qo'yilgan bo'lsa, unga mos kelgan umumlashtirilgan koordinata bo'ladi. Bundan keyin umumlashtirilgan kuchlarni



2.10-rasm

P_i umumlashtirilgan koordinatalarni Δ_{ip} deb belgilaymiz. To'plangan kuchlar P_i dan hosil bo'lgan zo'riqishni (2.6) formulaga

asosan aniqlaymiz:

$$S = P_i(y_i + dy_i) - P_i y_i = P_i dy_i$$

Bu formuladagi P_i kuchni moment orqali ifodalasak:

$$S = M_i \frac{dy_i}{dx} = M_i \operatorname{tg} \alpha_i, \quad (2.10)$$

bunda y_i - moment qo'yilgan nuqtada ta'sir chizig'iga o'tkazilgan urinmaning absissa o'qi bilan hosil qilgan burchagining tangensi.

Agar inshootga to'plangan kuch, tekis taralgan yuk va momentlar qo'yilgan bo'lsa, unda hosil bo'lgan zo'riqishlar miqdori ta'sir chizig'i yordamida (2.6), (2.9) va (2.10) formulalarga asosan umumiy holda quyidagicha aniqlanadi:

$$S = \sum P_i y_i = \sum q_i \omega_i = \sum M_i \operatorname{tg} \varphi \quad (2.11)$$

Bu formuladan foydalanishda quyidagi ishoralar qoidasiga rioya qilish kerak:

1. Agar to'plangan kuch P_i va taralgan yuk pastga yo'nalgan bo'lsa, ular musbat olinadi.
2. Moment M_i ning yo'nalishi soat strelkasining yo'nalishiga mos kelsa, uni musbat deb qabo'l kilinadi.
3. Ordinata y_i va yuza ω_i ning ishorasi ta'sir chizig'i ishorasi bo'yicha olinadi.

4. Agar birlik yuk ($P=1$) tekshirilayotgan uchastkada chapdan ungga harakat qilganida ta'sir chizig'ining ordinatasi ortib borsa, $tg\varphi_i = y_i$ musbat deb qabo'l kilinadi, aks holda y_i manfiy bo'ladi.

Tayanch iboralar:

Harakatlanuvchi yuklar, harakatlanuvchi birlik kuch, ta'sir chizig'i, reaksiyaning ta'sir chizig'i, eguvchi moment va kesuvchi kuchlarning ta'sir chiziqlari, statik usul, $P=1$ kuchining xolatlari, oddiy balkalarda ta'sir chiziqlarini qurish, konsolli balkalarda ta'sir chiziqlari, harakatlanuvchi to'plama kuchlar, chiziqli taralgan kuchlar, juft kuchlar ta'siri, zo'riqishlarni aniqlash formulalari, yuklarni tugunlar orqali ta'siri, asosiy balka, ko'ndalang va bo'ylama, yordamchi balkalar, tugun orqali uzatilish holati, $P=1$ kuchi asosiy balka tugunida, $P=1$ bo'ylama yordamchi balkada, R_A va R_B reaksiyalar, M_C va Q_C zo'riqishlar ta'siri chiziqlari

Test savollari:

1. Birlik kuch inshoot bo'ylab harakatlanganda 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

Xarakatlanuvchi yuklar grafigi

2. Zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari qaysi usullar yordamida chiziladi?

statik va kinematik

statik va dinamik

dinamik va grafik

Oddiy va murakkab

3. Tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i qanday chiziladi?

tayanch reaksisining 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

4. Ichki kuchlarning ta'sir chiziqlarini chizishda birlik kuchning necha xil vaziyati ko'riladi?

ikki

uch

to'rt

bir

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

0

1

1

2

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

1

2

-1

0

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

balka o'qiga parallel yo'nalgan

balka o'qiga qiya

balka o'qini kesib o'tadi

balkada ta'sir chizig'i bo'lmaydi

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

chap tayanchdan kesimgacha bo'lgan masofa qo'yiladi

o'ng tayanchdan kesimgacha bo'lgan masofa qo'yiladi

balka oralig'iga teng birlik qo'yiladi

0 birlik qo'yiladi

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

o'ng tayanchdan kesimgacha bo'lgan masofa qo'yiladi

chap tayanchdan kesimgacha bo'lgan masofa qo'yiladi

balka oralig'iga teng birlik qo'yiladi

0 birlik qo'yiladi

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

-1

1

2

0

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

1

2

0

-1

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

ta'sir chizig'i orqali zo'riqishlar qiymati

ko'chishlarni aniqlash formulasi

tayanchlardagi reaksiya kuchlarini aniqlash formula

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Nazorat savollari

1. Harakatlanuvchi yuklarga hisoblashda qanday masala qo'yiladi?
2. Ta'sir chiziqlari nima degani?
3. Ta'sir chiziqlari bilan epyura orasida qanday orasi bor?
4. Ta'sir chiziqlarini qurishda qaysi usullar qo'lanadi?
5. Ta'sir chiziqlarini statik usulda qanday quriladi?
6. Ta'sir chiziqlarda chap o'ng to'g'ri chiziqlari qanday chiziqlar?
7. Ko'p oraliqlik sharnirli balkalarda ta'sir chiziqlari qurish qoidasini ayting?
8. Ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqishlar qanday tartibda aniqlanadi?
9. Yuklarni tugun orqali qanday uzatiladi?
10. Yuklar tugunlar orkali uzatilganda ta'sir chiziqlari qanday 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 (Названия)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.

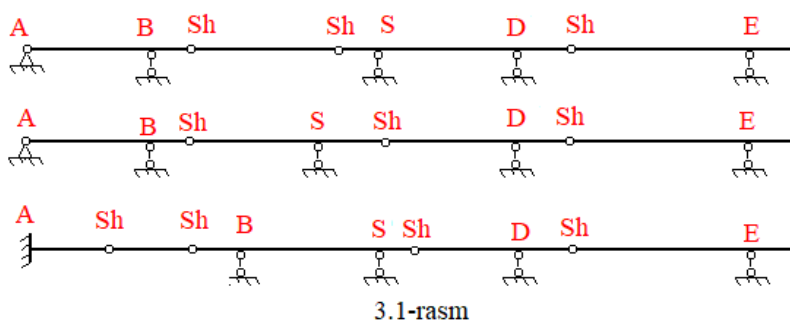
III- BOB. KO'P ORALIQLI STATIK ANIQ BALKALAR.

3.1-§. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.

Umumiy ma'lumotlar. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar uchun qavatlar sxemasini chizish. Bir necha oddiy balkalarni bir-biriga sharnirlar yordamida tutashtirib, ko'p oraliqli statik aniq va geometrik o'zgarmas sistema hosil qilish mumkin. Bunday balkalar ko'p oraliqli statik aniq balkalar deyiladi. Qurilish praktikasida, asosan (3.1-rasm), a, b va v da ko'rsatilgan balkalar ko'p uchraydi.

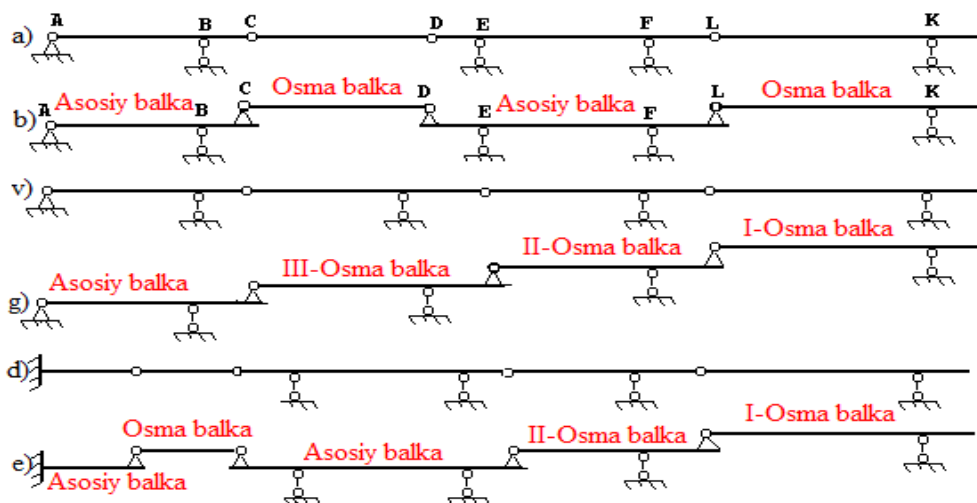
Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni hisoblash nazariyasi injener G.Semikolenov tomonidan 1871 yilda tavsiya

etilgan. Ko'p oraliqli balka statik aniq sistema hisoblanadi, chunki muvozanat tenglamalaridan tashqari unda oraliq



3.1-rasm

sharnirlar bo'lsa, shuncha qo'shimcha tenglamalar tuzish mumkin bu tenglamalar balkaning oraliq sharniri markazdan o'ng yoki chap tomonda unga qo'yilgan hamma kuchlarning momentlar yig'indisi 0 ga tenglik shartiga asosan tuziladi.



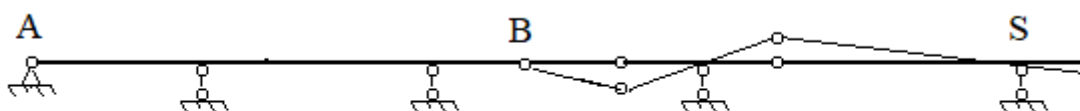
3.2-rasm

Ko'p prolyotli statik aniq balkaning geometrik o'zgarmas ekanligini bilish hamda ishini tekshirish uchun uning elementlarining o'zaro bog'lanishi va ta'sirini

ifodolovchi sxema chizish kerak. Masalan, 3.2 rasm, a da ko'rsatilgan balka elementlarining o'zaro bog'lanish sxemasi 3.2 rasm, b da ifodalangan.

Undagi ABC konsulli balka fundament bilan bir-biriga 'aralel bo'lmagan va bir nuqtada kesishmagan 3 ta tayanch sterjen yordamida bog'langanligi sababli geometrik o'zgarmasdir. Balka CEF fundament bilan bitta tayanch sterjen bilan geometrik o'zgarmas ABC balka bilan sharnir vositasida bog'langanligi sababli bu element ham geometrik o'zgarmasdir. Shunga o'xshash FD balka geometrik o'zgarmas.

ABC balka asosiy balka deyiladi. Asosiy balka sharnir yordamida tayangan CEF va FD balkalar osma balkalar deyiladi. 3.3 rasmda turli tipdagi ko'p oraliqli balka

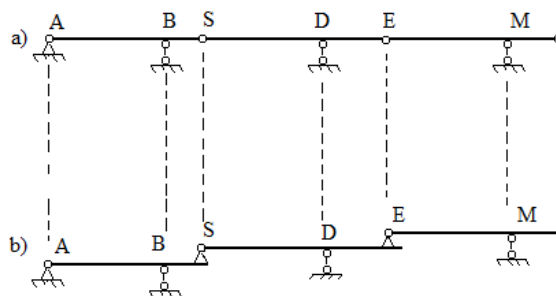


3.3-rasm

elementlarining o'zaro bog'lanish sxemalari ko'rsatilgan. 3.3 rasm, a da ko'rsatilgan 1 tip ko'p oraliqli balka 2 konsulli asosiy balkalar va ularning uchiga tayangan osma balkalardan iborat.

Bu tipdagi balkalarning sharnirsiz oraliq'idan keyingi oraliq'ida 2 ta sharnir joylashgan bo'ladi. Bu yerda ABC va DEFL elementlar asosiy balkalar, CD va LK elementlar esa osma balkalar bo'ladi. Ikkinchi tip

ko'p oraliqli balka bir-biriga sharnir yordamida tayangan konsulli balkalardan iborat. Bu tip balkaning birinchi oraliq'i sharnirsiz, qolgan hamma oraliqlarida esa bittadan sharnir bo'ladi (3.2 rasm, v va g). 3 chi tip ko'p oraliqli balka elementlarining o'zaro bog'lanishi va ta'sir etish sxemasi 3.2 rasm, d va e da ko'rsatilgan.



3.4-rasm

Agar ko'p oraliqli balkada sharnirli soni to'g'ri olingan bo'lib, ularning joylanishlari yuqorida ko'rsatilgan tartibda bo'lmasa, u holda uning bir qismi statik aniqlanmas, 2 chi

qismi esa geometrik o'zgaruvchan bo'lishi mumkin. Masalan 3.4 rasmda ko'rsatilgan balkaning AB qismi statik aniqmas, BS qismi esa geometrik o'zgaruvchandir, chunki bu kesimning nuqtalari punktir chiziqlar bilan ko'rsatilgandek erkin ko'chishi mumkin.

Ko'p oraliqli balkalar uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralarini qurish. Ko'p oraliqli sharnerli balkada tashqi yuk ta'sirida hosil bo'ladigan eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralarini qurishdan avval balka elementlarining o'zaro bog'lanish sxemasini chizib, asosiy va osma balkalar belgilab olinadi. Eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralarini qurish osma balkalardan boshlanadi. Asosiy balkalar uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralarini chizishda unga qo'yilgan tashqi yuklar qatorida, uning uchlariga tayangan osma balkalarning tayanch reaksiyalari ham hisobga olinadi. Asosiy va osma balkalarning eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralari chizilgandan so'ng ular bir koordinatlar sistemasiga keltirilib, ko'p oraliqli balkaning $M(x)$ va $Q(x)$ epyuralari olinadi.

Ruxsat etilgan yuk uchun ko'p oraliqli statik aniq balkalarni analitik hisoblash. Balkalarni hisoblashning ikkita usuli mavjud: balkani statik ravishda aniqlanadigan sxema sifatida hisoblash usuli va qavatlar sxemasini qurish orqali hisoblash usuli.

Umuman olganda balkani statik aniq sxema sifatida hisoblash usuli tayanchlardagi balkalarni birlashtirish shartlari va butun sxemaning muvozanat tenglamalarini qo'llash orqali tayanch reaksiyalarini aniqlashdan iborat. Eguvchi moment va kesuvchi kuchlarining qiymatlari statik ravishda aniqlanadi va epyuralari quriladi. Ushbu usulda balkani hisoblash juda noqulay hisoblanadi. Qavatlar sxemasini qurish orqali balkani hisoblash usuli qulayroq hisoblanadi.

Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qavatlar sxemasi yordamida hisoblash. Oraliqlarga o'rnatiladigan sharnirlarni to'g'ri o'rnatilishi bilan, ko'p oraliqli balkani bir nechta statik aniq balkalarga bo'linadi (3.2-rasm a). Balkalar orasidagi o'zaro bog'lanishlarni qavatlar sxemasi yordamida aniqlash mumkin, bu yerda ikkita balkani ajratish mumkin: asosiy va ikkinch darajali balkalar (3.2-rasm b). Asosiy balkalar (C-

D balka) to'g'ridan-to'g'ri yerga uchta tayanch bog'lanish bilan biriktirilgan. Ikkinch darajali balkalar (A-B va E-F osma balkalar) asosiy balkaga mindirib hosil qilingan.

Qavatlar sxemasini hosil qilishda balkalarning statik aniqligi va geometrik o'zgarmasligini ta'minlash uchun har bir balkani uchta bog'lanish bilan mahkamlash kerak.

Ishlash sharoitlariga ko'ra balkalar ikkiga bo'linadi: asosiy balkalar va ikkinch darajali balkalar.

Ikkinch darajali balkalar faqat o'ziga qo'yilgan yuklarni o'z uzunliklari bo'yicha qabul qilishga qodir. Asosiy balkalar esa nafaqat o'ziga qo'yilgan yuklar ta'sirini, balki ularga tutashgan qo'shni balkalarning bosimini ham qabul qiladi.

Qavatlar sxemasida C-D balka asosiy balka, A-B va E-F balkalar esa osma balkalar hisoblanadi. Balkaning qavatlar sxemasi balkani bir qatorli balkalar to'plami sifatida hisoblash tartibini belgilaydi. Hisoblash osma balkalardan boshlanadi. Eng yuqori qavatda joylashgan balkalardan boshlab, pastki qavatdagi balkalarga va oxirida asosiy balkalarga o'tiladi.

Har bir balkani hisoblash quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

- 1) tayanch reaksiya kuchlarini aniqlash;
- 2) eguvchi momentni qiymatlarini aniqlash va epyurasini qurish;
- 3) kesuvch kuchning qiymatlarini hisoblash va xarakterli nuqtalarini aniqlash;

Ko'p oraliqli balkalarni hisoblashda, yuqoridagi balkalarning ta'sirini pastdagi balkalarda hisobga olish kerak bo'ladi.

Hisoblangan balkani ta'sir etuvchi kuchi, pastdagi balkaning tayanch reaksiyasiga teng va teskari yo'nalishga ega.

1-misol. Berilgan yuklar ta'sirida bo'lgan balkaning uchastkalaridagi M-eguvchi moment, Q-ko'ndalang kuch qiymatlarini aniqlash va epyuralarini qurish (3.5-rasm). Yechish:

- 1) berilgan balkani qavatlar sxemasini tuzamiz va asosiy hamda osma balkalarga ajratamiz (3.5-rasm)
- 2) osma balkaning tayanch reaksiya kuchlarini aniqlaymiz (3.6 a-rasm).

$$\sum M_A = 0; -10 \cdot 3 \cdot 1,5 + R_B \cdot 3 = 0; R_B = 15kN,$$

$$\sum M_B = 0; -R_A \cdot 3 + 10 \cdot 3 \cdot 1,5 = 0; R_A = 15kN.$$

Tekshirish: $\sum Y = 0; 15 - 10 \cdot 3 + 15 = 0.$

3) balkaning ko'ndalang kesimidagi M va Q ichki zo'riqish kuchlarini qiymatlarini hisoblash.

$$M_A = 0; Q_A = R_A = 15kN; M_1 = 15 \cdot 1,5 - 10 \cdot 1,5 \cdot 1 = 11,25kNm.$$

$$Q_1 = 15 - 10 \cdot 1,5 = 0kN; M_B = 0; Q_B = -R_B = -15kN.$$

4) balkaning ko'ndalang kesimidagi ichki zo'riqish kuchlarini M va Q larni epyuralarini quramiz (3.6-rasm).

5) balkaning tayanchlaridagi reaksiya kuchlarini aniqlaymiz (3.6 b-rasm)

$$\sum M_E = 0; -60 + R_F \cdot 2 = 0; R_F = 30kN,$$

$$\sum M_F = 0; R_E \cdot 2 - 60 = 0; R_E = 30kN.$$

Tekshirish: $\sum Y = 0; -30 + 30 = 0.$

6) balkaning ko'ndalang kesimidagi M va Q ichki zo'riqish kuchlarini qiymatlarini hisoblash.(3.6 b-rasm)

$$M_E = 0; Q_E = -R_E = -30kN; M_E = -60kNm;$$

$$Q_F^{o'ng} = 0, Q_F^{chap} = -R_F = -30kN.$$

7) quyidagi balkaning M va Q epyuralarini quramiz(3.6-rasm).

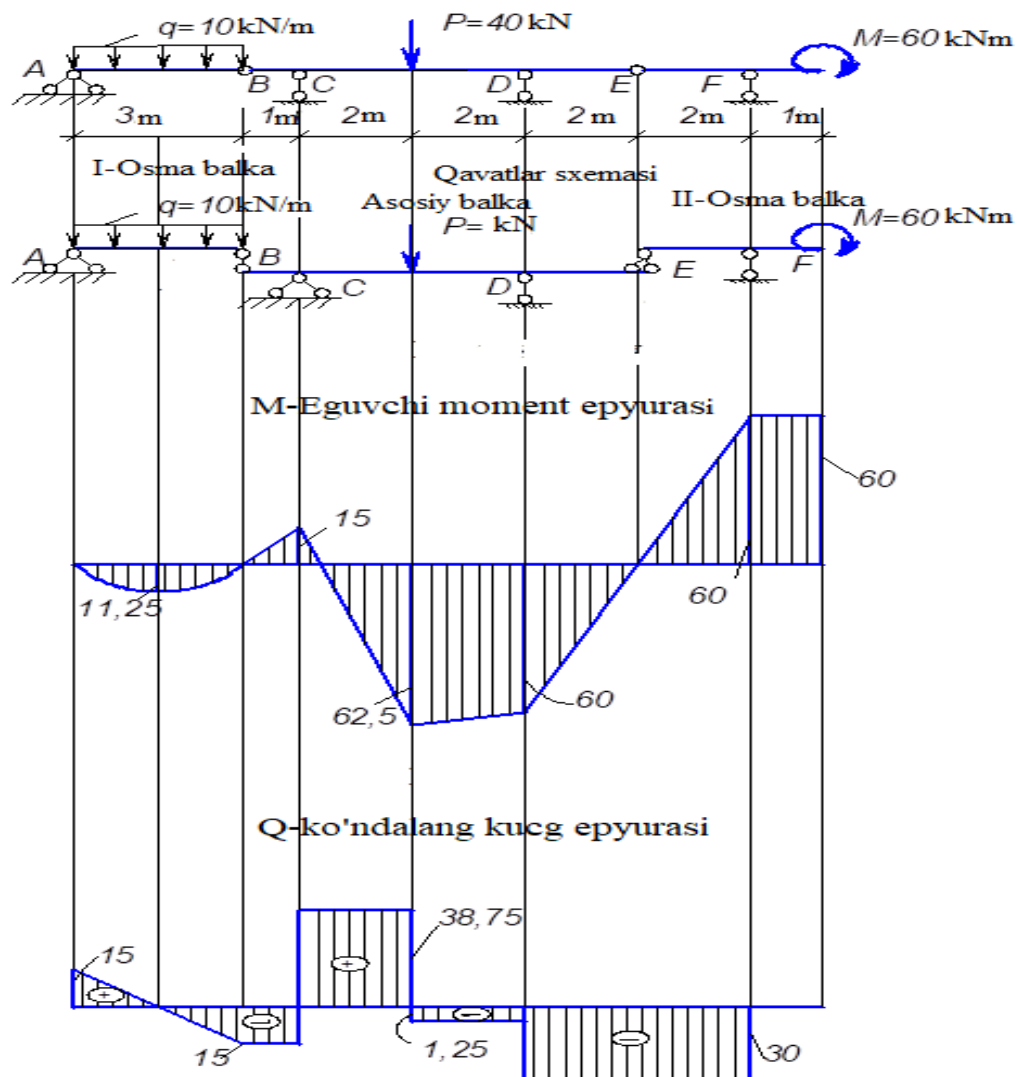
8) asosiy balkadagi tayanch reaksiya kuchlarini aniqlaymiz (3.6-rasm, v).

Tashqi yuk (kuch $P = 40 \text{ kN}$) va A-B va E-F balkalardan uzatiladigan bosim asosiy balkaga ta'sir q R_B reaksiya kuchiga teng va yo'nalishi qarama-qarshi boladi. R_E tayanch reaksiya kuchi, B-3 va B-2 balkalarga ta'sir qiladi, qiymati bo'yicha R_E reaksiyasiga teng bolib yo'nalishi qarama-qarshi yo'naladi.

$$\sum M_C = 0; 15 \cdot 1 - 40 \cdot 2 - R_D \cdot 4 + 30 \cdot 6 = 0; R_D = 28,75kN,$$

$$\sum M_D = 0; 15 \cdot 5 - R_C \cdot 4 + 40 \cdot 2 + 30 \cdot 2 = 0; R_C = 53,75kN.$$

Tekshirish: $\sum Y = -15 + 53,75 - 40 - 28,75 + 30 = 0.$ iladi. R_B tayanch reaksiya kuchi asosiy balkaga ta'sir qiladi, qiymati bo'yicha



3.5-rasm

9) Asosiy balkaning ko'ndalang kesimidagi M va Q ichki zo'riqish kuchlarining qiymatini hisoblash.

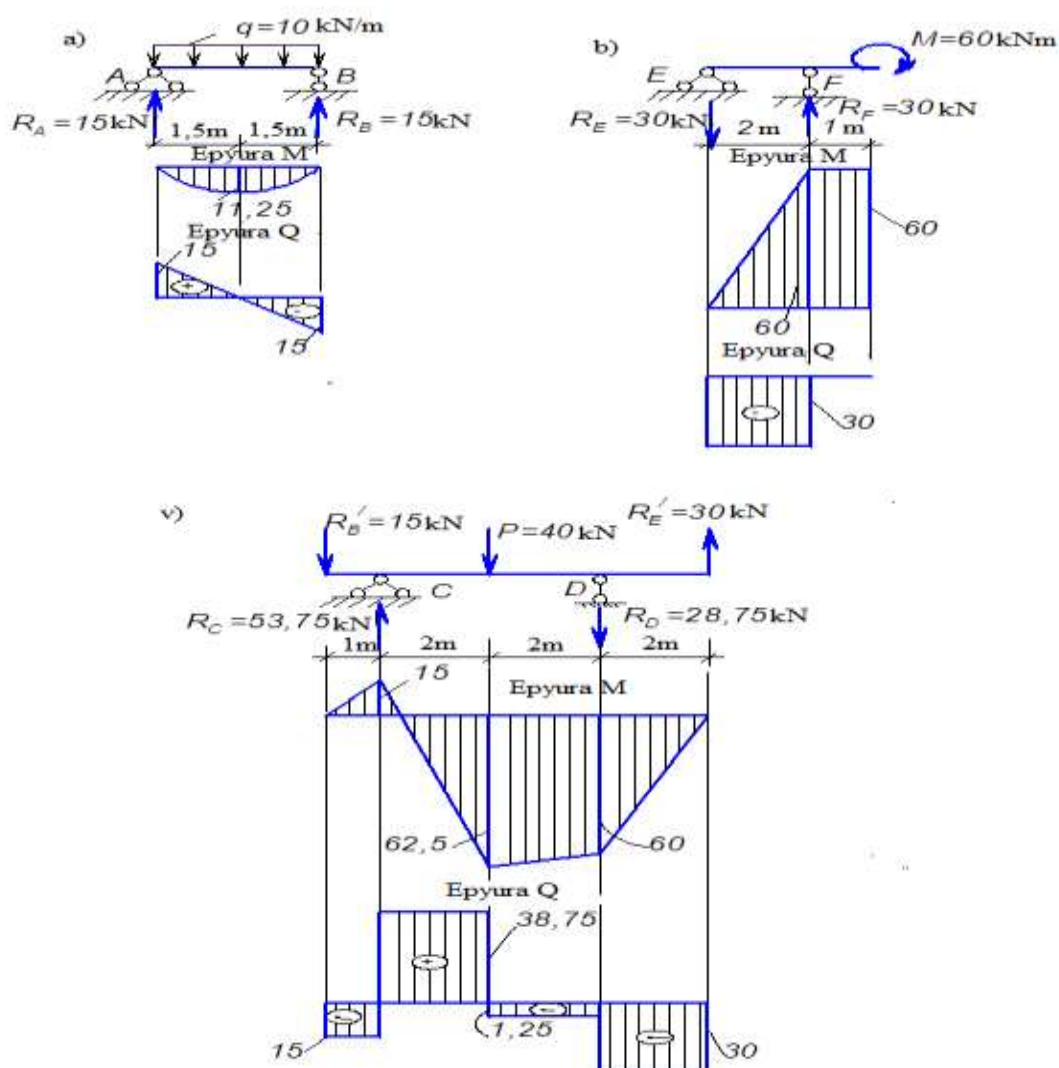
$$M_B = 0; Q_B = -15 \text{ kN}; M_C = -15 \text{ kNm};$$

$$Q_C^{chap} = -15 \text{ kN}; Q_C^{o'ng} = -15 + 53,75 = 38,75 \text{ kN};$$

$$M_2 = -15 \cdot 3 + 53,75 \cdot 2 = 62,5 \text{ kNm};$$

$$Q_2^{chap} = -15 + 53,75 = 38,75 \text{ kN}; Q_2^{o'ng} = -15 + 53,75 - 40 = -1,25 \text{ kN};$$

$$M_D = 30 \cdot 2 = 60 \text{ kNm}; Q_D^{o'ng} = -30 \text{ kN}; Q_D^{chap} = -30 + 28,75 = -1,25 \text{ kN};$$



3.6-rasm

3.2-§. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

Ko'p oraliqli balka zo'riqishlarining 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 elementlarning o'zaro bog'lanish sxemasi chizib olinadi.

Asosiy va osma (ikkinchi darajali) balkalar uchun ta'sir chizigini 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 ehtiborga olish uchun ta'sir chizig'ining ikki tugun orasidagi to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgarish xossasidan foydalaniladi.

Osma balka zo'riqishlarining 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'riqishlari 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 (3.7 a – rasm). Balka elementlarining o'zaro bog'lanish sxemasi 3.7b – rasmda ko'rsatilgan.

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 (3.7.b-rasm).

BCDE element asosiy balka bo'lganligi uchun avval $P=1$ ko'chma yukning shu ikki konsolli balka bo'ylab harakatlanishini ko'rib chikamiz 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 (3.7 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 (3.7 v – rasm).

Q_{C1} ta'sir chizig'ini qurish (3.7 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 $Q_{c_1}^{chap} = -RD$; o'ng tomonida bo'lganda esa $Q_{c_1}^{ong} = -R_c$ bo'ladi. Bu chap va o'ng chiziqlarini chizamiz (3.7 ye – rasm). Endi $P=1$ yukning EK osma balka bo'ylab harakatlanishini tekshiramiz.

$P=1$ yuk E sharnir ustida bo'lganda esa $Q_{c_1}^{ong} = YE = 0,5$; K tayanch ustida bo'lganda esa $Q_{c_1}^{ong} = 0$ 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 $Q_{c_1}^{ong} = YB = -0,5$.

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'riqishlari aniqlanadigan kesimlar uchun ta'sir chiziqlari quriladi (3.7– rasm).

Misol tarikasida 3.7 – rasmda berilgan balka uchun R_B reaksiyasini, M va Q zo'riqishlarni hisoblashni ko'raylik. Buning uchun ta'sir chiziqlari yordamida hisoblash formulasidan (1.6) foydalanamiz.

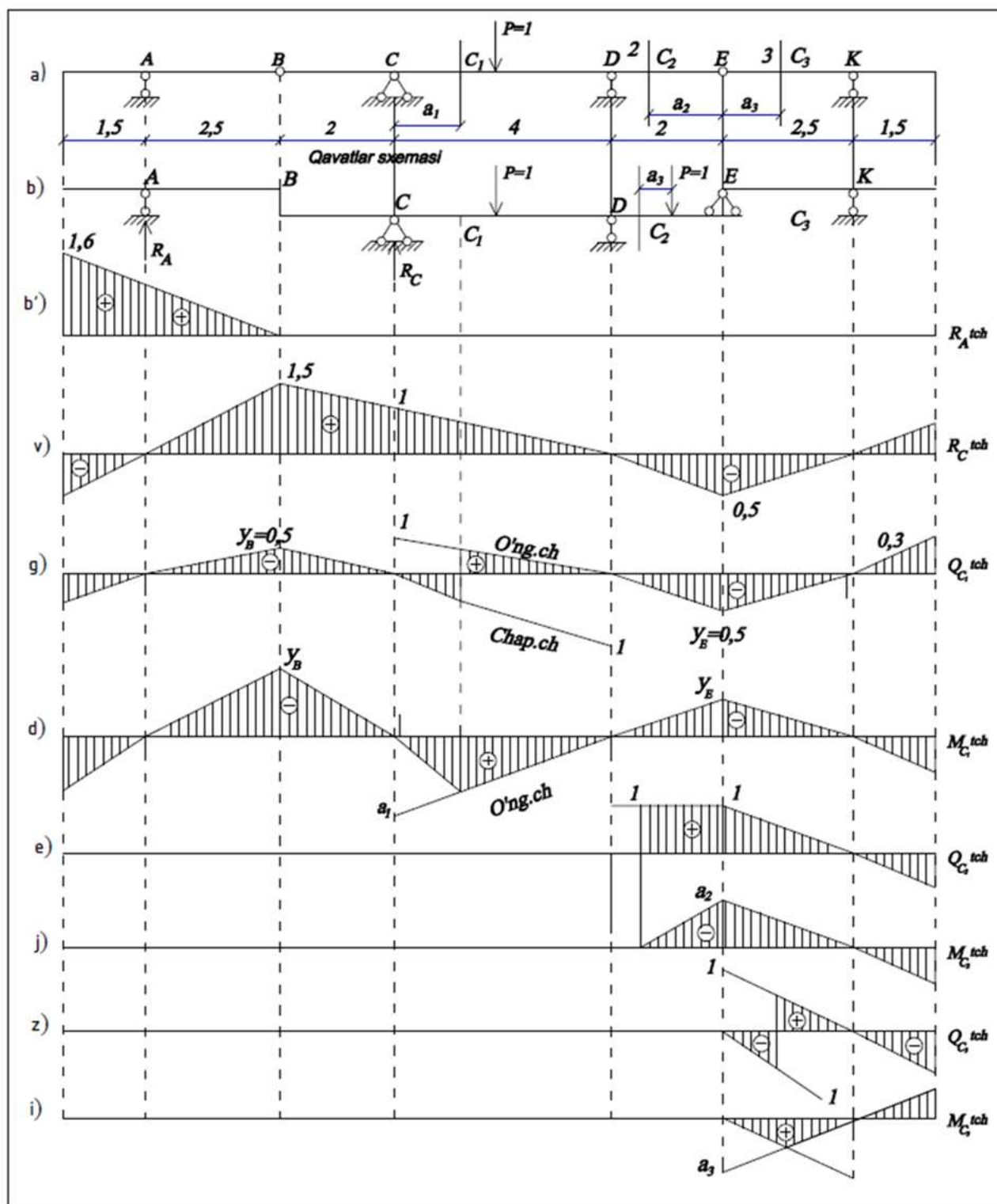
$$S = \sum P_i \cdot y_i + \sum q_i \cdot \varpi_i + \sum M_i \cdot tg\alpha_i :$$

Tugunlar orqali yuk uzatilganda ta'sir chiziqlarini qurish. Asosiy balka bo'ylab tashqi kuchlarning harakatlanish hollarini yuqorida ko'rib chiqdik. Lekin amalda, ko'pincha asosiy balka ustiga ma'lum oraliqda ko'ndalang balkalar qo'yilib, oraliq bir necha qismlarga bo'linadi (3.8-rasm). Tashqi yuklar esa ular ustiga qo'yilgan yordamchi-bo'ylama balkachalar bo'yicha harakatlanadi.

Bunday sistemalarda tashqi yuklarning ta'siri ko'ndalang balkalardan asosiybalkaga tugunlar orqali uzatiladi va bundayuzatilish tugun orqali yuklanish holati deyiladi.

Asosiy balkaga ko'ndalang balkaning tayangan joyi tugun, ikki qo'shni tugun oralig'i esa panel deb ataladi. Hisoblash ishlarini osonlashtirish uchun yordamchi-bo'ylama balka ko'ndalang balkalarga sharnirli tayangan deb qabo'l kilinadi.

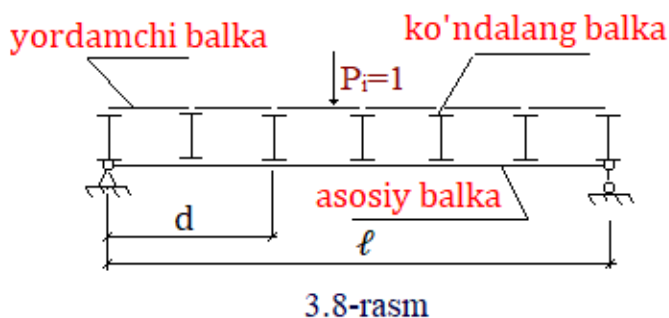
Yordamchi-bo'ylama balkaning uzunligi panel uzunligiga teng bo'lib, uni harfi bilan belgilaymiz (3.8-rasm). Birlik yuk ($P = 1$) yordamchi-bo'ylama balkalar



3.7-rasm

ustida harakatlanadi deb, asosiybalkaning biror C kesimi uchun M_C eguvchi moment ta'sir chizig'ini quramiz (3.9-rasm).

Agar birlik yuk tugunlar ustida bo'lsa, uning ta'siri asosiy balka ℓ ga yordamchi balkalarsiz uzatilgan bo'ladi. Bu holda M_C ning ta'sir chizig'i yordamchi balkalarni e'tiborga olmasdan oddiy balkaning shu kesimi uchun kurilgan eguvchi moment ta'sir chizig'i kabi chiziladi (3.9-rasm,b).



Endi birlik yuk yordamchi balka bo'ylab harakatlanishini tekshiramiz. Masalan, birlik yuk kesim joylashgan panelning chap tugunidan x masofada bo'lsin, u holda uning ta'siri birinchi va ikkinchi tugunlar orqali P hamda P reaksiyalar ko'rinishida asosiy balkaga uzatiladi (3.9-rasm,a). Bu reaksiyalarning miqdori oralig'iga teng bo'lgan oddiy balka tayanch reaksiyalari kabi aniqlanadi:

$$P_1 = 1 \cdot \frac{d-x}{d}; \quad P_2 = 1 \cdot \frac{x}{d};$$

Bunda $0 \leq x \leq d$ bo'ladi.

P_1 va P_2 reaksiyalar ta'siridan asosiy balkada hosil bo'lgan M_C ning miqdori (2.6) formulaga asosan aniqlanadi:

$$M_C = P_1 y_1 + P_2 y_2$$

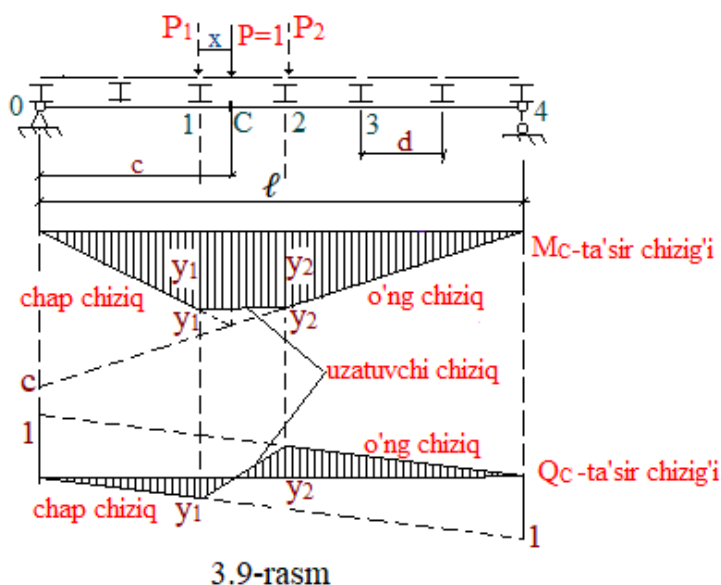
Bunga P va P ning yukorida ifodalangan qiymatlarini ko'yamiz

$$M_C = 1 \cdot \frac{d-x}{d}; = 1 \cdot \frac{x}{d};$$

(2.12)

(2.12) ifoda x ga nisbatan to'g'ri chiziq tenglamasidir ($0 \leq x \leq d$).

Demak (2.12) formulaga asosan, birlik yuk ($P=1$) birinchi va ikkinchi tugunlar



oralig'ida harakat qilganda C kesimdagi M_C ta'sir chizig'i to'g'ri chiziq bo'ladi. Agar $x=0$ bo'lsa, ($P=1$) yuk chap tugun ustida hamda M_C ning ordinatasi y_1 ga teng bo'ladi (3.9-rasm,b).

Bu ikki tugun orasida M_C ta'sir chizig'ining o'zgarishi to'g'ri chiziqli bo'lgani uchun y_1 va y_2 ordinatalarni to'g'ri chiziq orqali birlashtiramiz. Ko'rilyotgan kesimning chap va o'ng tomonidagi tugun ordinatalarini birlashtiruvchi chiziq uzatuvchi chiziq deyiladi. M_C va Q_C ning ta'sir chiziqlari 3.9-rasm, b va v da ko'rsatilgandek bo'ladi.

Demak, yuk tugunlar orqali uzatilganda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari quyidagi tartibda chiziladi: 1) zo'riqishlarning ta'sir chizig'ini, avvalo yuk tugunlar orqali uzatilishini e'tiborga olmasdan, asosiy balka uchun chiziladi; 2) kesim joylashgan panel chekka tugunlari tagida chap va o'ng chiziqlardagi ordinatalar uzatuvchi chiziq bilan birlashtiriladi. Hosil bo'lgan ta'sir chiziq asosiy balkaning tugun orqali yuklanishini hisobga olib qurilgan zo'riqish ta'sir chizig'i bo'ladi.

Harakatlanuvchi yuklarning noqulay vaziyatini aniqlash. Inshoot ustida vaziyati ma'lum bo'lgan tashqi yuklar ta'siridan hosil bo'lgan zo'riqishlar miqdorini, ularning ta'sir chizig'ini yuklash yo'li bilan aniqlashni yuqorida ko'rib o'tdik.

Agar kuchlar sistemasi inshoot ustida harakatlansa, hosil bo'ladigan zo'riqishlar miqdori bir-biriga bog'langan harakatlanuvchi kuchlarning joylanish vaziyatini ifodalovchi abssissa x ga bog'liq bo'ladi :

$$S = f(x)$$

Endi inshoot bo'ylab kuchlar sistemasi harakatlenganda unda hosil bo'ladigan zo'riqishlarning ekstremal miqdorini ($S_{\max}$ yoki $S_{\min}$) aniqlashni ko'ramiz.

Agar harakatlanuvchi kuchlar sistemasining biror vaziyatida inshootda hosil bo'ladigan zo'riqish yekstremal miqdorga ega bo'lsa, bunday vaziyat noqulay vaziyat yoki hisoblash holati deyiladi. Bir-biriga bog'langan kuchlar sistemasi inshoot ustida harakatlanishi vaqtida hosil bo'ladigan noqulay vaziyat shartlarini aniqlaymiz. S zo'riqishning ta'sir chizig'i uchburchaklardan iborat bo'lsin. S ta'sir chizig'ining ustida turgan harakatlanuvchi kuchlarning biror vaziyatini olamiz. Tekshirilyotgan

bu vaziyatda kuchlardan hech qaysisi ta'sir chizig'ining eng katta ordinatasi (cho'o'qisi) ustida turmasin (3.10-rasm,a), bu kuchlar ta'siridan hosil bo'ladigan zo'riqish miqdori (2.6) formulaga asosan quyidagiga teng :

$$S = \sum P_i y_i = f(x) \quad (2.13)$$

bunda y_1 - ta'sir chizig'idan olingan ordinata, u bir-biriga bog'langan kuchlar sistemasi vaziyatini ko'rsatuvchi absissa x ga bog'liq.

$x = x_0$ bo'lsa, harakatlanuvchi kuchlar sistemasi inshoot ustida noqulay vaziyatni egallaydi deb faraz qilamiz, u holda inshootda hosil bo'ladigan zo'riqish o'zining eng katta miqdoriga ega bo'ladi. Bu noqulay vaziyatda $S_{\max}$ bo'lishi uchun $f(x)$ funksiya quyidagi yekstremallik shartlarini qanoatlantirishi kerak:

$$\begin{aligned} \Delta S_{chap} &< 0 \\ \Delta S_{o'ng} &< 0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

ya'ni ta'sir chizig'i ustida turgan harakatlanuvchi kuchlar sistemasini chap yoki o'ng tomonlarga cheksiz kichik Δx masofaga siljitish natijasida hosil bo'lgan zo'riqishlarning orttirmasi ΔS manfiy ishoraga ega bo'lishi kerak. 3.10- rasmda ko'rsatilgan kuchlar sistemasining noqulay vaziyatini (1 holat) (2.14) shartlar bo'yicha tekshirib ko'ramiz. Ta'sir chizig'ining AC va BC uchastkalarida joylashgan kuchlarni ularning teng ta'sir etuvchisi R^{chap} va $R^{o'ng}$ orqali ifodalaymiz. Bu vaziyatdagi kuchlar sistemasini o'ng tomonga Δx masofaga ko'chirib (II holat, 3.10-rasm, b) S zo'riqish orttirmasi ΔS o'ng ning miqdorini (2.6) formulaga asosan aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \Delta S_{o'ng} = S_{II} - S_I = R^{chap} (y_1 = dy_1) - R^{o'ng} (y_2 = dy_2) - R^{chap} y_1 + R^{o'ng} y_2 \\ \text{yoki} \quad \Delta S_{o'ng} = R^{chap} dy_1 - R^{o'ng} dy_2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

3.10-rasmdan $dy_1 = \Delta x \operatorname{tg} \alpha$, $dy_2 = \Delta x \operatorname{tg} \beta$, ekanligini e'tiborga olib (2.15) formulani quyidagicha yozamiz:

$$\Delta S_{o'ng} = R^{chap} \Delta x \operatorname{tg} \alpha - R^{o'ng} \Delta x \operatorname{tg} \beta \quad (2.15)$$

Endi kuchlar sistemasini chap tomonga Δx masofaga ko'chiramiz (III-holat, 3.11 rasm,v). Bu hol uchun hosil bo'lgan zo'riqish ortirmasi ΔS_{chap} ni hisoblaymiz

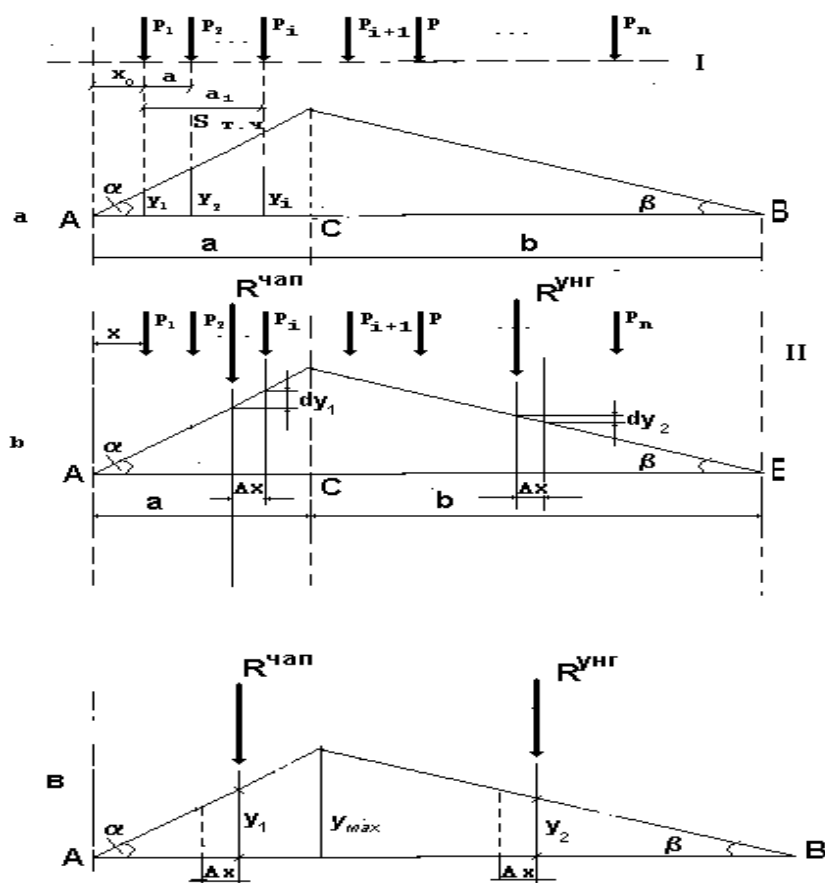
$$\Delta S_{chap} = S_{III} - S = R^{chap} dy_1 - R^{o'ng} dy_2$$

$$\text{yoki} \quad \Delta S_{chap} = R^{chap} \Delta x \operatorname{tg} \alpha = R^{o'ng} \Delta x \operatorname{tg} \beta \quad (2.16)$$

(2.15') va (2.16) ifodalardagi ortirmalarni bir biri bilan taqqoslab, quyidagi tenglikni olamiz.

$$\Delta S_{o'ng} = -\Delta S_{chap} \quad (2.17)$$

(2.14) shartga asosan $x = x_0$ da $S_{\max}$ bo'lishi uchun kuchlar sistemasini o'ng yoki chap tomonga Δx masofaga siljitishda hosil bo'lgan ortirmalar $\Delta S_{o'ng}$ va ΔS_{chap} manfiy



3.10 -rasm

ishoraga ega bo'lishi kerak edi, lekin (2.17) tenglikka asosan birinchi ortirma $\Delta S_{o'ng}$ musbat, ikkinchi ortirma esa manfiy ishoraga ega bo'ladi. Demak, (2.14) shart

bajarilmaganligi sababli kuchlar sistemasining tekshirilgan holati noqulayvaziyatda bo'la olmaydi.

Uchbuchaklik shaklidagi ta'sir chizig'i ustida harakatlanuvchi kuchlar sistemasini yangi vaziyatga ko'chiramiz. Bu vaziyatda kuchlar sistemaning biror kuchi ta'sir chizig'ining eng katta ordinatasi cho'o'qisi) ustida turgan bo'lsin (2.12-rasm).

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) $l_2 = 8 \text{ m}; \quad P = 3 \text{ kN}; \quad N \neq 1;$

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

2. Endi bu qaralayotgan 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 3.11-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

$$\sum Y = 0; R_B = Q_K^I = 0; Q_K^I = R_B = -0,3375$$

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

II-uchastka uchun

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

III-uchastka uchun

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

Bu hisoblangan ordinatalardan foydalanib I-osma balka eguvchi moment **M** va kesuvchi kuch **Q**ning epyurasini quramiz. Bu epyuralar (3.11-rasm, *ε*) da keltirilgan.

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

$$\begin{aligned}\sum Y &= 0; & Q_K^I - q \cdot x_1 - R_B &= 0; & Q_K^I = q \cdot x_1 + R_B &= 0; & 0 \leq x_1 \leq 8m \\ x_1 &= 0; & Q_K^I &= -0,3375; \\ x_1 &= 4; & Q_K^I &= 1,8 \cdot 4 - 0,3375 = 6,8615; \\ x_1 &= 8; & Q_K^I &= 1,8 \cdot 8 - 0,3375 = 14,0615; \\ \sum M_{I-I} &= 0; & -M_{\text{эс}}^{I-I} - q \cdot x_1 \left(\frac{x_1}{2} \right) - R_B \cdot x_1 &= 0; & M_{\text{эс}}^{I-I} &= -\frac{q \cdot x_1^2}{2} - R_B \cdot x_1; & 0 \leq x_1 \leq 8m \\ x_1 &= 0; & M_{\text{эс}}^{I-I} &= 0; \\ x_1 &= 4; & M_{\text{эс}}^{I-I} &= -\frac{1,8 \cdot 4^2}{2} + 0,3375 \cdot 4 = -13,05 \\ x_1 &= 8; & M_{\text{эс}}^{I-I} &= -\frac{1,8 \cdot 8^2}{2} + 0,3375 \cdot 8 = -54,9\end{aligned}$$

Bu hisoblangan ordinatadan foydalanib qurilgan II-asosiy balkaning eguvchi moment M va kesuvchi kuch Q epyurasi (3.11-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 (3.11-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
$$M_1^{chap} = 0 \quad Q_1^{chap} = 0$$

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

$$\begin{aligned} M_1^{o'ng} &= -P \cdot x = -x & Q_1^{o'ng} &= P \\ x = 0 \text{ da } M_1^{o'ng} &= 0; & Q_1^{o'ng} &= 1 \\ x = 8 \text{ da } M_1^{o'ng} &= -8; & Q_1^{o'ng} &= 1 \end{aligned}$$

Bu hisoblangan ordinatalardan foydalanib №1 kesim joylashgan II-asosiy balka uchun qurilgan M_1 va Q_1 ta'sir chizig'i (3.11-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 (3.11-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:

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

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

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

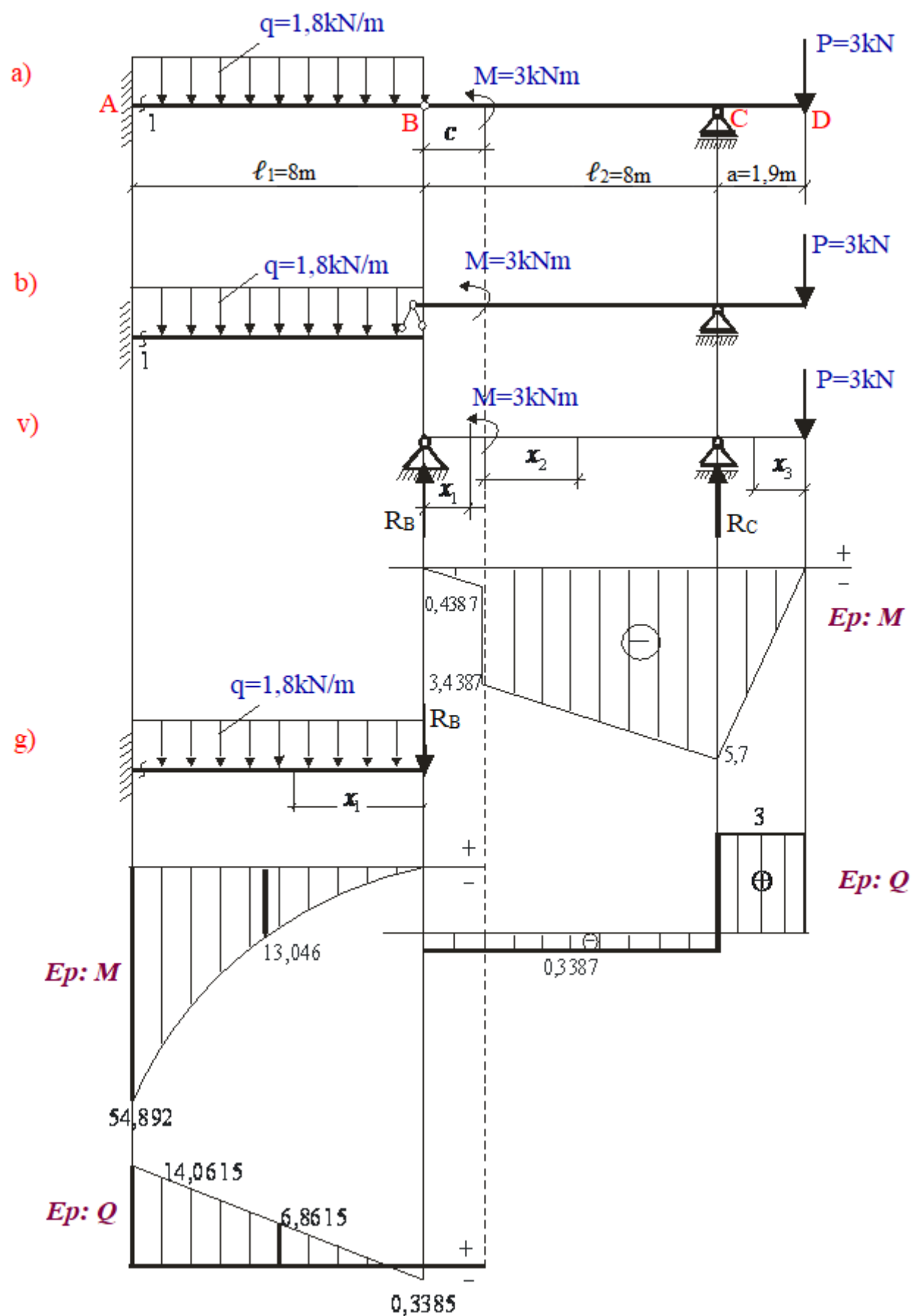
$$Q_1 = -3 \cdot 0,2375 + 1,8 \cdot 1 \cdot 8 + 3 \cdot \frac{1}{8} = -0,7125 + 14,4 + 0,375 = -0,7125 + 14,775 = 14,0625;$$

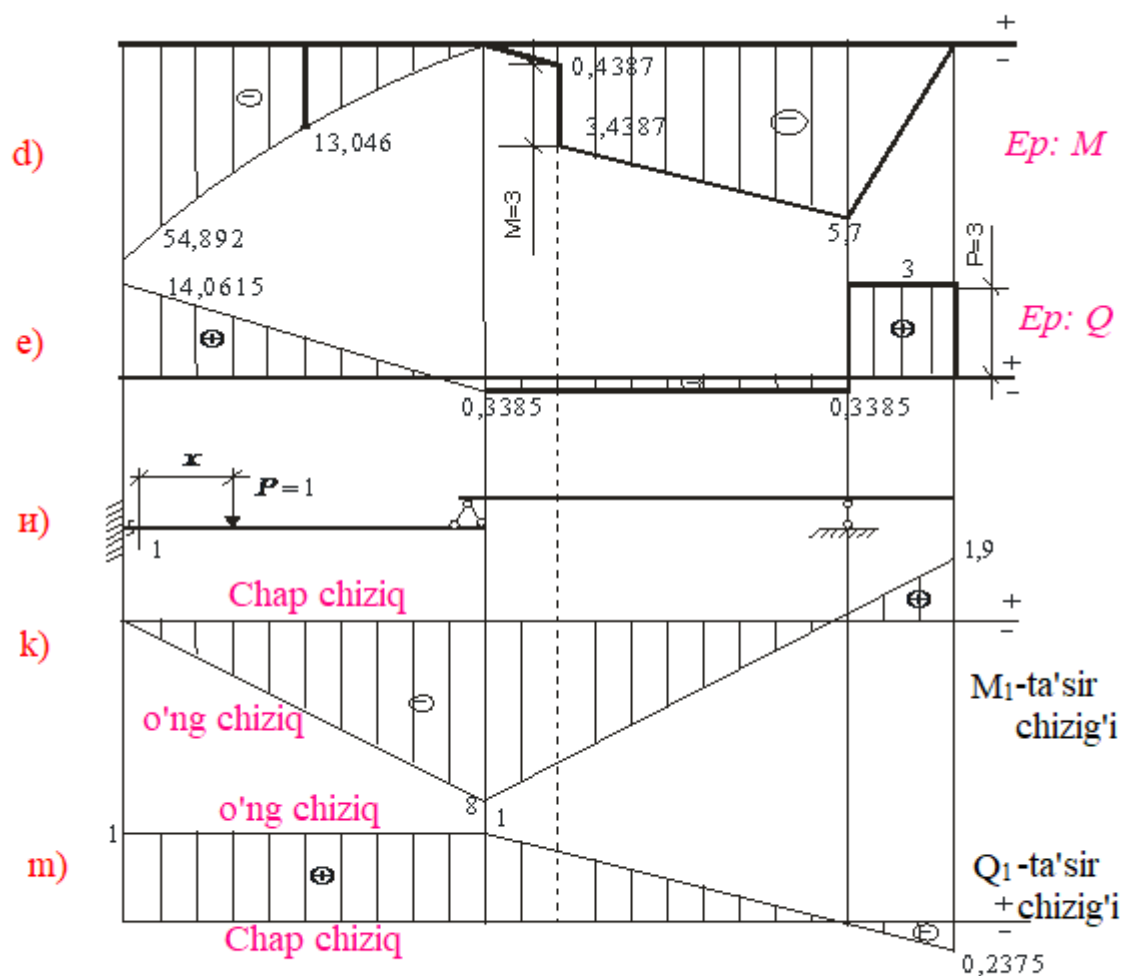
1. Analitik va ta'sir chizig'i natijalarini solishtiramiz.

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

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

Demak, hisoblashlar yuqori aniqlikda bajarilibdi. ℓR_A





3.11-rasm

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) $\ell_1 = 12,0 \text{ m};$ $q = 3,0 \text{ kN/m};$ $b = 1,4 \text{ m}$
2) $\ell_2 = 11,0 \text{ m};$ $P = 7,0 \text{ kN};$ $N=1;$
3) $a = 1,4 \text{ m};$ $c = 2,0 \text{ m};$ $M = 2,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$

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

2. Endi bu qarayotgan 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 oraliq'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

$$\begin{aligned} \sum Y &= 0; & Q_K^I &= R_A = 6,10; & 0 \leq x_1 \leq b &= 1,4m \\ \sum M_{I-I} &= 0; & M_{eg}^{I-I} &= R_A \cdot x_1; & x_1 &= 0; & M_{eg}^{I-I} &= 0; \\ x_1 &= 1,4; & M_{eg}^{I-I} &= 6,10 \cdot 1,4 = 8,54; \end{aligned}$$

II-uchastka uchun

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

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.

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

$$R_D = \frac{q \cdot \ell_2^2 / 2 - R_B \cdot c - M}{\ell_2} = \frac{3,0 \cdot 11,0^2 / 2 - 0,90 \cdot 1,1 - 2,6}{11,0} = \frac{177,91}{11,0} = 16,17$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \sum Y &= 0; & Q_K^{III} &= -R_B = -0,90; & 0 \leq x_3 \leq c = 1,1m \\ \sum M_{III-III} &= 0; & M_{eg}^{III-III} &= -R_B \cdot x_3 & x_3 = 0; & M_{eg}^{III-III} = 0; \\ x_3 &= 1,1; & M_{eg}^{III-III} &= -0,90 \cdot 1,1 = -0,99; \end{aligned}$$

IV-uchastka uchun

$$\begin{aligned} \sum Y &= 0; & Q_K^{IV} &= 0; & 0 \leq x_4 \leq a = 1,4 \\ \sum M_{IV-IV} &= 0; & M_{eg}^{IV-IV} &= M = 2,6; \end{aligned}$$

V-uchastka uchun

$$\begin{aligned} \sum Y &= 0; & Q_K^V &= R_D - q \cdot x_5; & 0 \leq x_1 \leq \ell_2 = 11,0m \\ x_5 &= 0; & Q_K^V &= 16,17; & x_5 = 5,5; & Q_K^V = 16,17 - 3,0 \cdot 5,5 = -0,33; \\ x_5 &= 11,0; & Q_K^V &= 16,17 - 3,0 \cdot 11,0 = -16,83; \\ \sum M_{V-V} &= 0; & M_{eg}^{V-V} &= M + R_D \cdot x_5 - q \cdot \frac{x_5^2}{2} = 0; & x_5 = 0; & M_{eg}^{V-V} = 2,6; \\ x_5 &= 5,5; & M_{eg}^{V-V} &= 2,6 + 16,17 \cdot 5,5 - 3,0 \cdot 15,125 = 43,56; \\ x_5 &= 11,0; & M_{eg}^{V-V} &= 2,6 + 16,17 \cdot 11,0 - 3,0 \cdot 60,5 = -1,0; \end{aligned}$$

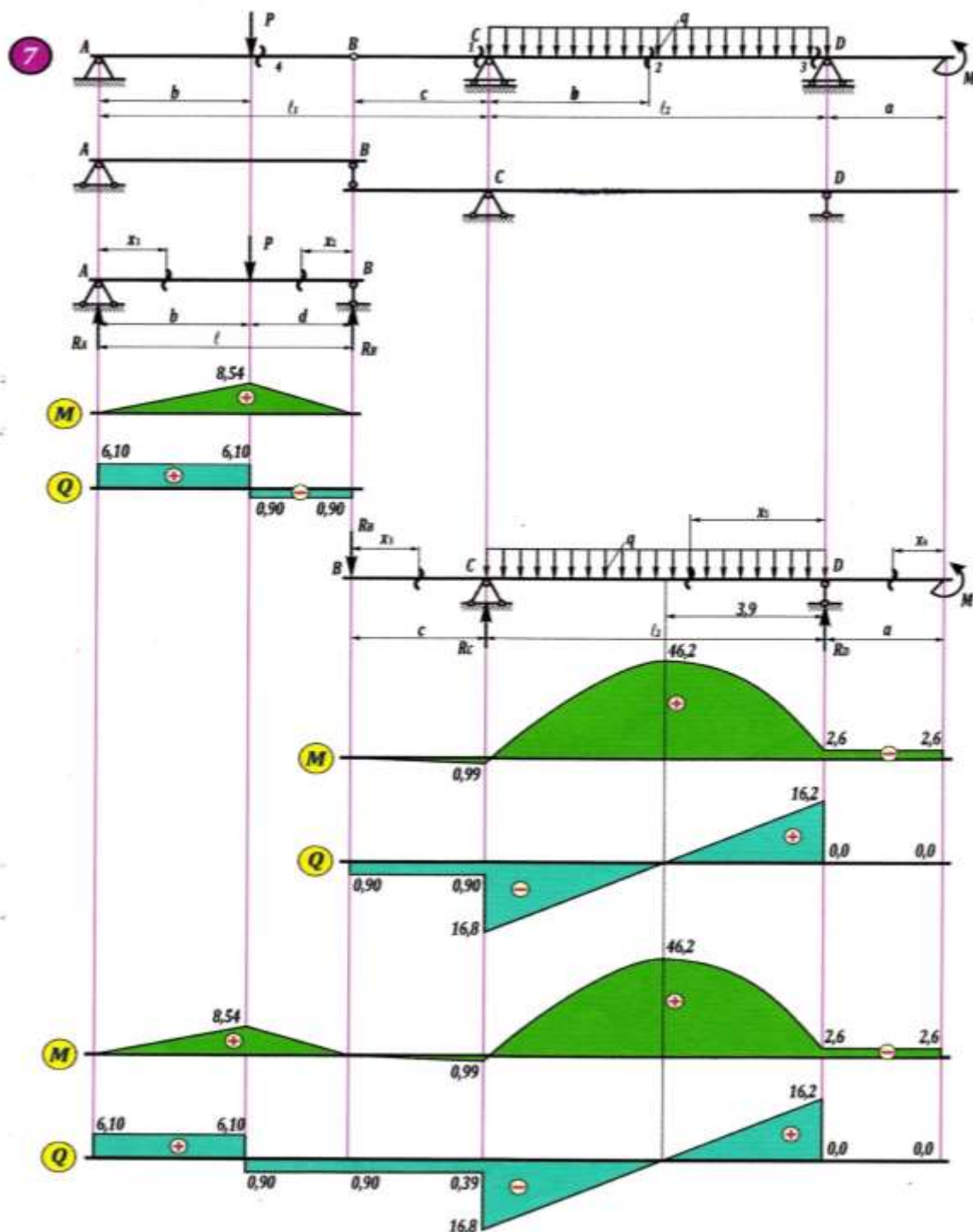
Bu hisoblangan ordinatadan foydalanib qurilgan II-asosiy balkaning eguvchi moment **M** va kesuvchi kuch **Q** epyurasi chizmada keltirilgan.

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.



3.12-rasm

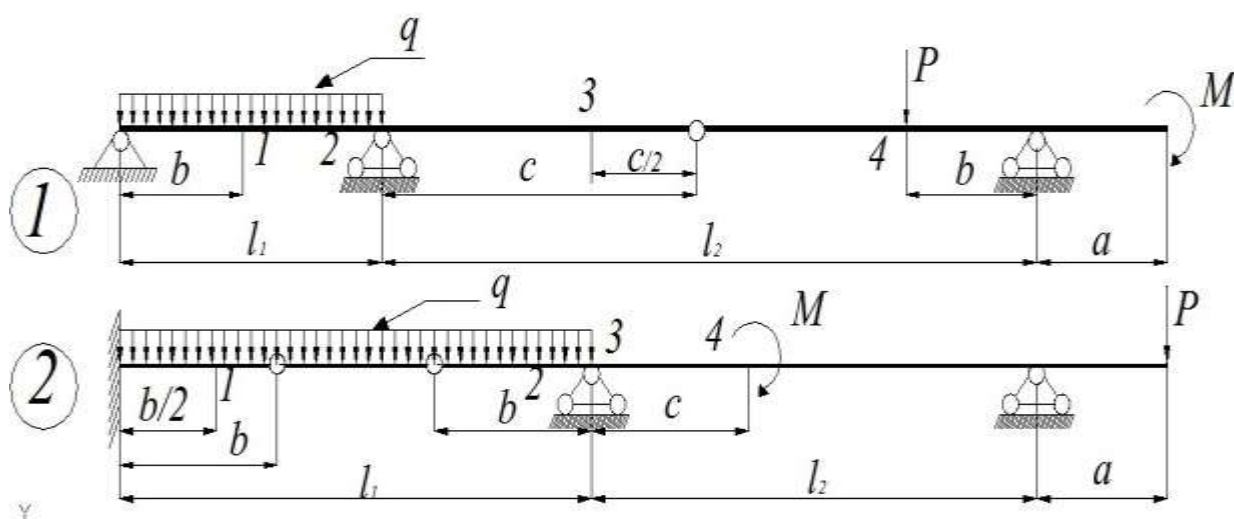
Bajariladigan hisob-grafik ishlarining variantlari.

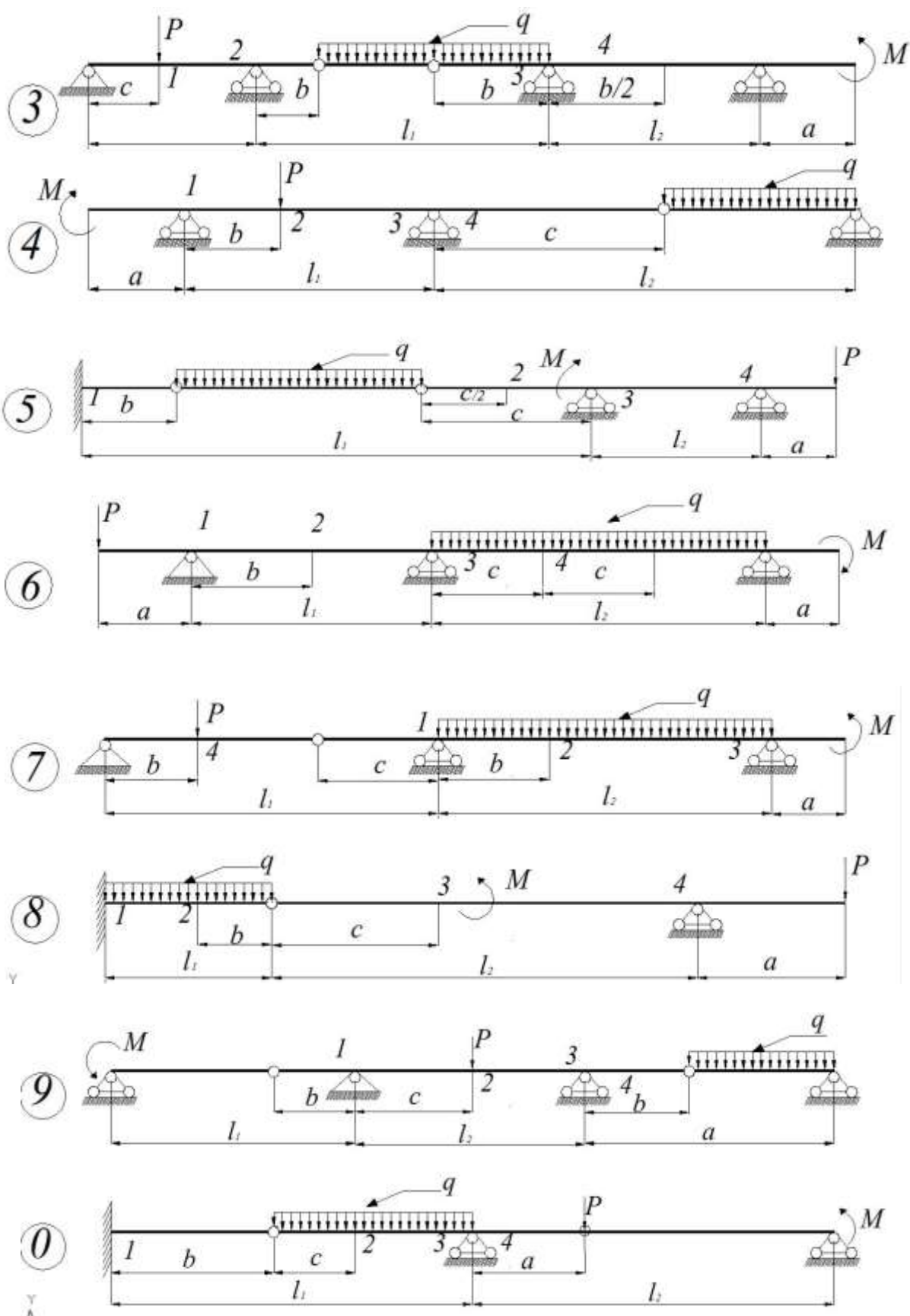
Masalaning berilganlari shifr asosida II-jadvaldan yozib olinadi. Shifrnig oxirgi soni 3.13-rasmda keltirilgan hisob sxemalarining nomerini biladiradi.

1-HISOB-GRAFIK ISHINING TOPSHIRIQLARI

I-jadval

Shifrnig birinchi soni	l_1, m	$q, kN/m$	b, m	Shifrnig ikkinchi soni	l_2, m	p, kN .	kesm №	Shifrnig uchunchi soni	a, m	c, m	M, kN, 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





3.13-rasm

Tayanch iboralar:

O'zaro ta'sir sxemasi, asosiy balka, osma balka, birlik xarakatlanuvchi kuch, ta'sir chizig'i, kesim asosiy balkada, kesim osma balkada, kesim konsolda, ta'sir chiziqlarining ordinatasi, uchburchaklar o'xshashligi, to'plama yuk, taralgan yuk, yuza, ta'sir chiziqlari ishoralari.

Test savollari

1. Bir necha oddiy balkalarni sharnirlar vositasida geometrik o'zgarmas 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

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

statik aniq alohida balkalardan iborat bo'lib, tayanchlar cho'kishi 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

Statik aniq sistemalar qaysi usullar yordamida hisoblanadi?

analitik va ta'sir chizig'i usullari

dinamik va statik usullar

kinematik va ta'sir chizig'i usullari

analitik va statik usullar

Balka deb nimaga aytiladi?

egilishga ishlaydigan brus

choʻzilishga ishlaydigan brus

siljishga ishlaydigan brus

buralishga ishlaydigan brus

Balka uzunligi boʻylab yoyilgan yuk bilan yuklangan boʻlsa, maksimal eguvchi moment nimaga teng?

$$\frac{ql^2}{8}$$

$$\frac{ql^2}{2}$$

$$\frac{ql^2}{4}$$

$$\frac{ql^2}{12}$$

Ichki kuchlarni qanday usul asosida aniqlanadi?

kesish usuli

Vereshchagin usuli

Lagranj usuli

Juravskiy usuli

Qanday sxemaga qavatlar sxemasi deyiladi?

elementlarning oʻzaro bogʻlanishi va taʼsirini ifodalovchi sxema

inshootlarning soddalashtirilgan koʻrinishini ifodalovchi sxema

inshootlarni hisoblash uchun tuzilgan sxema

konsolli balkalardan iborat sxema

Qavatlar sxemasi boʻyicha 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

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

Qanday balka asosiy balka deyiladi?

ikki tayanchga tiralgan konsol balka yoki qistirib mahkamlangan konsol balka

statik aniq geometrik o'zgarimas sistema

statik aniq balka

geometrik o'zgaruvchan balka

Bog'lovchi sharnirlar qanday turlarga ajratiladi?

oddiy va murakkab

qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas

yakka va juft

aralash va juft

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

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

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

$$Sh = S_t - 3$$

$$Sh = S_t + 6$$

$$Sh = S_t - 6$$

$$Sh = S_t + 3$$

Nazorat savollari:

1. Qanday balkalarga sharnir-konsolli ko'p oraliqli balka deyiladi?
2. Ko'p oraliqli sharnirli balkalarda sharnirlar bittalab qanday joylashtiriladi?
3. Ko'p oraliqli sharnirli balkalarda sharnirlar ikkitalab qanday joylashtiriladi?
4. Shunday balkalarda har bir oraliqga eng ko'p nechta sharnir joylashtirish mumkin?
5. Ko'p oraliqli sharnirli balkalarning o'zaro ta'sir sxemasi nima uchun quriladi?
6. Balkalarning o'zaro ta'sir sxemasini qurish tartibini tushuntiring?
7. Qanday balka osma va qanday balkalar asosiy balka deyiladi?
8. Osmo balkaning asosiy balkaga ta'siri qanday hisobga olinadi?

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 (Названия)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.

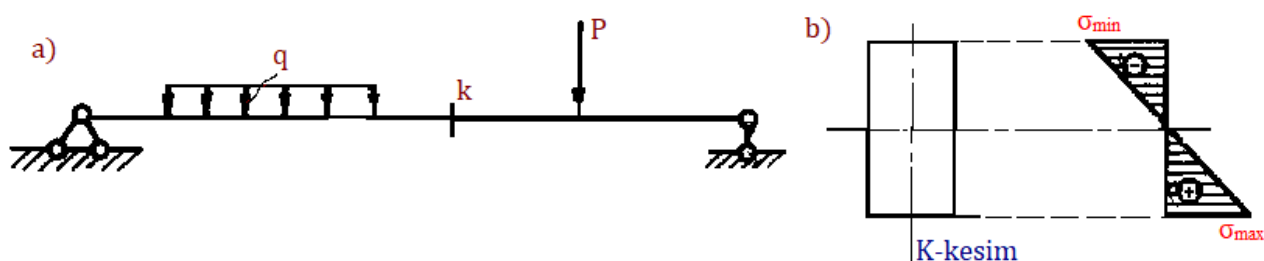
IV- BOB. STATIK ANIQ TEKIS FERMALAR.

4.1-§. Statik aniq teks fermalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.

Fermalar haqida tushunchalar. Fermalarning turlari. Bikir tugunlarini sharnirlar bilan almashtirganda, o'zining geometrik o'zgarmasligini saqlab qoluvchi sterjenli sistemalarga **fermalar** deb ataladi.

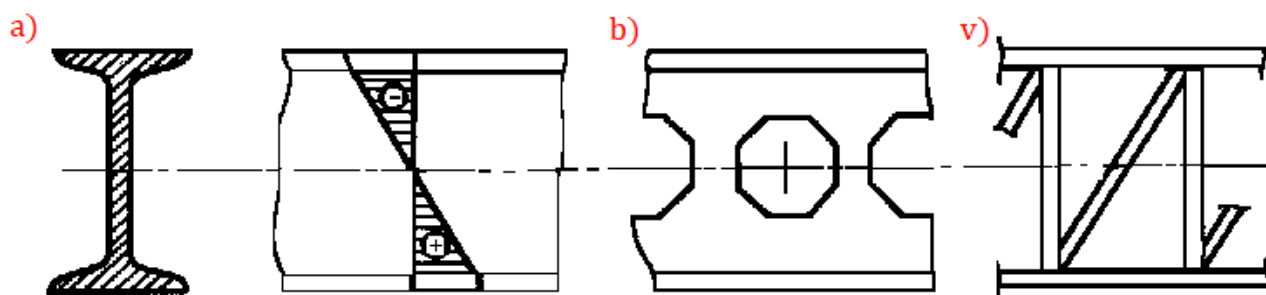
Fermalar balkalarning takomillashgan bir ko'rinishi bo'lib, balkalar o'taydigan vazifani bajaradi: balkalar kichik oraliqlarni yopishda qo'llanilsa, fermalar katta oraliqlarni yopishda qo'llaniladi.

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



4.1-rasm

Ma'lumki balka egilishga ishlaydi (4.1-rasm, b) ko'rinib turibdiki, balkaning materialidan to'liq foydalanilmaydi. Normal kuchlanish neytral o'qda nol, o'qdan uzoqlashgan sari uning qiymati ortib boradi.



4.2-rasm

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

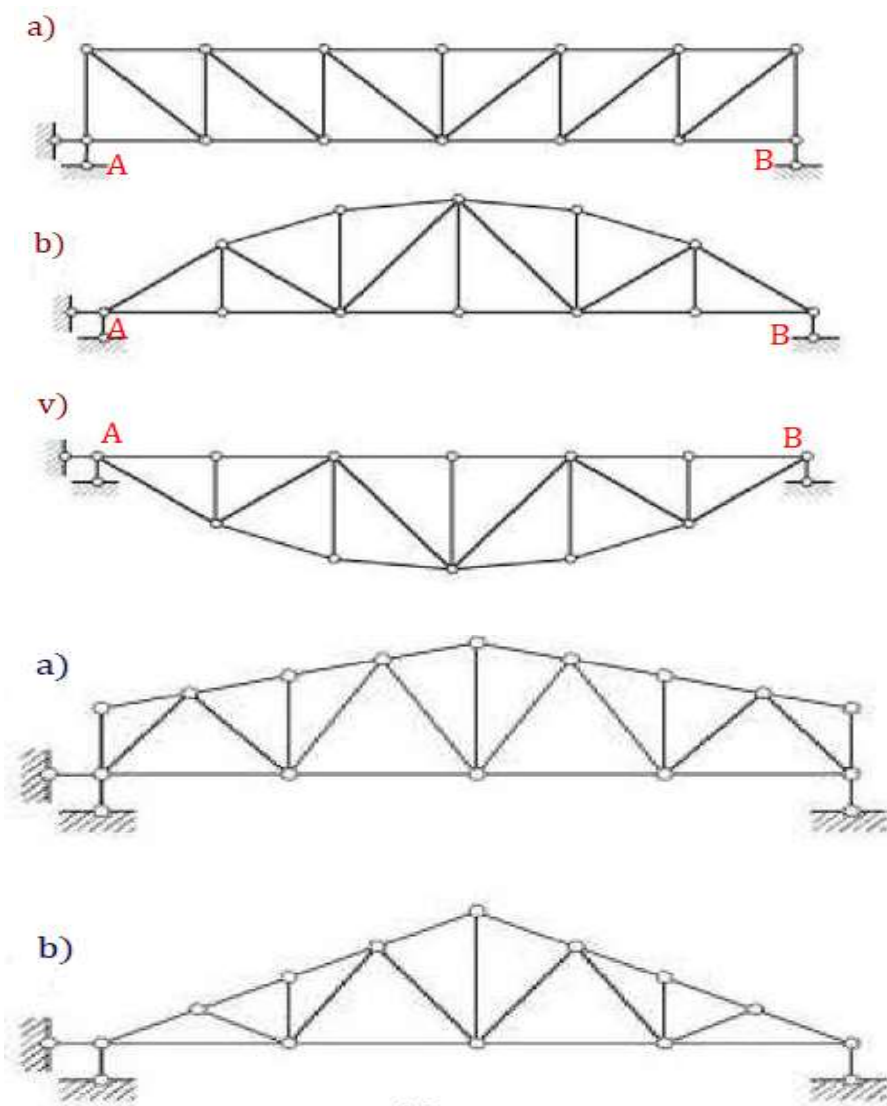
Dastlab to'g'ri to'rtburchakli yaxlit kesim o'rniga qo'shtavr paydo bo'ldi (4.2-rasm, a), keyinchalik qo'shtavr devorlari o'yiqlar hisobiga yengillashtiriladi (4.2-

rasm, b) va nihoyat bu izlanishlarning mantiqiy davomi sifatida ferma konstruksiyasi yaratiladi (4.2-rasm, v).

Oddiy statik aniq fermaning hisoblash sxemasi (4.3-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.



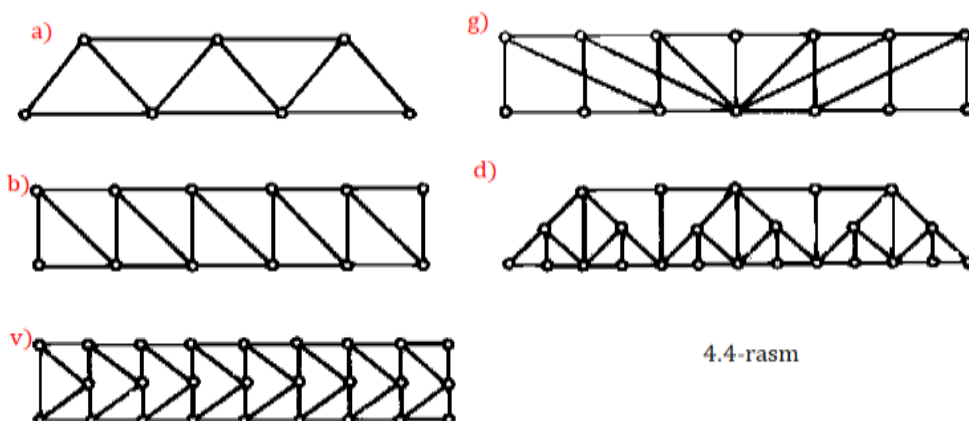
4.3-rasm

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

Ferma tashqi koʻrinishi, panjara shakli, tayanch xillari va oʻtaydigan vazifasiga qarab bir necha turga boʻlinadi:

1. Ferma tashqi konturining shakliga koʻra parallel belbogʻli fermalar, uchburchak shaklli fermalar, poligon belbogʻli fermalarga boʻlinadi (4.3-rasm).

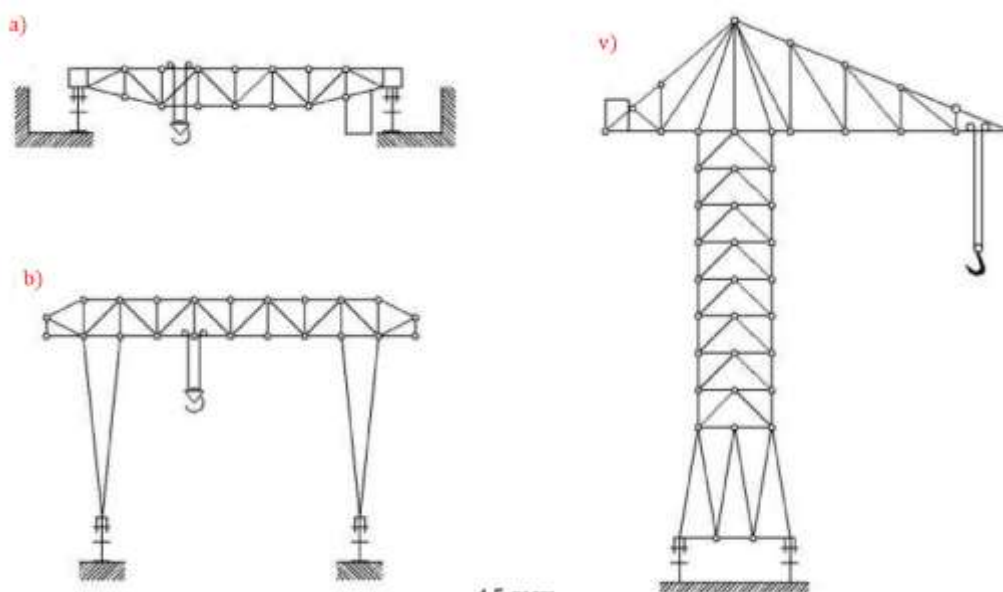
2. Panjarasining tuzilishiga koʻra: uchburchak panjarali fermalar (4.4-rasm, a), havon panjarali fermalar (4.4-rasm, b), yarim havon panjarali fermalar (4.4-rasm, v), qoʻshhavon panjarali fermalar (4.4-rasm, g), qoʻsh panjarali fermalar (4.4-rasm, g), qoʻsh panjarali (shprengelli) fermalar (4.4-rasm, d).



4.4-rasm

3. Tayanch xillariga qarab balkasimon yoki konsol balkalar.

4. Oʻtaydigan vazifasiga koʻra koʻprik va kran fermalar (4.5-rasm).



4.5-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.

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. (4.6 – 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);

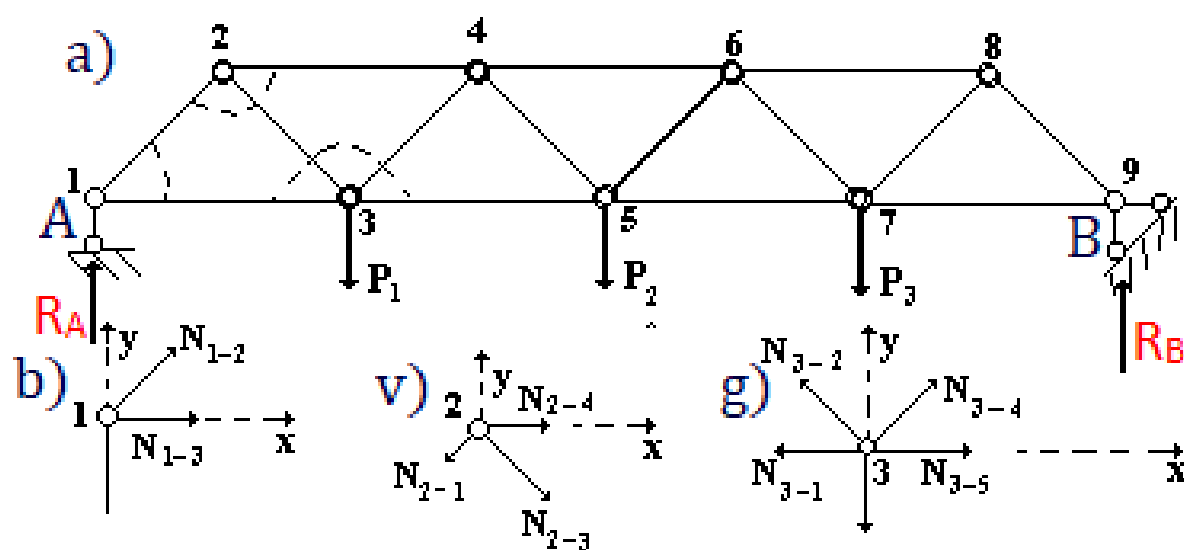
Har bir usulni alohida-alohida ko‘rib chiqamiz.

1.Tugunlarni ajratish usuli. Tashqi kuchlar va tayanch reaksiyalari ta’sirida muvozanatda bo‘lgan fermadan (4.6-rasm, a) ketma-ket kesib ajratib olingan tugunlari bir nuqtada kesishuvchi zo‘riqish kuchlar sistemasi bor. Bu holda sterjenlardagi zo‘riqishlarni topish uchun istalgan tugunga oid ikkita muvozanat tenglamasini tuzish mumkin:

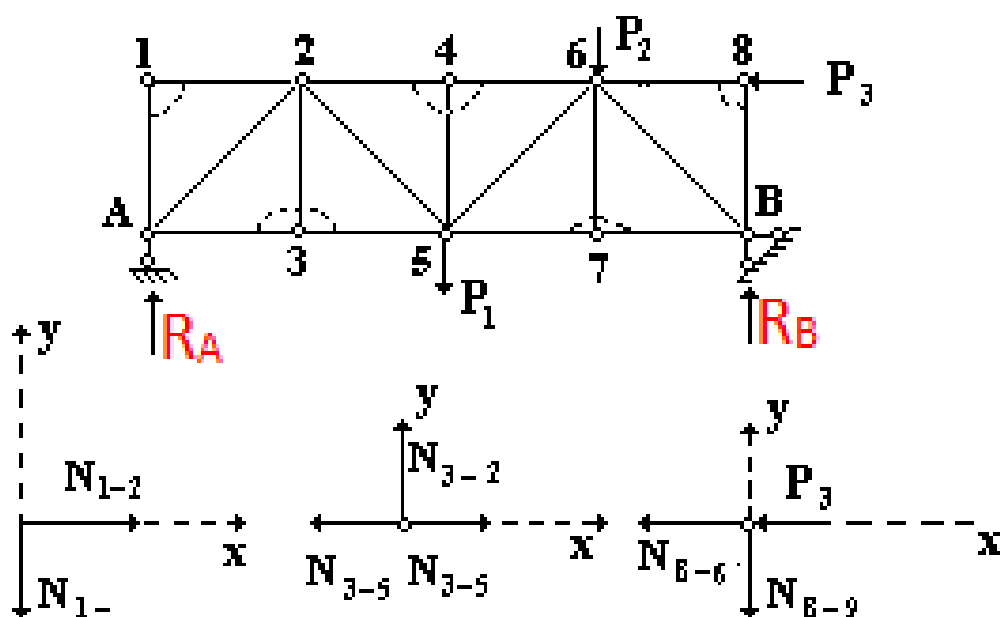
$$\sum X=0 ; \quad \sum Y=0 ;$$

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



4.6 – rasm



4.7 - rasm

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. 4.7-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 (4.7-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 (4.7 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 (4.7 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 nolinch sterjenlarning ikkinchi belgisidir. Bu belgiga asosan, 4.6-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,

4.7-rasm, a da ko'rsatilgan fermadan 8-tugunni kesib (4.7-rasm,g) quyidagi tenglamalarni tuzamiz:

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

bundan

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

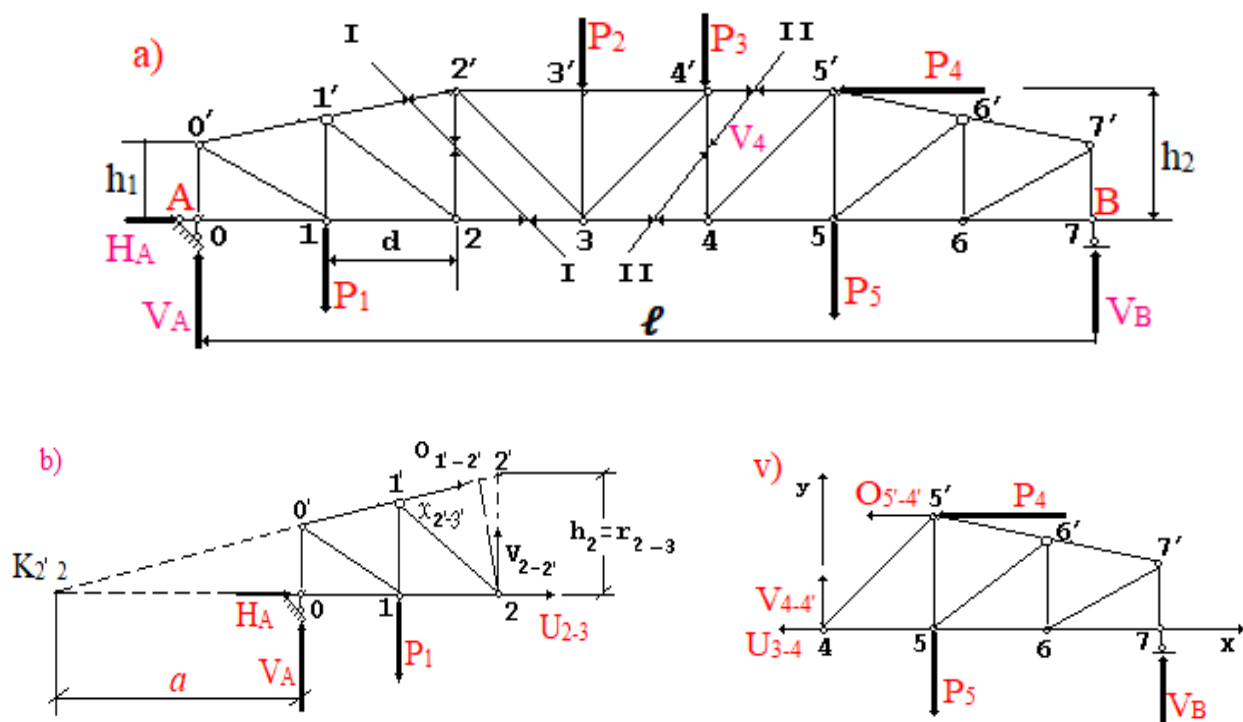
$$\sum Y = 0, N_{8-9} = 0.$$

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 (4.8-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, 4.9- rasmda ko'rsatilgan ferma elementlaridagi zo'riqishlarni aniqlash talab qilinsin. 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



4.9 – rasm

ta'sirini kesilgan sterjenlar bo'yicha yo'nalgan noma'lum zo'riqishlar bilan almashtiramiz (4.9-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.

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

bundan
$$U_{2-3} = 1/r_{2-3} = (V_A \cdot 2d - H \cdot h_2 - P_1 \cdot d),$$

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'riqlarning 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'riqlarni topish uchun U_{2-3} va O_{10-20} zo'riqlarning yo'nalishi kesishgan nuqta K_{2-2} ga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz (4.9- rasm ,b):

Xuddi shu tartibda fermaning boshqa sterjenlaridagi zo'riqlarni ham aniqlash mumkin.

4.2-§. Statik aniq tekis fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'sirga hisoblash.

Ferma elementlarida harakatlanuvchi yuklar ta'siridan hosil bo'ladigan zo'riqlar 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'riqlar qiymatining o'zgarishini ifodalovchi grafik shu zo'riqlar ta'sir chizig'i deb ataladi.

Tashqi yuklar fermaning sharnirli tugunlariga qo'yilganligi sababli, uning elementlaridagi zo'riqlar 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'riqlarning ta'sir chiziqlarini quramiz (4.10-rasm). pastki belbog'ning 2-3 elementidagi U_{2-3} zo'riqlarning 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'riqlarning moment nuqtasi ikki zo'riqlar 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

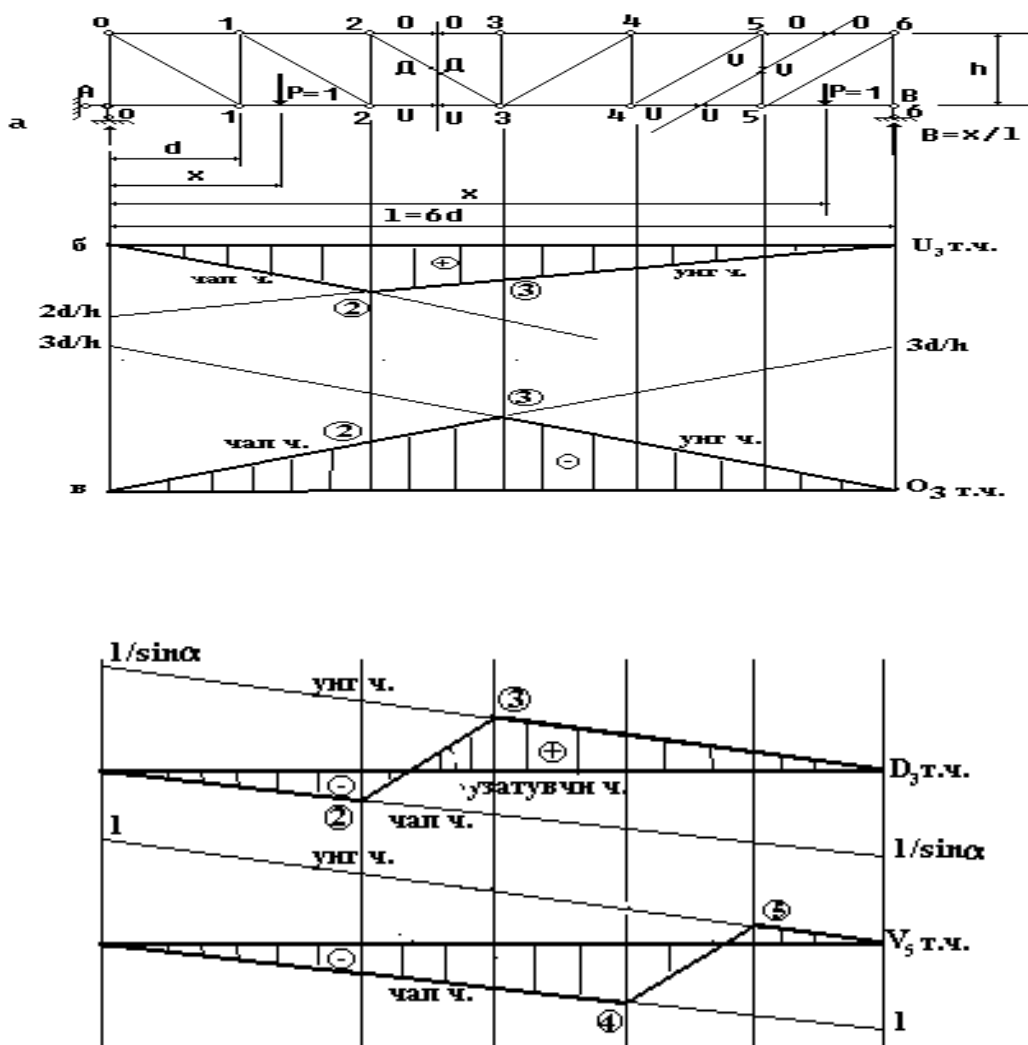
kuchlarning moment nuqtasi 20 ga nisbatan momentlarining yig'indisi nolga tengligi shartidan foydalanib, tenglama tuzamiz:

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

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

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

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



4.10-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, 4.10-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

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

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

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 4.10- 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:

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

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

(v) ifoda chap chiziq tenglamasidir. Bu chiziq oddiy balka V tayanch reatsiyasining 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.(4.10 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:

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

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

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 (4.10- 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'zgaras 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'zgaras 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'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 ostida kesishadi. U_{2-3} zo'riqishning ta'sir chizig'i 4.10- 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.(4.10-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 (4.10-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'zgarmas 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'zgarmas miqdor $1/\sin \alpha$ ga ko'paytirish kerak. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 10d$ oraliqda 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'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 4.10- 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. (4.10-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 (4.10- 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'zgaras 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:

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

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

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, o'ng chiziqni qurish uchun oddiy balka A tayanch reaksiyasini ta'sir chizig'ini qurib uning ordinatalarini o'zgaras miqdor $\sin \alpha$ ga ko'paytirish kerak. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 10$ oralig'ida 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'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 4.10-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:

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

bundan $M_{2'-3'}^{chap} = -B \frac{3d}{h}.$ (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.(4.10- 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:

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

bundan $M_{2'-3'}^{o'ng} = -A \frac{3d}{h}.$ (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 (4.10- 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 ordinatalarini o'zgarmas miqdor $\sin \alpha$ ga ko'aytirish kerak. Uning kerakli qismi $3d \leq X \leq 10$ oraliqda 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 proyeksiyalab, olingan nuqtalar to'g'ri chiziq bilan birlashtiriladi (4.10- rasm, g)

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

Birinchi holat. $P=1$ yuk kesimdan 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 ($5d \leq X \leq 1$) 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 (4.10- rasm, d).

Endi 29-rasmda ko'rsatilgan ferma sterjenlaridagi zo'riqlashlarning ta'sir chiziqlarini quramiz. D_{1-20} zo'riqlashning ta'sir chizig'ini qurish uchun fermanni I-I kesim bo'yicha kesamiz. D_{1-20} zo'riqlashning moment nuqtasi O_{10-20} va U_{1-2} zo'riqlashlarning yo'nalishlari kesishgan K_{1-20} nuqtada bo'ladi (4.10- 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'riqlashning chap chizig'i hosil qilinadi. Uning ish qismi $0 \leq X \leq d$ oraliqda bo'ladi;

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

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

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

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 (4.11- rasm, b). Chap va o'ng chiziqlarga fermaning tegishli tugunlarini proyeksiyalab, uzatuvchi chiziqni hosil qilamiz.

V_{5-50} ustun zo'riqishning ta'sir chizigini qurishni ko'ramiz. Fermani II-II kesim bo'yicha kesamiz. $P=1$ ko'chma yuk fermaning pastki belbog'i bo'yicha harakatlansin. V_{5-50} zo'riqishning 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 $-\frac{b}{r_{5-5'}}$ ordinalarni qo'yamiz va ularni birlashtirib, chap chiziqni o'tkazamiz (4.11- rasm,v).

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

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

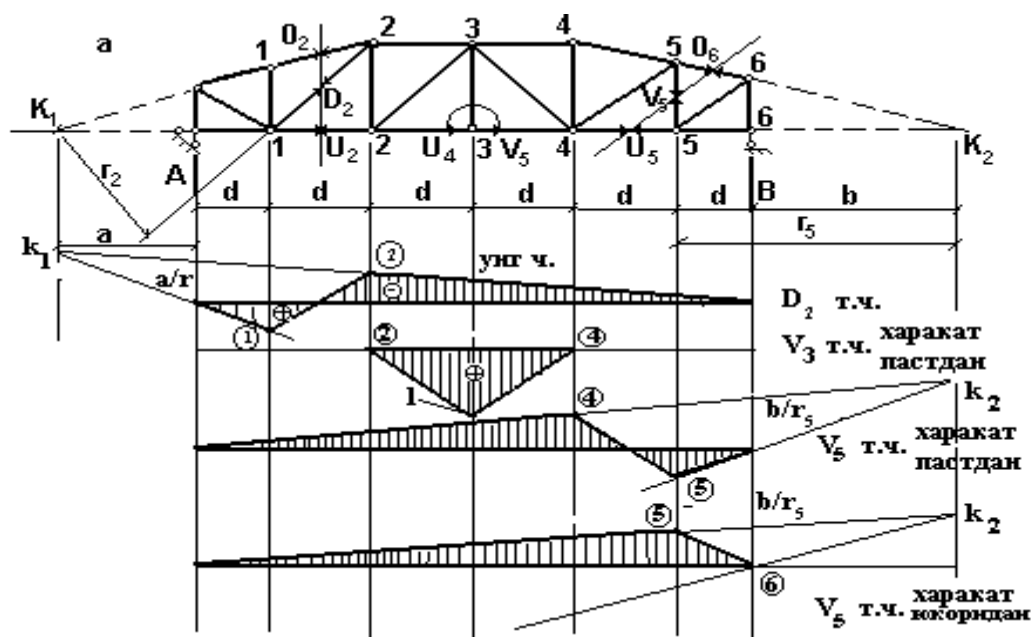
bundan
$$V_{5-5'}^{o'ng} = A \frac{(b + 6d)}{r_{5-5'}}$$

Bu ifodaga asosan, o'ng chiziqni o'tkazamiz. Chap va o'ng chiziqlar moment nuqtasining ostida kesishadi.(4.11- 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

(4.11- 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



4.11- 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 (4.11-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 (4.11- 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 4.11-rasm, e da ko'rsatilgan.

Moment nuqtasi usuli.

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

Sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlash uchun ferma hayolan qirqiladi (4.12-rasm, a), hisoblash uchun qirqilgan fermaning bir qismi ajratib olinadi (4.12-rasm, b) va ajratilgan bo'lak uchun muvozanat tenglamasi tuziladi. Muvozanat tenglamasi tarkibiga tashqi kuchlar va tayanch reaksiyalaridan tashqari noma'lum zo'riqishlar 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'riqishi 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'riqish yo'nalishi har doim tashqariga cho'zuvchi musbat qilib yo'naltiriladi. Hisob natijasida ishora manfiy chiqsa, sterjen siqiluvchan bo'ladi.

Zo'riqish kuchlari N_{46} kabi belgilanadi. Bu 4- va 6- tugunlar orasidagi sterjenning zo'riqish 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'riqishni aniqlash uchun shu 4-tugun moment nuqtasiga nisbatan barcha kuchlarning momentlari yig'indisini nolga tenglab yozamiz:

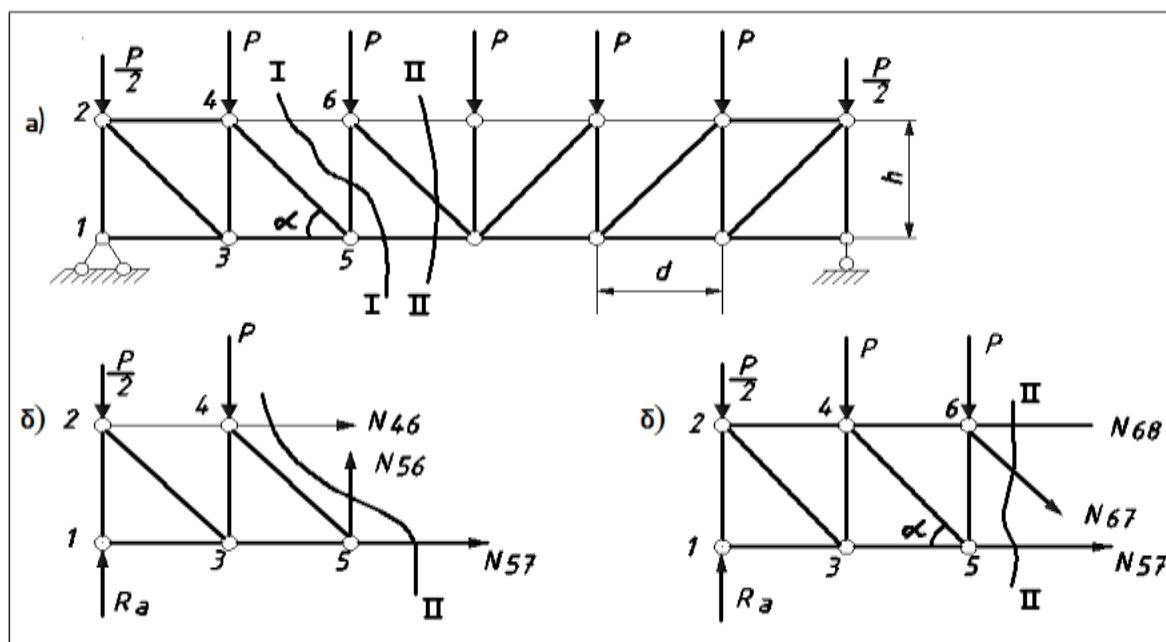
$$N_{35} = (R_a \cdot d - 0,5 \cdot P \cdot d) / h_{35} = M_4 / h_{35} \quad \sum M_4 = R_a \cdot d - P/2 \cdot d - N_{35} \cdot h_{35} = 0;$$

bundan;

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

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

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



44.12-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.

Misol. Konsolli-balkasimon fermaning 2-3, A-6 sterjenlaridagi bo'ylama zo'riqishlari aniqlansin (4.13, a-rasm).

Tayanch reaksiyalarini topamiz:

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

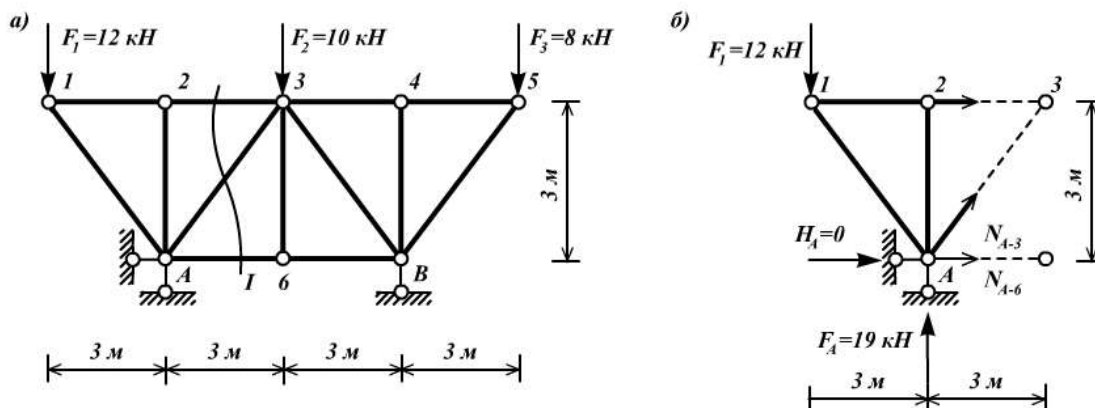
$$\sum M_B = 0; \quad F_1 \cdot 9 - F_2 \cdot 3 + F_3 \cdot 3 + R_A \cdot 6 = 0, \quad R_A = (12 \cdot 9 + 10 \cdot 3 - 8 \cdot 3)/6 = 19 \text{ kH};$$

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

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

Fermani I-I kesim bilan qirqamiz, o'ng qismini tashlab yuborib, uning qolgan chap qismiga ta'sirini tugundani ketuvchi N_{2-3} , N_{A-3} , N_{A-6} noma'lum kuchlari bilan almashtiramiz (4.13, 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



4.13-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.

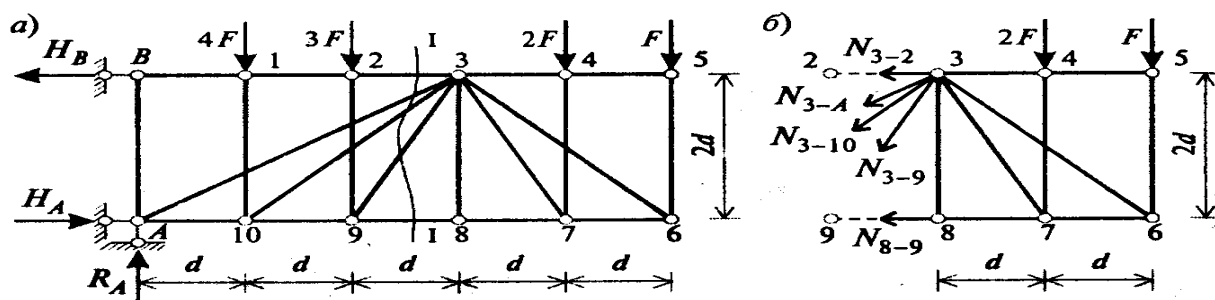
Javob: $N_{2-3} = 12 \text{ kN}$; $N_{A-6} = -5 \text{ kH}$.

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

Misol. Konsol fermaning 8-9 sterjenidagi bo'ylama zo'riqlashi aniqlansin (4.14, 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 (4.14, 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 ko‘rinishidagi



4.14-rasm

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 fermani 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.

Misol. Tirgakli fermaning N_{A-3} , N_{3-7} va N_{B-C} bo‘ylama zo‘riqishlari aniqlansin (4.15, a-rasm).

Tirgakli fermaning tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz:

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

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

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

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

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

N_{A-3} zo'riqlashini aniqlash uchun I-I kesimini o'tkazamiz (4.15,a-rasmga qarang), o'ng tomonini tashlab yuboramiz (33, b-rasm) va chap qismining muvozanat tenglamasini yozamiz:

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

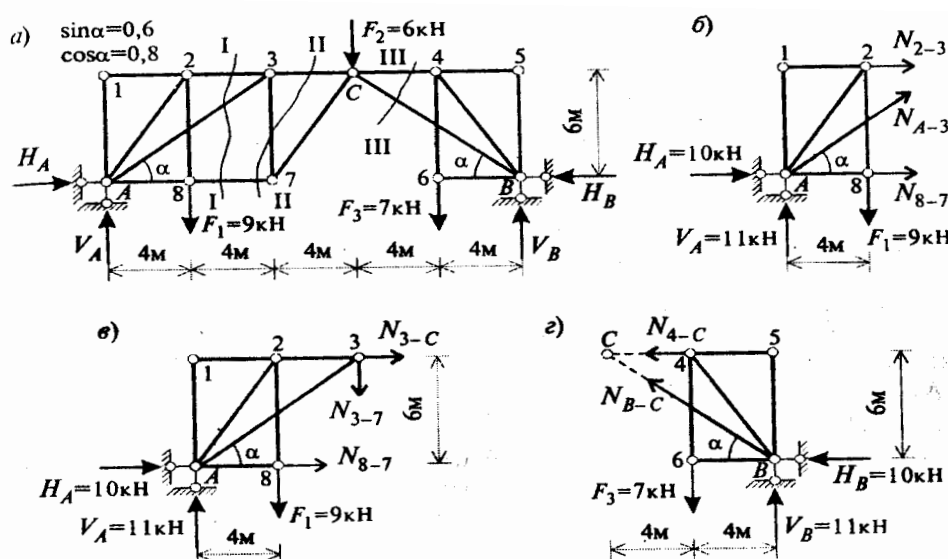
N_{3-7} zo'riqlashini aniqlash uchun II-II kesim o'tkazamiz (4.15,a-rasmga qarang), o'ng tomonini tashlab yuboramiz va chap qismidagi barcha kuchlarning o'qiga proyeksiyalarining yig'indisi ko'rinishidagi muvozanat tenglamasini yozamiz (4.15, v-rasm):

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

N_{B-C} zo'riqlashini aniqlash uchun III-III kesim o'tkazamiz (4.15, a-rasmga qarang), chap qismini tashlab yuboramiz va o'ng qismidagi barcha kuchlarning u o'qiga proyeksiyalarining yig'indisi ko'rinishidagi muvozanat tenglasini yozamiz (4.15, g-rasmga qarang):

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

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



4.15-rasm

Tugunlarni kesib olish usuli. Tugunlarni kesib olish 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 (4.16, a-rasm).

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

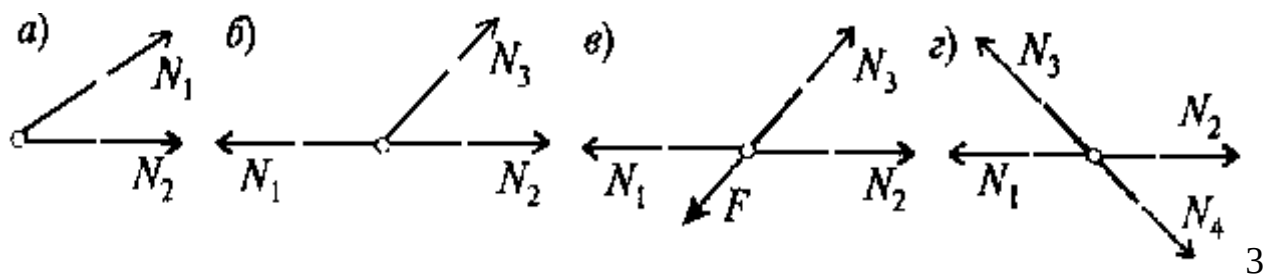
2. Ikki sterjeni bir o'qda yotuvchi yuklanmagan uch sterjenli tugun (4.16, b-rasm). Tugundagi uchinchi sterjen «Yakka» sterjen deyiladi va uning zo'riqishi nolga teng bo'ladi ($N_3=0$). Bir chiziqda yo'nalgan sterjenlarning zo'riqishlari esa o'zaro teng va qarama-qarshi yo'nalgan ($N_1=N_2$).

3. Ikki sterjen o'qi bir to'g'ri chiziqda yotgan, yakka sterjen o'qi bo'ylab F kuchi qo'yilgan, uch sterjenli tugun (4.16, 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 (4.16, g-rasm).

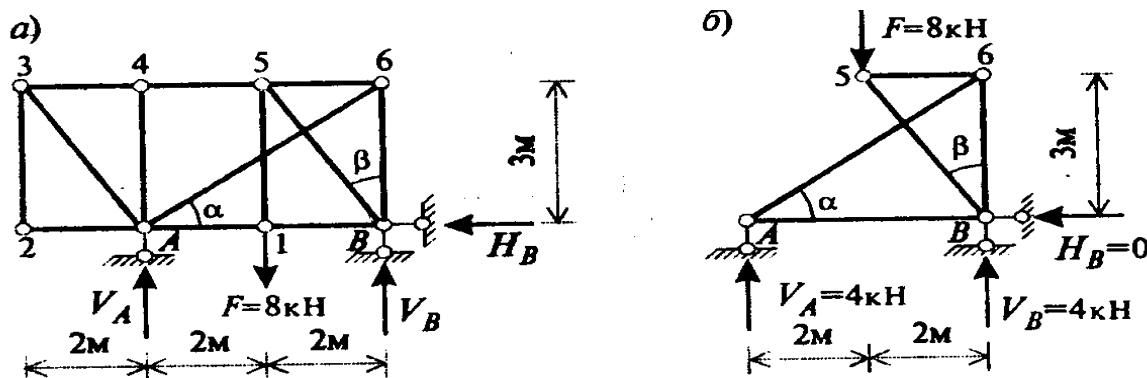
Bir to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan sterjenlarning zo'riqishlari o'zaro teng va qarama-qarshi yo'nalgan ($N_1=N_2$ va $N_3=N_4$).



4.16-rasm

Misol. 4.17, 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

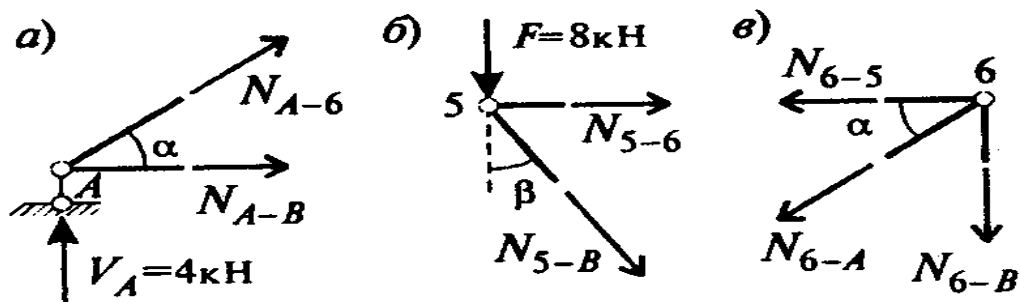


4.17-rasm

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 4.16, b-rasmda ko'rsatilgan.

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



$$\sin \alpha = 0,6; \quad \sin \beta = 2/\sqrt{13} = 0,5547;$$

$$\cos \alpha = 0,8; \quad \cos \beta = 3/\sqrt{13} = 0,832.$$

4.18-rasm

A tugun (4.18,a-rasm):

$$\sum Y = 0; V_A + N_{A6} \cdot \sin \alpha = 0; N_{A-6} = -V_A / \sin \alpha = -4/0,6 = -6,667 \text{ kH}$$

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

5-tugun (4.18, b-rasm):

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

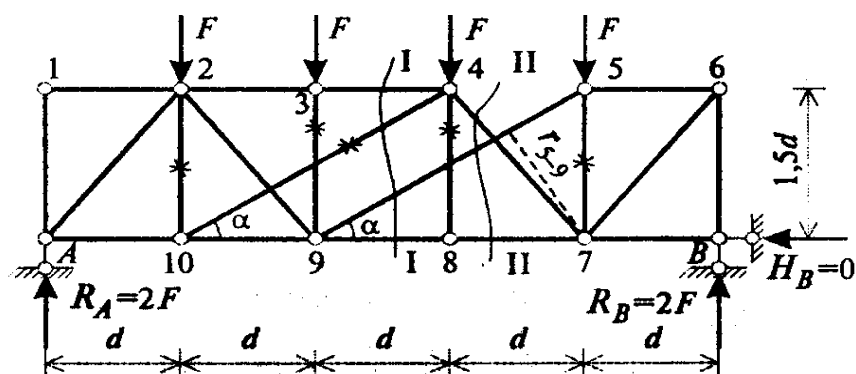
$$\sum X = 0; N_{5-6} + N_{5-B} \cdot \sin \beta = 0; N_{5-6} = -(-9,615) \cdot 0,5547 = 5,333 \text{ kH}.$$

6-tugun (4.18, 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'riqlar nolga teng.

Misol. 4.19-rasmda tasvirlangan ferma belgilangan elementlarining bo'ylama zo'riqlari aniqlansin.

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



4.19-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 (4.20, a-rasm).

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

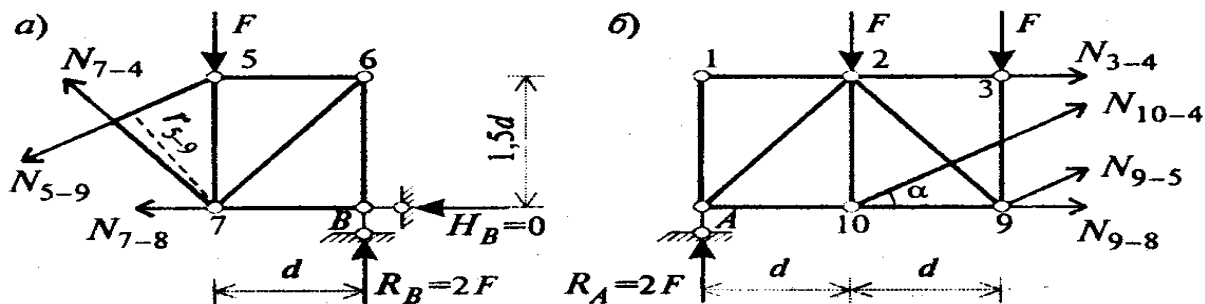
$$N_{5-9} = -\frac{2Fd}{r_{5-9}} = -\frac{2Fd}{2d \sin \alpha} = -\frac{F}{\sin \alpha} = -1,667F$$

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 (4.20, 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 (4.20-rasm).



4.20-rasm

10-tugun (4.21, a-rasm):

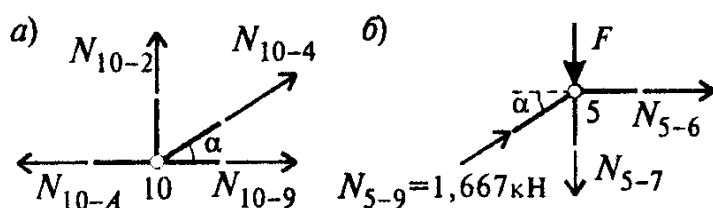
$$\sum Y = 0; N_{10-2} + N_{10-A} \cdot \sin \alpha; N_{10-2} = -1,667F \cdot 0,6 = -F.$$

5-tugun (4.21, 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, 4.21, b-rasmda u tugunga yo'naluvchi bo'lib ko'rsatilgan.

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



4.21-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.

Shprengelli fermalarni doimiy yuk ta'sirida hisoblash. Shprengelli ferma sterjenlaridagi zo'riqish kuchlarini ta'sir chiziqlarini qurish. Shprengelli fermalar bir va ikki yarusli bo'lishi mumkin. 4.23-rasm, v da bir yarusli Shprengelli ferma tasvirlangan. Bunday fermalarda shprengelning pastki (yukoriga) qo'shimcha tugunlariga qo'yilgan yuk uning pastki (yuqorigi) asosiy tugunlariga uzatiladi.

Agar shprengelning pastki (yukori) tugunlariga qo'yilgan yuk fermaning yukoridagi (pastki) asosiy tugunlariga uzatilsa, u holda bunday sxemaga ega bo'lgan fermalar ikki yarusli Shprengelli fermalar deyiladi (4.23- rasm ,g).

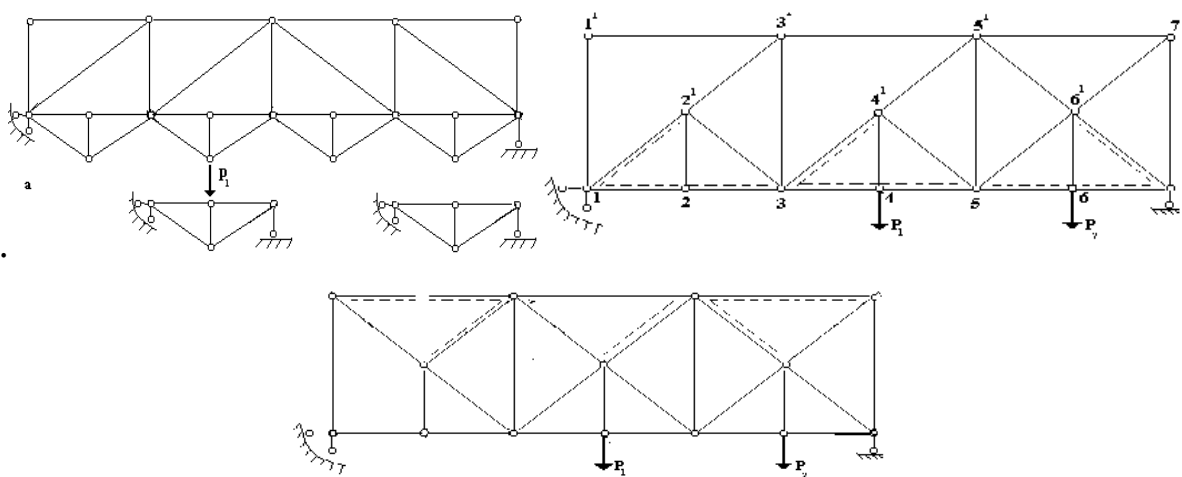
Bir yarusli Shprengelli fermalarni hisoblashda ularning elementlari quyidagi uchta kategoriyaga bulinadi:

1). Faqat asosiy fermaga tegishli bo'lgan sterjenlar birinchi kategoriyali sterjenlar deb ataladi. 4.23-rasm, v da ko'rsatilgan 1-1', 1'-3', 2'-3', 3-3' va shunga o'xshash boshqa sterjenlar 1-kategoriyali sterjenlar jumlasidandir. Ulardagi zo'riqish shprengelni e'tiborga olmasdan, asosiy fermani hisoblash orqali to'iladi.

2). Faqat shprengelga tegishli bo'lgan sterjenlar ikkinchi kategoriyali sterjenlar (2'-3, 4'-5, 5-6', 4-4' va boshkalar) deb ataladi. Ulardagi zo'riqishni aniqlash uchun

har bir shprengel asosiy fermadan ajratib olinib, uning muvozanati Mustaqil ravishda tekshiriladi.

3). Bir vaqtning uzida asosiy ferma bilan shprengelga tegishli bo'lgan, eelementlari birlashgan sterjenlar uchinchi kategoriyali sterjenlar deb ataladi. Ular 4.23-rasm, v da punktir chiziqli bilan ko'rsatilgan. Masalan, 1-2, 2-3, 3-4' va shunga uxshash sterjenlar shular jumlasidandir.



4.22- rasm.

Ikki yarusli Shprengelli fermalarning sterjenlari turt kategoriyaga bulinadi. Ulardan uchasi yukorida kurilgan Shprengelli ferma sterjenlarning kategoriyalariga mos.

Turtinchi kategoriyali sterjenlar fermaning asosiy sterjenlari kabi (1-kategoriyali) bo'ladi, lekin harakat aslida yukoridan bo'lganda yukning ta'siri pastga yoki harakat pastdan bo'lganda yukning ta'siri yukoriga uzatiladi (4.23 -rasm, g). Shprengelli ferma sterjenlardagi zo'riqishning ta'sir chizigini kurishdan oldin tekshirilayotgan sterjen qaysi kategoriyaga tegishli ekanligini aniqlash kerak.

Parallel belbogli bir yarusli sh'ringelli fermaning 4.24-rasmda ko'rsatilgan sterjenlaridagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlarini quramiz (harakat pastdan).

$V_{3-3'}$ Zo'riqishning ta'sir chizigi. 3-3' sterjen 1-kategoriyali bo'lgani uchun $V_{3-3'}$ zo'riqishning ta'sir chizigini qurishda shprengel-fermachalar e'tiborga olinmaydi. U holda 4.24-rasm, b da ko'rsatilgan shprengelsiz (asosiy) fermani tekshirish kerak. I-I kesim o'tkazib, $R=1$ yukning kesimning chap va ung tomonlaridagi xollari uchun muvozanat tenglamalarini yozamiz:

$\sum Y = 0$, $V_{3-3'}^{chap} = B$ va $V_{3-3'}^{o'ng} = -A$ ning ta'sir chizigi 4.24-rasm, v da ko'rsatilgan.

$D_{5-6'}$ zo'riqishning ta'sir chizigi. Fermaning 5-6' sterjeni III kategoriyali. II-II kesimni o'tkazib, kuchma $R=1$ yukning undan chap va o'ng tomonlardagi harakatini tekshiramiz. $R=1$ yuk II-II kesimdan o'ng tomonda harakatlanadi deb, fermaning chap qismi uchun muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$\sum Y = 0, A + D_{5-6'}^{o'ng} \sin \alpha = 0 \quad \text{va} \quad D_{5-6'}^{o'ng} = -\frac{A}{\sin \alpha}$$

$$\text{shunga o'xshash,} \quad D_{5-6'}^{chap} = \frac{B}{\sin \alpha}$$

Bu tenglamalarga asosan, chap va ung chiziqlarni chizamiz (4.24-rasm, g). sterjen III kategoriyali bo'lganligi sababli shprengelni hisobga olamiz. Chap chiziqdagi 5-tugunga tegishli va ung chiziqdagi 6-tugunga tegishli ordinatalarni tutashtiruvchi as uzatuvchi chiziqni o'tkazamiz. U holda shprengel fermachaning ishlashini hisobga oluvchi avs uchburchaklik hosil bulmasdi. Demak, $D_{5-6'}$ ning ta'sir chizigida hosil bo'lgan avs uchburchaklik, kuchma birlik kuch turtinchi paneldagi 5- va 7-tugunga tiralgan fermacha bo'yicha harakatlanganda III kategoriyali 5-6 sterjendagi $D_{5-6'}$.

$$\sum X = 0, U_{1-2} - U_{2-3} = 0, \quad \sum M_r = Ad - U_{2-3}^{yh2} h = 0,$$

$$U_{2-3}^{yh2} = \frac{Ad}{h}.$$

U_{2-3} ta'sir chizigining chap va ung chiziqlarini utkazib, so'ngra shprengelning ishlashini hisobga olamiz. 2-tugun kesimning chap tomonda bo'lgani uchun, uni chap chiziqqa, 3-tugunni esa o'ng chiziqqa proektsiyalaymiz va yes uzatuvchi chiziqni utkazamiz.

$U_{2-3} = U_{1-2}$ ta'sir chizigidan avs uchburchakli ham shprengelni e'tiborga oolinganligini ko'rsatadi (4.24 -rasm, d).

$V_{8-8'}$ zo'riqishning ta'sir chizigi. Fermaning 8-8' sterjeni II kategoriyali bo'lganligi uchun, fermadan 7-8'-9 shprengelni ajratib olib, uni mustaqil ikki tayanchli fermacha deb qaraymiz (4.24 -rasm, e).

$R=1$ yuk 8-tugunda deb, uning muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$\sum Y=0, V_{8-8'} - ' = 0, \text{ bundan } V_{8-8'} = 1$$

Agar yuk 7- va 9-tugunlarda bo'lsa, $V_{8-8'}$. Zo'riqish nolga teng bo'ladi. bu aniqlangan ordinatalar bo'yicha.

Statik aniq fermalarni hisoblash

Masala sharti: Shifr asosida 4.25-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 (4.26-rasm, a) da keltirilgan.

Berilgan fermaning statik aniqligi va geometrik o'zgarmasligini tekshiramiz:

$D = 21$ ta sterjen (disk);

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

$St=3$ 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:

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

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{l/6}{h/2} = \frac{l}{6} \cdot \frac{2}{h} = \frac{l}{3h} = \frac{27}{13,5} = 2; & \alpha &= \operatorname{arctg} 2 = 63^{\circ} 26'; \\ & & \sin 63^{\circ} 26' &= 0,8944; \\ & & \cos 63^{\circ} 26' &= 0,4503 \end{aligned}$$

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

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

$$= -\frac{5,4}{4,0377} = -1,337;$$

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.

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

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

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

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

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

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

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

$$= -\frac{21,6}{4,027} = -5,3637;$$

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 (4.26-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 (4.26-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 (4.26-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 (4.26-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 (4.26-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.

Bu degani $V_{3'3}$ zo'riqish kuchi (ustun sterjendagi) ta'sir chizig'ini $V_{23'}$ 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.

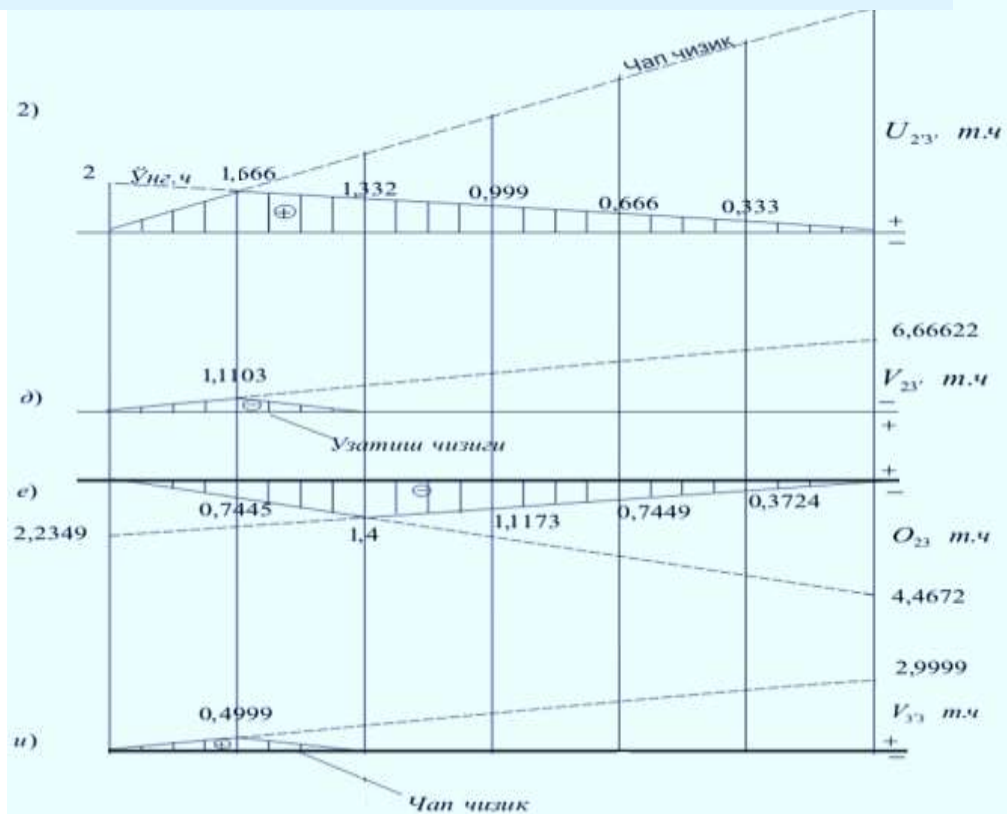
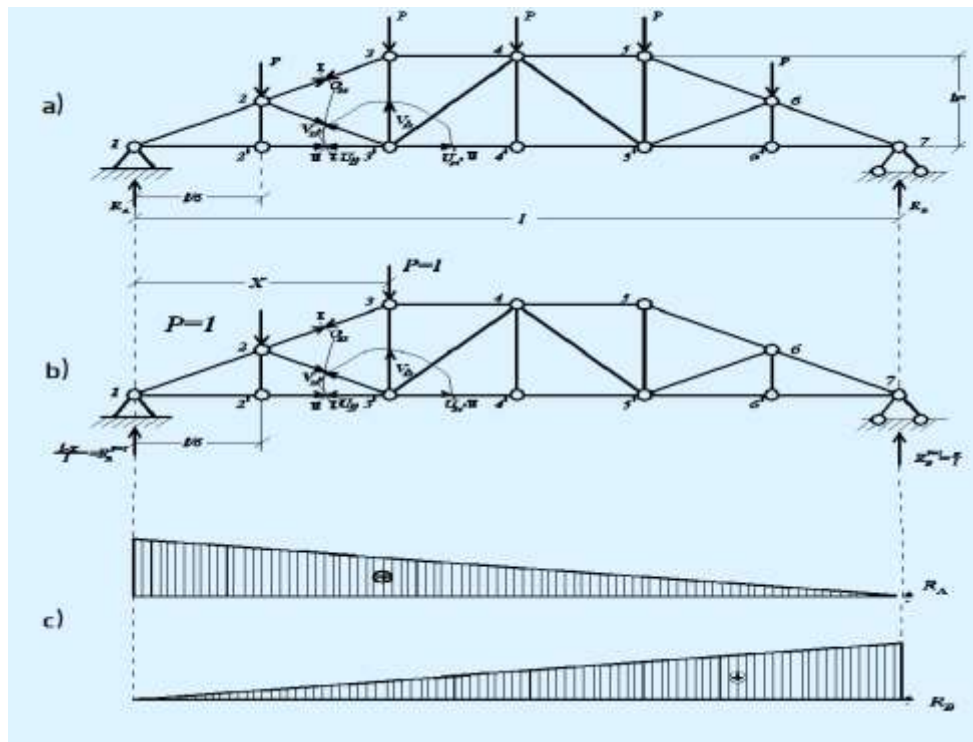
4. Yuqorida qurilgan ta'sir chizig'idan foydalanib berilgan №2-panelning sterjenlaridagi zo'riqishlarini hisoblaymiz:

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

$$2) V_{23'} = \sum P_i Y_i = 1,2 \cdot (-1,1103) = -1,3324;$$

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

$$4) V_{33} = \sum P_i Y_i = 1,2 \cdot (0,4999) = 0,5998$$



4.26-rasm

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

$$\begin{aligned}
1) \quad & \frac{U_{2'3'}^{Anal} - U_{2'3'}^{Ta's} \cdot 100\%}{U_{2'3'}^{Ta's}} = \frac{(6 - 5,9959) \cdot 100\%}{5,9959} = 0,0683\% && \text{xatolik} \\
2) \quad & \frac{(V_{23'}^{Anal} - V_{23'}^{Ta's} \cdot 100\%)}{V_{23'}^{Ta's}} = \frac{(-1,337 + 1,3324) \cdot 100\%}{1,3324} = 0,3452\% && \text{xatolik} \\
3) \quad & \frac{(O_{23}^{Anal} - O_{23}^{Ta's} \cdot 100\%)}{O_{23}^{Ta's}} = \frac{(5,3637 - 5,2549) \cdot 100\%}{5,2549} = 2,0704\% && \text{xatolik} \\
4) \quad & \frac{(V_{3'3}^{Anal} - V_{3'3}^{Ta's} \cdot 100\%)}{V_{3'3}^{Ta's}} = \frac{(0,602 - 0,5998) \cdot 100\%}{0,5998} = 0,3667\% && \text{xatolik}
\end{aligned}$$

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:

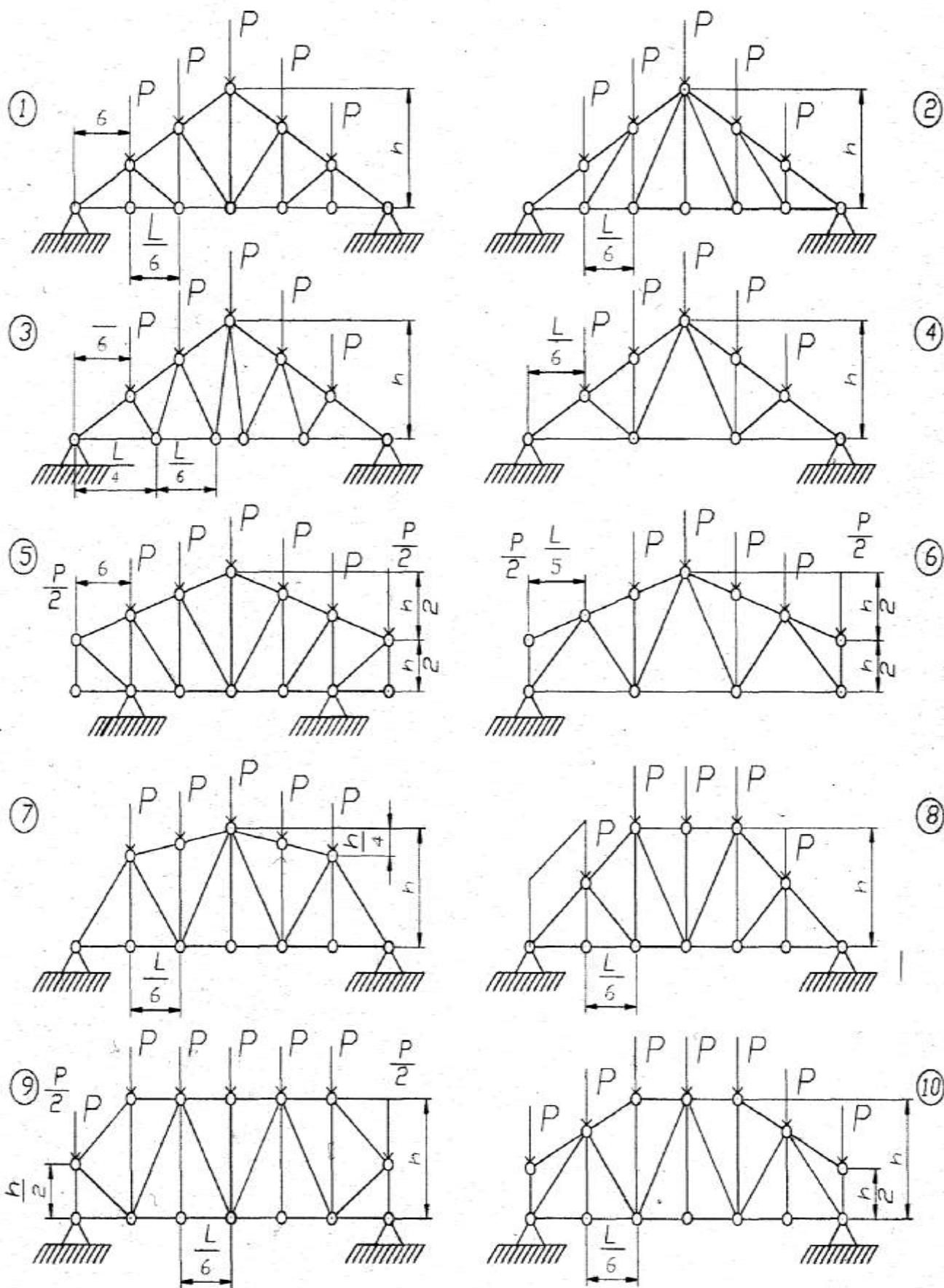
1. Analitik usulda berilgan panel va o'ng tomondagi ustun jami 4 ta sterjen uchun zo'riqishlar aniqlansin:
2. Shu sterjenlardagi zo'riqishlar uchun ta'sir chiziqlari qurilsin.
3. Ta'sir chiziqlari yordamida shu zo'riqishlarning qiymatlari aniqlansin va ular analitik usulda topilgan qiymatlar bilan solishtirib 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.

II-jadval

№	$l(m)$	$P_1(kH)$	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	



4.27-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, Shprengelli ferma, bir yarusli shprengelli ferma, kategoriya sterjenlar, ikki yarusli shprengelli ferma

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, hovu, yarim hovu, qo‘sh hovu, shprengelli

balkasimon, konsolli, konsolli balkasimon

tom, ko‘prik va kran

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

uchburchak, hovu, yarim hovu, qo‘sh hovu, 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‘riqishlar 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 gorizontaal 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'zgarmas

statik noaniq, geometrik o'zgarmas

statik noaniq, geometrik o'zgaruvchan

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

statik aniq, geometrik o'zgarmas

statik noaniq, geometrik o'zgaruvchan

statik aniq, geometrik o'zgaruvchan

statik noaniq, geometrik o'zgarmas

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

statik noaniq, geometrik o'zgarmas

statik aniq, geometrik o'zgaruvchan

statik noaniq, geometrik o'zgaruvchan

statik aniq, geometrik o'zgarmas

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'zgarimas, 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'zgarimas, statik noaniq bo'ladi?

$$W < 0$$

$$W = 0$$

$$W > 0$$

$$W \neq 0$$

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

yassi va fazoviy

yassi va qobiqli

fazoviy va hajmiy

tekis va hajmiy

26. Yassi sistemalar deb qanday sistemalarga aytiladi?

barcha sterjenlar bir tekislikda joylashsa

barcha sterjenlar murakkab shaklda biriktirilgan 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

Nazorat savollari:

1. Katta oraliqlarni qoplashda tekis balka nima sababdan iqtisodiy noqulay bo'ladi?
2. Ferma tuzilmalari qaysi soxa va joylarda ko'p ishlaydi?
3. Ferma qanday tuzilma? Ferma sterjenlarida qanday zuriqish xosil bo'ladi va nima sababdan?
4. Balkasimon ferma reaksiyalari qanday topiladi?
5. Ferma elementlari qanday farqlanadi?
6. Moment nuqtasi deb nimaga aytiladi? Misollar keltiring?
7. Qachon ferma elementlaridagi zo'riqishlarni aniqlashda moment nuqtasi usulini qo'llash qulay bo'ladi?
8. Tugun kesish usuli qachon va qanday qo'laniladi? Uning afzallik va kamchiliklari nimadan iborat?
9. Qanday sterjenlar zo'riqishsiz (nulli) deyiladi? Misollar keltiring.
10. Qachon proektsiya usulini qo'llash qulay bo'ladi? Uning mazmuni nimadan iborat?
9. Ferma deb qanday sistemalarga aytiladi?
10. Ferma elementlari nomlarini ayting bering.
11. Fermalarni analitik hisoblashda moment nuqtasi usulini tushuntirib bering.
12. Tugunlarni kesish usulini tushuntiring.
13. Fermalarni analitik usulda hisoblash usullarini aytib bering.
14. Proyeksiyalash usulini tushuntirib bering.
15. Tugunni kesib olish usulini tushuntirib bering.
16. Shprengelli fermalar hisobini tushuntirib bering.
17. Moment nuqtasi usulini tushuntirib bering.

Onlayn masofaviy o'qitish usullari

Talaba tomonidan V-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 (Названия)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.

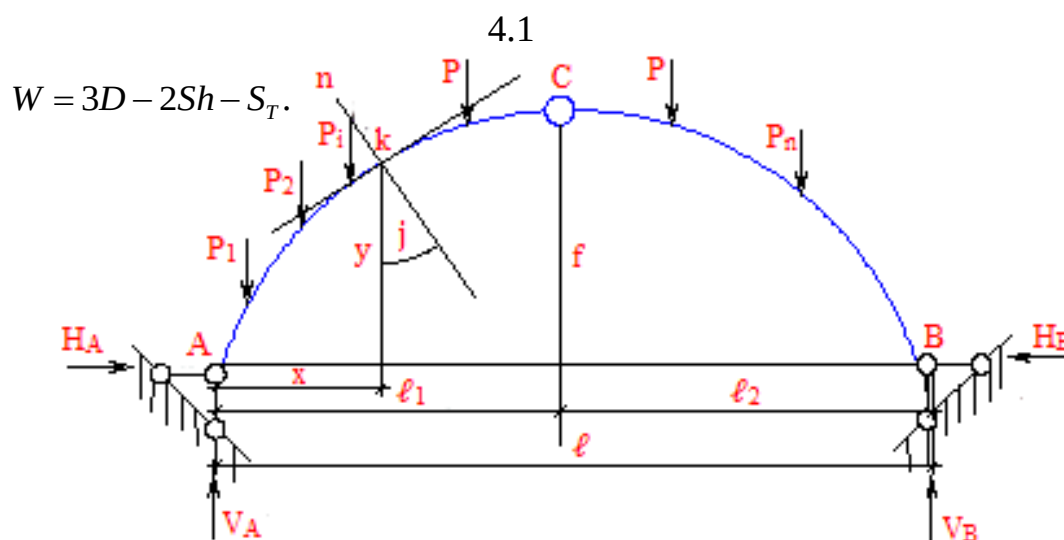
V- BOB. UCH SHARNIRLI SISTEMALAR.

5.1-§. Uch sharnirli sistemalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.

O'zaro bitta sharnir vositasida ulangan va fundamentga ikkita qo'zg'almas sharnirli tayanchlar yordamida tiralgan ikki egri brusdan tuzilgan geometrik o'zgarmas sistema uch sharnirli arka deyiladi (5.1 -rasm). Uch sharnirli arkaga qanday vertikal kuchlar ta'sir etishidan qat'iy nazar, uning tayanchlarida doim gorizontal yo'nalgan keruvchi reaksiya kuchlari bo'ladi. Bu gorizontal reaksiyalar havon deyiladi. Reaksiyalarining to'rtta tashkil etuvchisini aniqlash uchun statikaning uchta muvozanat tenglamasiga qo'shimcha bitta tenglama kiritish kerak. Bu tenglama arkaning oraliq

$$\sum X = 0, \quad \sum Y = 0, \quad \sum M = 0,$$

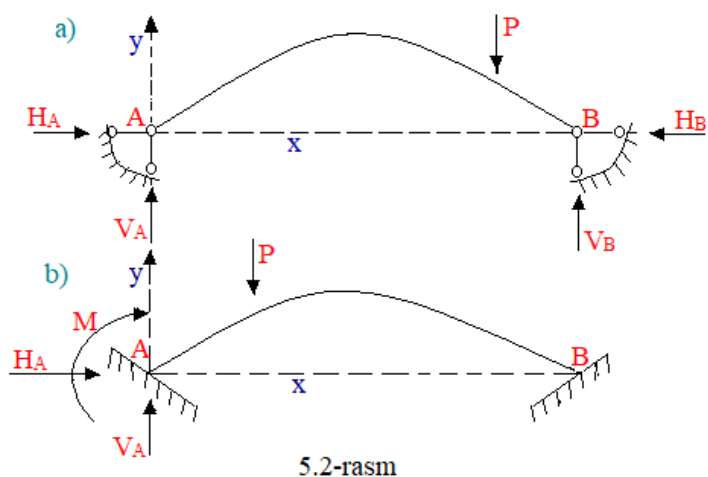
$$\sum M_c^{chap} = 0, \quad \text{va} \quad \sum M_c^{o'ng} = 0,$$



Uch sharnirli arkada $D=2$; $S_h=1$; $S_T=4$.

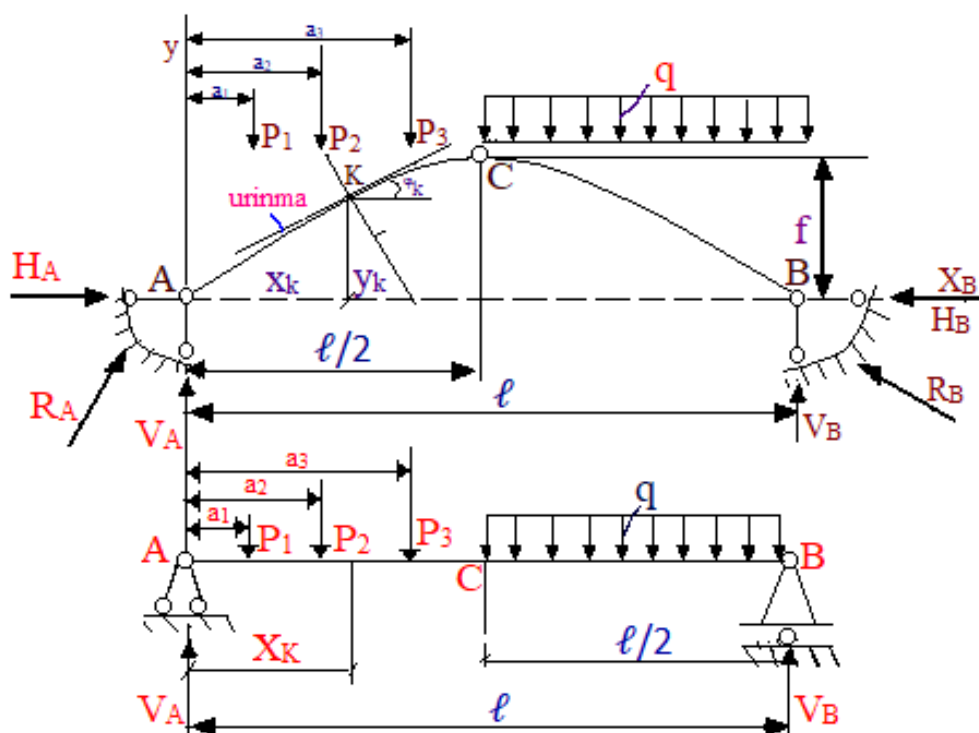
U holda erkinlik darajasi $W = 3D - 2S_h - S_T = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 4 = 0$ bo'ladi va uchala sharnir bir to'g'ri chiziqda yotmagani uchun sistema ikki sharnirli arka deb ataladi (5.2-rasm, a). Bunday arka to'rtta noma'lum tashkil etuvchi tayanch reaksiyalariga ega bo'lib, uning statik noaniqlik darajasi birga teng. Uchlari qistirib mahkamlangan va oraliq sharniri bo'lmagan arka sharnirsiz arka deb ataladi (5.2 -rasm, b).

Sharnirsiz arkada doim oltita noma'lum tashkil etuvchi tayanch reaksiyalari hosil bo'ladi. Bu reaksiyalarni aniqlash uchun uchta muvozanat tenglamasidan tashqari yana uchta qo'shimcha tenglamalar tuzish kerak. Demak, bu sistema uch marta statik aniqmasdir.



5.2-rasm

Arka ko'ndalang kesmlarining ogirlik markazidan o'tuvchi ASV egri chiziq arka o'qi deyiladi. Arka o'qi parabolik, aylana, elli's va boshqa shakldagi egri



5.3-rasm

chiziqlardan iborat bo'lishi mumkin. A va B tayanch sharnirlar orasidagi masofa arka oralig'i (ℓ) deyiladi. Agar tayanchlar har xil balandlikda joylashgan bo'lsa, ular orasidagi gorizontaal masofa arka oralig'i hisoblanadi.

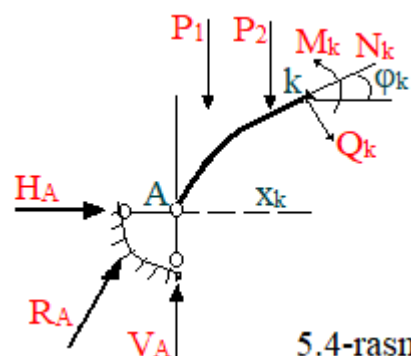
A va B tayanch sharnirlar tovon sharnir, oraliq S sharnir esa qulf sharnir deb ataladi. AB tayanch chizig'idan arka o'qining eng yuqorigi nuqtasigacha bo'lgan masofa arkaning ko'tarilish cho'qqisi deyiladi va u f harfi bilan belgilanadi (5.3-rasm).

Agar tayanch sharnirlarni tortqich deb ataluvchi sterjen bilan birlashtirsak (5.3 - rasm, a), u holda arkaning havon reaksiyasini tortqich o'ziga qabul qiladi. Bunday arka tortqichli uch sharnirli arka deyiladi. Tortqichli arkada birinchi tayanch qo'zg'almas, ikkinchisi esa qo'zg'aluvchan sharnirli tayanch bo'ladi. Tortqichdagi zo'riqishni aniqlash uchun uni kesib, oraliq sharnir S ga nisbatan momentlar tenglamasini yozamiz:

$$\sum M_c^{chap} = 0 \quad \text{yoki} \quad \sum M_c^{o'ng} = 0$$

Tortqichli arka tayanchlarining tuzilishiga ko'ra sistema deb hisoblanadi.

Agar egri bruslar siniq sterjenlar bilan almashtirilsa, uch sharnirli rama hosil bo'ladi (5.3-rasm,b).



Uch sharnirli arkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga analitik usulda hisoblash.

Tayanch reaksiyalarini aniqlash. Uch sharnirli arkaga vertikal yuklar ta'sir qilayotgan hol uchun tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz (5.3-rasm).

Og'ma tayanch reaksiyalari R_A va R_B ni vertikal va gorizonttal tashkil etuvchilar V_A, V_B, H_A va H_B ga ajratamiz. Ularning qiymatini topish uchun muvozanat tenglamasi hamda qo'shimcha to'rtinchi tenglama $\sum M_c^{chap} = 0$ yoki $\sum M_c^{o'ng} = 0$ tuziladi.

Chap tayanch reaksiyaning vertikal tashqil etuvchisi V_A ni aniqlash uchun arkaning ng tayanchi V ga nisbatan muvozanat momentlar tenglamasi yoziladi:

$$\sum M_A = 0, \quad P_1 \cdot a_1 + P_2 \cdot a_2 + P_3 \cdot a_3 + q \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} l - V_B l = 0$$

$$\text{Bundan} \quad V_B = \frac{1}{l} (P_1 \cdot a_1 + P_2 \cdot a_2 + P_3 \cdot a_3 + q \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} l^2) \quad (a)$$

O'ng tayanch reaksiyasining vertikal tashkil etuvchisini aniqlash uchun tayanch A ga nisbatan muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$\sum M_A = 0, \quad P_1 \cdot a_1 + P_2 \cdot a_2 + P_3 \cdot a_3 + q \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} l - V_B l = 0$$

bundan

$$V_B = \frac{1}{l} (P_1 \cdot a_1 + P_2 \cdot a_2 + P_3 \cdot a_3 + q \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} l^2)$$

a (b) ifodalardan uch sharnirli arka tayanch reaksiyalarining vertikal tashkil etuvchilari xuddi shunday oraliqli arka kabi yuklangan oddiy balkaning (5.3-rasm) tayanch reaksiyalarigatengtekanligini $V_A = A_{balka} \quad V_B = B_{balka}$

Uch sharnirli arka tanyach reaksiyalarining gorizontal tashkil etuvchilari N_A va N_B orasidagi munosabtni aniqlash uchun unga ta'sir etayotgan hamma kuchlarning gorizontal o'qqa nisbatan proeksiyalari yigindisini nolga tenglashtiramiz:

$$\sum X = 0.$$

Agar arkaga faqat vertikal yuklar qo'yilgan bo'lsa, u holda doim $N_A=N_B=N$ bo'ladi.

Keruvchi reaksiya kuchi N ni aniqlash uchun, uch sharnirli arkaning oraliq sharniri S dan chap yoki ung tomonda ta'sir etayotgan hamma yuklar va tayanch reaksiyalarining vertikal tashkil etuvchisini aniqlash uchun tayanch A ga nisbatan muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$\sum M_A = 0, \quad P_1 \cdot a_1 + P_2 \cdot a_2 + P_3 \cdot a_3 + q \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} l - V_B l = 0$$

$$\text{bundan} \quad V_B = \frac{1}{l} (P_1 \cdot a_1 + P_2 \cdot a_2 + P_3 \cdot a_3 + q \frac{l}{2} \cdot \frac{3}{4} l^2)$$

(a) va (b) ifodalardan uch sharnirli arka tayanch reaksiyalarining vertikal tashkil etuvchilari xuddi shunday oraliqli arka kabi yuklangan oddiy balkaning tayanch reaksiyalariga teng ekanligini ko'ramiz (4.3-rasm,b) ya'ni: $V_A = A_{balka} \quad V_B = B_{balka}$

Uch sharnirli arka tanyach reaksiyalarining gorizontal tashkil etuvchilari N_A va N_B orasidagi munosabtni aniqlash uchun unga ta'sir etayotgan hamma kuchlarning gorizontal o'qqa proeksiyalari yigindisini nolga tenglashtiramiz:

$$\sum X = 0.$$

Agar arkaga faqat vertikal yuklar qo'yilgan bo'lsa, u holda doim $N_A=N_B=N$ bo'ladi.

Keruvchi reaksiya kuchi N ni aniqlash uchun, uch sharnirli arkaning oraliq sharniri S dan chap yoki ung tomonda ta'sir etayotgan hamma yuklar va tayanch

$$M_K = [V_A x_K - P_1(x_K - a_1) - P_2(x_K - a_K)] - Hy_K. \quad (4.4)$$

bu ifodada o'rta qavs ichidagi miqdor xuddi arkaga qo'yilgan yuklar ta'sirida bo'lgan oddiy balkaning shu K kesimidagi eguvchi momenti M_k^0 ning miqdoriga teng (5.3-rasm,b). U holda (4.3) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$M_k = M_k^0 - P_{y_k}. \quad (4.4)$$

Demak, arkaning k kesimidagi eguvchi moment shu arkaga tegishli bo'lgan oddiy balkaning xuddi shu mos kesimidagi eguvchi moment M_k^0 va keruvchi kuchdan olingan moment N_{y_k} ayirmasiga teng.

Bo'ylama kuchni hisoblash. Arkaning istalgan ko'ndalang kesimidagi bo'ylama kuch, kesimdan bir tomonda joylashgan hamma kuchlarining arka o'qining k nuqtasiga o'tkazilgan urinmaga proeksiyalarining algebraik yigindisiga teng. Agar bu kuchlar proeksiyalarining algebraik yigindisi arka kesimida siquvchi kuch hosil qilsa, bo'ylama kuchni musbat deb qabul qilamiz. Arkaning k kesimidan chap tomonda joylashgan hamma kuchlarning shu nuqtaga o'tkazilgan urinmaga tushirilgan proeksiyalar tenglamasini tuzib, bo'ylama kuch ifodasini yozamiz:

$$N_K = (V_A - P_1 - P_2) \sin \varphi_K + H \cos \varphi_K.$$

bu formulada qavs ichidagi ifoda arkaga ta'sir qilayotgan yuklar bilan yuklangan oddiy balkaning k kesimidagi ko'ndalang kuchga teng (5.3-rasm, b):

$$Q_K^0 = V_A - P_1 - P_2, \quad (4.6)$$

$$\text{u holda} \quad N_K = Q_K^0 \sin \varphi_K + H \cos \varphi_K \quad (4.7)$$

Ko'ndalang kuchni hisoblash. Arkaning ixtiyoriy k kesimidagi ko'ndalang kuch Q_k bu kesimdan bir tomonda joylashgan hamma kuchlarning arka o'qining shu nuqtasiga o'tkazilgan normalga tushirilgan proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng.

Ko'ndalang kuchning ishorasi materiallar qarshiligi kursida qabul qilingan qoida bo'yicha aniqlanadi. Yuqoridagi ta'rifga asosan (5.3-rasm,v):

$$Q_k = (V_A - P_1 - P_2) \cos \varphi_k - P \sin \varphi_k$$

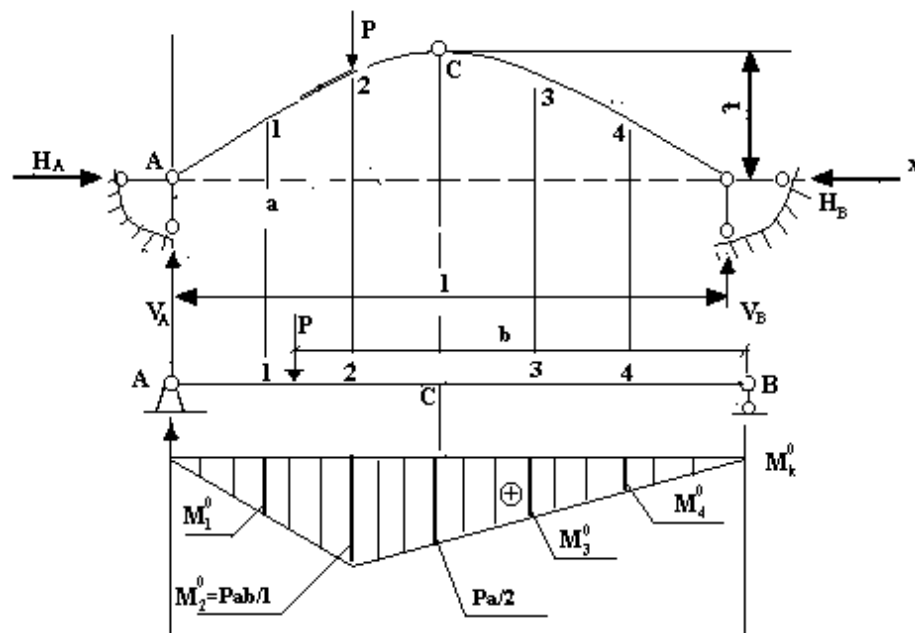
yoki

$$Q_k = Q_k^0 \cos \varphi_k - P \sin \varphi_k \quad (4.8)$$

bunda $Q_K^0 = V_A - P_1 - P_2$.

(4.4),(4.7) va (4.8) formulalarga asosan M_k ; N_k ; va Q_k epyuralarni qurish mumkin.

Eguvchi momentlar epyurasini qurish Vertikal yo'nalgan tashqi kuchlar ta'siridagi uch sharnirli arka uchun eguvchi momentlar epyurasini quramiz (5.5-rasm,a). (4.4) formulaga asosan, uch sharnirli arkaning eguvchi moment epyurasi oralig'i shu arka oralig'iga teng bo'lgan oddiy balkaning eguvchi moment epyurasi bilan $N_{y(x)}$ epyurasining ayirmasiga teng:

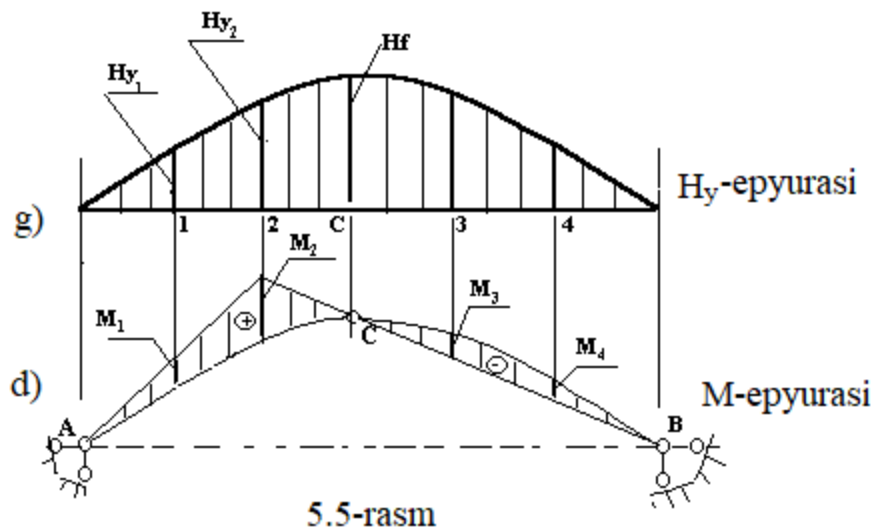


5.5-rasm

$$M_{(x)} = M_{k(x)}^0 - P_{y(x)}. \quad (4.4')$$

Uch sharnirli arkaning eguvchi moment epyurasini qurishda shu ifodadan foydalanish mumkin. Buning uchun arkaga qo'yilgani kabi yuklar bilan yuklangan oddiy balkaning eguvchi momenti $M^0(x)$ epyurasi bilan (5.5-rasm,v) arkaning har bir kesim og'irligi markazi ordinatisini keruvchi kuch N ga kopaytirib, $N_{y(x)}$ epyurasini quramiz (5.5-rasm,g). (4.4') formulaga asosan, uch sharnirli arkaning har bir kesimidagi eguvchi moment ordinatasi qurilgan $M^0(x)$ va $N_{y(x)}$ epyuralardan olingan tegishli ordinatalarning ayirmasiga teng bo'ladi (5.5- rasm,d).

Masalan: $M_1 = M_1^0 - Hy_1$; $M_2 = M_2^0 - Hy_2$; $M_C = M_C^0 - Hy_C = 0$ va hokazo.



Arka eguvchi moment epyurasidagi siniq chiziq A-1-2-S-3-4-V arkaning bosim ko'pburchagi deyiladi. Bosim ko'pburchagining har bir tomoni (A-1,1-2,2-S,.....) arka ko'ndalang kesimidagi zo'riqishlar teng ta'sir etuvchisining yo'nalishini ko'rsatadi (5.5 -rasm,a). Masalan, arkaning k kesimidan chap yoki o'ng tomonga joylashgan kuchlarning teng ta'sir etuvchisi R_{1-2} bo'ladi. Uni N_k va Q_k tuzuvchilarga ajratib, kesim og'irlik markaziga ko'chiramiz (4.5 - rasm,b). U holda eguvchi moment M_k ning miqdori quyidagicha bo'ladi:

$$M_k = N_k \cdot e_k$$

bunda e_k - bo'yлама kuchning ekstsentrisiteti.

Agar teng ta'sir etuvchi R_k arka o'qidan yuqoridan o'tsa, arkaning pastki tolalari chizilgan bo'ladi, u holda eguvchi moment musbat hisoblanadi, agar pastdan o'tsa M_k manfiy bo'ladi.

Uch sharnirli arka yoyilgan yuklar ta'sirida bo'lganda, uning bosim ko'pburchagi o'rniga egri chiziq hosil bo'ladi. Bu egri chiziq bosim egri chizig'i deyiladi. Bosim egri chizig'i arkaning zo'riqish holatini aniq ko'rsatib beradi va u arka o'qiga qanchalik yaqinlashsa, uning ko'ndalang kesimlaridagi eguvchi moment miqdori ancha kamayib boradi.

5.2-§. Uch sharnirli sistemalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

Arka o'qining ratsional shaklini tanlash. Ratsional o'qli arkalarining istalgan ko'ndalang kesimida faqat bo'ylama zo'riqish kuchi hosil bo'lib, arka siqilishga ishlaydi. Bunday arkalarining ko'ndalang kesim o'lchamlari eng ratsional ravishda aniqlangan bo'ladi.

Arka o'qining ratsional shaklini tanlash uchun misol tariqasida tekis yoyilgan yuklar ta'siridagi uch sharnirli arkani ko'rib chiqamiz (5.6- rasm,a). Bunday arkaning o'qi ratsional shaklli bo'lishi uchun uning istalgan ko'ndalang kesimidagi eguvchi moment nolga teng bo'lishi kerak:

$$M_{(x)} = M_{(x)}^0 - N_{y(x)} = 0 \quad (4.9)$$

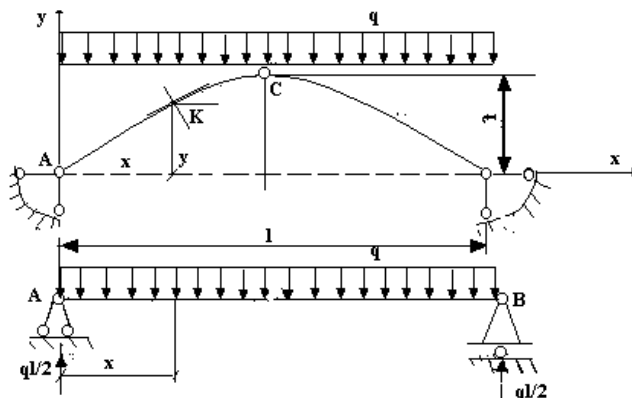
$$\text{bundan} \quad y_{(x)} = \frac{M_{(x)}^0}{N_{y(x)}}$$

ushbu ifoda arka o'qining ratsional shaklini umumiy holda ifodalovchi tenglamadir. Bunda $M(x)$ -oddiy balkaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi momenti (5.6- rasm,b).

$$M_{(x)}^0 = A_x - q \frac{x^2}{2} = \frac{q}{2}(\ell - x)x \quad (4.10)$$

(4.2) formulaga asosan, keruvchi reaksiya kuchi N ni aniqlaymiz:

$$N = \frac{M_c^0}{f} = \frac{1}{f} \left(q \frac{l^2}{4} - q \frac{l^2}{8} \right) = \frac{ql^2}{8f}. \quad (4.10')$$



5.6-rasm

(4.10) va (4.10') formuladagi $M^0(x)$ va

N ning qiymatini arkaning ratsional o'qi tenglamasi(4.9)ga ko'yamiz:

Agar vertikal yoyilgan yuklar ta'sirida bo'lgan uch sharnirli arkaning bosim chizig'i arka o'qiga mos kelsa, arkaning istalgan ko'ndalang kesimidagi eguvchi moment nolga teng bo'ladi. Bunday xususiyatga ega bo'lgan arka o'qi arkaning ratsional o'qi deyiladi.

Ratsional o'qli arkalarining istalgan ko'ndalang kesimida faqat bo'ylama zo'riqish kuchi hosil bo'lib, arka siqilishga ishlaydi. Bunday arkalarining ko'ndalang kesim o'lchamlari eng ratsional ravishda aniqlangan bo'ladi.

Arka o'qining ratsional shaklini tanlash uchun misol tariqasida tekis yoyilgan yuklar ta'siridagi uch sharnirli arkani ko'rib chiqamiz (5.6- rasm,a). Bunday arkaning o'qi ratsional shaklli bo'lishi uchun uning istalgan ko'ndalang kesimidagi eguvchi moment nolga teng bo'lishi kerak:

$$M_{(x)} = M_{(x)}^0 - N_{y_{(x)}} = 0 \quad (4.9)$$

$$\text{bundan} \quad y_{(x)} = \frac{M_{(x)}^0}{N_{y_{(x)}}}$$

ushbu ifoda arka o'qining ratsional shaklini umumiy holda ifodalovchi tenglamadir. Bunda $M(x)$ -oddiy balkaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi momenti (5.6-rasm,b).

$$M_{(x)}^0 = A_x - q \frac{x^2}{2} = \frac{q}{2}(\ell - x)x \quad (4.10)$$

(4.2) formulaga asosan, keruvchi reaksiya kuchi N ni aniqlaymiz:

$$N = \frac{M_c^0}{f} = \frac{1}{f} \left(q \frac{l^2}{4} - q \frac{l^2}{8} \right) = \frac{ql^2}{8f}. \quad (4.10')$$

(4.10) va (4.10') formuladagi $M^0(x)$ va

N ning qiymatini arkaning ratsional o'qi tenglamasi(4.9)ga ko'yamiz:

$$y_{(x)} = \frac{8f}{ql^2} (l - x)x \frac{q}{2} = \frac{4f}{l^2} (l - x)x$$

Demak,

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

bo'lgani uchun ushbu holda tekis taralgan yuk ta'siridagi arka o'qining ratsional shakli 'araboladir.

Uch sharnirli arkalarda ta'sir chiziqlar qurish.

Arkaning K kesimdagi N_k ning ta'sir chizig'ini nolinchii ordinata usuli bilan quramiz. Arkaning K kesimidagi bo'ylama kuchi $N_k = 0$ bo'lishi uchun $P = 1$ yuk

arkaning K kesimidan o'ng

tomonga qo'yilganda

R_A tayanch reaksiyasi arka

o'qining K nuqtasiga

o'tkazilgan urinmaga

'er'endikulyar ravishda

yo'nalgan blishi kerak. Demak,

N_k ning ta'sir chizig'i nolinchii

nuqta yordamida qo'yidagi

tartibda chiziladi (5.7-rasm, a).

1. R_A tayanch nuqtasini K

kesimga o'tkazilgan urinmaga

'er'endikulyar qilib

yo'naltiramiz. R_B tanyach

reaksiyasi avvalgidek C sharnir

orqali o'tib, D nuqtada R_A

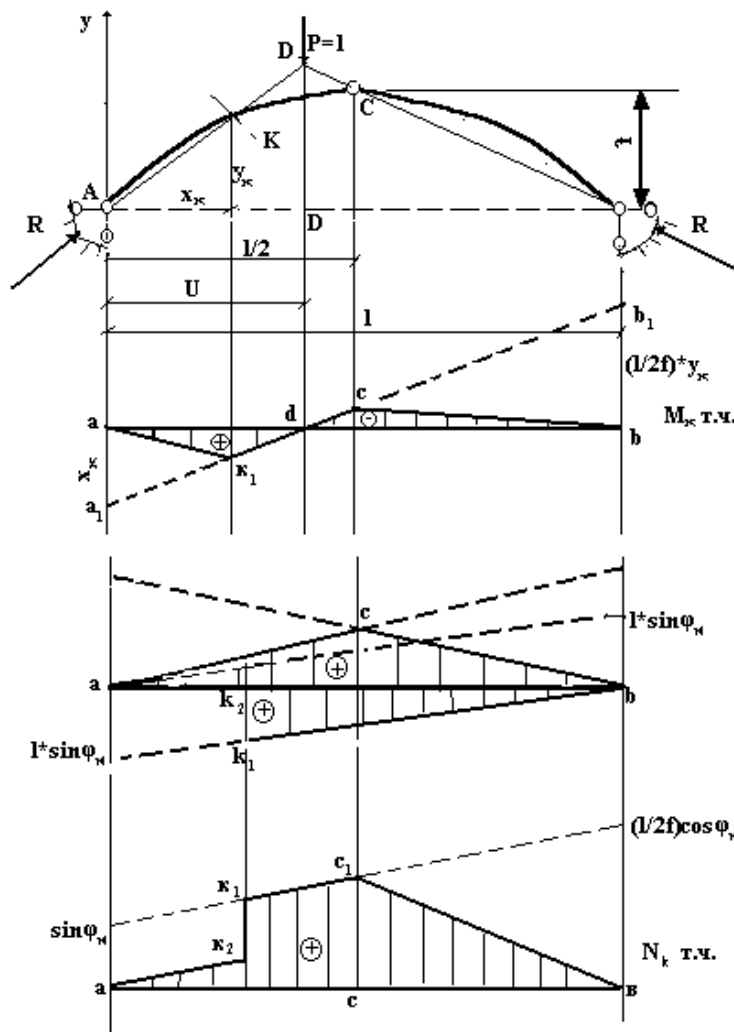
reaksiya yo'nalishi bilan

kesishadi. Agar $P = 1$ yuk D

nuqtadan o'tgan vertikal bo'yicha yo'nalib, arkaning $K - C$ qismiga ta'sir qilsa, K

kesimda $N_k = 0$ bo'ladi. Bu ordinata $P = 1$ yuk tagida (d nuqtada) bo'lishi kerak (5.7 -

rasm,b).



5.7-rasm

1. d nuqta orqali dab chiziq o'tkazamiz. Unda A tayanch ostidagi ordinata $aa_1 = \sin \varphi_k$ V tanyach ostidagi ordinata esa, $bb_1 = \frac{l}{2f} \cos \varphi_k$ bo'ladi. Bu chiziqning K_1S_1 qismi $R=1$ yuk K kesim bilan C sharnir orasida harakatlenganda N_k ning o'zgarishini ifodalaymiz.

$R=1$ yuk A tayanch bilan K kesim orasida harakatlenganda kesimdagi N_k zo'riqlashning o'zgarishini ko'rsatadi. K kesim ostida N_k ning ta'sir chizig'i doim K_1K_2 ma'lum masshtabda qo'yib, d nuqta orqali ab to'g'ri chiziq o'tkazamiz. U holda V tayanch ostidagi ordinata bb_1 bo'ladi. Chiziqning K_1dc_1 qismi $R=1$ yuk K kesimdan C sharnirgacha bo'lgan

Ta'sir chizig'ining AS oralig'ida bo'lgan kuchlarning teng ta'sir etuvchisini $R^{chap} = \sum'_{chap}$ deb, VS oralig'idagi kuchlarning teng ta'sir etuvchisini $R^{o'ng}$ va eng katta ordinata ustidagi kuchni R_{kr} (kritik yuk) deb qabul qilamiz. Kuchlar sistemasining bu vaziyatida (2.14) shartlarning qanoatlantirishi tekshiramiz. 5.7 rasmda ifodalangan kuchlar sistemasi o'ng yoki chap tomonlarga Δx masofaga siljitganda (2.15) va (2.16) formulalarga asosan aniqlangan ΔS orttirma (2.14) shartni qanoatlantirishi kerak. Bunda kuchlar sistemasi o'ng tomonga Δx masofaga siljisa, R_{kr} kuch o'ng kuchlarning teng ta'sir etuvchisiga, va aksincha, chap tomonga siljiganda esa chap kuchlarning teng ta'sir etuvchisiga qo'shiladi:

$$\Delta S_{o'ng} = R^{chap} \Delta_x \operatorname{tg} \alpha - (R^{o'ng} + P_{kr}) \Delta_x \operatorname{tg} \beta < 0$$

$$\Delta S_{chap} = -(R^{chap} + P_{kr}) \Delta_x \operatorname{tg} \alpha + R^{o'ng} \Delta_x \operatorname{tg} \beta < 0$$

5.7-rasmdan $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{a}$; $\operatorname{tg} \beta = \frac{h}{b}$ bo'ladi. Bu ifodalarni (2.14) tengsizlikka qo'yib

hamda uni h va Δx larga qisqartirib, quyidagini olamiz

$$\begin{aligned} \frac{R^{chap}}{a} - \frac{R^{o'ng} + m_{kr}}{b} < 0 \quad \text{yoki} \quad \frac{R^{chap}}{a} < \frac{R^{o'ng} + m_{kr}}{b} \\ \frac{R^{chap} + m_{kr}}{a} + \frac{R^{o'ng}}{b} < 0 \quad \frac{R^{chap} + m_{kr}}{a} > \frac{R^{o'ng}}{b} \end{aligned} \quad (2.18)$$

(2.18) tengsizliklar harakatlanuvchi kuchlar sistemasining noqulay vaziyatini belgilovchi sharlardir.

Agar qabul qilingan kritik kuch R_{kr} (2.18) tengsizlikni qanoatlantirmasa, boshqa kuchni R_{kr} deb qabul qilib (2.18) shartlar yana tekshirib ko'riladi. R_{kr} kuch aniqlangandan keyin, kuchlar sistemi S ta'siri chizig'i ustiga joylashtiriladi va inshootda xosil bo'ladigan zo'riqishning eng katta miqdori S_{max} (2.6) formulaga asosan hisoblanadi.

$$S_{max} = \sum P_i y_i - R^{chap} y_1 = R^{o'ng} y_2 = P_{kr} y_{max} \quad (2.19)$$

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) 5.8-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 oddy 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 gorizontal-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:

$$\sum M_C^{chap} = P \cdot 6,3 + q \cdot 3,6 \cdot 3,6/2 + H_A \cdot 5,94 - R_A \cdot 9 = 0$$

$$H_A = \frac{21,89 \cdot 9 - 4 \cdot 3,6 \cdot 3,6/2 - 5 \cdot 6,3}{5,94} = \frac{197,010 - 25,92 - 31,5}{5,94} = \frac{197,010 - 57,42}{5,94} = \frac{139,59}{5,94} = 23,50;$$

$$\sum X = 0 \text{ shartidan } H_B = H_A = 23,50; \quad \text{ekanligi kelib chiqadi.}$$

Rama tayanchlari oldidagi burchaklar 45^0 bo'lgani uchun $Y_{k_1} = 3,96$ ekanligini osongina aniqlash mumkin.

$$Y_{k_2} = f = 5,94 \text{ ekanligi sxemadan ko'rinib turibdi.}$$

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.

$$\begin{aligned} M_{k_1} &= R_A \cdot 3,96 - H_A \cdot 3,96 - P \cdot 1,26 = 21,89 \cdot 3,96 - 23,5 \cdot 3,96 - 5 \cdot 1,26 = \\ &= 86,684 - 93,06 - 6,3 = 86,684 - 99,36 = -12,676; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{k_2} &= R_B \cdot 6,3 - H_B \cdot 5,94 - q \cdot 6,3 \cdot 6,3/2 = 33,51 \cdot 6,3 - 23,50 \cdot 5,94 - 4 \cdot 6,3 \cdot 6,3/2 = 211,113 - 139,59 - \\ &- 79,380 = 211,113 - 218,97 = -7,857; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{k_1} &= R_A \cdot \sin 45^0 - H_A \cdot \cos 45^0 - P \cdot \cos 45^0 = 21,89 \cdot 0,7071 - 23,5 \cdot 0,7071 - 5 \cdot 0,7071 = \\ &= 15,4784 - 16,616 - 3,5355 = 15,4784 - 20,1515 = -4,6131; \end{aligned}$$

$$Q_{k_2} = -R_B + q \cdot 6,3 = -33,51 + 25,2 = -8,31$$

$$N_{k_1} = -R_A \cdot \cos 45^\circ - H_A \cdot \cos 45^\circ + P \cdot \cos 45^\circ = -21,89 \cdot 0,7071 - 23,50 \cdot 0,7071 + 5 \cdot 0,7071 = -15,4784 - 16,616 + 3,5355 = -32,0944 + 3,5355 = -28,5589;$$

$$N_{k_2} = -H_B = -23,50$$

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 quramiz:

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 gorizonta 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 gorizonta 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 $\cos 0^0 = 1$ 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 gorizonta l 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:

$$\begin{aligned} 1) \quad M_{k_2} &= -P \cdot 0,404 - q \cdot (0,809 + 1,349) / 2 \cdot 3,6 - 1,349 \cdot 1,5869 \cdot 0,5 \cdot q + q \cdot 0,946 \cdot 1,1131 \cdot 0,5 + \\ &+ 0,946 \cdot 6,3 \cdot 0,5q = -2,02 - 15,537 - 4,279 + 2,1059 + 11,919 = -21,836 + 14,0249 = -7,811; \\ 2) \quad Q_{k_2} &= -P \cdot 0,15 - q(0,3 + 0,5) / 2 \cdot 3,6 - q(0,5 + 0,65) / 2 \cdot 2,7 + q \cdot 0,35 \cdot 6,3 \cdot 0,5 = \\ &= -0,75 - 5,76 - 6,21 + 4,41 = -12,72 + 4,41 = -8,31; \\ 3) \quad N_{k_2} &= -P \cdot 0,2272 - q(0,4545 + 0,7575) / 2 \cdot 3,6 - q \cdot 0,7575 \cdot 9 \cdot 0,5 = -1,136 - 8,7264 - 13,635 = \\ &= -23,4974; \end{aligned}$$

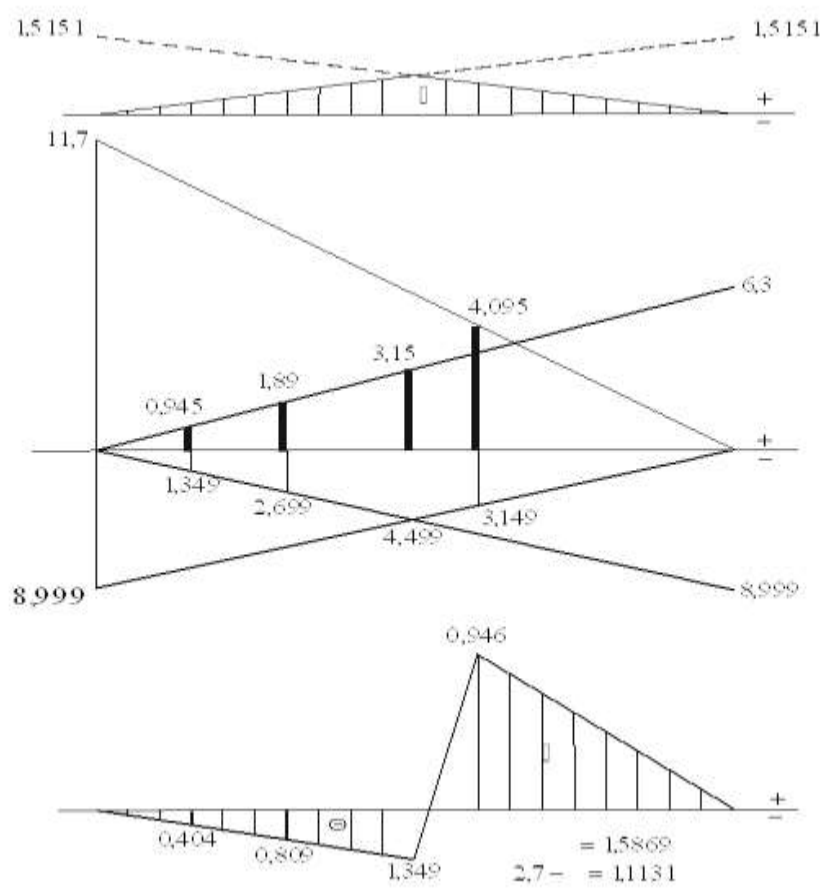
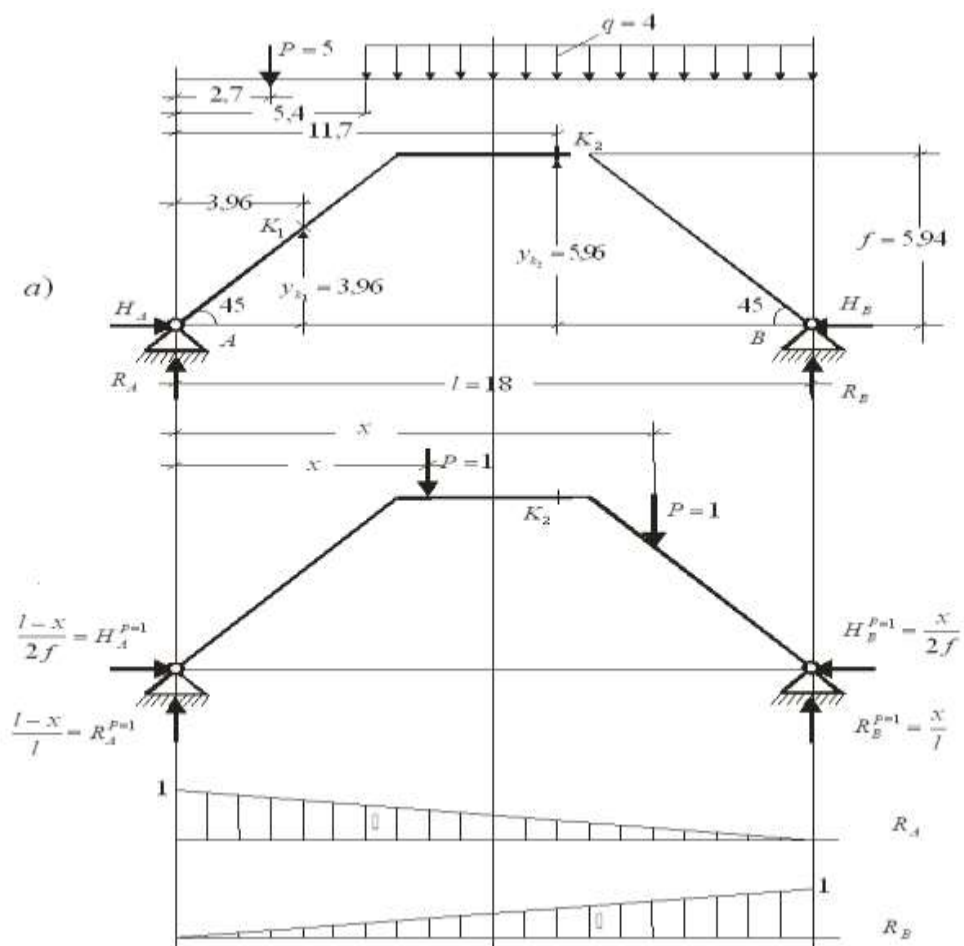
5. Endi analitik hisob natijalarini ta'sir chizig'i natijalari bilan solishtiramiz:

$$1) \quad \frac{(M_{k_2^{anal}} - M_{k_2^{t.ch}}) \cdot 100\%}{M_{k_2^{t.ch}}} = \frac{(-7,857 + 7,811) \cdot 100\%}{7,811} = 0,5889\% \quad \text{xatolik}$$

$$2) \quad \frac{(Q_{k_2^{anal}} - Q_{k_2^{t.ch}}) \cdot 100\%}{Q_{k_2^{t.ch}}} = \frac{(-8,31 + 8,31) \cdot 100\%}{8,31} = 0,0\% \quad \text{xatolik}$$

$$3) \quad \frac{(N_{k_2^{anal}} - N_{k_2^{t.ch}}) \cdot 100\%}{N_{k_2^{t.ch}}} = \frac{(-23,5 + 23,4974) \cdot 100\%}{23,4974} = 0,0127\% \quad \text{xatolik}$$

Bu xatoliklarning juda kichikligi hisoblashlar yuqori aniqlikda bajarilganligini bildiradi.



Tayanch iboralar:

Uch sharnirli arka, rama, vertikal reaksiya, keruvchi reaksiya, ko'tarilish balandligi, tortkich, statika tenglamalari, kesimning momenti, oddiy balka uchun kesimning momenti, kesuvchi kuch, kesimning urinmasi, kesimning normali, oddiy balka kesimining kesuvchi kuchi, urinmaning gorizonta bilan hosil qilgan burchagi, ratsional o'q, parabola.

Test savollari.

1. O'zaro bitta sharnir va zamin bilan ikkita qo'zg'almas sharnirli tayanchlar bilan biriktirilgan ikki egri brusdan iborat goemetrik o'zgarmas sistema nima deb ataladi?

ikki sharnirli arka

uch sharnirli arka

sharnirsiz arka

arkasimon fermalar

2. Qurilishda arkalarining qanday turlari qo'llaniladi?

bir sharnirli, sharnirsiz va murakkab sharnirli

ikki sharnirli, uch sharnirli va sharnirsiz

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 rama

sharnirsiz rama

uch sharnirli arka

uch sharnirli arkasimon ferma

5. Arkalar balkalardan nimasi bilan farq qiladi?

dinamik kuchning mavjudligi bilan
kerki kuchining mavjudligi bilan
vertikal kuchning mavjudligi bilan
o'qining egriligi uchun

6. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi ichki kuchlar qanday usullar yordamida aniqlanadi?

kinematik va kesish
analitik va ta'sir chizig'i
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?

tayanch reaksiyalar hosil bo'lmaydi
bir-biridan farqli
biri-biriga teng
tashqi kuchlarning teng ta'sir etuvchisiga teng

9. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment qaysi formuladan aniqlanadi?

A. $M_k = M_k^o - R_A \cdot y_k$

B. $M_k = M_k^o - H \cdot x_k$

S. $M_k = M_k^o - H \cdot y_k$

D. $M_k = M_k^o - R_B \cdot y_k$

10. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi ko'ndalang kuch qaysi formuladan aniqlanadi?

A. $Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k - H \cdot \sin \varphi_k$

B. $Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k + H \cdot \sin \varphi_k$

S. $Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k - R_A \cdot \sin \varphi_k$

D. $Q_k = Q_k^o \cdot \cos \varphi_k - R_B \cdot \sin \varphi_k$

11. Uch sharnirli arkaning ixtiyoriy kesimidagi bo'ylama qaysi formuladan aniqlanadi?

A. $N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k + H \cdot \cos \varphi_k)$

B. $N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k - H \cdot \cos \varphi_k)$

S. $N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k + R_A \cdot \cos \varphi_k)$

D. $N_k = (Q_k^o \cdot \sin \varphi_k + R_B \cdot \cos \varphi_k)$

12. Arkaning maqbul(ratsional) o'qi deb nimaga aytiladi?

eguvchi momentlar maksimumga erishadigan arka o'qi

ko'ndalang kuchlar nolga teng bo'lgan arka o'qi

S. bo'ylama kuchlar nolga teng bo'lgan arka o'qi

D. eguvchi momentlari nolga teng bo'lgan arka o'qi

13. Uch sharnirli sistemalarda ta'sir chiziqlari qaysi usulda chiziladi?

statik

analitik

kinematik

ta'sir chiziqlarini qo'shish va nol nuqta

Nazorat savollari:

1. Uch sharnirli sistema turlarini aytib bering?

2. Uch sharnirli sistemalarda tortqich nima uchun qo'yiladi?

3. Uch sharnirli rama(arka)larda tayanch reaksiyalari va tortqichlardagi zo'riqishlar qanday aniqlanadi?

4. Topilgan reaksiyalarning to'g'riligi qanday tekshiriladi?

5. Uch sharnirli rama (arkalar) da qanday ichki zo'riqishlar hosil bo'ladi?
6. Sterjenning eguvchi moment ekstremal qiymatlariga erishgan kesimlarida kesuvchi kuch nimaga teng bo'ladi?
7. To'plangan kuch qo'yilgan kesimlarda eguvchi moment va kesuvchi kuch qanday o'zgaradi? Misollar keltiring.
8. Uch sharnirli arkalar ichki zo'riqishlari formulalaridagi oddiy balka uchun eguvchi moment va kesuvchi kuchlar nima?
9. Kesimga juft kuch (moment) qo'yilgan kesimda eguvchi moment va kesuvchi kuch qanday o'zgaradi?
10. Tashqi moment quyilmagan sharnirda eguvchi moment nimaga teng?

Onlayn masofaviy o'qitish usullari

Talaba tomonidan V-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.

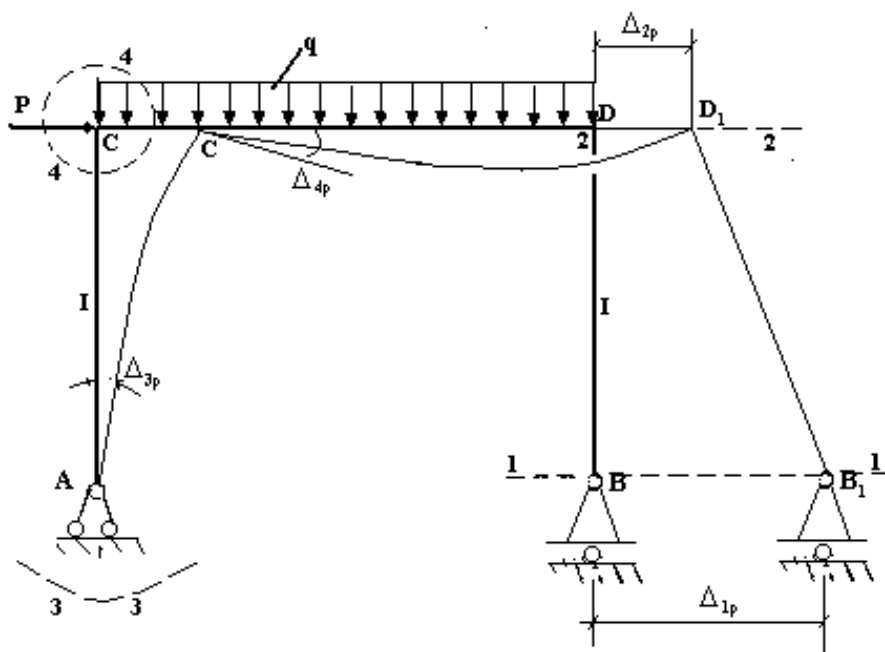
Tyutor talaba tomonidan bajarib jo'natilgan topshiriq taqdimnomasini ochadi, uni tekshiradi, kamchilik va mulohazalarni yozish joyida bildiradi va jo'natiladi. Tyutor tomonidan baholanadi va saqlash uchun (сохранит все оценки) tugmasi bosiladi.

VI- BOB. ELASTIK SISTEMALARDAGI KO'CHISHLARNI ANIQLASH.

6.1-§. Elastik sistemalardagi ko'chishlar.

Ko'chishlar va ularni belgilash. Tashqi kuchlar, temperatura o'zgarishi yoki tayanchlarning qo'zg'alishi ta'sirida inshoot elementlarining geometrik o'lchamlari o'zgaradi va bu o'zgarishi deformatsiyasi deyiladi. Inshoot deformatsiyalanganda uning deyarli hamma nuqtalari uzining koordinatalarini o'zgartirib, yangi vaziyatni oladi.

Deformatsiya natijasida inshoot nuqtalarining berilgan holatdan yangi holatga o'tishi ko'chish deyiladi. Masalan, 6.1-rasmda ko'rsatilgan sinik sterjen tashqi kuchlar (yuklar) ta'sirida deformatsiyalanib, yangi holatni egallaydi.



6.1-rasm

Ung tayanch V holatdan V₁ holatga ko'chsin. Bu VV₁ ko'chish gorizontaal ko'chish deyiladi. A kesim biror burchakka buriladi, S va D tugunlar ham gorizontaal ko'chish bilan birga biror burchakka buriladi. Inshoot nuqtalarining ko'chishlari va kesimlarining burilishi burchagini bilan belgilaymiz. Birinchi indeks kesim ko'chishining yo'nalishini, ikkinchi -indeks esa bu ko'chishning hosil bo'lish sababini ko'rsatadi. Masalan, 6.1-rasmda ko'rsatilgan sxemada bir necha nuqtalarning ko'chishlarni belgilaymiz: Δ_{1p} -V qismning 1-1 yo'nalishi bo'yicha

tashqi (R va q) kuchoar ta'sirida ko'chishi; Δ_{2p} - D tugunning gorizontal 2-2 yo'nalish bo'yicha tashqi (R va q) kuchlar ta'sirida ko'chishi ; Δ_{3p} -A kesimning 3-3 yo'nalish bo'yicha R va q kuchlar ta'siridan ko'chishi; Δ_{4p} -S tugunning 4-4 yo'nalish bo'yicha R va q kuchlar vujudga keltirgan burilish burchagi.

Deformatsiyanuvchi sistemalar quyidagi xususiyatlarga ega deb qabul kilinadi: 1) sistemaning materiali ideal elastik va chiziqli deformatsiyanuvchi; 2) yuklar ta'sirida sistemaning asosiy ulchamlari deyarli o'zgarmaydi; 3) kuchlar ta'siri Mustaqillik 'rintsi'iga bo'ysunadi; 4) materialning istalgan nuqtasidagi kuchlanish proportsionallik chegarasidan oshmaydi.

Birlik kuch ($P=1$) ta'siridan vujudga kelgan ko'chishni δ bilan belgilaymiz va u birlik ko'chish deb ataladi. 6.2-rasmda birlik kuch ta'sirida vujudga kelgan birlik

$$\Delta_{ip} = \delta_{i1}p_1 + \delta_{i2}p_2 + \dots + \delta_{in}p_n = \sum_k^n \delta_{ik}p_k \quad \text{ko'chishlar ko'rsatilgan; } \delta_{11} - \text{birlik } P_1$$

kuch yo'nalishi bo'yicha $P_1=1$ ta'siridan hosil bo'lgan ko'chish;

δ_{21} -ikkinchi birlik kuch yo'nalishi bo'yicha $P_1=1$

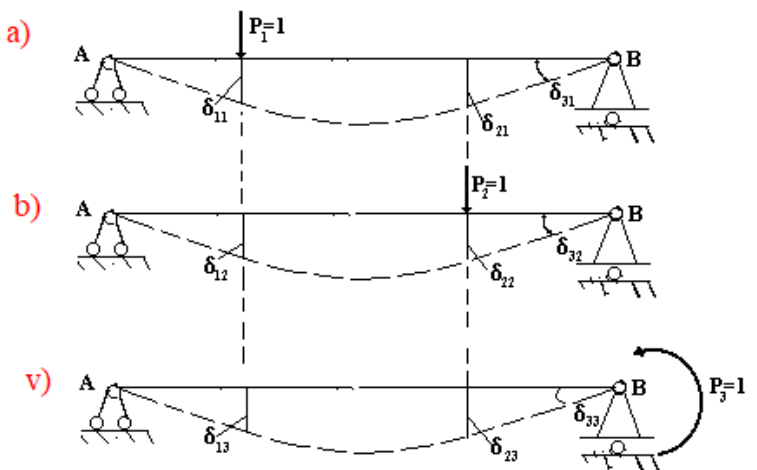
ta'siridan vujudga kelgan ko'chish; δ_{31} -uchinchi birlik

kuch yo'nalishi bo'yicha $P_1=1$ ta'siridan vujudga kelgan

ko'chish. Kuchlar ta'sirining mustaqillik printsipiga asosan $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ kuchlardan biror yo'nalish bo'yicha hosil bo'lgan to'la ko'chish Δ_{ip} har bir kuch ta'siridan shu yo'nalish bo'yicha alohida aniqlangan ko'chishlarning yig'indisiga teng:

$$\Delta_{ip} = \alpha_{pi} \quad (6.1)$$

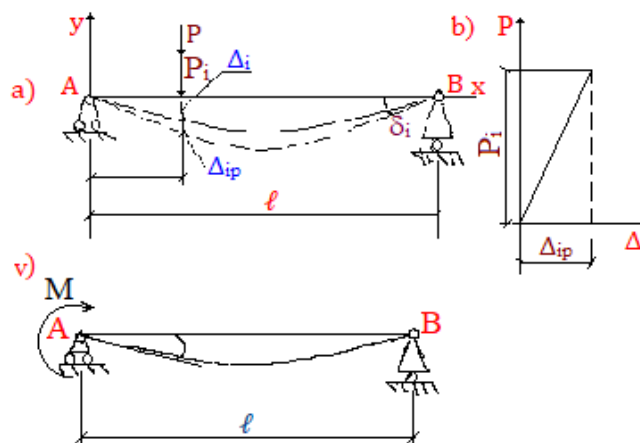
Bu formulada to'la ko'chish - tashqi kuchlarga nisbatan chiziqli funktsiyadir.



6.2-rasm

Tashqi kuchlarning bajargan ishi.

Agar elastik sistemaga qo'yilgan kuchlar noldan boshlab asta-sekin, bir me'yorda ortib borsa, bunday kuchlar statik qo'yilgan kuchlar deyiladi. Bu tarzda qo'yiladigan kuchlar miqdorining asta-sekin ortishi natijasida elastik inshoot qismlarida hosil bo'ladigan deformatsiyaning o'sish tezligi juda kichik bo'ladi. Shuning uchun inshootning harakatlanayotgan massalarida hosil bo'ladigan inertiya kuchlarini hisobga olmasa ham bo'ladi. Bu shartga ko'ra, deformatsiyaning jarayonida tashqi kuchlar bilan ichki elastik zo'riqishlar orasida doim muvozanat saqlanadi. 6.3-rasm, a da tasvirlangan sistema statik qo'yilgan P_i kuchning ta'sirida deformatsiyanadi. Elastik sistemada har qanday nuqtalarning ko'chishi (Guk qonuniga asosan) uni hosil qiluvchi tashqi kuch miqdoriga to'g'ri proporsionaldir (6.3-rasm, b):



6.3-rasm

$$\Delta_{ip} = \alpha P_i \quad (6.2)$$

bunda Δ_{ip} - kuch P_i dan shu kuch yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan ko'chish. Bu ko'chish haqiqiy ko'chish deyiladi. α - inshoot elementlari va o'lchamlariga va uning materialiga bog'liq bo'lgan koeffitsient.

Agar tashqi P_i kuch miqdoriga cheksiz kichik dP_i ortirma berilsa, kuch qo'yilgan nuqta qo'shimcha $d\Delta_{ip}$ miqdorga ko'chadi va $P_i + dP_i$ kuch o'zi qo'yilgan nuqta bilan shu miqdorga siljib ish bajaradi. Bu kuchning $d\Delta_{ip}$ ko'chishda bajargan elementar ishi :

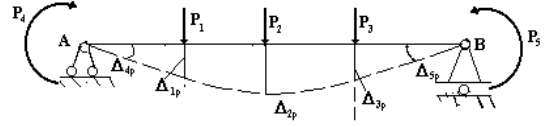
$$dA = (P_i + dP_i)d\Delta_{ip} = P_i d\Delta_{ip} + dP_i d\Delta_{ip}$$

Bu ifodada $dP_i d\Delta_{ip}$ ikkinchi tartibli cheksiz kichik miqdor bo'lgani uchun uni e'tiborga olmasa ham bo'ladi. U holda :

$$dA = P_i d\Delta_{ip} = \alpha P_i dP_i \quad (5.3)$$

Bu ifodani integrallab, statik qo'yilgan P_i kuchning to'la bajargan ishi miqdorini aniqlaymiz:

$$A = \alpha \int_0^{P_i} P_i dP_i = \frac{\alpha m_i^2}{2} = \frac{m_i \Delta_{ip}}{2} \quad (5.3) \quad 6.4 \text{ -rasm.}$$



A -tashqi kuchning haqiqiy bajargan ishi deb ataladi. Shunday qilib, tashqi kuchning haqiqiy bajargan ishi shu kuchni, uning yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan ko'chish miqdoriga ko'paytmasining yarmiga teng. Agar sistemaga moment M ga teng bo'lgan juft kuch statik ravishda qo'yilgan bo'lsa, uning bajargan haqiqiy ishi yuqorida bayon etilgan mulohazaga asosan aniqlanadi (5.3-rasm,v) :

$$A = \frac{M\varphi}{2} \quad (5.3').$$

Bunda φ -juft kuch qo'yilgan ko'ndalang qismining burilish burchagi.

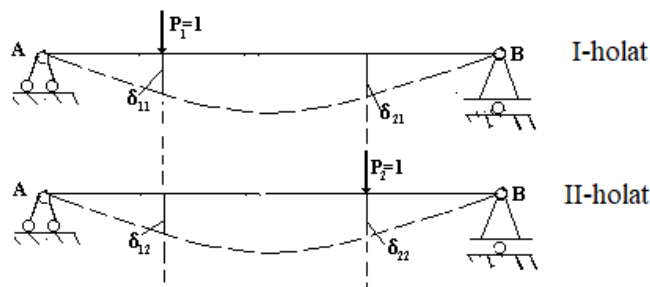
Ish tushunchasini umumlashtirish uchun elastik sistemaga qo'yilgan har qanday faktorlarini (R , M va xokazo) umumlashtirilgan kuch deb qaraymiz. Elastik sistemaning deformatsiyalangan holatini to'la aniqlaydigan va o'zaro bog'liq bo'lmagan ko'chishlar umumlashtirilgan ko'chishlar deb ataladi.

Umumlashtirilgan ko'chishlar umumlashtirilgan ko'chishlarga mos bo'lishi kerak, ya'ni ularning ko'paytmasining yarmi umumlashtirilgan kuch bajargan ishni berishi lozim. Shunga ko'ra umumlashtirilgan kuch P_i ga umumlashtirilgan koordinata Δ_{ip} va umumlashtirilgan juft kuch momenti M_i qo'yilgan bo'lsa, unga mos kelgan umumlashtirilgan koordinata bo'ladi. Bundan keyin umumlashtirilgan kuchlarni P_i umumlashtirilgan koordinatalarni Δ_{ip} deb belgilaymiz.

Agar inshootga statik umumlashtirilgan kuchlar gruppasi qo'yilgan bo'lsa (5.4 -rasm), u holda uning bajargan to'la ishi har bir umumlashtirilgan kuchning o'ziga mos kelgan umumlashtirilgan ko'chishida bajargan ishlar yigindisiga teng bo'ladi.

$$A = \frac{P_1 \Delta_{1p}}{2} + \frac{P_2 \Delta_{2p}}{2} + \dots + \frac{P_5 \Delta_{5p}}{2}, \quad \text{ya'ni}$$

$$A = \sum \frac{P_i \Delta_{ip}}{2} \quad (5.4)$$



6.5-rasm

Demak, elastik sistemaga statik

qo'yilgan tashqi kuchlar o'z yo'nalishlari

bo'yicha shu kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishlarda (5.4) ifoda bilan aniqlanadigan ish bajariladi. Bu ish tashqi kuchlarning bajargan haqiqiy ishi deb atalib, ko'chishlar yo'nalishi ularni vujudga keltiruvchi kuchlar yo'nalishiga mos kelgani uchun hamma vaqt musbat ishorali bo'ladi.

Ishlarning va ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremlari.

Ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi. Elastik sistemaning quyidagi ikki holatini tekshiramiz (5.10-rasm): I- holatda oddiy balkaga faqat bitta $P_1 = 1$ kuch (birlik kuch) va II- holatda ikkinchi birlik kuch $P_2 = 1$ qo'yilgan bo'lsin. Bunday holatlar birlik holatlar deyiladi. Ikkala holat uchun ishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi ifodasi (5.15) ni yezamiz :

$$A_{12} = A_{21} \quad \text{yoki} \quad P_1 \delta_{12} = P_2 \delta_{21}$$

$P_1=1$ va $P_2=1$ bo'lganligi uchun bu ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\delta_{12} = \delta_{21} \quad (5.21)$$

bunda δ_{12} birlik kuch P_1 yo'nalishi bo'yicha ikkinchi birlik kuch P_2 hosil qilgan birlik ko'chish; δ_{21} -birlik kuch P_2 yo'nalish bo'yicha $P_1=1$ kuch ta'sirida hosil bo'lgan birlik ko'chish.

(5.21) tenglikni har kandy birlik kuchlar ($R_i = 1$ va $R_k = 1$) dan hosil bo'lgan birlik ko'chishlar uchun umumiy ko'rinishda yozamiz:

$$\delta_{ik} = \delta_{ki} \quad (5.21)$$

Bu tenglik birlik ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi deyiladi va quyidagicha o'qiladi: elastik sistemada birlik kuch P_i yo'nalishi bo'yicha ikkinchi birlik kuch $P_k = 1$ hosil qilgan ko'chish ikkinchi birlik kuch P_k yo'nalishi bo'yicha birinchi birlik kuch P_i dan hosil bo'lgan ko'chishga teng.

Ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasini 5.11-rasmda ko'rsatilgan balkaning ikkala holatiga tadbqiq etamiz. I- holatda balkaga birlik kuch $P_1 = 1$, II- holatda esa birlik moment $M_2=1$ qo'yilgan bo'lsin (5.11-rasm a va b). I-holatdagi $P_1 = 1$ kuchdan birlik moment yo'nalishi bo'yicha burilish burchagi $\varphi_B = \delta_{21}$ hosil bo'ladi. II-holatdagi $M_2=1$ momentdan $P_1=1$ kuch yo'nalishi bo'yicha chiziqli birlik ko'chish δ_{12} hosil bo'ladi. Ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi (5.21) ga asosan bu birlik ko'chishlar teng bo'lishi kerak: $\delta_{21} = \delta_{12}$.

Har bir holat uchun birlik ko'chishlarning miqdorlarini aniqlaymiz.

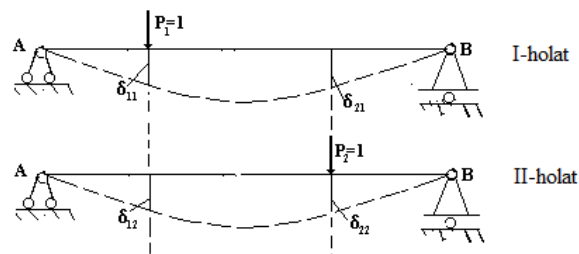
$$\text{I-holatda } \delta_{21} = \varphi_B = \frac{\ell \cdot \ell^2}{16EI}, \quad \text{II-holatda } \delta_{12} = \frac{\ell \cdot \ell^2}{16EI}.$$

Bunda δ_{21} burchakli ko'chish va δ_{12} chiziqli ko'chish bo'lsa ham, ular birlik ko'chish bo'lgani uchun bir xil o'lchamga ega.

I-holatda tashqi ixtiyoriy kuch P_1 dan hosil bo'lgan burchakli ko'chish quyidagicha ifodalanadi.

$$\Delta_{21} = P_1 \delta_{21} \text{ bundan } \delta_{21} = \frac{\Delta_{21}}{P_1} \text{ va uning}$$

$$\text{ulchov birligi } [\delta_{21}] = \frac{[\Delta_{21}]}{P_1} = \frac{\text{radian}}{kg} = kg^{-1}.$$



Balkaning II holatida tashqi momentdan

6.6-rasm.

hosil bo'lgan chiziqli ko'chish quyidagicha yoziladi:

(5.21) tenglikni har qanday birlik kuchlar ($P_i=1$ va $P_k=1$) dan hosil bo'lgan birlik ko'chishlar uchun umumiy ko'rinishda yozamiz:

$$\delta_{ik} = \delta_{ki} \quad (5.21)$$

Bu tenglik birlik ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi deyiladi va quyidagicha o'qiladi: elastik sistemada birlik kuch P_i yo'nalishi bo'yicha ikkinchi birlik kuch $P_k=1$ hosil qilgan ko'chish ikkinchi birlik kuch P_k yo'nalishi bo'yicha birinchi birlik kuch P_i dan hosil bo'lgan ko'chishga teng.

Ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasini 5.11-rasmda ko'rsatilgan balkaning ikkala holatiga tadbqiq etamiz. I- holatda balkaga birlik kuch $P_1=1$, II-holatda esa birlik moment $M_2=1$ qo'yilgan bo'lsin (5.11-rasm a va b). I- holatdagi $P_1=1$ kuchdan 5.11-rasm.

birlik moment yo'nalishi bo'yicha burilish burchagi $\varphi_B=\delta_{21}$ hosil bo'ladi. II-holatdagi $M_2=1$ momentdan $P_1=1$ kuch yo'nalishi bo'yicha chiziqli birlik ko'chish δ_{12} hosil bo'ladi. Ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi (5.21) ga asosan bu birlik ko'chishlar teng bo'lishi kerak: $\delta_{21}=\delta_{12}$.

Har bir holat uchun birlik ko'chishlarning miqdorlarini aniqlaymiz.

$$\text{I-holatda } \delta_{21} = \varphi_B \frac{1 \cdot l^2}{16EI}, \quad \text{II-holatda } \delta_{12} = \frac{1 \cdot l^2}{16EI},$$

Bunda δ_{21} burchakli ko'chish va δ_{12} chiziqli ko'chish bo'lsa ham, ular birlik ko'chish bo'lgani uchun bir xil o'lchamga ega.

I-holatda tashqi ixtieriy kuch P_1 dan hosil bo'lgan burchakli ko'chish quyidagicha ifodalanadi.

$$\Delta_{21} = P_1 \delta_{21} \quad \text{bundan} \quad \delta_{21} = \frac{\Delta_{21}}{P_1} \quad \text{va uning ulchov birligi.}$$

$$[\delta_{21}] = \frac{[\Delta_{21}]}{[P_1]} = \frac{\text{radian}}{\text{kg}} = \text{kg}^{-1}$$

Balkaning II-holatida tashqi momentdan hosil bo'lgan chiziqli ko'chish quyidagicha yechiladi:

$$\Delta_{12} = M_2 \delta_{12}, \quad \text{bundan} \quad [\delta_{12}] = \frac{[\Delta_{12}]}{[M_2]} = \frac{\text{radian}}{\text{kg}} = \text{kg}^{-1}.$$

Shunday qilib δ_{12} va δ_{21} birlik ko'chishlarning ulchov birliklari ham bir xildir δ_{11} va δ_{22} ning ulchov birliklarini ham yuqorida aytilgan mulohazalarga asosan aniqlasak, I- holatda tashqi kuch P_1 dan shu kuch yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan

chiziqli ko'chish $\Delta_{11} = P_1 \delta_{11}$ hamda II- holatda tashqi moment M_2 dan shu moment yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan burchakli ko'chish $\Delta_{22} = M_2 \delta_{22}$ bo'ladi. Bundan esa quyidagi hosil bo'ladi:

$$\frac{[\delta_{22}]q[\Delta_{22}]}{[M_2]} = \frac{q \text{radian}}{kg \cdot sm} = q kg^{-1} \cdot sm^{-1}.$$

Mustaqil ishlash va nazorat savollari :

1. Ko'chish deganda nimani tushunasiz?
2. Ko'chish qanday belgilanadi?
3. Ko'chishlar qanday vujudga keladi?

Ko'chishlarni aniqlashning umumiy formulasi. (Mor formulasi).

Vereshchagen usulida aniqlash. Elastik sistemaga statik ravishda qo'yilgan tashqi kuchlardan va temperato'raning o'zgarishidan hosil bo'lgan ko'chishlarni aniqlash formulasini keltirib chiqarish yuqorida ko'rilgan kuchning bajara oladigan ishlar teoremasiga asoslangan.

Masalan, 5.12-rasm,a da tasvirlangan tashqi kuchlar ta'siridagi sistemaning biror B nuqtasidan vertikal yo'nalishi bo'yicha chiziqli ko'chishi Δ_{ip} ni aniqlash kerak bo'lsin. Bu masalani hal qilishda kuchning bajara oladigan ishlar teoremasini tatbiq etamiz. Buning uchun sistemaning ikki holatini tekshiramiz: I-holatda berilgan sistema tashqi kuchlar ta'sirida bo'ladi (berilgan holat); II-holatda esa berilgan sistema tashqi kuchlar ta'siridan ozod qilinadi, unga faqat izlanayotgan ko'chish yo'nalishi bo'yicha birlik kuch $P_i = 1$ qo'yilgan bo'ladi (5.12-rasm,b).

Birlik kuch qo'yilgan II-holatni asosiy holat deb qabul qilamiz va tashqi kuchlar ta'siridan hosil bo'lgan I-holatdagi ko'chishlarni mumkin bo'lgan ko'chish deb, (5.20) tenglikni tatbiq etamiz. Bunda ikkinchi holatdagi $P_i = 1$ birlik kuchning I-holatdagi tashqi kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishda bajara oladigan ishi $A_{II,I}$ ga II-holatga ichki zo'riqish kuchlarining birinchi holatda hosil bo'lgan ko'chishlarda bajara oladigan ishi II,I ga teng bo'ladi. Bu bajarilishi mumkin bo'lgan ishlarni aniqlaymiz. II-holatdagi birlik kuch $P_i = 1$ izlanayotgan ko'chish Δ_{ip} bo'yicha yo'nalganligi sababli, uning bajara oladigan ishi

$$A_{II,I} = 1 \cdot \Delta_{ip} \quad \text{bo'ladi.} \quad (5.12)$$

II holatdagi ichki zo'riqish kuchlarning bajara oladigan ishi II,I ni aniqlash uchun I va II holatlardan ixtiyoriy x masofada cheksiz kichik dx uzunlikdagi elementlarni ajratib, ularga tegishli ichki kuchlar ta'sir ettiramiz (5.13-rasm, a va b). I-holatdagi ajratilgan elementga tashqi kuchlarning ta'siridan hosil bo'lgan eguvchi moment M_p , bo'ylama kuch N_p va ko'ndalang kuch Q_p qo'yilgan bo'ladi. Bu zo'riqishlarning har birining elementga ta'sirini tekshiramiz. Eguvchi moment M_p ta'sirida ikki qo'shni kesimlar bir-biriga nisbatan

$\Delta\varphi$ burchakka buriladi va uning miqdori (5.6) formulaga asosan aniqlanadi:

$$\Delta\varphi = \frac{M_p dx}{EI}. \quad (a)$$

Bo'ylama kuch N_p ta'sirida esa element Δx dx miqdorga cho'ziladi. Bu cho'zilish Guk qonuniga asosan

$$\Delta dx = \frac{N_p dx}{EF}.$$

(b)

Ko'ndalang kuch Q_p ta'sirida elementning chap va uning ko'ndalang kesimlari bir-birlariga nisbatan siljiydi (5.6-

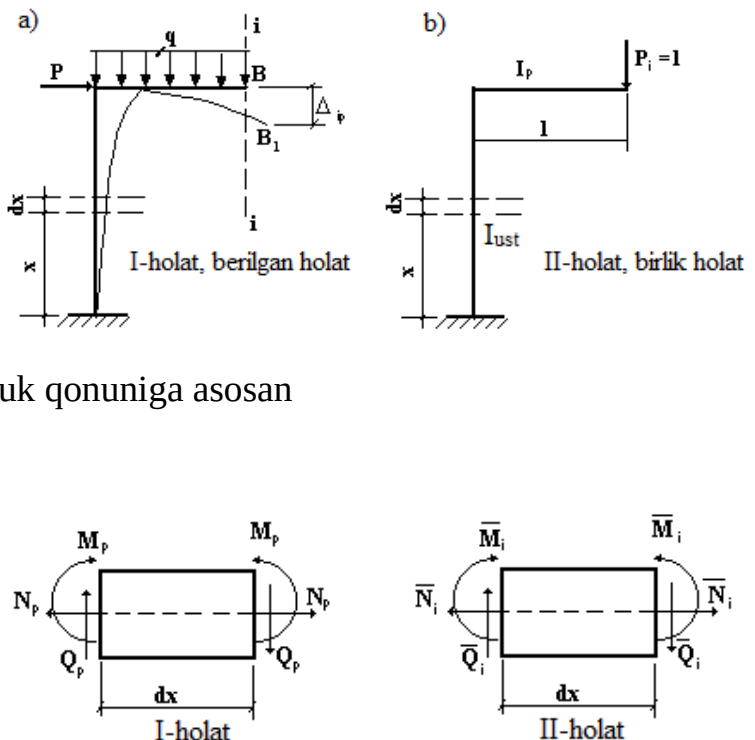
rasm,a). Bu siljishning miqdori Guk qonuniga asosan

$$\Delta\gamma = \frac{Q_p dx}{GF} \eta.$$

(v)

II- holatdagi ajratilgan elementga birlik kuch $P_i=1$

ta'sirida hosil bo'lgan ichki zo'riqish M_i , N_i , Q_i lar qo'yilgan bo'ladi. I- holatdagi dx elementning $\Delta\varphi$, Δdx , $\Delta\gamma$ ko'chishlari II- holatdagi zo'riqishlar M_i , N_i , Q_i ga nisbatan



mos ravishda mumkin bo'lgan ko'chishlar bo'ladi. Bunda II- holatdagi sistemaning M_i , N_i , Q_i zo'riqish kuchlarining bajara oladigan ishi quyidagicha aniqlanadi:

$$W_{II,I} = \sum \int_a^b \overline{M}_i \Delta \varphi + \sum \int_a^b \overline{N}_i \Delta dx + \sum \int_a^b \overline{Q}_i \Delta \gamma \quad (5.22)$$

bu yerda integral ostidagi ifodalar dx uzunlikdagi element ichki kuchlarning bajara oladigan ishini ifodalaydi. Integrallar a dan b gacha oraliqdagi element ichki kuchlarining bajara oladigan ishini beradi. $\sum$ ishora esa, sistemaning hamma oraliqlaridagi ichki kuchlarning bajara oladigan ishlari yigindisini ifodalaydi.

(5.22) formuladagi ko'chishlarni (a), (b) va (v) larga asosan ichki kuchlar orqali yozamiz:

$$W_{II,I} = \sum_{i=1}^n \int_0^{a_i} \overline{N}_i \frac{N_p}{EF} dx + \sum_{i=1}^n \int_0^{a_i} \overline{M}_i \frac{M_p}{EI} dx + \sum_{i=1}^n \mu \int_0^{a_i} \overline{Q}_i \frac{Q_p}{GF} dx. \quad (5.22)$$

(5.20) ga asosan (5.12) va (5.22') ifodalarga bajara oladigan ishlarni bir-biriga tenglashtiramiz:

$$1 \cdot \Delta_{ip} = \sum_{i=1}^n \int_0^{a_i} \overline{N}_i \frac{N_p}{EF} dx + \sum_{i=1}^n \int_0^{a_i} \overline{M}_i \frac{M_p}{EI} dx + \sum_{i=1}^n \mu \int_0^{a_i} \overline{Q}_i \frac{Q_p}{GF} dx. \quad (5.23)$$

Olingan formula elastik sistemalarda tashqi kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishlarni aniqlashda qo'llaniladigan universal formuladir. Bu ifoda Mor formulasi deb ham ataladi. Universal formula (5.23) yordamida har qanday sterjenli konstruktsiya (rama, ferma, balka va arka) larda hosil bo'lgan ko'chishlarni quyidagi tartibda aniqlash mumkin:

1. Elastik sistemaning har bir oraliq'ida ixtiyoriy kesim uchun tashqi kuchlardan hosil bo'lgan zo'riqish kuchlari M_p , N_p , va Q_p ning tenglamalari yoziladi (I- holat). Izlanayotgan ko'chish yo'nalishi bo'yicha sistemaga birlik kuch (chiziqli ko'chishni aniqlashda to'plangan birlik kuch, burchakli ko'chish aniqlanganda esa birlik moment) qo'yiladi (II- holat) va uning ta'siridan I- holat oraliqlariga mos oraliqlarda ixtiyoriy kesim uchun $\overline{M}_i$, $\overline{N}_i$ va $\overline{Q}_i$ zo'riqish kuchlarining tenglamalari tuziladi.
- 3.1 va II- holatda hosil bo'lgan zo'riqish M_p , N_p , Q_p , $\overline{M}_i$, $\overline{N}_i$ va $\overline{Q}_i$ ning ifodalari

(5.23) formulaga qo'yamiz va sistemaning har bir oraliq chegarasida uni integrallab, izlanayotgan ko'chish Δ_{ip} ni aniqlaymiz.

Agar ko'chish Δ_{ip} ning ishorasi musbat bo'lsa, ko'chishning yo'nalishi birlik kuch yo'nalishi bilan mos keladi, aks holda ularning yo'nalishlari bir-biriga teskari bo'ladi.

Universal formulaning xususiy hollari.

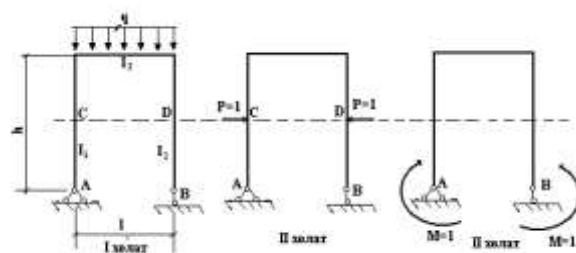
1. Balki va ramalardagi ko'chishlarni aniqlashda ularda hosil bo'ladigan bo'ylama va ko'ndalang kuchlar ta'sirini e'tiborga olmasa ham bo'ladi, chunki ular ta'siridan hosil bo'lgan ko'chish eguvchi moment ta'siridan hosil bo'lgan ko'chishga nisbatan juda kichik. Demak, rama va balkalardagi ko'chishlarni hisoblashda (5.23) formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\Delta_{ip} = \sum_{i=1}^n \int_0^{a_i} \overline{M}_i \frac{M_p dx}{EI} \quad (5.24)$$

2. Ferma tugunlarining ko'chishi faqat bo'ylama kuch ta'siridan hosil bo'ladi, chunki uning sterjenlarida eguvchi moment va ko'ndalang kuchlar hosil bo'lmaydi. U holda ferma tugunlarining ko'chishi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi :

$$\Delta_{i'} = \sum_a^b \frac{N_p \overline{N}_i dx}{EF} = \sum \frac{N_p \overline{N}_i l_i}{EF_i} \quad (5.25)$$

3. Egriligi kichik bo'lgan arkalaridagi ko'chishlarni aniqlashda ularda hosil bo'ladigan ko'ndalang kuchni e'tiborga olmasa ham bo'ladi, chunki uning ko'chishga ta'siri kichikdir. Unda arkadagi ko'chishlar quyidagi formula orqali aniqlanadi:



$$\Delta_{ip} = \sum_{i=1}^n \int_0^{a_i} \overline{M}_i \frac{M_p dx}{EI} + \sum \frac{N_p \overline{N}_i ds}{EF_i} \quad (5.26)$$

Elastik sistemalar ikki kesimlarining o'zaro ko'chishlarini ham universal formula (5.23) yordamida aniqlash mumkin. Masalan, 5.14-rasm,a da tasvirlangan

sistema S va D nuqtalarining o'zaro chiziqli ko'chishini aniqlash uchun, uning ikkinchi holati ko'rilganda bu nuqtalarga ko'chish yo'nalishi bo'yicha bir-biriga qarama-qarshi yo'nalgan ikkita birlik kuch qo'yiladi (5.14-rasm,b). Agar sistema A va B kesimlarining o'zaro burchakli ko'chishini aniqlash talab qilinsa, II-holatda uning shu kesimlariga qarama-qarshi yo'nalgan birlik momentlari qo'yiladi (5.14-rasm,v).

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

klapeyron 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?

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\overline{M}_i M_p ds}{EI}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\mu \overline{Q}_i Q_p ds}{GF}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\overline{N}_i N_p ds}{EF}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\overline{M}_i M_p ds}{EI} + \sum \int_0^s \frac{\overline{N}_i N_p ds}{EF}$$

12. Fermalarda ko‘chishlarni aniqlashda Mor integralining qaysi hadidan foydalaniladi?

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\overline{M}_i M_p ds}{EI}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\mu \overline{Q}_i Q_p ds}{GF}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\overline{N}_i N_p ds}{EF}$$

$$\Delta_{ip} = \sum \int_0^s \frac{\overline{M}_i M_p ds}{EI} + \sum \int_0^s \frac{\overline{N}_i N_p ds}{EF}$$

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. Ekspluatatsiya 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 muvozonat 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

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. Mor formulasi yordamida ko'chishlar qanday hisoblanadi?
8. Verishchagin usulini tushuntirib bering?
9. 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.

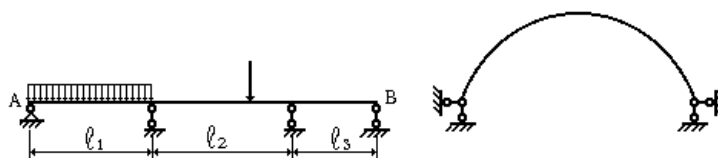
VII-bob. Statik noaniq sistemalarni kuchlar usulida hisoblash.

7.1-§. Statik noaniq sistemalar va ularning xususiyatlari.

Qurilish praktikasida statik aniq sistemalar bilan bir qatorda statik aniqmas konstruktsiya va inshootlar ko'p uchraydi. Masalan: uch oraliqli balka yoki ikki sharnirli arka.

Bu tayanch bog'lovchilaridagi reaksiya kuchlarini yoki ularning zo'riqishlarini statikaning muvozanat tenglamalari orqali aniqlash yetarli emas, shu sababli bunday sistemalarni statik aniqmas konstruktsiyalar qatoriga kiritiladi. Chunki ularda ortiqcha bog'lanishlar mavjud bo'lib, har bir bog'lanishda noma'lum reaksiya kuchlari vujudga keladi. Noma'lumlarni aniqlash uchun noma'lumlar sonini tenglamalar soniga tenglashtirish uchun qo'shimcha tenglamalar tuzish talab etiladi.

Demak, elementlardagi tashqi kuchlardan hosil bo'ladigan zo'riqish va reaksiya kuchlarini faqatgina statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlab bo'lmaydigan sistemalarni **statik aniqmas sterjenli sistemalar** deyiladi.



7.1-rasm

Bog'lanish deganda

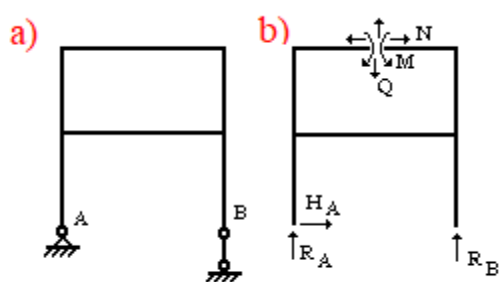
nuqtalar va kesimlarning o'zaro qo'zg'alishiga qarshilik ko'rsatuvchi har qanday to'siq tushuniladi. «**Ortiqcha**» bog'lanish atamasi bog'lanishlarning “keraksizligini” emas, balki “keragidan ortiqcha” ekanligini anglatadi. Agar statik aniqmas sistemadagi ortiqcha bog'lanishlar tashlab yuborilsa, u holda statik aniq, geometrik o'zgarmas sistema hosil bo'ladi.

Demak, ortiqcha bog'lanishlar soni sistemaning **statik aniqmaslik darajasi** deb ataladi.

- Statik aniqmas sistemalarni shartli ravishda tashqi va ichki statik aniqmas sistemalariga ajratiladi.

Masalan: berilgan aniqmas ramada oltita noma'lum tayanch reaksiya kuchlari ko'rsatilgan. Shulardan uchtasini statikaning muvozanat tenglamalaridan topilsa, qolgan uchasi statika uchun “ortiqcha” bo'lib qoladi.

Ramaning V va S tayanchlarini ortiqcha bog'lanish deb qabul qilib tashlab yuborilishi ramaning geometrik o'zgarmasligiga putur yetkazmaydi. Aksincha statik aniq sistema hosil bo'ladi. Ortiqcha bog'lanishlar o'rniga reaksiya kuchlar (H_V , R_V , R_C) ni qo'yamiz. Bu noma'lum reaksiya kuchlarni aniqlash uchun qo'shimcha tenglamalar tuzish taqozo etiladi. Xullas bu ramaning statik aniqmasligi tashqaridan ko'zga tashlanib turibdi. Xulosa qilib aytganda **tashqi statik aniqmas** sistemalarda, noma'lumlarni **tayanch reaksiya kuchlari** deb qabul qilinadi. 7.2-rasmdan ko'rinib turibdiki, ramaning statik aniqmasligi ko'zga yaqqol tashlanmaydi (7.2-rasm a.). Bir qarashda statik aniq ramaday tuyiladi. Aslida bu rama tashqi statik aniq, ichki statik aniqmas ramadir.



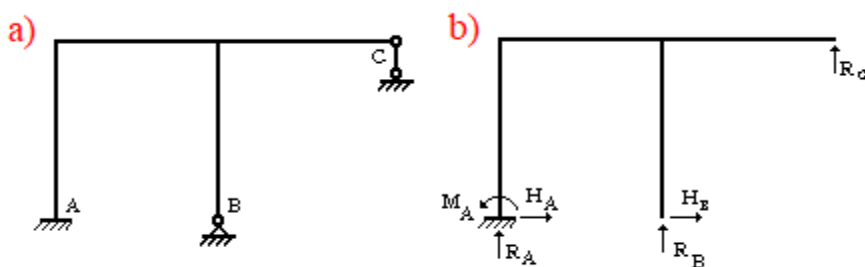
7.2-rasm

yeridan qirqamiz. Qirqimga tushgan kesimning qo'zg'almasligini ta'minlash uchun shu kesimda hosil bo'ladigan ichki kuchlarni tashqi reaksiya kuchlarini chizamiz. (7.2-rasm b) Noma'lum tayanch reaksiyalari (H_A , R_A , R_V) statika tenglamalaridan topilsa, noma'lum ichki kuchlarni qo'shimcha tenglamalardan topiladi.

Xulosa qilib aytganda **ichki statik aniqmas** sistemalarda, noma'lumlarni **elementlarni o'zida yoki ichki zo'riqishlar** deb qabul qilinadi.

Statik aniqmas sistemalar haqida to'la ma'lumotga ega bo'lish uchun qanday **xossalarga** ega ekanligini bilish zarur. Yani:

1. Statik aniqmas sistemalar tarkibida ortiqcha bog'lanishlarning mavjudligi tufayli o'ziga mos statik aniq sistemaga nisbatan bikrligi yuqoriroq bo'ladi.



7.3-rasm

2. Statik aniqmas sistemalar o'ziga mos statik aniq sistemalariga nisbatan tejamliroq bo'ladi.

3. Statik aniqmas sistemalardan biror ortiqcha bog'lanishning shikastlanishi inshootning butunlay ishdan chiqishiga olib kelmaydi. Statik aniq sistemalarda birorta bog'lanish buzilsa, inshoot butunlay ishdan chiqaradi.

4. Statik aniqmas sistemalarda haroratning o'zgarishi va tayanchlarning cho'kishi natijasida qo'shimcha zo'riqishlar 'aydo bo'ladi. Sistema elementlarining uzunligidagi farqlari, elementlarni yig'ishda yo'l qo'lgan ba'zi aniqmasliklar ham sistemada qo'shimcha zo'riqishlarni hosil qiladi.

5. Statik aniqmas sistema elementlarida boshlang'ich zo'riqish kuchlari bo'lishi mumkin. Statik aniq sistemalarda esa bu zo'riqishlar nolga teng bo'ladi.

6. Statik aniqmas sistemalarni hisoblashdan oldin, ularning elementlarining uzunliklari va ko'ndalang kesimining shakli belgilangan bo'lishi kerak. Agar bu o'lchamlar elementning mustahkamlik shartlarini qanoatlantirmasa, u holda elementlar ko'ndalang kesimlarining yangi o'lchamlarini belgilab, konstruktsiya qaytadan hisoblashga to'g'ri keladi.

Statik aniqmas sistemalarni xossalari bilan tanishganimizdan so'ng ularni hisoblash usullarini ko'rib chiqamiz.

1. **Kuchlar usuli.** Bu usulda sistemaning ortiqcha bog'lovchilarida hosil bo'ladigan zo'riqish noma'lum zo'riqishlar deb qabul qilinadi.

2. **Ko'chishlar usuli.** Bu usulda statik aniqmas sistema tugunlarining chiziqli va burchakli ko'chishlari noma'lum deb qabul qilinadi.

3. **Aralash usul.** Aralash usulda sistemaning bir qismida ortiqcha bog'lovchilarning zo'riqish kuchlari, qolgan qismida esa sistema tugunlarining ko'chishlari noma'lum deb qabul qilinadi. Demak, ramaning bir qismi uchun kuchlar usuli, ikkinchi qismi uchun esa ko'chishlar usuli tatbiq qilinadi.

4. **Ketma-ket muvozanatlash usuli.** Bu usul ko'chishlar usulining takamillashtirilgan ko'rinishidir. Statik aniqmas sistemalarni hisoblashda elektron hisoblash mashinalaridan foydalanish uchun yuqoridagi usullarni matritsa formasida ifodalash kerak.

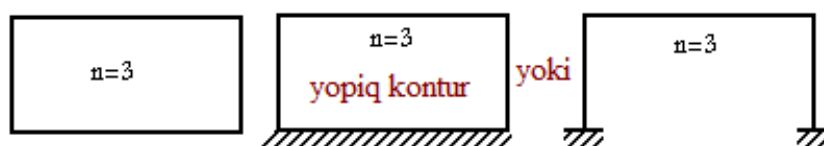
Statik aniqmas sistemalarni hisoblashni kuchlar usulidan boshlaymiz. Bu usul qadimiy va ‘uxta ishlangan usullardan biri bo’lib, qamrovining kengligi, o’zlashuvining osonligi bilan boshqa usullardan ajralib turadi.

Statik aniqmaslik darajasini aniqlash. Kuchlar usulining harakterli xossalaridan biri, statik aniqmas sistemani aniqmaslik darajasini aniqlashdir. Statik aniqmaslik darajasi qancha kam bo’lsa, uni hisoblash shuncha oson bo’ladi. Statik aniqmas sistemani ortiqcha bog’lavchilar soni n – quyidagicha aniqlanadi:

$$n = C_T + 2III + 3D, \quad (1)$$

bunda C_T – tayanch reaksiya kuchining soni, III – oddiy sharnirlar soni, D – statik aniq disklar soni.

Statik aniqmas sistemalarni aniqmaslik darajasini belgilash uchun quyidagi



7.4-rasm

mulohazalarga asoslanib, uning yangi ifodasini olamiz.

1. To’g’ri to’rtburchakli yopiq konturli rama uchun:

Berilgan yopiq konturli ramaning aniqmaslik darajasi uchga teng (4-rasm). Yani;

$$n = 3K = 3 \cdot 1 = 3 \quad (2)$$

bunda K - yopiq kontur soni.

2. Agar yopiq konturli elementlaridan biriga sharnir kiritilsa, u holda ramaning statik aniqmaslik darajasi bittaga kamaytiriladi. Demak, xulosa qilib aytganda konturli ramalarning statik aniqmaslik darajasi n – quyidagicha aniqlanadi:

$$n = 3K + III \quad (3)$$

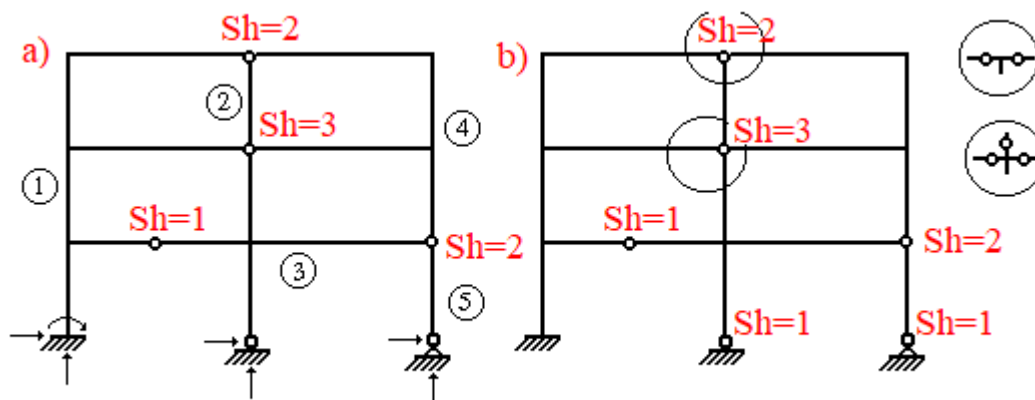
bunda K -yopiq konturlar soni, SH - oddiy sharnirlar soni.

Masalan, berilgan ramaning statik aniqlaslik darajasini (1) va (3) formulalarga asosan aniqlasak, (1) formulaga asosan tayanch reaksiya



7.5-rasm

kuchlarini soni $S_t=7$, oddiy sharnirlar soni $SH=7$, disklar soni $D=5$, u holda $n=C_T+2III+3D=7+2\cdot 8-3\cdot 5=8$ bo'ladi. (6-rasm a). (3) formulga asosan, berilgan ramaning statik aniqlaslik darajasini aniqlaymiz. Ramada yopiq konturlar soni $K=6$, oddiy sharnirlar soni $SH=10$, u holda $n=3K-III=3\cdot 6-10=8$ (6-rasm b). Demak, berilgan rama sakkiz marta statik aniqlasdir.



7.6-rasm

m

7.2-§. Kuchlar usulining asosiy sistemasi va kanonik tenglamalari.

Har qanday statik aniqlas sistemaning hisobi uning statik aniqlaslik darajasini aniqlashdan boshlanadi. Shundan so'ng **asosiy sistema** tanlanadi. Berilgan sistemaning asosiy sistemalari bir nechta bo'lishi mumkin. Hisoblash uchun shularning ichidan eng qulayi tanlab olinadi. Keyingi hisoblash ishlari ana shu tanlangan sistema ustida olib boriladi.

Xo'sh, asosiy sistemaning o'zi nima va u qanday hosil qilinadi?

Asosiy sistema statik aniqlas va geometrik o'zgarmas bo'lib, u berilgan sistemadagi ortiqcha bog'lanishlarni tashlab yuborish yo'li bilan hosil qilinadi.

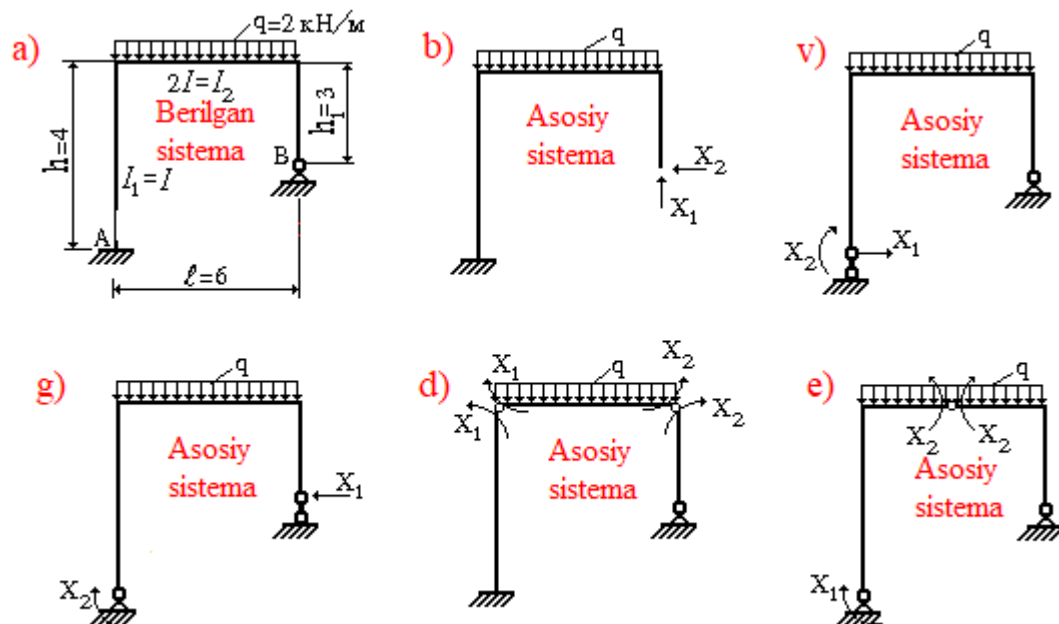
Asosiy sistemani hosil qilishning uch xil yo'li bor.

- a) ortiqcha deb qabul qilingan tayanchlar yoki tayanch reaksiya kuchlaridan birini tashlab yuborish orqali;
- b) berilgan sistemaga sharnirlar kiritish yo'li bilan;
- v) berilgan sistemani biror element kesmini qirqish yuli bilan.

Har uchala holda qam amalda ortiqcha bog'lanishlar tashlab yuborilgan deb hisoblanadi. Shundan so'ng, berilgan sistemaning dastlabki muvozanat holatini tiklash maqsadida yo'qotilgan bog'lanishlar o'rniga ularning vazifasini bajaruvchi noma'lum kuchlar X_1 , X_2 , X_3 , va hokazo qo'yiladi (7.7-rasm).

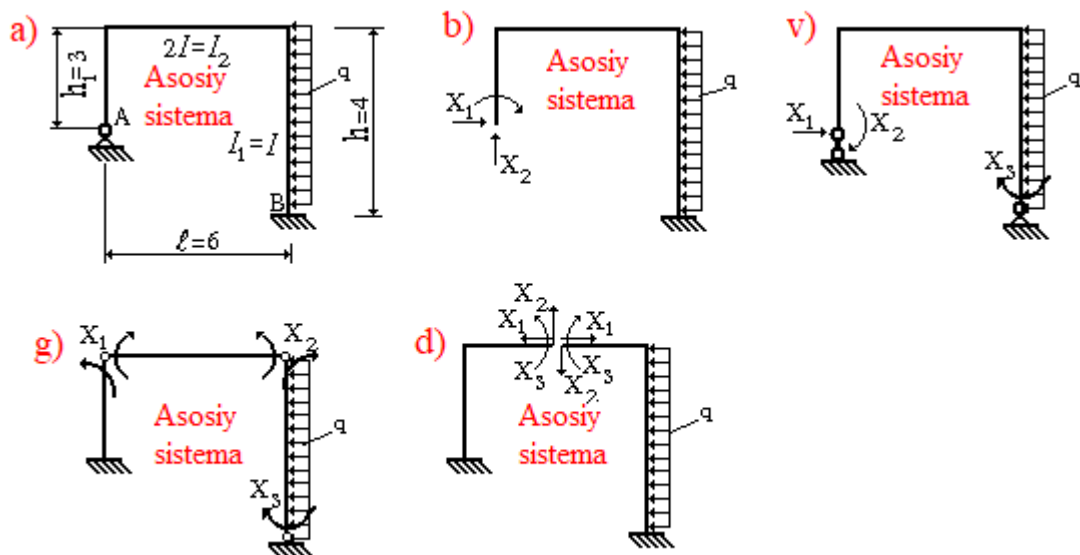
Birinchi holda tashqi statik aniqmas rama uchun asosiy sistema variantlarini tanlashni ko'rib chiqamiz (7.7-rasm). Berilgan statik aniqmas rama uchun tuzilgan asosiy sistemalarga izoh beramiz. Rama ikki marta statik aniqmas, shuning uchun unga besh xil asosiy sistema tasvirlangan. 7.7-rasm b-da sharnirli qo'zg'almas tayanch tashlab yuborilib, uning o'rniga tayanch reaksiyalari X_1 va X_2 qo'yilgan. 7.7-rasm v-da chap qistirib mahkamlangan tayanch sharnirli qo'zg'aluvchi tayanch bilan almashtirilgan. Tashlab yuborilgan bog'lanishlar o'rniga reaksiya kuchlari qo'yilan. 7.7-rasm d-da ramaning chap va o'ng bika tugunlarga sharnirlar kiritilgan va sharnirlar tufayli yo'qotilgan bog'lanishlar o'rniga moment X_1 va X_2 qo'yilgan. 7.7-rasm e-da chap qistirib mahkamlangan tayanch sharnirli qo'zg'aluvchi tayanch bilan almashtirilgan va rama rigeliga sharnir kiritilgan. Tashlab yuborilgan bog'lanishlar o'rniga moment X_1 va X_2 qo'yilan.

Beshta asosiy sistema ham geometrik o'zgarmas, statik aniqdir. Hisoblash ishlari uchun ular ichidan istalgan sistemani tanlab olish mumkin. Beshta holda ham hisob natijalari bir xil chiqaveradi. Biroq 7.7-rasm b-da tasvirlangan asosiy sistema bular ichida eng maqbulidir. Chunki bunday sistemaning M epyuralarini qurish va ko'chishlarni aniqlash boshqalariga nisbatan birmuncha qulay.



7.7-rasm

Ikkinchi holda uch noma'lumli ichki statik aniqlamas ramaning to'rt xil asosiy sistemasi ko'rsatilgan. Bularning dastlabki uchtaasi avvalgi ramaga o'xshab ketadi (7.8-rasm b, v, g). Oxirgisi qirqish usulida hosil qilingan. Qirqilgan kesimga tashqi kuchlar ta'sirida shu kesimda hosil bo'ladigan ichki kuchlar, bo'ylama X_1 , ko'ndalang kuch X_2 , va eguvchi moment X_3 lar qo'yilgan. Bu to'rt asosiy sistemaning birinchi va oxirgisi hisoblash uchun qulaydir.



7.8-rasm

Kuchlar usulining kanonik tenglamalari. Asosiy sistemalarda ortiqcha bog'lanishlar noma'lum kuchlar bilan almashtirilgandan keyin, endigi vazifamiz ana

shu nama'lum kuchlarni aniqlashdan iborat bo'ladi. Buning uchun statika tenglamalariga qo'shimcha ravishda **kanonik** tenglamalar tuzamiz. Kanonik tenglamalarni tuzish tartibini 7.8-rasm b-da ko'rsatilgan ikki noma'lumli rama misolida ko'rib chiqamiz.

Berilgan ramada sharnirli qo'zg'almas tayanchning markazi V vertikal va gorizontaal yo'nalishlarda qo'zg'almasdir, ya'ni uning shu yo'nalishlardagi ko'chishlari nolga tengdir. Bunday shart asosiy sistemada ham saqlanib qolishi lozim, ya'ni V nuqtasining vertikal va gorizontaal ko'chishlarinolga teng bo'lishi zarur.

$$\Delta_{x_1} = 0; \quad \Delta_{x_2} = 0; \quad (4)$$

bu yerda Δ_{x_1} –sterjen uchi S ning X_1 kuch yo'nalishidagi ko'chishi;

Δ_{x_2} –shu nuqtaning X_2 kuchi yo'nalishdagi ko'chishi.

Har ikkala ko'chish X_1 va X_2 kuchlari hamda tashqi yuklar ta'sirida vujudga keladi.

Kuchlar ta'sirining mustahkamligi qoidasidan foydalanib, (4) ni aloqida ko'chishlar yig'indisi sifatida ifodalaymiz.

$$\begin{aligned} \Delta_{x_1 x_1} + \Delta_{x_1 x_2} + \Delta_{x_1 P} &= 0; \\ \Delta_{x_2 x_1} + \Delta_{x_2 x_2} + \Delta_{x_2 P} &= 0; \end{aligned} \quad (5)$$

Bu yerda ko'chishlarga qo'yilgan birinchi indekslar ko'chishning yo'nalishini, ikkinchi indekslar esa shu ko'chishni yuzaga keltiruvchi sababni bildiradi.

Endi X_1 va X_2 kuchlarni ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishlarni Guk qonuniga asosan birlik ko'chishlar orqali ifoda etamiz.

$$\Delta_{x_1 x_1} = x_1 \delta_{11}; \quad \Delta_{x_1 x_2} = x_2 \delta_{12}; \quad \Delta_{x_2 x_1} = x_1 \delta_{21}; \quad \Delta_{x_2 x_2} = x_2 \delta_{22};$$

Bularni (5) tenglamaga qo'ysak, ikki noma'lumli sistema uchun kuchlar usulining kanonik tenglamalari kelib chiqadi:

$$\begin{aligned} \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \Delta_{2P} &= 0; \end{aligned} \quad (6)$$

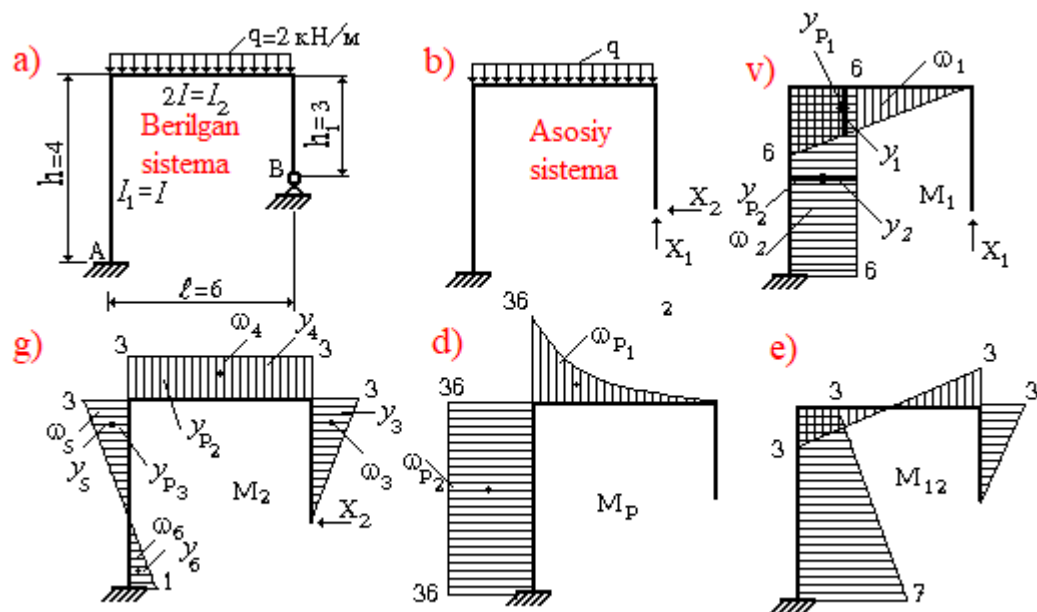
Bu yerda δ_{11} - X_1 kuchi qo'yilgan nuqtaning shu kuch yo'nalishida $X_1 = 1$ kuchi ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishi;

δ_{12} - X_1 kuchi qo'yilgan nuqtaning shu kuch yo'nalishida $X_2 = 1$ kuchi ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishi;

Δ_{1P} - X_1 kuchi yo'nalishida, Δ_{2P} - X_2 kuchi yo'nalishida tashqi kuchlar ta'sirida hosil bo'lgan ko'chish.

Agar (6) da ifodalangan kanonik tenglamalarning tuzilishiga jiddiy e'tibor bersak, uning yozilishida ma'lum qonuniyat borligini 'ayqash qiyin emas. SHu qonuniyatdan foydalanib sistemaning statik aniqmaslik darajasiga qarab, kanonik tenglamalarni keragicha tuza olamiz. Masalan berilgan sistema n marta statik noanik bo'lsa u holda kanonik tenglamalar soni ham n ta bo'ladi.

$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \dots + \delta_{1n}X_n + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \dots + \delta_{2n}X_n + \Delta_{2P} &= 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \dots + \delta_{3n}X_n + \Delta_{3P} &= 0; \\ \dots & \\ \delta_{n1}X_1 + \delta_{n2}X_2 + \delta_{n3}X_3 + \dots + \delta_{nn}X_n + \Delta_{nP} &= 0; \end{aligned} \quad (7)$$



7.9-rasm

Ushbu tenglamalardagi birlik ko'chishlar δ_{ik} -koeffitsient, tashqi kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishlar Δ_{ip} esa ozod had vazifasini o'taydi. Ko'chishlarni o'zaro munosabati haqidagi Maksvel teoremasiga binoan $\delta_{ik} = \delta_{ki}$ bo'ladi.

Bir bir indeksli ko'chishlar (δ_{11}, δ_{22}) bosh ko'chishlar yoki kanonik tenglamaning asosiy koeffitsientlari deb ataladi. Ular hech qachon nolga teng

bo'lmaydi va doimo musbat ishorali bo'ladi.. SHu sababli ular hamma vaqt tenglamada ishtirok etadi.

Turli indeksli ko'chishlar ($\delta_{12}, \delta_{13} \dots$) esa musbat va manfiy ishoralarga ega bo'lishi va demak, nol bo'lishi ham mumkin. SHuning uchun bular ikkinchi darajali ko'chishlar deb ataladi.

7.3-§. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarni aniqlash.

Ma'lumki, kanonik tenglamalarning koeffitsenti va ozod hadlari ko'chishlardir. Shuning uchun ularni aniqlashda ko'chishlar nazariyasidan foydalanamiz. Kanonik tenglamalarning koeffitsenti va ozod hadlarini aniqlangandan keyin, kanonik tenglamalarni noma'lum kuchlari va momentlar aniqlanadi.

Ko'chishlar nazariyasiga asosan birlik ko'chishlar quyidagi formula asosida to'iladi.

$$\delta_{ii} = \sum_{i=1}^n \int_0^{\ell} \frac{\bar{M}_i^2}{EI} dx; \quad \delta_{ik} = \delta_{ki} = \sum_{i=1}^n \int_0^{\ell} \frac{\bar{M}_i \cdot \bar{M}_k}{EI} dx; \quad \delta_{kk} = \sum_{i=1}^n \int_0^{\ell} \frac{\bar{M}_k^2}{EI} dx; \quad (8)$$

Bu yerda $\bar{M}_1$ -asosiy sistemaning istalgan kesmidagi birlik kuch $X_1=1$ dan hosil bo'ladigan moment;

$\bar{M}_2$ -o'sha kesimda $X_2=1$ kuchidan hosil bo'lgan moment; n – ramadagi noma'lumlar soni.

Tashqi yuklardan hosil bo'lgan ko'chishlar quyidagi farmullardan to'iladi.

$$\Delta_{ip} = \sum_{i=1}^n \int_0^{\ell} \frac{\bar{M}_i M_p}{EI} dx; \quad (9)$$

Kanonik tenglamalar sistemasidagi noma'lumlar oldidagi birlik ko'chishlar (koeffitsentlar) va ozod hadlarni aniqlash uchun Mor formulasi yoki Vereshchagin usulidan foydalanamiz.

Misol tariqasida 7.9-rasmda ko'rsatilgan ramani kuchlar usulida hisoblashni ko'rib chiqamiz.

Statik aniqmas elastik sistemalar (ramalar) kuchlar usuli bilan yuqoridagi fikrlarimizga asosan quyidagi taratibda hisoblanadi.

1. **Ramalarning statik aniqmaslik darajasi**, ya'ni ortiqcha bog'lanishlar soni (1) va (3) formulalarga asosan quyidagicha to'iladi. $n = C_T + 2III - 3D = 5 + 2 \cdot 0 - 3 \cdot 1 = 2$;

2. **Rama ortiqcha bog'lanishlardan ozod qilib, asosiy sistema tanlaymiz.**

Asosiy sistemaga qo'yilgan ortiqcha noma'lumlarning yo'nalishi bo'yicha tashqi yuklar va noma'lumlar ta'siridan hosil bo'lgan ko'chishlar yig'indisining nolga tengligini ifodalovchi **kanonik tenglamalar sistemasi** (6) asosan quyidagicha yoziladi.

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

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

3. Kanonik tenglamalar sistemasida noma'lumlar oldidagi birlik ko'chishlar (koeffitsientlar) va ozod hadlar aniqlanadi. Buning uchun birlik kuchlar ta'sirida eguvchi mament epyurasi quriladi (7 rasm v, g).

$$\delta_{11} = \sum \frac{\omega_i y_i}{EI_i} = \frac{\omega_1 y_1}{EI} + \frac{\omega_2 y_2}{EI_2} = \frac{6 \cdot 6}{2 \cdot 2 \cdot EI} \cdot \frac{2}{3} \cdot 6 + \frac{6 \cdot 4 \cdot 6}{EI} = \frac{36}{EI} + \frac{144}{EI} = \frac{180}{EI}$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \sum \frac{\omega_i y_i}{EI_i} = \frac{\omega_1 y_4}{EI_1} + \frac{\omega_2 y_7}{EI_2} = \frac{6 \cdot 6}{2 \cdot 2 \cdot EI} \cdot 3 + \frac{6 \cdot 4 \cdot 1}{EI} = -\frac{27}{EI} - \frac{24}{EI} = -\frac{51}{EI}$$

$$\begin{aligned} \delta_{22} &= \sum \frac{\omega_i y_i}{EI_i} = \frac{\omega_3 y_3}{EI_1} + \frac{\omega_4 y_4}{EI_2} + \frac{\omega_5 y_5}{EI_1} + \frac{\omega_6 y_6}{EI_1} = \frac{3 \cdot 3}{2 \cdot EI} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 + \frac{6 \cdot 3 \cdot 3}{2 \cdot EI} + \frac{3 \cdot 3}{2 \cdot EI} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 + \frac{1 \cdot 1}{2 \cdot EI} \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 = \\ &= \frac{9}{EI} + \frac{27}{EI} + \frac{9}{EI} + \frac{0.33}{EI} = \frac{45.33}{EI} \end{aligned}$$

$$\Delta_{1p} = \sum \frac{\omega_i y_i}{EI_i} = \frac{\omega_{p1} y_{p1}}{2EI_2} + \frac{\omega_{p2} y_{p2}}{EI_1} = -\frac{36 \cdot 6 \cdot 4.5}{6EI} - \frac{36 \cdot 4 \cdot 6}{EI} = -\frac{162 + 864}{EI} = -\frac{1026}{EI}$$

$$\Delta_{2p} = \sum \frac{\omega_i y_i}{EI_i} = \frac{\omega_{p1} y_4}{2EI} + \frac{\omega_{p2} y_{p2}}{EI_1} = \frac{36 \cdot 6 \cdot 3}{2 \cdot 3EI} + \frac{36 \cdot 4 \cdot 1}{EI} = \frac{252}{EI}$$

To'g'ri yechimga ega bo'lish uchun ko'chishlar to'g'ri to'ilgan bo'lishi kerak. Ularni to'g'ri yoki noto'g'ri to'ilganligini tekshirishni ikki xil usuli bor: ya'ni **qatorma-qator** yoki **yal'i** tekshirish.

Tekshirish uchun birlik epyuralarni qo'shib, yig'indi epyura $\bar{M}_{12}$ quriladi 7.9 rasm v. **Qatorma-qator** tekshirish quyidagi formula asosida amalga oshiriladi:

$$(\delta_{11} + \delta_{12}) = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_{12}}{EI} dx \quad (10)$$

ya'ni kanonik tenglamaning birinchi qatoridagi koeffitsientlar $\bar{M}_1$ va $\bar{M}_{12}$ epyuralarining Ko'paytmasiga teng chiqsa, u holda bu ko'chishlar to'g'ri to'ilgan bo'ladi. Xuddi shuningdek, tenglamani ikkinchi qatori ham tekshiriladi.

$$(\delta_{21} + \delta_{22}) = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_2 \cdot \bar{M}_{12}}{EI} dx \quad (11)$$

Yal'i tekshirishda barcha koeffitsientlar yig'indisi $\bar{M}_{12} \cdot \bar{M}_{12}$ Ko'paytmasiga teng bo'lishi zarur, ya'ni:

$$(\delta_{11} + \delta_{12}) + (\delta_{21} + \delta_{22}) = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_{12}^2}{EI} dx \quad (12)$$

Endi to'ilgan koeffitsientlarni Vereshchagin usulidan foydalanib to'liq tekshiramiz:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_{12}^2}{EI} dx &= \frac{3 \cdot 3}{2EI} \cdot \frac{2}{3} 3 + \frac{3 \cdot 3}{2 \cdot 2EI} \cdot \frac{2}{3} 3 + \frac{3 \cdot 3}{2 \cdot 2EI} \cdot \frac{2}{3} 3 + \frac{3 \cdot 4 \cdot 5}{EI} + \frac{4 \cdot 4 \cdot 5,667}{2EI} = \\ &= \frac{9 + 4,5 + 4,5 + 60 + 45,33}{EI} = 123,33 \end{aligned}$$

Birlik ko'chishlarni yig'indisini hisoblaymiz:

$$(\delta_{11} + \delta_{12}) + (\delta_{21} + \delta_{22}) = \frac{180 - 51 - 51 + 45,33}{EI} = 123,33$$

Ko'paytma yig'indiga teng chiqdi. Demak, ko'chishlar to'g'ri to'ilgan.

Endi birinchi qator koeffitsientlarini tekshiramiz. Buning uchun $\bar{M}_1$ va $\bar{M}_{12}$ epyurasini ko'paymasini hisoblaymiz.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_{12}}{EI} dx &= \frac{6 \cdot 6 \cdot 1}{2 \cdot 2EI} + \frac{6 \cdot 4 \cdot 5}{EI} = \frac{129}{EI} \\ (\delta_{11} + \delta_{12}) &= \frac{180}{EI} - \frac{51}{EI} = \frac{129}{EI} \end{aligned}$$

Bu yerda ham yig'indi ko'paytmaga teng chiqdi. Navbatda ikkinchi qator koeffitsientlarini tekshiramiz. Buning uchun $\bar{M}_2$ va $\bar{M}_{12}$ epyurasini ko'paymasini hisoblaymiz.

$$\sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_2 \cdot \bar{M}_{12}}{EI} dx = \frac{3 \cdot 3}{2EI} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 + \frac{3 \cdot 3 \cdot 3}{2 \cdot 2EI} - \frac{3 \cdot 3 \cdot 3}{2 \cdot 2EI} - \frac{3 \cdot 3 \cdot 4}{2EI} + \frac{1 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 4}{2EI} = \frac{9 - 18 + 3 \cdot 33}{EI} = -5.67$$

$$(\delta_{21} + \delta_{22}) = -\frac{51}{EI} + \frac{45.33}{EI} = -\frac{5.67}{EI}$$

Bu yerda ham yig'indi ko'paytmaga teng chiqdi. Shunday bo'lishi ham kerak edi.

Nihoyat ozod hadlarini tekshiramiz. Ya'ni ozod hadlar yig'indisi $\Delta_{1p} + \Delta_{2p}$, $\bar{M}_{12}$ epyura bilan M_p epyurasining ko'paytmasiga teng bo'lishi kerak. Bu shartning bajarilishi ozod hadlarning to'g'ri to'ilganligi anglatadi.

$$\Delta_{1p} + \Delta_{2p} = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_{12} M_p}{EI} dx$$

$$\sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_{12} M_p}{EI} dx = -\frac{6 \cdot 36 \cdot 1.5}{3 \cdot 2EI} - \frac{36 \cdot 4 \cdot 5}{EI} = \frac{774}{EI}$$

$$\Delta_{1p} + \Delta_{2p} = -\frac{1026}{EI} + \frac{252}{EI} = -\frac{774}{EI}$$

Ko'chishlar, ya'ni koeffitsentlar va ozod hadlar to'g'ri to'ilganiga ishonch hosil qilingach, ularni kanonik tenglamagalarga qo'yamiz. Tenglamalarni birgalikda yechib, noma'lum kuchlarni aniqlaymiz:

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

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

$$9180X_1 - 2601X_2 - 52326 = 0$$

$$-9180X_1 + 7799.4X_2 + 45360 = 0$$

$$5198.4X_2 - 6966 = 0$$

$$X_2 = \frac{6966}{5198.4} = 1.3 \text{ kH}$$

$$180X_1 - 51 \cdot 1.3 - 1026 = 0$$

$$180X_1 - 1092.3 = 0$$

$$X_1 = \frac{1092.3}{180} = 6.06 \text{ kH}$$

Statik noaniq ramalarni kuchlar usuli bilan hisoblash.

Statik aniqmas sistemalar to'g'risida tushuncha. Qurilishda asosan statik aniqmas sistemalar ishlatiladi. Statik aniqmas sistemalar statik aniq sistemalarga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega:

Statik aniqmas sistemalar o'ziga mos bo'lgan statik aniq sistemalarga nisbatan tejimli hisoblanadi (7.10-rasm a va b).

Statik aniqmas sistemalarda birorta bog'lanishning ishdan chiqishi inshootning butunlay ishdan chiqishiga olib kelmaydi. Bu hol statik aniq sistemalarning butunlay ishdan chiqishiga olib keladi (7.10-rasm, a va b);

3) Statik aniqmas sistemalar tarkibida ortiqcha bog'lanishlarning mavjudligi ularning mustahkamligini oshiradi (7.10-rasm, a).

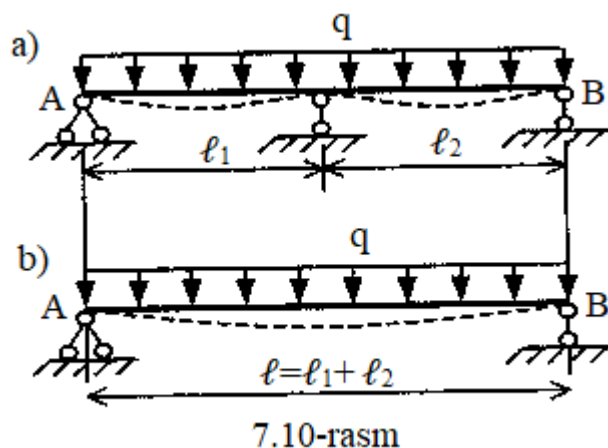
Statik aniqmas sistemalarning asosiy kamchiligi ularning statik aniqmasligi hisoblanadi.

Masalan, 7.10-rasmda ko'rsatilgan ikki oraliqli AB balkani shunday uzunlikdagi oddiy AB balka bilan

solishtirsa, bu balka statik aniq balkaga nisbatan bitta ortiqcha tayanch bog'lovchiga ega ekanligi ko'rinadi. Bu tayanchlardagi reaksiya kuchlarini statikaning muvozanat tenglamalari orqali aniqlash mumkin emas. Shuning uchun bu balka statik aniqmas balka deyiladi.

Demak elementlarida tashqi kuchlardan hosil bo'ladigan zo'riqish va tayanch reaksiya kuchlarini statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlab bo'lmaydigan sistemalar statik aniqmas sistemalar deyiladi.

Statik aniqmas sistemaning «ortiqcha» bog'lovchilari soni shu sistemaning statik aniqmaslik darajasi deyiladi. Masalan: yuqoridagi balka (7.10-rasm, a) bitta «ortiqcha» tayanch bog'lovchisiga ega bo'lgani uchun, bir marta statik aniqmasdir.



Statik aniqmas sistemalar ichki, tashqi, bir vaqtda ham ichki, ham tashqi statik aniqmas sistemalar bo'linadi (7.11-rasm).



7.11-rasm

Ichki statik aniqmas sistema deb, uchta tayanch bog'lovchisiga ega bo'lgan (yopiq kontur) statik aniqmas sistemaga aytiladi (7.11-rasm, a). Agar sistema yopiq konturdan iborat bo'lib, uchtdan ortiq tayanch bog'lovchisiga ega bo'lsa, bunday sistemalar ham ichki, ham tashqi statik aniqmas sistemalar deyiladi. (7.11-rasm. b). Uchtdan ortiq tayanch bog'lovchisiga ega bo'lgan, ochiq sharnirsiz sistemalar tashqi statik aniqmas sistemalar deyiladi. (7.11-rasm, v).

Statik aniqmas sistemalarni hisoblash statik aniq sistemalar nisbatan murakkab hisoblanadi. Statik aniqmas sistemalarda temperaturaning o'zgarishi va tayanchlar cho'kishi qo'shimcha zo'riqishlarni paydo qiladi. Sistema elementlarining uzunliklari va ko'ndalang kesimlari hisoblashdan oldin belgilangan va aniq bo'lishi kerak. Bu o'lchamlardagi farqlar va elementlarini yigishda yo'l qo'yilgan ba'zi noaniqliklar ham sistemada qo'shimcha zo'riqishlar hosil qiladi.

Statik aniqmas sistemalarni hisoblash uchun statika muvozanat tenglamalaridan tashqari, qo'shimcha ravishda statik aniqmaslik darajasiga teng bo'lgan deformatsiya tenglamalari tuziladi. Sistemalarda hosil bo'ladigan deformatsiyalardan foydalanib tuziladigan tenglamalar deformatsiya tenglamalari deyiladi.

Statik aniqmas sistemalar quyidagi usullar yordamida hisoblanadi:

1. Kuchlar usuli. Bu usulda sistemaning ortiqcha bog'lanishlarida hosil bo'ladigan zo'riqishlar noma'lum zo'riqishlar deyiladi va ular noma'lum kuchlar bilan almashtiriladi. Shuning uchun ham bu usul kuchlar usuli deyiladi.

2. Ko'chishlar usuli. Ushbu usulda statik aniqmas sistema tugunlaridagi chiziqli va

burchakli ko`chishlar noma`lumlar deb qabul qilinadi. Noma`lumlar ko`chishlar bo`lganligi sababli bu usul k`chishlar usuli deb yuritiladi.

3. Aralash va kombinatsiyalash usuli. Bu usulda sistemaning ortiqcha bog`lanishlari bir qismida zo`riqish kuchlari, qolgan qismida esa sistema tugunlarining ko`chishlari noma`lum deb qabul qilinadi. Kuchlar va ko`chishlar usulining bir vaqtda qo`llanilishi sababli ushbu usul aralash usuli deyiladi.

4. Ketma-ket yaqinlashish usullari. Ushbu usullar ko`chishlar usulining takomillashgan taqribiy usullari hisoblanadi.

5. Matritsalar usuli. Bu usul matritsalar yordamida EHM lar bilan hisoblashga asoslangan.

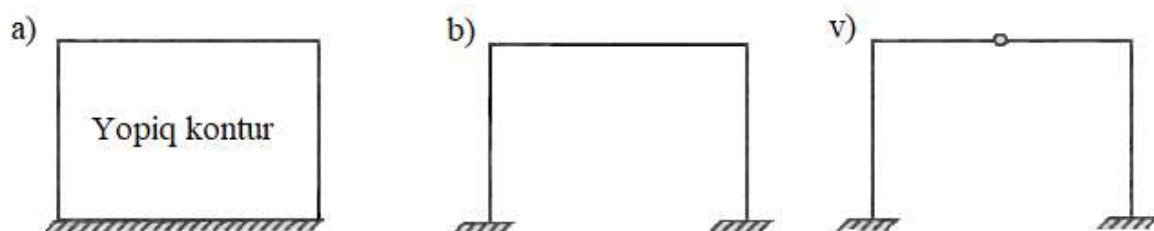
Statik aniqmas sistemalarni bu usullar yordamida hisoblash bilan ramalarni hisoblash orqali tanishib chiqamiz.

Statik aniqmaslik darajasi. Kuchlar usulining asosiy bosqichlaridan biri sistemaning statik aniqmaslik darajasini aniqlashdir. Sistemaning statik aniqmaslik darajasi uni hisoblash qay darajada murakkab yoki murakkab emasligini belgilaydi.

Statik aniqmas sistemalardagi ortiqcha bog`lovchilar soni S_A quyidagi Chebishev formulasiga asosan aniqlanadi:

$$S_A = -W = 2Sh + S_T - 3D. \quad (1)$$

Tashqi statik aniqmas sistemalarni ortiqcha bog`lanishlari sonini (1) formula bilan aniqlasa bo`ladi. Lekin yopiq, konturli ichki statik aniqmas sistemalarning ortiqcha bog`lanishlari sonini bu formula orqali doimo aniqlab bo`lmaydi.



7.12-rasm

Masalan, to`gri to`rtburchakli yopiq konturli rama uch marta statik aniqmas hisoblanadi (7.12-rasm, a).

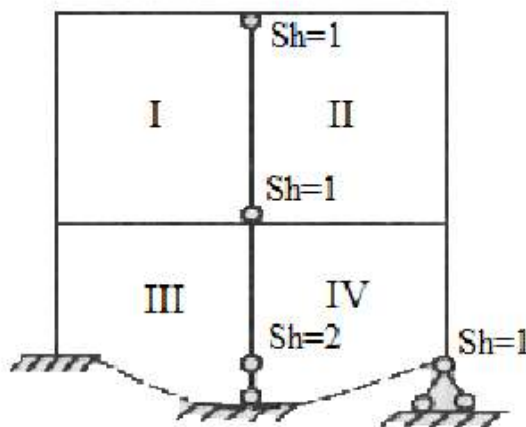
Sharnirsiz ramaga yopiq kontur deyiladi (7.12-rasm, b).

Agarda yopiq konturning elementlaridan biriga sharnir kiritilsa, u holda ramaning statik aniqmaslik darajasi bitta kamayadi (7.12-rasm, v). Demak, yopiq konturli ramalarning statik aniqmaslik darajasi S_A quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$S_A = 3K - Sh, \quad (2)$$

bunda K – yopiq konturlar soni; Sh - oddiy sharnirlar soni.

Sharnirli qo'zg'almas va sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchi bor sistemalarda yopiq konturlar hosil qilishda, sharnirli qo'zg'almas tayanchning ustki sharniri qo'zg'aluvchan tayanchning pastki sharniri bilan fikran tutashtiriladi (7.13-rasm). Yopiq konturli sistemalarda oddiy sharnirlar sonini hisoblashda esa sharnirli qo'zg'almas tayanchlarda bitta oddiy sharnir, sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchlarda ikkita oddiy sharnir bor deb hisoblanadi (7.13-rasm).



7.13-rasm

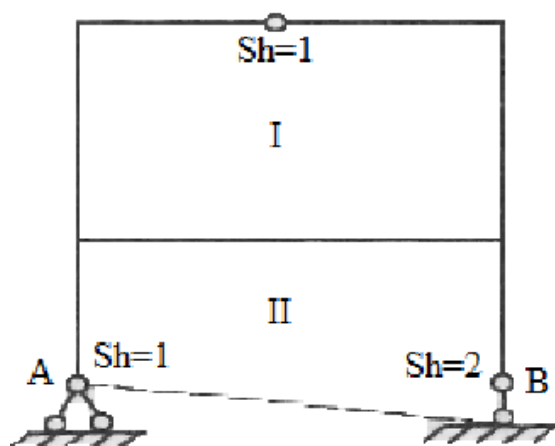
1-misol. 7.14-rasmda ko'rsatilgan ramaning statik aniqmaslik darajasi anqlansin.

Yechish. Ramada yopiq kontur sonini aniqlashda A va B tayanchlar fikran tutashtiriladi. U holda yopiq konturlar soni $K=2$.

Oddiy sharnirlar sonini belgilashda sharnirli qo'zg'almas tayanchda $Sh=1$ deb, sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchda esa $Sh=2$ deb olinadi.

U holda
$$S_A = 3 \cdot 2 - 4 = 2$$

Demak, rama ikki marta statik aniqmas bo'lib, 2 ta ortiqcha bog'lanishga ega. Ramani ortiqcha bog'lanishlarini (1) formula orqali ham hisoblaymiz



7.14-rasm

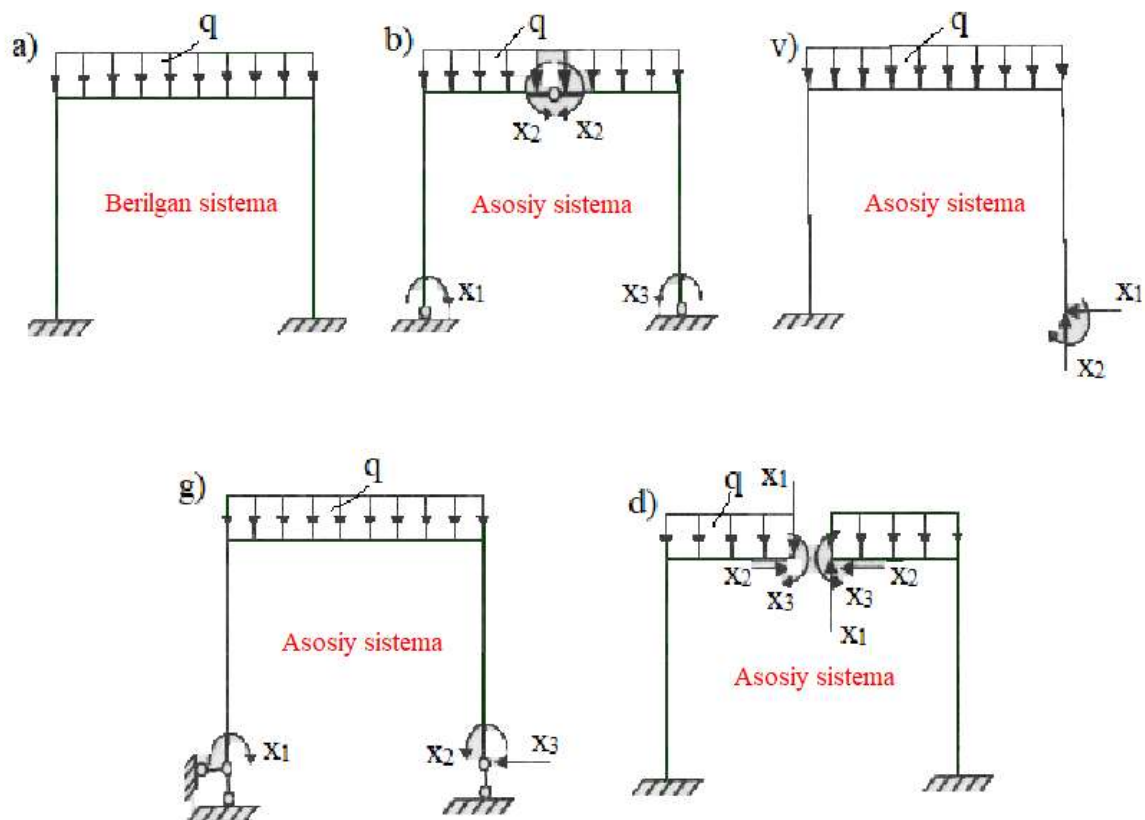
$$S_A = -W = 2Sh + S_T - 3D = 2 \cdot 1 + 3 - 3 \cdot 1 = 2$$

2-misol. 5-rasmda berilgan ramannig statik anqmaslik darajasi anqlansin.

Yechish: Yopiq. konturlar soni $K=4$; oddiy sharnirlar soni $Sh=5$.

O` holda $S_A = 3 \cdot 4 - 5 = 7$

Demak, bu rama etti marta statik noaniq bo`lib, 7 ta ortiqcha bog`lanishlarga



7.15-rasm

ega. Ushbu ramadagi ortiqcha bog`lanishlar sonini (9.1) formula orqali hisoblasak,

$$S_A = 2 \cdot 2 + 6 - 3 \cdot 2 = 4 \text{ chiqadi.}$$

5-rasmdan ko`rinib turibdiki, berilgan ramaning statik aniqlaslik darajasi 4 ga emas, 7 ga teng. Shunday qilib, yopiq konturli sistemalardagi ortiqcha bog`lanishlar soni Chebishev formulasi (1)dan emas, (2) formula orqali aniqlanishi kerak.

Kuchlar usulining asosiy sistemasi. Statik aniqlas ramalarni kuchlar usuli bilan hisoblash uning statik aniqlaslik darajasini aniqlashdan boshlanadi, ya`ni ortiqcha bog`lanishlar soni hisoblanadi. Shundan so`ng asosiy sistema tanlanadi. Asosiy sistema ortiqcha bog`lanishlarni tashlab yuborish bilan hosil qilinadi.

Asosiy sistema deb, statik aniqmas sistemadagi ortiqcha bog'lanishlar noma'lum kuchlar bilan almashtirilgan, statik aniq va geometrik o'zgarmas qilib tanlangan sistemaga aytiladi.

Statik aniqmas sistema uchun asosiy sistema bir necha hil ko'rinishda tanlash mumkin (7.15-rasm, b, v, g, d).

Shunday qilib, kuchlar usulining asosiy sistemasi quyidagi usullar bilan tanlanishi mumkin ekan:

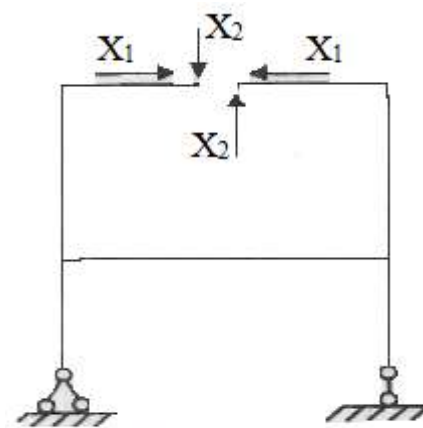
1. Ortiqcha deb qabul qilingan tayanchlar yoki tayanch bog'lanishlari tashlab yuboriladi (7.15-rasm, b va v);
2. Berilgan sistemaga sharnirlar kiritiladi (6-rasm, b, g);
3. Berilgan sistemaning biror kesimi qir qilishi mumkin (7.15-rasm, d).

7.15-rasmda uch noma'lumli rama uchun to'rt hil asosiy sistema ko'rsatilgan. Bu to'rtala asosiy sistema ham geometrik o'zgarmas, statik aniqdir. To'rtala asosiy sistemani hisoblash natijalari bir hil bo'ladi. Lekin bu asosiy sistemalardan bittasi eng maqbuli (ratsionali) tanlab olinadi. Maqbul asosiy sistema 7.15-rasm, d hisoblanadi. Bu asosiy sistemada noma'lumlar simmetrik va nosimmetrik bo'lib, ularning eguvchi moment epyuralari ham simmetrik va nosimmetrik bo'ladi.

Chunki, bunday sistemaning eguvchi moment epyurasini qurish oson bo'lib, ko'chishlarini aniqlash soddalashadi va ba'zi ko'chishlar nolga teng bo'ladi. Buni biz keyinchalik ramalarni hisoblashda qaraymiz. X_1 X_2

3-misol. 7.15-rasmda berilgan statik aniqmas ramani asosiy sistemasining maqbuli tanlansin.

Yechish: 7.15-rasmda ko'rsatilgan statik aniqmas ramaning asosiy sistemalarini tanlashda eng maqbuli sharnirni kiritish orqali tanlangan asosiy sistema hisoblanadi. Bu asosiy sistemada ramani simmetrikligi hisobga olingan bo'lib, noma'lumlar simmetrik va nosimmetrik hisoblanadi.



7.16-rasm

Kuchlar usulining kanonik tenglamalari Statik aniqmas sistemadagi noma'lumzo'riqish kuchlarini aniqlash uchun, statika muvozanat tenglamalariga qo'shimcha, ortiqcha bog'lanishlar soniga teng bo'lgan deformatsiya tenglamalari tuziladi.

Qo'shimcha tenglamalar tuzish tartibini quyidagi bir marta statik aniqmas oddiy balka misolida ko'ramiz (7.17-rasm, a).

Berilgan ABS balkadagi B tayanch bog'lanishini noma'lo'm X_1 kuch bilan almashtirib asosiy sistema tanlaymiz.

Natijada oddiy statik aniq balka har hil qilamiz. Berilgan balkadagi B tayanchda salqilikning nolga teng ekanligini hisobga olsak,

$$\Delta_{11} + \Delta_{1P} = 0 \quad (a) \quad \text{bo'ladi.}$$

Bunda $\Delta_{11} - X_1$ noma'lo'm kuch yo'nalishida shu kuchni o'zidan hosil bo'lgan ko'chish;

$\Delta_{1P} - X_1$ yo'nalishida tashqi yuklardan hosil bo'lgan ko'chish.

Agarda $\overline{X}_1 = 1$ bo'lsa, Guk qonuniga asosan $\Delta_{11} = \delta_{11} \cdot X_1$ bo'ladi.

U holda (a) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \Delta_{1P} = 0. \quad (b)$$

Bundan

$$X_1 = \frac{\Delta_{1P}}{\delta_{11}}$$

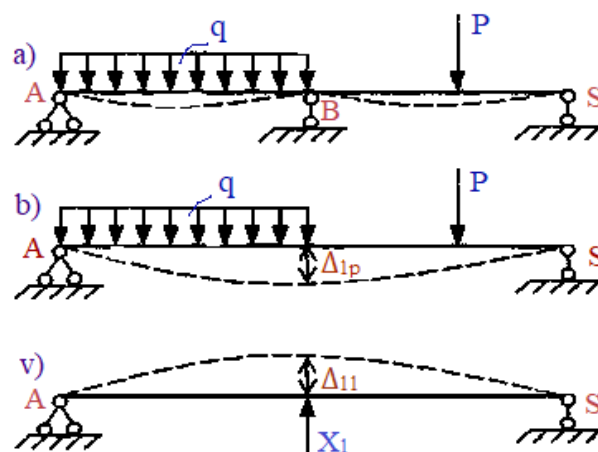
Bu erda, δ_{11} va Δ_{1P} lar Mor formulasi bo'yicha aniqlanadi

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\overline{M}_1^2}{EI} dx; \quad \Delta_{1P} = \sum \int \frac{\overline{M}_1 M_P}{EI} dx;$$

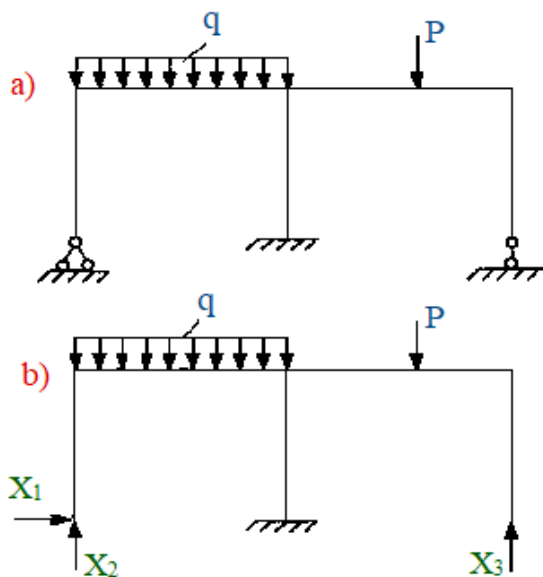
(b) tenglamaga kuchlar usulining kanonik tenglamasi deyiladi.

Demak, **kuchlar usulining kanonik tenglamasi deb, tashlab yuborilgan bog'lanishlar yo'nalishida noma'lum va tashqi kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishlar yig'indisi nolga tengligini ifodalovchi tenglamaga aytiladi.**

Endi quyidagi berilgan 3 marta statik noaniq rama uchun (7.18-rasm) (b) ga asosan kuchlar usulining kanonik tenglamasini tuzamiz:



7.17-rasm



7.18-rasm

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \Delta_{1P} = 0;$$

$$\delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \Delta_{2P} = 0;$$

$$\delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3P} = 0.$$

Bunda, $\delta_{11} - X_1$ kuch yo`shalishi bo`yicha, $X_1 = 1$ dan hosil bo`lgan ko`chish;

$\delta_{12}, \delta_{13} - H_h$ ning yo`nalishi bo`yicha birlik kuchlar $\bar{X}_2 = 1$ va $\bar{X}_3 = 1$ lardan hosil bo`lgan birlik ko`chishlar;

δ_{21}, δ_{22} va δ_{23} lar— x_2 ning yo`nalishi

bo`yicha birlik kuchlar $\bar{X}_1 = 1, \bar{X}_2 = 1$ va

$\bar{X}_3 = 1$ lardan hosil bo`lgan birlik ko`chishlar δ_{31}, δ_{32} va δ_{33} lar x_3 ning yo`nalishi bo`yicha birlik kuchlar $\bar{X}_1 = 1, \bar{X}_2 = 1$ va $\bar{X}_3 = 1$ lardan vujudga kelgan birlik ko`chishlar;  $\Delta_{1P}, \Delta_{2P}$  va  $\Delta_{3P}$  lar noma`lum zo`riqish kuchlari  $X_1, X_2$  va  $X_3$  larning yo`nalish bo`yicha tashqi yuk ta`siridan hosil bo`lgan ko`chishlar δ_{11}, δ_{22} va δ_{33} lar birlik bosh ko`chishlar yoki kanonik tenglama bosh koeffitsientlari deyiladi.  $\delta_{21}$  va  $\delta_{12}, \delta_{13}$  va  $\delta_{31}, \delta_{32}$  va  $\delta_{23}$  lar birlik o`xshash ko`chishlar yoki kanonik tenglama o`xshash koeffitsientlari deyiladi va Maksvell teoremasiga asosan ular o`zaro teng bo`ladi:

$$\delta_{12} = \delta_{21}; \delta_{13} = \delta_{31}; \delta_{32} = \delta_{23}.$$

$\Delta_{1P}, \Delta_{2P}, \Delta_{3P}$ - kanonik tenglama ozod hadlar deyiladi. Bosh ko`chishlarning ishoralari doimo musbat bo`ladi va hech qachon nolga teng bo`lmaydi.

Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari Mor formulasi yordamida aniqlanadi:

$$\delta_{ii} = \sum \int \frac{\bar{M}_i^2}{EI} dx; \quad \delta_{ij} = \sum \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_j}{EI} dx; \quad \Delta_{iP} = \sum \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_P}{EI} dx; \quad (3)$$

Agarda sistema n marta statik noaniq bo`lsa, kanonik tenglamadagi tenglamalar soni ham  $n$  ta bo`ladi:

(4)

(4) tenglamalar sistemasini echish uchun EHM lardan foydalanishga to'g'ri keladi. EHM da hisoblash uchun (4) matritsa ko'rinishida yoziladi:

(5)

7.4-§. Natijaviy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlash.

Statik noaniq ramalarni tashqi yuklar ta'siriga kuchlar usuli bilan hisoblash. Qurilishda eng ko`p ishlatiladigan konstruktsiyalar sifatida statik noaniq ramalar qo`llaniladi. **Statik aniqmas ramalar tashqi yuklar ta'siriga kuchlar usuli yordamida quyidagi tartibda hisoblanadi.**

1. *Ramalarining statik aniqlashtirish darajasi, ya'ni «ortiqcha» bog'lanishlar soni (1) yo'ki (2) formulalarga asosan topiladi.*
2. *Ramadagi «ortiqcha» bog'lanishlar noma'lum zo'riqlar bilan almashtirilib, asosiy sistema tanlanadi.*
3. *Asosiy sistemadagi «ortiqcha» noma'lumlarning yo'nalishi bo'yicha tashqi yuklardan va noma'lumlar ta'siridan hosil bo'ladigan ko'chishlar yigindisining nolga teng ekanligini ifodalovchi kuchlar usulining kanonik tenglamalari sistemasi (4) tuziladi.*
4. *Kanonik tenglamalar sistemasida noma'lumlar oldidagi koeffitsientlar (birlik ko'chishlar) va ozod hadlar aniqlanadi. Buning uchun Mor formulasidan yoki Vereshchagin usulidan foydalaniladi.*
5. *Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari to'g'ri topilganligi tekshiriladi.*
 - a) *Kanonik tenglama koeffitsientlarining to'g'ri aniqlanganligini tekshirish uchun universal tekshirish o'tkaziladi.*

(7)

bunda $\overline{M}_s$ - birlik ego`vchi moment epyuralari yigindisi bo`lib,

$\overline{M}_s = \overline{M}_1 + \overline{M}_2 + \dots + \overline{M}_n$ formula yordamida chiziladi.

$$\sum \delta = \delta_{11} + \delta_{22} + \dots + \delta_{nn} + 2(\delta_{12} + \delta_{13} + \dots + \delta_{n-1,n})$$

$\sum \delta$ —jami birlik ko`chishlar yigindisi.

Agar universal tekshirish bajarilmasa, u holda kanonik tenglamaning koeffitsientlarini qatorlab tekshirish mumkin:

$$\begin{aligned}\sum \delta_1 &= \delta_{11} + \delta_{12} + \dots + \delta_{1n} = \sum \int \frac{\overline{M}_1 \overline{M}_s}{EI} dx, \\ \sum \delta_2 &= \delta_{21} + \delta_{22} + \dots + \delta_{2n} = \sum \int \frac{\overline{M}_2 \overline{M}_s}{EI} dx, \\ \sum \delta_n &= \delta_{n1} + \delta_{n2} + \dots + \delta_{nn} = \sum \int \frac{\overline{M}_n \overline{M}_s}{EI} dx.\end{aligned}\quad (8)$$

b) Kanonik tenglama ozod hadlarini tekshirshi uchun ustun tekshirshi o`tkaziladi:

$$\Delta_{sp} = \Delta_{1p} + \Delta_{2p} + \dots + \Delta_{np} = \sum \int \frac{\overline{M}_s \overline{M}_p}{EI} dx. \quad (9)$$

6. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlari tekshirilib, to`g`ri ekanligiga ishonch hosil qilgandan so`ng, ular kanonik tenglamaga qo`yilib yechiladi va noma`lum  $X_1, X_2, \dots, M_p$  zo`riqishlarning qiymati aniqlanadi.

7. Ramaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment M_p quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$M_X = \overline{M}_1 X_1 + \overline{M}_2 X_2 + \dots + \overline{M}_n X_n + M_p. \quad (10)$$

Bu erda, $\overline{M}_1 X_1, \overline{M}_2 X_2, \dots, \overline{M}_n X_n$ tuzatilgan moment epyuralari deyiladi. Tuzatilgan moment epyuralarining ordinatalarini tashqi yuk ego`vchi moment epyurasi mos ordinatalariga ko`chish orqali hosil qilingan epyuraga yako`niy yoki hotima ego`vchi moment epyurasi deb ataladi. M_p epyura statik aniqmas ramaning doimo cho`zilgan tolalari tomoniga chiziladi.

8. Qurilgan yakuniy (hotima) eguvchi moment epyurasini tekshirish.

a) **Statik tekshirish.** Ramaning har bir tuguni eguvchi momentlar ta`sirida muvozanatda bo`lishi kerak. Ramadan tugunlar qirqib olinib, ularga qolgan qismining ta`sirini tegishli eguvchi moment zo`riqishlari bilan almashtiriladi va

tugunning muvozanat shartlari yoziladi. Bu tekshirish zaruriy bo'lib, yetarli bo'la olmaydi. Shuning uchun deformatsion tekshirish o'tkaziladi.

b) **Deformatsion tekshirish.** Agar rama uchun eguvchi momentining M_p epyurasi to'g'ri chizilgan bo'lsa, u holda har bir noma'lum zo'riqish yo'nalishi bo'yicha ko'chish nolga teng bo'lishi shart, ya'ni

$$\sum \int \frac{M_x \overline{M}_s}{EI} dx \approx 0. \quad (11)$$

Bu tekshirish bajarilsa, M_x epyura to'g'ri hisoblangan bo'ladi.

9. *Ko'ndalang kuch epyurasi Q_x yakuniy eguvchi moment epyurasi M_p asosida chiziladi.* Q_x epyurani qurishda ramaning har bir sterjeni alohida statik aniq oddiy balka deb qaraladi. Sterjenga ta'sir qilayotgan tashqi yuklar bo'lsa, ular ham balkaga qo'yiladi. M_p epyurasidagi rama sterjenlarining boshi va ohiriga to'g'ri keluvchi eguvchi momentlar tayanch momentlari sifatida qaraladi. Shundan so'ng ko'ndalang kuch qiymatlari quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Q_x = Q_x^0 + \frac{M^{o'ng} - M^{chap}}{\ell}, \quad (12)$$

bunda, Q_x^0 - oddiy balkadagi tashqi yukdan hosil bo'lgan balka ixtiyoriy kesimidagi ko'ndalang kuch; $M^{o'ng}$ balkaning o'ng tayanchiga qo'yilgan eguvchi moment; M^{chap} — balkaning chap tayanchiga qo'yilgan eguvchi moment; ℓ - balkaning uzunligi. Agar balkaga tekis yoyilgan tashqi yuk qo'yilgan bo'lsa tashqi yuk qo'yilgan bo'lmasa, $Q_x^0 = 0$ bo'ladi.

$$Q_x^0 = \frac{q\ell}{2} - qx;$$

Agar rama sterjeniga R to'plangan kuch ta'sir qilayotgan bo'lsa, bu sterjenni R kuch qo'yilgan nuqtadan ikki bo'lakka ajratish qulay hisoblanadi. Chunki bu holda oddiy balkadagi ko'ndalang kuch $Q_x^0 = 0$ bo'ladi. Q_x epyura statik aniq ramalarda ko'ndalang kuchlar epyurasini qurish qoidasiga o'xshab chiziladi.

10. *Bo'ylama kuch epyurasi N_x ko'ndalang kuch epyurasi Q_x dan foydalanib chiziladi.* Bunda to'singa qo'yilgan ko'ndalang kuchlar ustun uchun bo'ylama kuch, ustunga

qo'yilgan ko'ndalang kuchlar to'singa qo'yilgan bo'ylama kuch bo'ladi. Bo'ylama kuchlar qiymatini aniqlash uchun Q_x epyurasi qurilgan ramani tugunlari alohida

qirqib olinadi va tugunning muvozanat shartlari $\sum X = 0; \sum Y = 0$ dan topiladi. N_x epyura ham statik aniq, ramalarni bo'ylama kuch epyurasiga o'xshab chiziladi.

11. Ramani umumiy statik tekshirish.

Bu tekshirishda ramaning barcha tayanch reaksiyalari M_x, Q_x va N_x epyuralardan aniqlanib qo'yiladi va statika muvozanat shartlari orqali tekshiriladi:

$$\sum X = 0; \sum Y = 0, \sum M_i = 0.$$

Tekshirish bajarilsa rama to'g'ri hisoblanib, ichki zo'riqish epyuralari to'g'ri qurilgan bo'ladi.

3-misol. 7.19-rasm, a da berilgan rama kuchlar usuli bilan hisoblansin.

Yechish. 1. Berilgan ramani statik aniqmaslik darajasi (1) va (2) formulaga asosan aniqlanadi.

$$C_A = 2Sh + C_0 - 3D = 2 \cdot 0 + 5 - 3 = 2;$$

$$C_A = 3K - Sh = 3 \cdot 2 - 4 = 2.$$

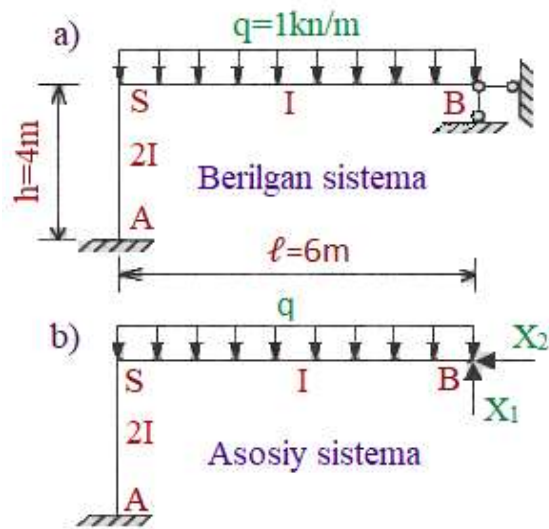
Demak, rama ikki marta statik aniqmas, ya'ni u ikkita ortiqcha bog'lanishga ega.

2. Ramaning 2 ta ortiqcha bog'lanishini noma'lum zo'riqishlar X_1 va X_2 bilan belgilab, asosiy sistema tanlaymiz (7.19-rasm, b).

3. Kanonik tenglamalar sistemasini yozamiz:

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

4. Kanonik tenglama koeffitsientlarini va ozod hadlarini aniqlash uchun alohida-alohida $X_1=1$ va $X_2=1$ kuchlardan birlik $\bar{M}_1, \bar{M}_2$ epyuralarni va tashqi yukdan M_P epyurani chizamiz (11-raem, a, b, v). Bu epyuralardan



7.19-rasm

foydalanib, tenglamadagi birlik ko'chishlar va ozod hadlarning Vereshchagin usuli yordamida aniqlaymiz:

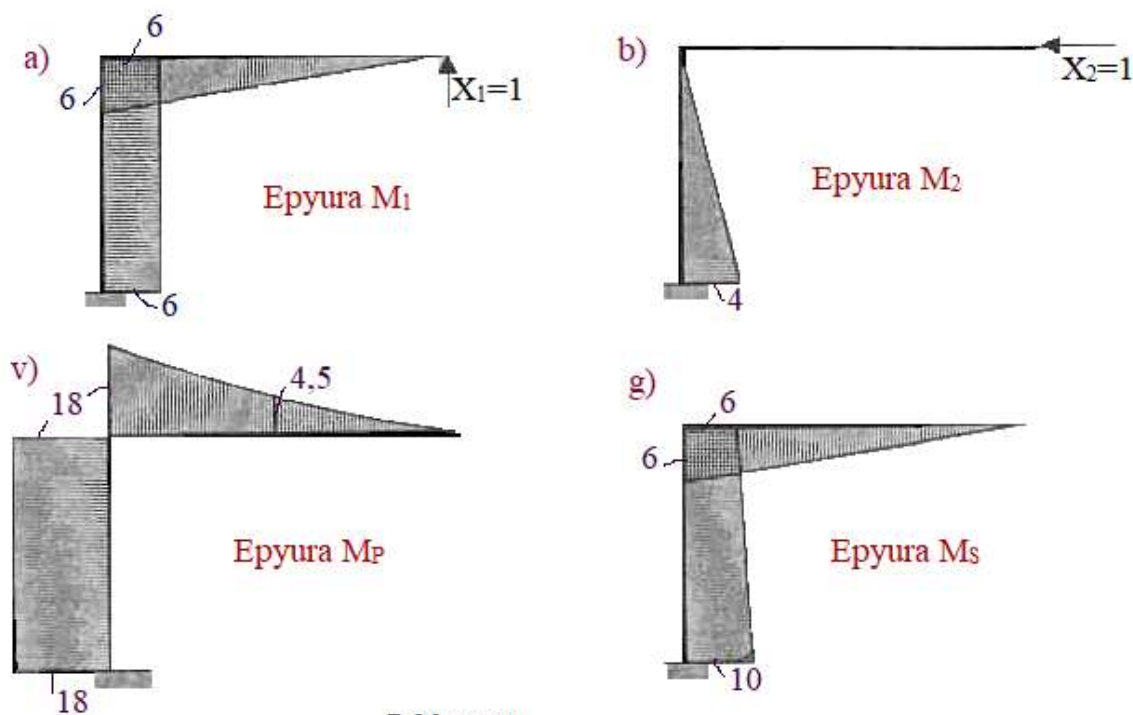
$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1^2}{EI} dx = \frac{1}{EI} \frac{6 \cdot 6}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 6 + \frac{1}{2EI} 6 \cdot 4 \cdot 6 = \frac{144}{EI};$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2}{EI} dx = \frac{1}{2EI} 6 \cdot 4 \cdot 2 = \frac{24}{EI};$$

$$\delta_{22} = \sum \int \frac{\bar{M}_2^2}{EI} dx = \frac{1}{2EI} \frac{4 \cdot 4}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 4 = \frac{32}{3EI};$$

$$\Delta_{1P} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \cdot M_P}{EI} dx = -\frac{1}{EI} 18 \cdot 6 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot 6 - \frac{1}{2EI} 18 \cdot 4 \cdot 6 = -\frac{378}{EI};$$

$$\Delta_{2P} = \sum \int \frac{\bar{M}_2 \cdot M_P}{EI} dx = -\frac{1}{2EI} 18 \cdot 4 \cdot 2 = -\frac{72}{EI}.$$



7.20-rasm

5. Kanonik tenglama koeffitsientlarini va ozod hadlarini tekshirish uchun, avvalo $M_s = M_1 + M_2$ epyurani ko'ramiz (9.11-raem, g).

a) universal tekshirish o'tkazamiz:

$$\delta_{ss} = \sum \int \frac{\bar{M}_s^2}{EI} dx = \frac{1}{EI} \frac{6 \cdot 6}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 6 + \frac{4}{6 \cdot EI} (6^2 + 4 + 8^2 + 6^2) = \frac{608}{3EI};$$

$$\delta_{ss} = \sum \delta = \delta_{11} + \delta_{22} + 2\delta_{12} = \frac{144}{EI} + \frac{32}{3EI} + \frac{2 \cdot 24}{EI} = \frac{608}{3EI}.$$

Demak, kanonik tenglama koefitsientlari to'g'ri topilgan.

b) ustunni tekshirish o'tkazamiz:

$$\Delta_{SP} = \Delta_{1P} + \Delta_{2P} = -\frac{378}{EI} - \frac{72}{EI} = -\frac{450}{EI};$$

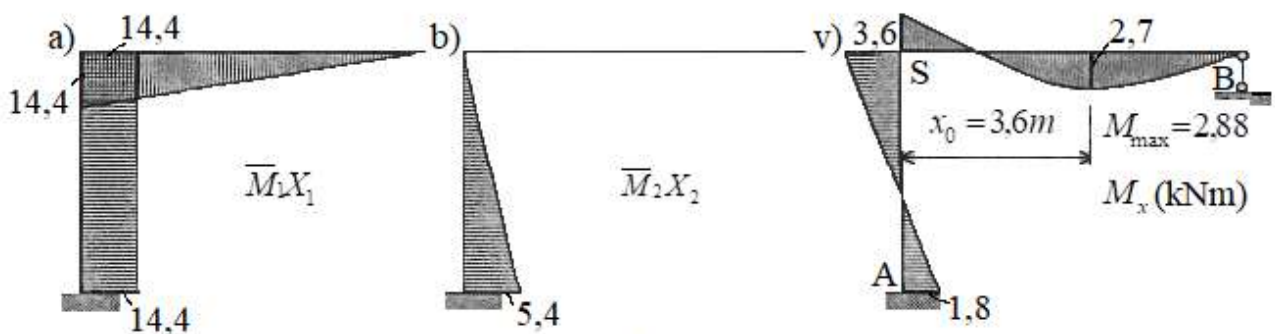
$$\Delta_{SP} = \sum \int \frac{\bar{M}_S \cdot M_P}{EI} dx = -\frac{1}{EI} 18 \cdot 6 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot 6 - \frac{1}{2EI} 18 \cdot 4 \cdot 8 = -\frac{450}{EI}.$$

Demak, ko'chishlar to'g'ri hisoblangan.

6. Topilgan kanonik tenglama koefitsientlarini va ozod hadlarini kanonik tenglamaga qo'yib,

$$\begin{cases} \frac{144 \cdot X_1}{EI} + \frac{24 \cdot X_2}{EI} - \frac{378}{EI} = 0, \\ \frac{24 \cdot X_1}{EI} + \frac{32 \cdot X_2}{3} - \frac{72}{EI} = 0. \end{cases} \quad \text{bundan} \quad \begin{cases} 144 \cdot X_1 + 24 \cdot X_2 - 378 = 0, \\ 72 \cdot X_1 + 32 \cdot X_2 - 216 = 0. \end{cases}$$

tenglamani yechib, noma'lum zo'riqish kuchlarini aniqlaymiz.



7.21-rasm

$$X_1 = 2,4;$$

$$X_2 = 1,35.$$

7. Yakuniy eguvchi moment epyurasini $M_x = \bar{M}_1 X_1 + \bar{M}_2 X_2 + M_P$ formula yordamida quramiz (7.21-rasm).

8. M_h epyurani tekshirish.

a) statik tekshirish. Bu tekshirishda S tugunni qirqib $\sum M_C = 0$ muvozanat shartini qaraymiz (7.21-rasm, v):

$$\sum M_C = 0; \quad 3,6 - 3,6 = 0$$

b) deformatsion tekshirish.

Bu tekshirishda birlik epyuralar yig'indisi $\bar{M}_s$

(7.20-rasm, g) yakuniy M_x epyuraga ko'paytiriladi. Natija nolga teng bo'lishi kerak.

$$\Delta_s = \sum \int \frac{\bar{M}_s \cdot M_x}{EI} dx = -\frac{6}{6EI} (4 \cdot 3 \cdot 2,7 - 3 \cdot 6 \cdot 6) + \frac{4}{6 \cdot 2EI} (-3 \cdot 6 \cdot 6 - 4 \cdot 8 \cdot 0,9 + 10 \cdot 1 \cdot 8) =$$

$$= \frac{10,8}{EI} - \frac{10,8}{EI} = 0.$$

Demak, yakuniy M_x epyura to'g'ri hisoblangan.

9. M_x epyuradan foydalanib Q_x epyurani

quramiz (7.22-rasm, a). Q_x epyura (12)

formula yordamida hisoblanadi. Bu yerda

ramaning har- bir sterjenini oddiy balka deb qaraymiz.

SB sterjendagi tashqi yuk ta'siri hisobga olinadi. M_x epyuradagi S va B kesimlardagi eguvchi momentlarni oddiy balkaning S va B tayanchlariga qo'yamiz

Ushbu balkada

$$Q_{SB}^0 = \frac{q\ell}{2} - qx = 3 - x$$

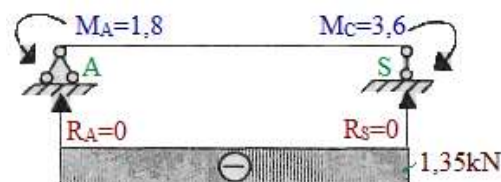
$$Q_{SB} = Q_{SB}^0 + \frac{M_B - M_S}{\ell} = 3 - x + \frac{0 + 3,6}{6} = 3,6 - x$$

Agar $x=0$ bo'lsa $Q_S = 3,6kN$; $x=6$ bo'lsa $Q_B = -2,4kN$.

Maksimal moment M_{max} ni aniqlaymiz:

$$Q_{SB} = 3,6 - x = 0, \quad \text{bundan} \quad x_0 = 3,6.$$

$$x_0 = 3,6 \text{ bo'lganda} \quad M_{max} = R_6^0 \cdot 2,4 - \frac{q \cdot 2,4}{2} = 2,4 \cdot 2,4 - \frac{2,4^2}{2} = 2,88kNm.$$



AS sterjenni oddiy balka deb qarasak, bu erda tashqi yuk bo'lmaganligi sababli $Q_{AS}^0 = 0$. M_x epyuradagi va S kesimlardagi eguvchi momentlarni oddiy balkaning A va S tayanchlariga qo'yamiz.

$$Q_{AS} = \frac{M^{o'ng} - M^{chap}}{\ell} = \frac{M_S - M_A}{\ell} = \frac{-3,6 - 1,8}{4} = -1,35kN.$$

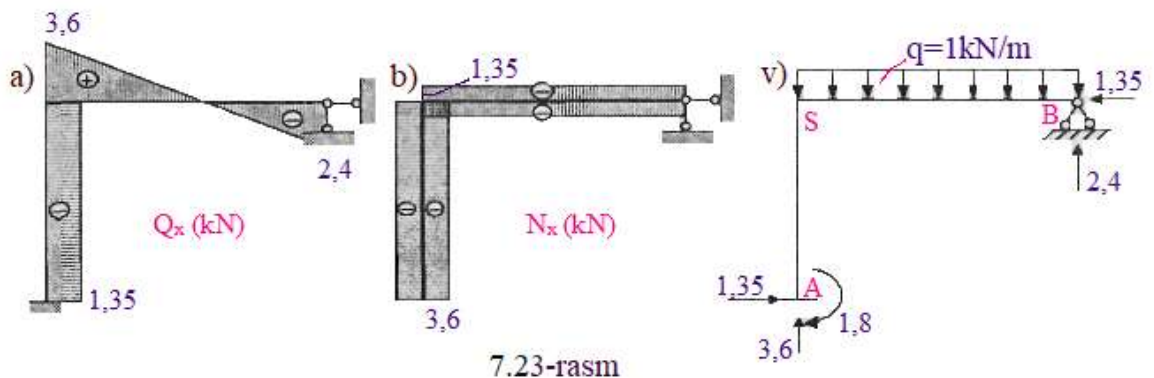
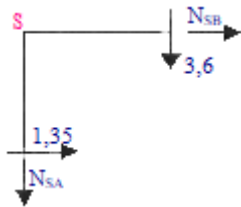
Q_x epyura (7.23-rasm, a) da ko'rsatilgan.

10. Q_x dan foydalanib N_x epyurani ko`ramiz (7.23-rasm, b). S tugunni Q_x epyuradan qirqib, uning muvozanatidan N_x ni aniqlaymiz.

$$\sum X = 0; N_{SB} + 1,35 = 0; N_{SB} = -1,35$$

$$\sum Y = 0; -N_{SA} - 3,6 = 0; N_{SA} = -3,6.$$

11. Umumiy statik tekshirish (7.22-rasm, v). Buning uchun, avvalo ramaning tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz. Tayanchlardagi momentlar M_x , ko`ndalang reaksiya kuchlari Q_x , buylama reaksiya kuchlari N_x epyuralardan aniqlanadi. Statika muvozanat shartlariga asosan:



$$\sum X = 0; 1,35 - 1,35 = 0;$$

$$\sum Y = 0; 3,6 + 2,4 - 1 \cdot 6 = 6 - 6 = 0,$$

$$\sum M_A = 0; -2,4 \cdot 6 + 1 \cdot 6 \cdot 3 - 1,35 \cdot 4 + 1,8 = 19,8 - 19,8 = 0.$$

Demak, M , Q va N epyuralar to`g`ri hisoblanib qurilgan.

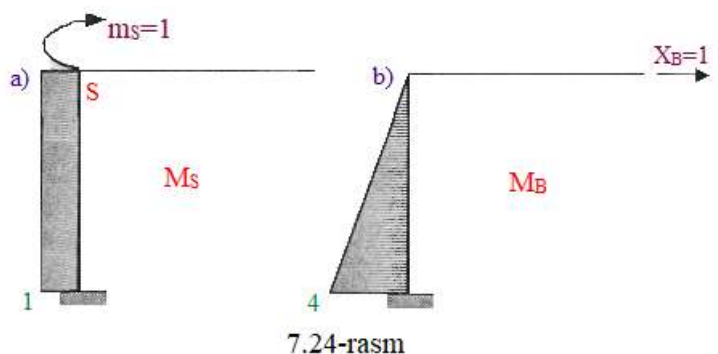
**Statik aniqmas sistemalarda ko`chishlarni aniqlash.** Statik aniqmas sistemalarda tashqi yuklar ta`siridan berilgan 1 kesimidagi ko`chishni Mor formulasi yordamida aniqlash mumkin:

$$\Delta_{ip} = \sum \int \frac{M_x \cdot \bar{M}_i}{EI} dx, \quad (13)$$

bunda M_x - statik aniqmas sistemada tashqi yukdan hosil bo`lgan eguvchi moment epyurasi;  $\bar{M}_i$  statik aniq, sistema 1 nuqtaga qo`yilgan birlik kuch ta`siridan hosil bo`lgan eguvchi moment epyurasi.

Statik aniqmas sistemalarda ko`chishlarni aniqlashni quyidagi misolda ko`ramiz:

4-misol. 7.24-rasm, a da berilgan



ramani S kesimidagi burilish burchagi va V tayanchidagi gorizontall ko'chishi aniqlansin.

Echish. 1. Ramani S kesimidagi burilish burchagini aniqlash uchun (13) formulaga asosan, avvalo berilgan statik aniqmas rama uchun tashqi yuklardan hosil bo'lgan eguvchi moment epyurasi M_h ni quramiz. Bu epyura 4-misolda qurilgan (7.24-rasm, v). Asosiy sistemani S kesimiga $\bar{m}=1$ birlik moment qo'yib, $\bar{M}_c$ birlik eguvchi moment epyurani chizamiz (7.24-rasm, a).

Ramaning S kesimidagi burchakli ko'chish (13) formulaga asosan:

$$\varphi_{sp} = \sum \int \frac{\bar{M}_s M_x}{EI} dx = \frac{1}{2EI} \left(\frac{3,6 \cdot 4}{2} \cdot 1 - \frac{1,8 \cdot 4}{2} \cdot 1 \right) = \frac{3,6}{EI} \text{ rad.}$$

1. Ramaning B tayanchidagi gorizontall ko'chishni aniqlash uchun asosiy sistemaning B tayanchiga gorizontall yo'nalish bo'yicha $\bar{X}_B=1$ birlik kuch qo'yib M_B birlik eguvchi moment epyurasi M_B ni chizamiz (7.24-rasm, b) (12) formulaga asosan, B tayanchdagi gorizontall ko'chish:

$$\Delta_B^{gor} = \sum \int \frac{\bar{M}_B M_x}{EI} dx = \frac{1}{EI} \left(\frac{3,6 \cdot 4}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot 4 - \frac{1,8 \cdot 4}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 4 \right) = \frac{1}{EI} (9,6 - 9,6) = 0.$$

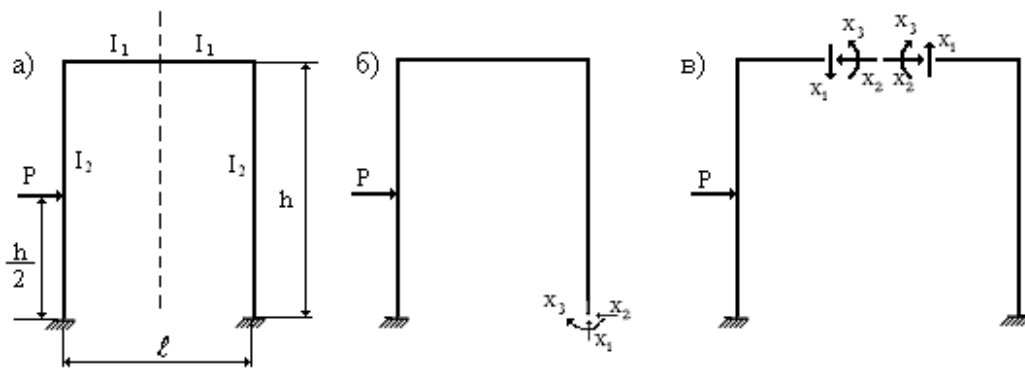
Chunki, ramaning B tayanchida gorizontall va vertikal ko'chishlar hosil bo'lmaydi.

7.5-§. Simmetrik ramalarni kuchlar usulida hisoblash.

Statik aniqmas ramalarni hisoblashda soddalashtirish usullari. Kanonik tenglamalar soni sistemadagi ortiqcha noma'lumlar soniga teng bo'lishini ilgari aytib o'tgan edik. Demak, sistemaning statik aniqmaslik darajasi ortgani sari kanonik tenglamalar soni ham ortib boradi, ularni birgalikda yechish uchun tobora ko'prok vaqt va mehnat talab etiladi. Aniq usullarga berilgan sistemadagi noma'lumlar sonini kamaytirib bo'lmaydi, biroq hisoblash ishlarini birmuncha osonlashtirish imkonini beradigan soddalashtirish usullari mavjuddir. Quyida ana shu usullarning ba'zilari bilan tanishib chiqamiz.

Sistlarning simmetrikligidan foydalanish.

Simmetrik ramalar faqat geometrik shakliga ko'ra emas, balki tayanchlari va birliliklari bo'yicha ham simmetrik bo'lishi lozim. Shnda ularning simmetrikligidan foydalanib ba'zi soddalashtirishlarga erishish mumkin. 7.25-rasm, a-da simmetrik statik aniqmas rama tasvirlangan. Rama bitta vertikal simmetriya o'qiga ega. Ramaning chap va o'ng tayanchlari bir xil. Ramaning har ikkala ustuni, shuningdek



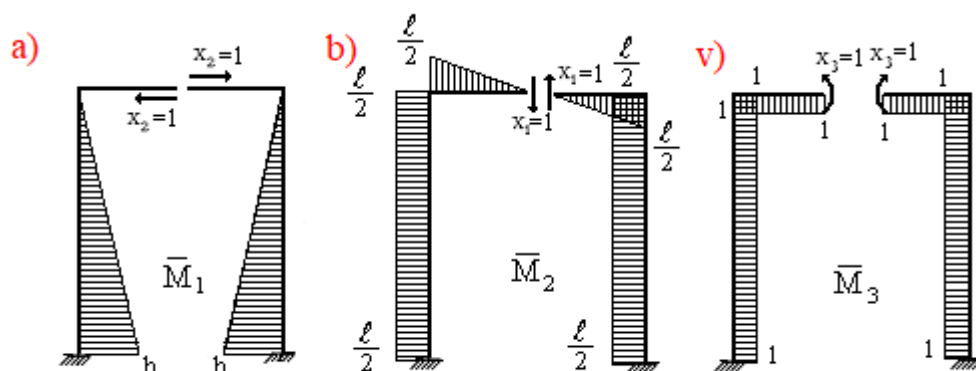
7.25-rasm

rigelning chap va o'ng qismlari bir xil inertsiya momentiga ega, bu har ikkala ustun bir xil bikrlikka o'zaro teng demakdir.

Agar ramaning asosiy sistemasini 7.25-rasm, b-da ko'rsatilgandek olsak, hisob jarayonida hech qanday soddalashuvga erishmaymiz, uch noma'lumli uchta kanonik tenglamalar sistemasi o'zgarishsiz qolaveradi:

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

Agar ramaning asosiy sistemasini 7.26-rasm, v-dagi ko'rinishda olsak, kanonik tenglamalar sistemasi ancha ixchamlashadi. Ramaning asosiy sistemasini hosil qilishda uni simmetriya o'qi o'tgan kesimdan qirqdik. Bu asosiy sistemaning birlik epyuralarini qursak, simmetrik (M_1, M_3) va teskari simmetrik (M_2) epyuralar hosil bo'ladi. (7.26-rasm).



7.26-rasm

To'g'ri va teskari simmetrik epyuralarning ko'paytmasi nolga teng bo'ladi.. Bu qoida kanonik tenglama koefitsientlarini aniqlashda juda qo'l keladi. Chunonchi, δ_{12} koefitsientini aniqlashda M_1 va M_2 epyuralar Vereshchagin formulasi bo'yicha

o'zaro ko'paytirilishi kerak. Biroq epyuralarning biri simmetrik, ikkinchisi teskari simmetrik bo'lgani uchun ko'paytma nol chiqishini oldindan bilamiz. Shunday qilib, $\delta_{12} = \delta_{21} = 0$. $\bar{M}_2$ va $\bar{M}_3$ epyuralarining ko'paytmasidan $\delta_{23} = \delta_{32} = 0$ kelib chiqadi.

Buning oqibatida kanonik tenglamalar sistemasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1P} = 0;$$

$$\delta_{22}X_2 + \Delta_{2P} = 0;$$

$$\delta_{31}X_1 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3P} = 0;$$

ya'ni yaxlit tenglamalar sistemasi (1) ikkita mustaqil tenglamalar sistemasiga ajralib ketdi: bulardan biri

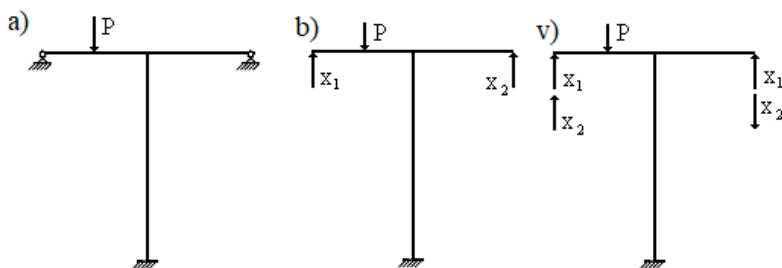
$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3P} &= 0; \end{aligned} \quad (2)$$

ikkinchisi $\delta_{22}X_2 + \Delta_{2P} = 0$;

SHunday qilib, asosiy sistema tanlash jarayonida ramaning simmetriklik xususiyatlaridan foydalanib, uch noma'lumli yaxlit tenglamalar sistemasini ikkita mustaqil tenglamalar sistemasiga ajratdik, bularning biri ikki noma'lumli ikkita tenglama, ikkinchisi bir noma'lumli bitta tenglama. Natijada hisob ishlarini ancha qisqartirish imkoniyatiga ega bo'ldik.

Noma'lumlarni guruhlash. Ko'p oraliqli simmetrik ramalarni hisoblashda to'g'ri va teskari simmetrik bo'lgan epyuralar hosil qilish uchun noma'lumlar sifatida alohida kuchlar emas, balki kuchlar guruhi qabul qilinadi. Ikki noma'lumli rama misolida usulning mohiyatini bayon etamiz (7.27-rasm, a).

Berilgan rama ikki oraliqli bo'lib, sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchlar ustunga nisbatan simmetrik joylashgan. Ramaning asosiy sistemasini tayanchlarni tashlab yuborish yo'li bilan hosil qilamiz. Yo'qotilgan bog'lanishlar o'rniga noma'lum reaksiya kuchlarini qo'yamiz (7.27-rasm, b).



7.27-rasm

Biroq asosiy sistemani bunday olinishi hisob ishlarini soddalashtirishga olib kelmaydi. Kanonik tenglamalar sistemasi yaxlitligicha qolaveradi.

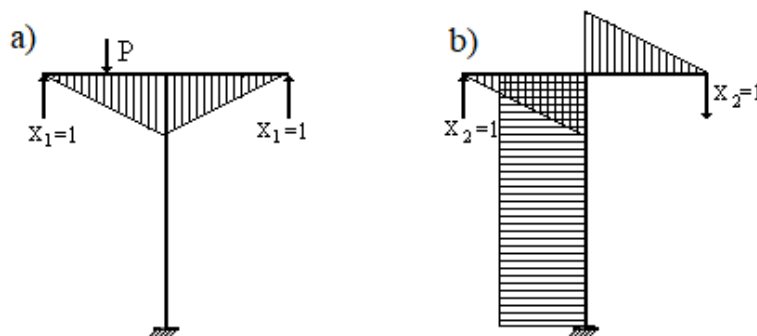
$$\begin{aligned}\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2P} &= 0;\end{aligned}$$

Hisob jarayonida ma'lum darajada soddalashuvga erishish maqsadida Z_1 reaksiyasini X_1 va X_2 noma'lumlarining yig'indisi bilan, Z_2 reaksiya kuchini esa X_1 va X_2 noma'lumlarining ayirmasi bilan almashtiramiz (7.27-rasm, v). Natijada yakka kuchlar kuchlar guruhi bilan almashadi. Buning oqibatida to'g'ri (M_1) va teskari (M_2) simmetrik epyuralarga ega bo'ladi. (7.28-rasm, a).

Ma'lumki bunday epyuralar Ko'paytmasi nolga teng bo'ladi, shunga ko'ra $\delta_{12} = 0$. Kanonik tenglamalar sistemasi esa alohida ikkita mustaqil tenglamalarga ajralib ketadi.

$$\begin{aligned}\delta_{11}X_1 + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{22}X_2 + \Delta_{2P} &= 0;\end{aligned}$$

Mazkur tenglamalardan X_1 va X_2 noma'lumlari aniqlanadi, so'ngra yakunlovchi M epyurasi ko'riladi.



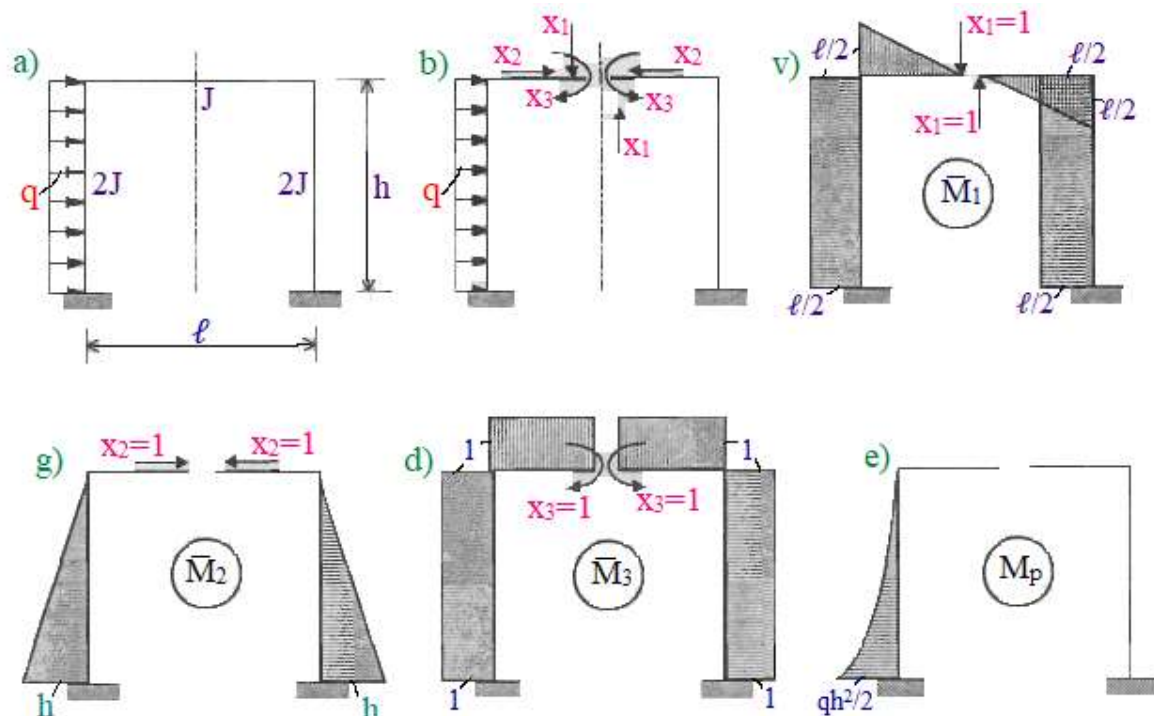
7.28-rasm

Birlik ko'chishlarni va ozod hadlarni hisoblash uchun birlik noma'lular $\bar{X}_1=1$, $\bar{X}_2=1$ va $\bar{X}_3=1$ dan birlik eguchi moment $\bar{M}_1$, $\bar{M}_2$ va $\bar{M}_3$ epyuralarini va M_P tashqi yuk eguvchi moment epyurasini quramiz (7.29 -racm, v, g, d, e).

$$\begin{cases} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1P} = 0, \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2P} = 0, \\ \delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3P} = 0. \end{cases}$$

Bu holda $\bar{M}_1$ epyura teskari simmetrik, M_2 , M_3 epyuralar simmetrik bo'ladi. Simmetrik va teskari simmetrik funktsiyalarning o'zaro ortogonallik hususiyatlariga asosan bir necha birlik ko'chishlar nolga teng bo'ladi, ya'ni

$$\delta_{ik} = \sum \int \frac{\bar{M}_i^{sim} \cdot \bar{M}_k^{nosim}}{EI} dx = 0.$$



7.28-rasm

Haqiqatan ham, simmetrik rama uchun ko'chishni hisoblasak,

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2}{EI} dx = \frac{1}{2EI} \left(\frac{h^2}{2} \cdot \frac{\ell}{2} - \frac{h^2}{2} \cdot \frac{\ell}{2} \right) = 0 \text{ bo'ladi.}$$

Chunki $\bar{M}_1$ epyura teskari simmetrik bo'lsa, M_2 epyura simmetrikdir. Shunga o'xshash $\delta_{13} = \delta_{31} = 0$ bo'ladi. Natijada kanonik tenglamalar sistemasi (a) ikki mustakil guruhga, simmetrik va teskari simmetrik noma'lumli tenglamalar sistemasiga ajraladi.

$\delta_{11} \cdot X_1 + \Delta_{1p} = 0$, teskari simmetrik noma'lumli tenglama;

$$\begin{cases} \delta_{22} X_2 + \delta_{23} X_3 + \Delta_{2p} = 0, \\ \delta_{32} X_2 + \delta_{33} X_3 + \Delta_{3p} = 0. \end{cases} \text{ simmetrik noma'lumli tenglama.}$$

Demak, simmetrik ramalar uchun asosiy sistemani simmetrik qilib tanlash, kanonik tenglamaning bir necha yordamchi birlik ko'chishlarining, ya'ni ayrim o'xshash koefitsientlarining nolga teng bo'lishini ta'minlaydi.

Bu esa kanonik tenglamalar sistemasining echimini osonlashtiradi.

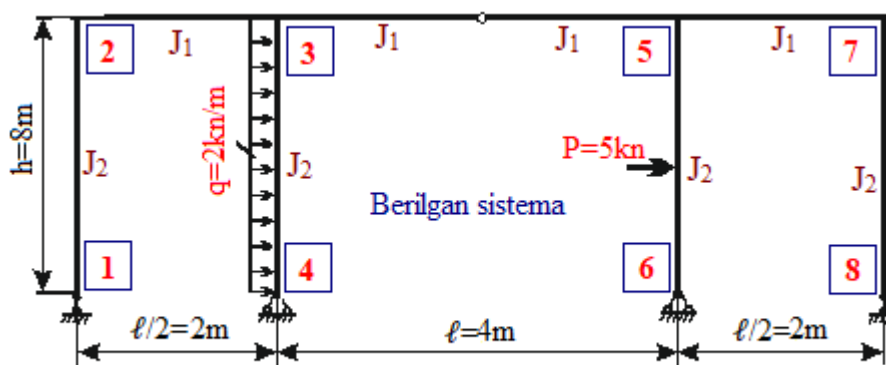
Statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash.

Masalani sharti: Berilgan statik noaniq rama uchun quyidagilar talab qilinadi:

1. Ramaning statik noaniqlik darajasini aniqlash.
2. Berilgan sistemaga mos asosiy sistema tanlash.

3. Tanlab olingan asosiy sistema uchun kanonik tenglamalar sistemasini tuzish.
4. Birlik reaksiya kuchlaridan va tashqi kuchlardan hosil bo'lgan eguvchi momentlar $\overline{M}_1, \overline{M}_2, M_p$ larni epyuralarini qurish.
5. Kanonik tenglama koeffitsientlari δ_{ik} va ozod hadlari Δ_{ip} larni qiymatlarini hisoblash.
6. Kanonik tenglama koeffitsientlari δ_{ik} va ozod hadlari Δ_{ip} larni to'g'ri hisoblanganligini tekshirish.
7. Kanonik tenglamalar sistemasini yechib, uning noma'lumlari bo'lgan Z_i reaksiya kuchlarini hisoblash.
8. Berilgan rama uchun eguvchi momentning yakuniy hulosa $M_{yakuniy}^{hulosa}$ epyurasini qurish.
9. Qurilgan M, Q, N yakuniy hulosa epyuralarini to'g'riligini tekshirish.

Masalani yechish: Ramaning berilgan sistemasini masalani shartida berilgan qiymatlarni e'tiborga olib chizib olamiz. Bu berilgan sistema 7.26-rasmda reltirlilgan



7.28-rasm

Berilgan:

$$l = 4m; \quad q = 2kN/m; h = 8m; \quad p = 5kN$$

$$J_2 : J_1 = 4 : 3 \rightarrow J_2 = 1,33J_1$$

1. Ramaning statik noaniqlik darajasini aniqlaymiz.

$$D = 2, Sh = 1, S_T = 6,$$

$$W = 3D - 2Sh - S_T$$

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

Statik aniqlik darajasini qo'yidagicha ham hisoblash mumkin:

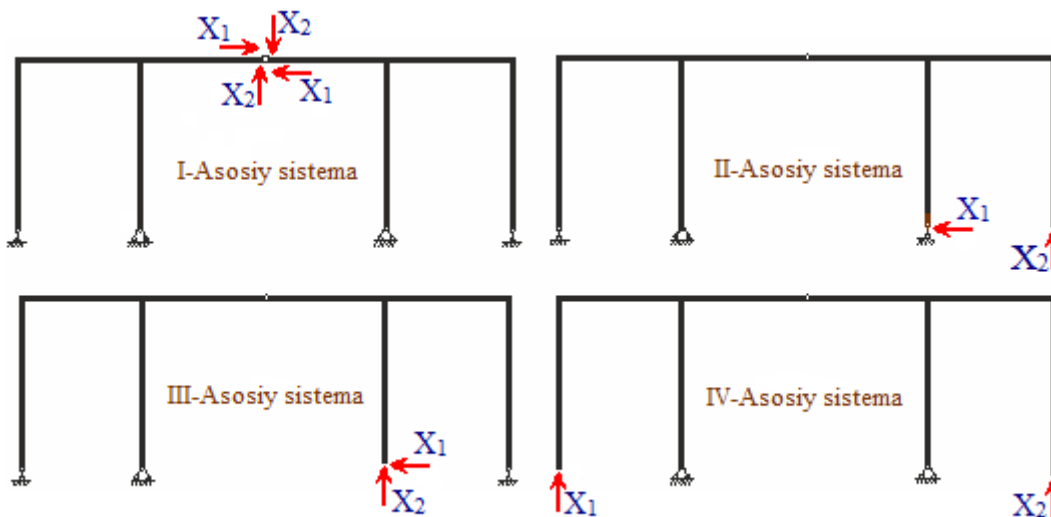
$$n = 3J + 2Sh + S_T - 3S$$

$$J = 6, Sh = 1, S_T = 6, S = 8$$

$$n = 3 \cdot 6 + 2 \cdot 1 + 6 - 3 \cdot 8 = 2$$

Demak berilgan rama ikki marta statik noaniq rama ekan.

II. Asosiy sistemaning bir necha variantlarini chizamiz va ular ichidan eng qulayini tanlab olamiz(7.29-rasm).



7.29-rasm

Asosiy sistema qilib I-variantni tanlab olamiz, chunki bu variantda biz murakkab ramani oddiy ikkita simmetrik ramalarga bo'ldik.

III. Kanonik tenglamalar sistemasini tuzamiz.

$$\begin{cases} x_1 \delta_{11} + x_2 \delta_{12} + \Delta_{1P} = 0 \\ x_1 \delta_{21} + x_2 \delta_{22} + \Delta_{2P} = 0 \end{cases}$$

IV. Birlik koeffitsientlar va ozod hadlarni aniqlaymiz.

Buning uchun birlik $\bar{M}_1$ va $\bar{M}_2$ epyuralarini hamda tashqi kuch ta'sirida hosil bo'lgan $\bar{M}_P$ epyuralarni chizamiz.

$\bar{M}_1$ epyurani chizish uchun $X_1 = 1$ kuchni asosiy sistemaga q o'yib, shu kuch ta'sirida hosil bo'lgan tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

7.29-rasmda keltirilgan ramaning A va B tayanchlaridagi reaksiya kuchlarini aniqlaymiz.

Chap ramaning hisobi.

$$\sum M_A = 0, \sum M_A = -R_B \cdot 2 + X_1 \cdot 8 = 0; \Rightarrow R_B = \frac{8}{2} = 4kH$$

$$\sum M_B = 0, R_A \cdot 2 + X_1 \cdot 8 = 0; \Rightarrow R_A = -\frac{8}{2} = -4kH$$

Tekshirish:

$$\begin{aligned}\sum Y &= -R_A + R_B = 0 \\ \sum Y &= -4 + 4 = 0 \\ \sum X &= 0 \\ \sum X &= X_A - H_B \\ H_B &= 1kH\end{aligned}$$

O`ng ramaning hisobi.

$$\begin{aligned}\sum M_C &= 0 \\ \sum M_C &= -R_D \cdot 2 - X_1 \cdot 8 = 0 \\ R_D &= \frac{8}{2} = -4kH \\ \sum M_D &= 0 \\ \sum M_D &= R_D \cdot 2 + X_1 \cdot 8 = 0 \\ R_C &= -4kH \\ \sum X &= -X_1 - H_C \\ X_1 &= -H_C = -4kH\end{aligned}$$

Tekshirish:

$$\sum Y = -R_C + R_A = 4 - 4 = 0$$

Chap va o`ng ramalar uchun  $\bar{M}_1$  epyurasini chizamiz. Buning uchun ramani uchastkalarga bo`lib chiqamiz. har bir uchastka uchun Chap rama uchun;

$$\begin{aligned}M^I &= 0 & M^II_{x_2=0} &= 0 \\ M^II &= -R_A X_2 & M^II_{x_2=2} &= 4 \cdot 2 = -8kH \cdot M \\ 0 \leq x_2 &\leq l/2 \\ M^III &= 0 & M^IV_{x_4=0} &= 0 \\ M^IV &= -H_B X_4 & M^IV_{x_4=8} &= -8 \\ 0 \leq x_4 &\leq h\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1-uchastka \quad \dot{I}^I &= 0 & 3-uchastka \quad c_{x_3/D} \cdot x_3 \\ 2-uchastka \quad M^II &= -H_C \cdot x_2 & 0 \leq x_3 \leq 2 \\ 0 \leq x_2 &\leq h & M^II_{x_3=0} &= 0 \\ M^II_{x_2=0} &= 0 & M^II_{x_3=2} &= -8 \\ M^II_{x_2=8} &= -8kH \cdot M & 4-uchastka \quad M^IV &= 0\end{aligned}$$

$\bar{M}_1$ Epyura 7.30-rasmda keltirilgan.

$\bar{M}_1$ epyurani chizish uchun asosiy sistemaga $X_2 = 1$ kuchni qo`yib, o`ng va chap ramalar uchun reaksiya kuchlarini aniqlaymiz: 7.30-rasm

Chap rama uchun;

O`ng rama uchun.

$$\sum \dot{I}_{\dot{A}} = 0$$

$$\sum \dot{I}_{\dot{A}} = R_B \cdot 2 - X_2 \cdot 4 = 0$$

$$R_B = \frac{4}{2} = 2\hat{e}\hat{i}$$

$$\sum \dot{I}_{\dot{B}} = 0$$

$$R_A \cdot 2 + \tilde{O}_2 \cdot 2 = 0$$

$$R_A = \frac{2}{2} = 1\hat{e}\hat{i}$$

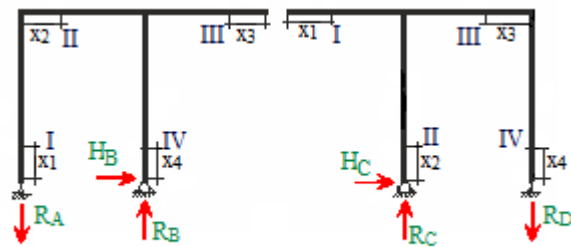
Tekshirish:

$$\sum \tilde{O} = 0$$

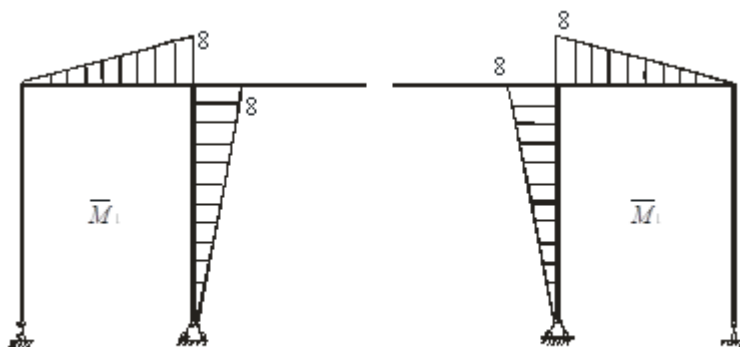
$$\sum \tilde{O} = \dot{I}_{\tilde{N}} = 0$$

$$\dot{I}_{\tilde{N}} = 0$$

$$\sum Y = -R_A + R_B - X_2 = -1 + 2 - 1 = 0 \quad H_C$$



7.30-rasm



7.31-rasm

Ung ramani chizamiz. $R_D = 1\kappa H$ $R_C = -2\kappa H$ $H_C = 0$

$\bar{M}_1$ epyurani chizamiz. Chap rama

$$M^I = 0$$

$$M^{II} = -R_A \cdot X_2$$

$$0 \leq X_2 \leq 2$$

$$M_{X_2}^{II} = 0$$

$$M_{X_2=2}^{II} = -2\kappa H \cdot \mathcal{M}$$

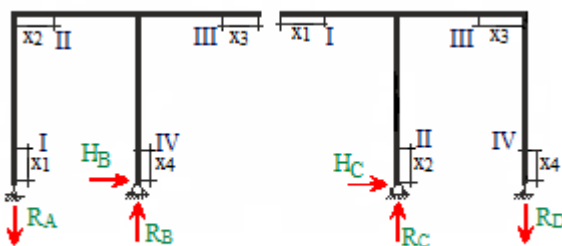
$$M^{III} = -X_2 \cdot X_3$$

$$0 \leq X_3 \leq l/2$$

$$M_{X_3=0}^{III} = 0$$

$$M_{X_3=2}^{III} = -2\kappa H \cdot \mathcal{M}$$

$$M^{IV} = 0$$



7.32-rasm

O`ng rama

$$M^I = X_2 \cdot X_1$$

$$0 \leq X_2 \leq l/2$$

$$M_{X_2=0}^I = 0$$

$$M_{X_3=2}^I = -2kH \cdot M$$

$$M^{II} = 0$$

$$M^{III} = -R_D \cdot X_3$$

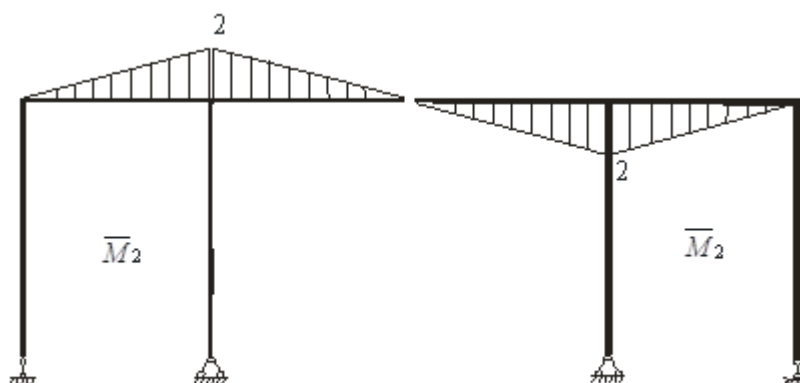
$$0 \leq X_3 \leq l/2$$

$$M_{X_3=0}^{III} = 0$$

$$M_{X_3=2}^{III} = 2$$

$$M^{IV} = 0$$

$\bar{M}_2$ epyura 13-rasmda ko`rsatilgan.



7.33-rasm

Asosiy sistemaga tashqi kuchlarni qo`yib $\bar{M}_P$ epyurasini chizamiz.

Chap rama

$$\begin{aligned} \sum M_2 &= 0 & -R_B \cdot 2 + q \cdot 8 + 4 &= 0 & R_B &= 32kH \\ \sum M_B &= 0 & \sum M_B &= R_A \cdot 2 + q \cdot 8 + 4 = 0 & R_A &= 32kH \\ \sum Y &= -R_A + R_B = 0 & \sum X &= q \cdot 8 + H_B & H_B &= 16kH \end{aligned}$$

$$M^I = 0$$

$$M^{II} = -R_A \cdot X_2$$

$$0 \leq X_2 \leq l/2$$

$$M_{X_2=0}^{II} = 0$$

$$M_{X_2=2}^{II} = -64kH \cdot M$$

$$M^{III} = 0$$

$$M^{IV} = H_B \cdot x_4 - q \frac{x^2}{2}$$

$$0 \leq x_4 \leq h$$

$$M_{x_4=0}^{IV} = 0$$

$$M_{x_4=8}^{IV} = 16 \cdot 8kH \cdot M$$

O`ng rama

$$\begin{aligned} \sum M_C &= 0 & \sum M_C &= -R_D \cdot 2 + P \cdot 4 = 0 & R_D &= 10kH \\ \sum M_D &= 0 & \sum M_D &= R_C \cdot 2 + P \cdot 4 = 0 & R_C &= 10kH \\ \sum Y &= -R_D + R_C = 10 - 10 = 0 & \sum X &= P + H_C = 0 & H_C &= -P = -5kH \end{aligned}$$

$$M^I = 0$$

$$M^{II} = -H_C \cdot X_2$$

$$0 \leq X_2 \leq h/2$$

$$M_{X_2=0}^{II} = 0$$

$$M_{X_2=h/2}^{II} = -20kH \cdot M$$

$$M^{III} = H_C(h/2 + x_3) + Px_3$$

$$0 \leq X_3 \leq h/2$$

$$M^{III} = -20kH \cdot M$$

$$M^{III} = -5(4+5) + 5 \cdot 5 = -45 + 25 = 20 \text{ кк} \cdot \text{м}$$

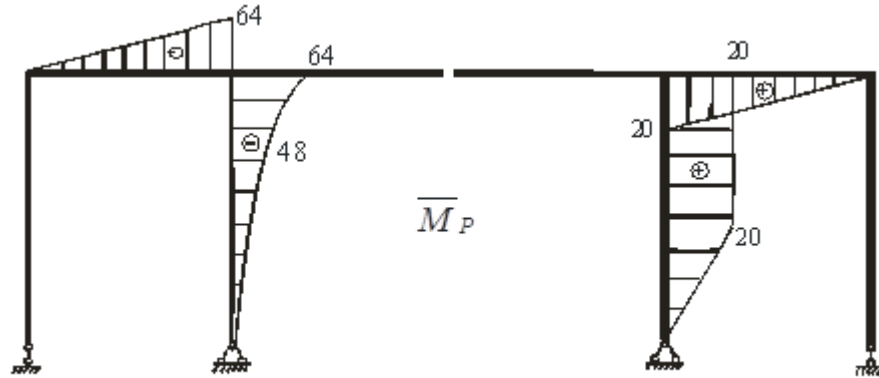
$$M^{IV} = 0$$

$$M^V = R_D \cdot x_5$$

$$0 \leq x_4 \leq h$$

$$M_{x_5=0}^{IV} = 0$$

$$M_{x_5=2}^{IV} = 20 \text{ кк} \cdot \text{м}$$



7.34-rasm

Epyurasi 7.34-rasmda keltirilgan.

Birlik koeffitsientlarini quyidagi formula yordamida aniqlaymiz:

$$\delta_{11} = \frac{I}{EJ} \bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2; \quad \delta_{12} = \frac{I}{EJ} \bar{M}_1 \cdot \bar{M}_2; \quad \delta_{21} = \delta_{12}; \quad \delta_{22} = \frac{I}{EJ} \bar{M}_2 \cdot \bar{M}_2;$$

$$\delta_{11} = \frac{I}{EJ} \left(2 \cdot \frac{8 \cdot 2}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 8 + \frac{8 \cdot 8}{2} \cdot 8 \cdot \frac{1}{2} \right) = \frac{I}{EJ} \left(\frac{16 \cdot 8 \cdot 2}{3} + \frac{64 \cdot 8}{3} \right) = \frac{25 \cdot 5.99}{EJ}$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{I}{EJ} \cdot \frac{8 \cdot 2}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 - \frac{8 \cdot 2}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 = 0$$

$$\delta_{22} = \frac{I}{EJ} \left(\frac{2 \cdot 2}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 - \frac{2 \cdot 2}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot 2 \right) = \frac{I}{EJ} \left(\frac{16}{3} + \frac{16}{3} \right) = \frac{32}{3} EJ = \frac{10.66}{EJ}$$

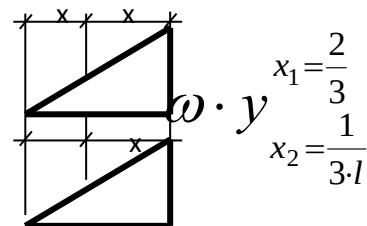
Yuzalarni bir-biriga ko`paytirish formulalari 1-jadvalda keltirilgan.

Yuzalarni o`zaro ko`paytirishning natijaviy formulasini quyidagi uchburchak shaklli yuzada ko`rib chiqamiz.

$$\omega = \frac{a \cdot l}{2} + \frac{b}{c} = \frac{y}{2/3 \cdot l}$$

$$y \cdot l = b \cdot 2/3 \cdot l$$

$$y = \frac{b \cdot 2/3 \cdot l}{l} = 2/3 \cdot b$$



Ozod hadlarni quyidagicha hisoblaymiz:

$$\Delta_1 P = \frac{I}{EJ} \bar{M}_1 \cdot M_P$$

$$\Delta_1 P = \frac{I}{EJ} \left(\frac{8}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 64 + \frac{64 \cdot 8}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot 8 \cdot \frac{8}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 20 - \left(\frac{8+4}{2} \cdot 4 \cdot 20 \right) \frac{1}{2} - \frac{4}{2} \cdot 4 \cdot 20 \cdot \frac{1}{2} \right) = \frac{453,34}{EJ}$$

$$\Delta_1 P = \frac{I}{EJ} \bar{M}_2 \cdot M_P; \quad \Delta_1 P = \frac{I}{EJ} \left(\frac{2}{2} \cdot 2 \cdot 64 \cdot \frac{2}{3} + \frac{2}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 20 \right) \frac{112}{EJ}$$

V. $\delta_{11} \cdot \delta_{12} \cdot \delta_{21} \cdot \delta_{22} \cdot \Delta_1 P_1 \Delta_2 P$ koeffitsentlarning qanchalik to'g'ri hisoblanganligini tekshiramiz. Buning uchun birlik yig'indi epyurani chizamiz.

(9) va (10) formulalardan foydalanamiz:

$$M_{ss} \cdot M_{ss} = \delta_{11} + \delta_{12} + \delta_{21} + \delta_{22}$$

$$M_{ss} \cdot M_{ss} = \left(\frac{10}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 10 + \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot 2 + \frac{8}{2} \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 8 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 + \frac{8}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 8 \right) 88.6 +$$

$$+ 5.33 + 110.66 + 24 = \frac{266.59}{EJ}$$

$$\delta_{11} + \delta_{12} + \delta_{21} + \delta_{22} = \frac{255.996}{EJ} + \frac{10.66}{EJ} = \frac{266.65}{EJ}$$

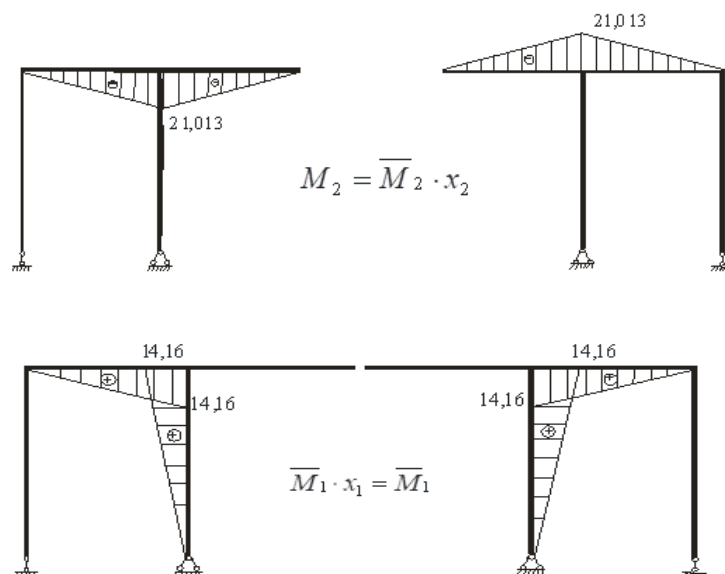
$$M_{ss} \cdot M_p = \Delta_1 p + \Delta_2 p$$

$$\frac{1}{EJ} M_{ss} \cdot M_p = \frac{1}{EJ} \left(\frac{10}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 64 + \frac{64 \cdot 8}{3} \cdot \frac{3}{2} \cdot 8 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{8+4}{2} \cdot 4 \cdot 20 - \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{2} \cdot 4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 20 - \frac{20}{2} \cdot 2 \cdot 6 \cdot \frac{2}{3} \right) = 565,33$$

$$\Delta_1 p + \Delta_2 p = \frac{112}{EJ} + \frac{453,34}{EJ} = \frac{565,34}{EJ}$$

Ko'rib turganimizdik farq juda kichkina, demak koeffitsentlar to'g'ri topilgan.

VI. Topilgan koeffitsentlarni kanonik tenglamaga qo'yib, tenglamalar sistemasini echamiz.



$$\begin{cases} \frac{255,9966}{EJ} \cdot X_1 + 0 \cdot X_2 + \frac{453,34}{EJ} = 0 \\ 0 \cdot X_1 + \frac{10,66}{EJ} \cdot X_2 + \frac{112}{EJ} = 0 \end{cases} \quad \begin{aligned} X_1 &= -\frac{453,34}{255,99} = -1,77088 \\ \frac{10,66}{EJ} \cdot X_2 + \frac{112}{EJ} &= 0 \\ X_2 &= \frac{112}{10,66} = -10,5065 \end{aligned}$$

$$255,9966 \cdot X_1 = 453,34$$

VII. Ramaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment M^{hul} ning qiymatini niqlash uchun, quyidagi formuladan foydalanamiz:

VIII. $M^{hul} = \bar{M}_1 \cdot X_1 + \bar{M}_2 \cdot X_2 + M_p$

$\bar{M}_1 \cdot X_1$ va $\bar{M}_2 \cdot X_2$ epyuralarni ko`ramiz. Ular 7.35 va 7.36 rasmlarda berilgan. M^{hul} epyura 7.37-rasmda keltirilgan.

Q^X va N^X epyuralarni qurish uchun asosiy sistemani X_1 va X_2 ning haqiqiy qiymatiga teng bo`lgan kuchlar va tashqi kuchlar bilan yuklaymiz. Shu rama uchun tayanch reaksiyalarni aniqlaymiz. Ramani uchastkalarga bo`lib, Q^X va N^X epyurani chizamiz.

Chap rama.

$$\sum Y = X_2 - R_A + R_B = 0 \quad \sum Y = 10,5065 - 14,409908 + 390348 = 0$$

$$\sum X = 0 \quad q \cdot 8 - X_1 - H_B = 0$$

$$H_B = 14,22912 \text{ } \kappa H$$

$$\begin{array}{lll} N^I = 14,40 \kappa H = R_A & Q^I = 0 & Q_{X=0}^{IV} = H_B - q \cdot 0 \\ N^{II} = 0 & Q^{II} = -R_A = -14,40 \kappa H & Q_{X=0}^{IV} = 14,22912 \kappa H \\ N^{III} = -X_1 = -1,77088 \kappa H & Q^{III} = -X_2 = -10,5065 \kappa H & Q_{X=4}^{IV} = 6,22912 \kappa H \\ N^{IV} = -R_B = -3,90348 \kappa H & Q^{IV} = H_B - q \cdot X & Q_{X_4=8}^{IV} = -1,77088 \kappa H \end{array}$$

O`ng rama

$$\sum M_c = 0 \quad -R_D \cdot 2 - X_2 \cdot 2 + X_1 \cdot 8 + P \cdot 4 = 0 \quad R_D = 6,57702 \kappa H$$

$$\sum M_d = 0 \quad R_C \cdot 2 - X_2 \cdot 4 + X_1 \cdot 9 + P \cdot 4 = 0 \quad R_C = 3,92948 \kappa H$$

$$\sum Y = R_D + R_C - X_2 = 0$$

$$\sum Y = 3,92948 + 6,57702 - 10,5065 = 0 \quad \sum X = 0 \quad \sum X = X_1 + p - H_C = 0$$

$$H_C = 6,77088 \kappa H$$

$$Q^I = -10,5065 \text{ кН} = -X_2$$

$$Q^{II} = 6,77088 \text{ кН} = H_C$$

$$Q^{III} = -H_C - P = 6,77088 - 5 = 1,77088 \text{ кН}$$

$$Q^{IV} = 0$$

$$Q^V = -R_D = -6,57702 \text{ кН}$$

Q^{hul} va N^{hul} larning xulosa epyuralari 19, 20-rasmlarda keltirilgan

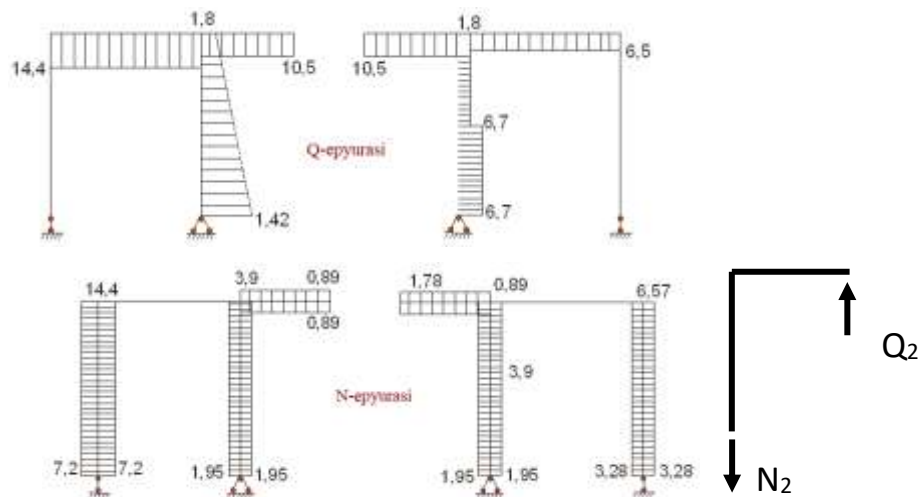
$$N^I = -X_1 = -1,77088 \text{ кН}$$

$$N^{II} = -R_C = -3,92948 \text{ кН}$$

$$N^{III} = -R_C = -3,92948 \text{ кН}$$

$$N^{IV} = -R_D = -6,57702 \text{ кН}$$

$$N^V = 0$$

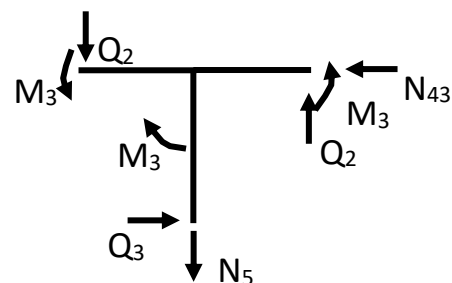


Epyuralarning qanchalik to'g'ri chizilganligini tekshirish uchun statik tekshirish qilamiz. Buning uchun ramaning hamma tugunlari uchun alohida- alohida muvozanat tenglamalarini tuzamiz

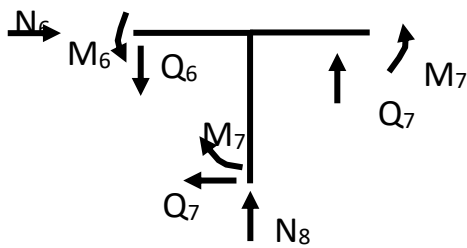
$$\begin{aligned} \sum X &= 0 \\ \text{I-tugun} \quad \sum Y &= -N_{21} + Q_{23} = -14,40 + 14,40 = 0 \\ \sum M_I &= 0 \end{aligned}$$

II-tugun

$$\begin{aligned} \sum M_{II} &= M_{32} - M_{34} + M_{35} = -28,82 + \\ &\quad + 21,013 + 49,84 = 0 \\ \sum X &= Q_{35} - N_{43} = 1,77088 - \\ &\quad - 1,77088 = 0 \\ \sum Y &= -Q_{23} + Q_{43} + N_{53} = -14,40 + \\ &\quad + 10,5065 + 3,90348 = 0 \end{aligned}$$

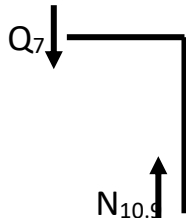


III-tugun



$$\begin{aligned}\sum M &= -M_{67} - M_{79} + M_{78} = \\ &= -21,013 - 13,147 + 34,16 = 0 \\ \sum X &= 0 \quad N_{67} - Q_{78} = 1,77088 - \\ &\quad -1,77088 = 0 \\ \sum Y &= 0 \quad -Q_{67} + N_{87} = -10,5065 + \\ &\quad + 6,57708 + 3,929 = 0\end{aligned}$$

IV-tugun



$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ \sum Y &= Q_{79} + N_{10,9} = -6,57708 + 6,57708 = 0 \\ \sum X &= 0\end{aligned}$$

Deformatsion tekshirish. M^x epyurani to'g'ri chizilganligini quyidagi formula yordamida tekshiramiz:

$$\begin{aligned}\frac{1}{EJ} M^x \cdot \bar{M}_2 &= \frac{1}{EJ} \left(\frac{28,82 \cdot 2}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 - \frac{21,013}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 - \frac{21,013}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 + \frac{13,147}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2 \right) = \\ &= -403,72 + 294,182 \cdot 2 - 184,17 = 0\end{aligned}$$

7.6-§. Statik noaniq sistemalarni harorat ta'siriga va tayanchlar cho'kishiga hisoblash.

Harorat o'zgarishidan deformatsiyalangan sistemani qaraymiz (I-holat), undagi i yo'nalish bo'yicha izlanayotgan ko'chishni Δ_{it} deb belgilaymiz.

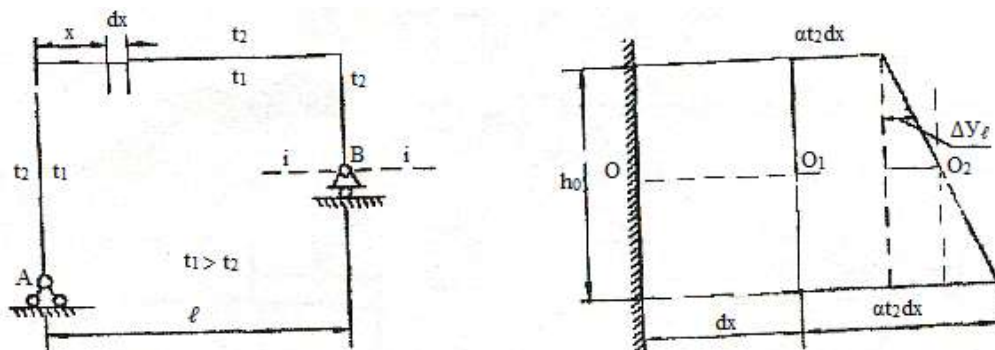
II- holatdagi izlanayotgan ko'chish yo'nalishida qo'yilgan birlik kuch $P_1=1$ ning Δ_{it} ko'chishda bajara oladigan ishi

$$A_{it} = 1 \cdot \Delta_{it}$$

II – holatdagi sistemaning $\bar{M}_1$, $\bar{N}_1$ va $\bar{Q}_1$ zo'riqish kuchlarining I –holatdagi deformatsiyalarda bajara oladigan ishi:

$$\begin{aligned}W &= \sum_0^l \bar{M}_1 \Delta \varphi_t + \sum_0^l \bar{N}_1 \Delta l_t + \sum_0^l \bar{Q}_1 \Delta \gamma_t, \quad \text{êê} \\ \Delta_{it} &= \sum_0^l \bar{M}_1 \cdot \Delta \varphi_t + \sum_0^l \bar{N}_1 \cdot \Delta l_t + \sum_0^l \bar{Q}_1 \cdot \Delta \gamma_t\end{aligned}\tag{11.7}$$

Bu formuladagi $\Delta\varphi_t$, $\Delta\ell_t$ va $\Delta\gamma_t$ kattaliklar harorat o'zgarishi ta'siridan berilgan sistemaning d_x uzunlikni ixtiyoriy elementlar bo'lagi chekka kesimlarning mos ravishda o'zaro burilish burchagi chiziqli va siljish deformatsiyalaridir. Ularni aniqlashni ko'ramiz:



7.37 – rasm

(a) berilgan sistema; (b)– d_x elementlarning deformatsiyalanishi. Pastki qatlam tolachalarining uzayishi $\alpha t_1 dx$; $\alpha t_2 dx$ –yuqorigisi bo'ladi.

α – chiziqli kengayish koeffitsienti.

Element o'rta qatlam tolachalarining o'zaro chiziqli deformatsiyasi

$$\Delta l_t = \frac{\alpha t_1 dx + \alpha t_2 dx}{2} = \alpha \frac{t_1 + t_2}{2} dx$$

Chap va o'ng kesimlari o'zaro burilish burchagi esa,

$$\Delta\varphi_i = \alpha \frac{t_1 - t_2}{h_0} dx$$

(a) va (b) miqdorlarni (11.7) qo'yib, harorat o'zgarishidan vujudga kelgan ko'chishni hisoblash formulasini hosil qilamiz.

$$\Delta_{it} = \alpha \sum \frac{t_1 - t_2}{h_0} \int_a^b \overline{M}_i dx + \alpha \sum \frac{t_1 + t_2}{2} \int_a^b \overline{N}_i dx \quad (11.8)$$

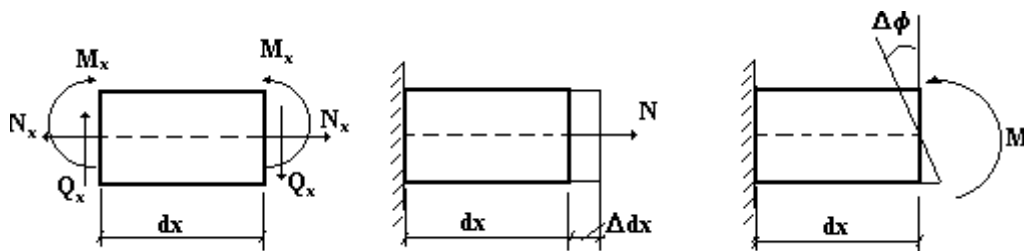
$$(11.8) \text{ formuladan } \int_a^b \overline{M}_i dx = \omega_{\overline{M}}; \int_a^b \overline{N}_i dx = \omega_{\overline{N}} \quad \text{u holda}$$

$$\Delta_{it} = \sum \alpha \frac{t_1 - t_2}{h_0} \omega_{\overline{M}} + \sum \alpha \frac{t_1 + t_2}{2} \omega_{\overline{N}}.$$

Tashqi kuchlar bilan yuklangan elastik sistemaning har bir ko'ndalang qismida ichki zo'riqish kuchlari M, Q, N va ularga mos deformatsiyalar hosil bo'ladi. Tashqi

kuchlar statik ravishda ortib borsa, ichki zo'riqish kuchlari va deformatsiyalar ham statik ravishda ortib boradi.

Tashqi kuchlar ta'siridagi elastik sistemaning biror elementini uning ukiga tik bo'lgan ikki tekislik bilan kesib, undan cheksiz kichik dx uzunlikdagi bo'lakcha (element) ajratib olib uni tekshiramiz. Bu elementning chap va ung tomonidagi tashlab yuborilgan qismlarining ta'sirini ichki zo'riqish kuchlari: eguvchi moment $M(x)$, bo'ylama kuch $N(x)$ va ko'ndalang kuch $Q(x)$ bilan almashtiramiz (5.5-rasm,a).



7.38-rasm

Ichki zo'riqish kuchlari (M , N va Q) butun sterjenga nisbatan ichki kuchlar bo'ladi. Lekin ajratilgan elementga nisbatan ular tashqi kuchlar vazifasini bajaradi. Ichki zo'riqish kuchlarining ajratib olingan elementining tegishli deformatsiyalarida bajargan elementar ishini aniqlaymiz:

1. Bo'ylama kuch N ta'sirida uzunligi dx bo'lgan elementni tekshiramiz. Elementning chap tomonidagi kesimni qo'zgalmas qilib mahkamlanib, uning o'ng tomoniga bo'ylama kuchni ta'sir ettiramiz (7.38-rasm,b). Bo'ylama kuchning element deformatsiylanishida bajargan elementar ishi (5.3) formulaga asosan:

$$dA_N = \frac{N\Delta dx}{2}$$

Guk qonuniga asosan $\Delta dx = \frac{N\Delta dx}{EF}$, u holda $dA_N = \frac{N^2 \Delta dx}{2EF}$ (5.5)

bunda EF - sterjen ko'ndalang kesimining cho'zilish (siqilish)dagi bikrligi.

2. Eguvchi momentning bajargan ishini aniqlaymiz (7.38-rasm,v). Elementning chap kesimini maxkamlab, uning o'ng kesimiga eguvchi moment M ni ta'sir ettiramiz. U holda o'ng kesim ϕ burchakka buriladi, uning miqdori quyidagi formulaga asosan aniqlanadi:

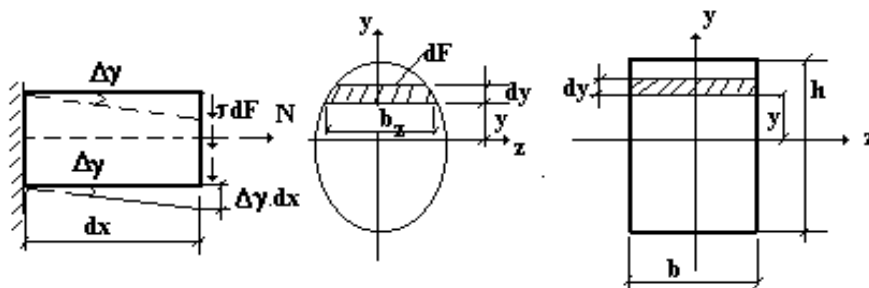
$$\Delta\varphi \frac{Mdx}{EJ} \quad (5.6)$$

bunda EJ sterjen ko'ndalang kesimining egilishidagi bikrligi.

Elementga statik ravishda qo'yilgan eguvchi momentining burchakli ko'chishida bajargan elementar ishi (5.3) formulaga asosan :

$$dA_M = \frac{M\Delta\varphi}{2} = \frac{M^2 dx}{2EJ} \quad (5.7)$$

3. Ko'ndalang kuch Q ning bajargan elementar ishini hisoblaymiz (7.39 - rasm,a). Elementning chap qismini maxkamlab, uning o'ng qismidagi dF elementar yuzaga urinma zo'riqish kuch τdF ni ta'sir ettiramiz.



7.39 -rasm

Bunday urinma zo'riqishlarning teng ta'sir etuvchi ko'ndalang kuch $Q = \int_F \tau dF$

D.I.Juravskiy formulasiga asosan, urinma kuchlanish ifodasini yozamiz:

$$\tau = \frac{Q S_z^{ajr.}}{I_z b_z},$$

Bunda $S_z^{ajr.}$ ko'ndalang kesimda urinma kuchlanish aniqlanadigan nuqtadan yuqoridagi yuzaning netral o'qqa nisbatan olingan statik momenti b_z : -urinma kuchlanish aniqlanadigan qatlamdagi ko'ndalang kesimning eni (7.39 -rasm,b).

τdF urinma zo'riqishlar ta'sirida elementning chekka kesimlari bir-biriga nisbatan $\gamma dx = \frac{\tau}{G} dx$ miqdorga siljiydi. Q zo'riqishning bu ko'chishda bajargan ishini (5.3) formulaga asosan quyidagicha yozamiz:

$$dA_Q = \int_F \frac{\tau dF \gamma dx}{2} = \int_F \frac{\tau^2 dF dx}{2G} = \frac{Q^2 dx}{2GI_z^2} \int_F \frac{S_z^2}{b_z^2} dF \quad \text{yoki} \quad dA_Q = \eta \frac{Q^2 dx}{2GF}, \quad (5.8)$$

$$\text{bunda} \quad \eta = \frac{F}{I_z^2} \int_F \frac{S_z^2}{b_z^2} dF, \quad (5.9.)$$

η - sterjen ko'ndalang kesimining shakliga bog'liq bo'lgan koeffitsient.

Masalan, to'g'ri to'rtburchakli kesim uchun η ning qiymatini (5.9) formulaga asosan hisoblaymiz (7.39 -rasm,v):

$$B_F = b, \quad I_z = \frac{bh^3}{12}, \quad S_z^{ajr} = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right), \quad F = b.$$

$$\eta = \frac{bh}{\frac{b^2 h^6}{12z}} \int_F \frac{b^2 \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right)^2 b dh}{2^2 b^2} = 1,2.$$

Doirasimon ko'ndalang kesim uchun $\eta = 1,18$; qo'shtavrli profillar uchun esa $\eta \approx \frac{F}{F_{dev}}$ deb qabul qilingan. Bu yerda F_{dev} qo'shtavrli profil devorning yuzi.

Element ichki zo'riqish kuchlarining bajargan elementar to'la ish dA_N, dA_M, dA_Q larning yigindisiga teng bo'ladi, ya'ni :

$$dA = dA_N + dA_M + dA_Q = \frac{N^2 dx}{2EF} + \frac{M^2 dx}{2EI} + \mu \frac{Q^2 dx}{2GF}.$$

Bu ifodani sistemadagi hamma sterjenlarning har bir uchastkasi oraligi bo'yicha integrallab, so'ngra yigindisini olsak, zo'riqishlarning bajargan to'la haqiqiy ishi aniqlanadi:

$$A = \sum_{i=1}^n \int_0^{a_i} \frac{N^2 dx}{2EF} + \sum_{i=1}^n \int_0^{a_i} \frac{M^2 dx}{2EI} + \sum_{i=1}^n \mu \int_0^{a_i} \frac{Q^2 dx}{2GF}. \quad (5.10)$$

Elastik sistemada deformatsiyaning potentsial energiyasi. Elastik sistemalar injenerlik inshootning bir qismi bo'lib, ular yuqorida ko'rilganidek, tashqi kuchlar qo'yilishi protsessida deformatsiyalanadi va natijada unga ta'sir etayotgan tashqi kuchlar ish bajaradi. Bu ishning ozgina qismi materialning ichki ishqalanishlarini yengishga va temperaturaning o'zgarishiga sarf bo'ladi. Ammo

elastik sistemalarda ishning bu sarfi juda kichik miqdorni tashkil qilgani uchun ularni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Tashqi kuchlar ta'sirida elastik sistema deformatsiyalanishi natijasida unda deformatsiyaning potentsial energiyasi yig'ilib boradi. Tashqi kuchlarning bajargan to'la ishi to'liq holda deformatsiyaning potentsial energiyasiga aylanadi. Elastik sistemaga qo'yilgan tashqi kuchlarning asta-sekin statik ravishda qaytarib olish protsessida esa deformatsiyaning potentsial energiyasi ichki zo'riqish kuchlarining bajargan ishiga aylanadi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan, elastik sistemada tashqi kuchlarning bajargan ishi miqdor bo'yicha undagi deformatsiyaning potentsial energiyasiga teng bo'ladi:

$$A = W,$$

bunda A -tashqi kuchlarning bajargan to'la ishi, W -deformatsiyaning potentsial energiyasi.

(5.10) formulaga asosan potentsial energiya W ni quyidagicha yozish mumkin;

$$W = \sum_{i=1}^n \int_0^{a_i} \frac{N^2 dx}{2EF} + \sum_{i=1}^n \int_0^{a_i} \frac{M^2 dx}{2EI} + \sum_{i=1}^n \mu \int_0^{a_i} \frac{Q^2 dx}{2GF}. \quad (5.11)$$

(5.11) ifodaga asosan, elastik sistema potentsial energiyasining quyidagi xususiyatlarini yozish mumkin:

1. (5.11) formulada ichki zo'riqish kuchlar M , N va Q kvadratda bo'lganligi sababli potentsial energiya doim musbat bo'ladi.

2. Deformatsiyaning potentsial energiyasi zo'riqish kuchlariga nisbatan ikkinchi darajali, bir jinsli funktsiyadir.

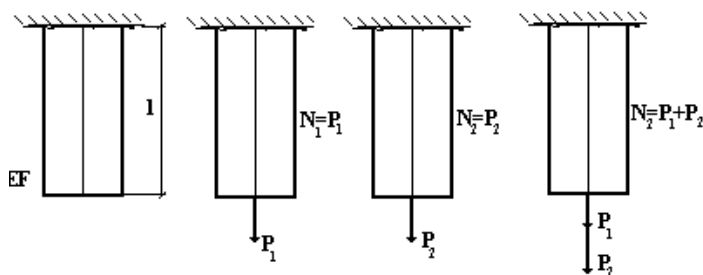
3. Kuchlar gruppasi ta'sirida hosil bo'ladigan deformatsiyaning potentsial energiyasi har bir kuchdan aloxida aniqlangan deformatsiya potentsial energiyaining yigindisiga teng bo'lmaydi. Bu xulosa potentsial energiya zo'riqish kuchlarining kvadratiga bog'liq bo'lganligi sababli, ular uchun yozilgan yig'indining kvadrati har bir hadning kvadrat yig'indisiga teng emasligidan kelib chiqadi.

4. Potentsial energiyaning miqdori tashqi kuchlarning qo'yilish tartibiga bog'liq bulmay, u elastik sistemaning oxirgi vaziyatidagi shakligagina bog'liqdir.

Deformatsiya potentsial energiyasining uchinchi xususiyatini 7.40 -rasmida ko'rsatilgan sistema orqali isbotlaymiz. Brusga statik ravishda qo'yilgan tashqi kuchlarning uch xil tartibdagi ta'sirini tekshiramiz va ularning bajargan ishi miqdorini aniqlaymiz:

1. Brusga faqat bitta P_1 kuch ta'sir qiladi (7.40 -rasm,b) va uning deformatsiyasining potentsial energiyasi (5.11) formulaga asosan:

$$A_1 = W_1 = \frac{N_1^2 l}{2EF} = \frac{P_1^2 l}{2EF}.$$



7.40 -rasm.

2. Brusga P_2 tashqi kuch ta'sir etadi (7.40 -rasm,v). U holda elementdagi potentsial

energiya $W_2 = \frac{P_2^2 l}{2EF}$ bo'ladi.

3. Brusga P_1 va P_2 kuchlarning birgalikdagi ta'sirini tekshiramiz (7.40 -rasm,g). Deformatsiyaning potentsial energiyasini (5.11) formulaga asosan hisoblaymiz:

$$W_3 = \int_0^l \frac{N_2^2 dx}{2EF} = \frac{(P_1 + P_2)^2 l}{2EF} = \frac{P_1^2 l}{2EF} + \frac{P_2^2 l}{2EF} + \frac{P_1 P_2 l}{2EF}$$

yoki $W_3 = W_1 + W_2 + \frac{P_1 P_2 l}{2EF}$ (a)

Tashqi kuchlar sistemasining birgalikdagi ta'siridan brusda hosil bo'lgan potentsial energiya W_3 ni, ularning aloxida ta'sirida vujudga kelgan potentsial energiyalar yigindisi $W_1 + W_2$ bilan taqqoslab, quyidagi xulosani yozamiz: Har bir kuchdan aloxida aniqlangan potentsial energiyaning yigindisi bu kuchlarning birgalikdagi ta'siridan vujudga kelgan brusning potentsial energiyasiga teng emas. Demak, deformatsiyaning potentsial energiyasini aniqlashda kuchlar ta'sirining mustaqillik printsipini tadbiq qilish mumkin emas. (a) ifodadagi uchinchi had tashqi kuch P_1 ning bajara oladigan ish miqdorini ifodalaydi.. Bajara oladigan ish miqdori

brusga qo'yilgan o'zgarmas P_1 kuchning statik kuch P_2 ta'siridan hosil bo'lgan ko'chishdagi bajargan ishga teng.

Agar brusga avval o'zgarmas kuch P_2 qo'yilgan bo'lsa, so'ngra P_1 kuch statik ravishda ta'sir etsa, u holda (a) ifodadagi qo'shimcha bajara oladigan ish o'zgarmas P_2 kuchning birinchi kuch P_1 hosil bo'lgan ko'chishdagi qo'shimcha bajargan ishga teng bo'ladi.

7.7-§. Statik noaniq sistemalarni kuchlar usuli bilan matritsalar yordamida hisoblash

Статик аниқмас системаларни кучлар усули билан матрицалар ёрдамида ҳисоблаш қуйидаги тартибда бажарилади.

1. Кучлар усулининг статик аниқмаслик даражаси аниқланади ва ортиқча боғланишлар белгилаб олинади.

2. Ортиқча боғланишлар номаълум кучлар билан алмаштирилиб асосий система танлаб олинади.

3. Статик аниқмас рамаларни матрицалар усулида ҳисоблаш учун қилинадиган асосий ишлардан бири уни тўғри оралиқларга ажратиб, зўриқишлари аниқланадиган характерли кесимларни белгилаб олиш.

4. Ҳар бир ортиқча номаълум кучларни бирга тенг деб, алоҳида бирлик эгувчи момент эпюралари ва ташқи юк эгувчи момент эпюраси чизилади.

5. Бирлик эгувчи момент эпюраларининг таъсир матрицаси $\bar{L}_m$, ташқи юк эгувчи момент M_P эпюрасининг матрицаси ва мойиллик матрицаси B лар тузилади.

6. Ташқи юклардан вужудга келган кўчишлар матрицаси $\bar{\Delta}_{1P}$ ни (21.1) формула ёрдамида ҳисобланади.

7. Бирлик кўчишлар матрицаси A (21.2) формула орқали аниқланади.

8. Ортиқча боғланишлардаги номаълум зўриқиш кучлари вектори (16.7) формулага кўра аниқланади.

9. Рама элементларининг характерли кесимларидаги эгувчи моментлар ординаталари (21.3) формулага асосан ҳисобланади.

10. Эгувчи момент эпюра ҳисоблангандан сўнг, унинг тўғри аниқланганлигини билиш учун деформацион текшириш ўтказилади. Деформацион текшириш (21.4) формуладаги шартни қаноатлантириши керак.

11. Якуний эгувчи момент эпюраси ҳисобланган қийматлар асосида чизилади.

12. Кўндаланг ва бўйлама куч эпюрасини қуриш ҳамда рамани умумий статик текшириш аналитик ҳисоблашдагидек бажарилади.

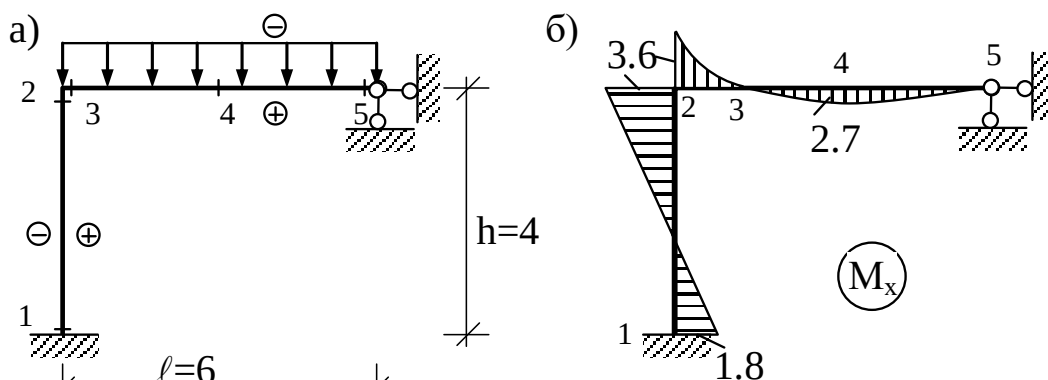
2. Ҳисоблаш тартиби асосида мисол ечиш.

Мисол. 20-расм, а да кўрсатилган рама матрицалар усули ёрдамида ҳисоблансин (Ушбу мисолни 13-15-амалий машгулотларда ечгандик).

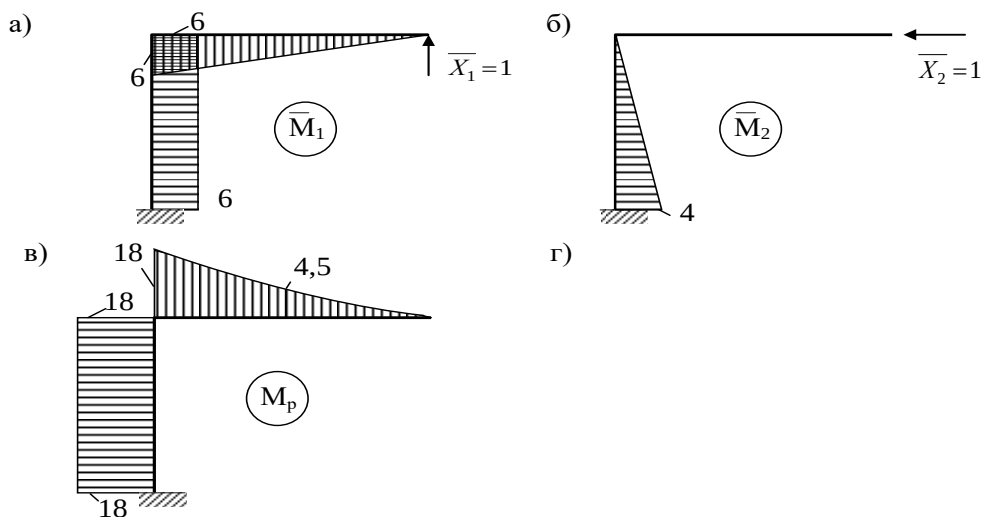
Ечиш. 1. 2. Берилган раманинг статик аниқмаслик даражасини аниқлаш ва асосий системасини танлаш (13.1-расм, б).

3. Рамани оралиқларга ажратиб, характерли кесимларини белгилаш 20.1-расм, а да кўрсатилган.

4. Бирлик ва ташқи юк эгувчи момент эпюралари 13.2-расм, а, б ва в расмларда қурилган бўлиб, 20.2-расм, а, б с ларда кўрсатилган. Бу эпюраларнинг ишорасини шартли равишда белгилаб оламиз. Вертикал стерженлар учун чап томони «минус», ўнг томони «плюс», горизонтал стерженлар учун юқори томони «минус», пастки томони «плюс» деб белгилаймиз (20.1-расм, а).



20.1-расм



20.2-расм

1. Бирлик эгувчи момент эпюраларининг (20.2-расм, а ва б) таъсир матрицаси $\bar{L}_m$ ва ташқи юк эгувчи момент эпюраси (20.2-расм, в) матрицаси M_p қуйидагича тузилади:

кесимлар $\bar{M}_1$ $\bar{M}_2$

$$L_M = \begin{vmatrix} 1 & 6 & 4 \\ 2 & 6 & 0 \\ 3 & 6 & 0 \\ 4 & 3 & 0 \\ 5 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad M_P = \begin{vmatrix} 1 & -18 \\ 2 & -18 \\ 3 & -18 \\ 4 & -4,5 \\ 5 & 0 \end{vmatrix}$$

Раманинг мойиллик матрицаси В қуйидагича ёзилади

$$B = \begin{vmatrix} B_I & 0 \\ 0 & B_{II} \end{vmatrix}$$

$$\text{Бу ерда } B_I = \frac{h}{6EI} \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = \frac{4}{12EI} \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} 0,666 & 0,333 \\ 0,333 & 0,666 \end{vmatrix}$$

$$B_{II} = \frac{l}{6EI} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \frac{6}{6EI} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

У ҳолда

$$B = \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} 0,666 & 0,333 & 0 & 0 & 0 \\ 0,333 & 0,666 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad \text{бўлади.}$$

6. Ташқи юклардан ҳосил бўлган кўчишлар матрица Δ_{1P} ни (21.1) формулага асосан ҳисоблаймиз.

$$\begin{aligned} \bar{\Delta}_{1P} &= L_M^T \times B \times \bar{M}_P = \begin{vmatrix} 6 & 6 & 6 & 3 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} 0,666 & 0,333 & 0 & 0 & 0 \\ 0,333 & 0,666 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} -18 \\ -18 \\ -18 \\ 4,5 \\ 0 \end{vmatrix} = \\ &= \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} 6 & 6 & 6 & 12 & 0 \\ 2,666 & 1,333 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} -18 \\ -18 \\ -18 \\ 4,5 \\ 0 \end{vmatrix} = \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} -378 \\ -72 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

7. (21.2) формула ёрдамида бирлик кўчишлар матрицаси A ни ҳисоблаймиз.

$$\begin{aligned} A &= \begin{vmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} \\ \delta_{21} & \delta_{22} \end{vmatrix} = L_M^T \times B \times L_M = \begin{vmatrix} 6 & 6 & 6 & 3 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} 0,666 & 0,333 & 0 & 0 & 0 \\ 0,333 & 0,666 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 6 & 4 \\ 6 & 0 \\ 6 & 0 \\ 3 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} = \\ &= \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} 6 & 6 & 6 & 12 & 0 \\ 2,666 & 1,333 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 6 & 4 \\ 6 & 0 \\ 6 & 0 \\ 3 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} = \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} 144 & 24 \\ 24 & 10,666 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

8. Номаълум зўриқишлар вектори (16.7) формула асосида аниқланади.

$$\bar{X} = -A^{-1} \cdot \bar{\Delta}_P;$$

Матрица A нинг тескари қийматини $A^{-1} = \frac{\bar{A}}{\text{Det}A}$ формуласи орқали топамиз. $\bar{A} = (-1)^{i+j} M_{ij}$ бўлиб, M_{ij} аниқловчи минорлар дейилади. Улар қуйидагича топилади.

$$M_{11} = (-1)^{1+1} \begin{vmatrix} 144 & 24 \\ 24 & 10,666 \end{vmatrix} = 10,666$$

$$M_{12} = (-1)^{1+2} \begin{vmatrix} 144 & 24 \\ 24 & 10,666 \end{vmatrix} = -24$$

$$M_{21} = (-1)^{2+1} \begin{vmatrix} 144 & 24 \\ 24 & 10,666 \end{vmatrix} = -24$$

$$M_{22} = (-1)^{2+2} \begin{vmatrix} 144 & 24 \\ 24 & 10,666 \end{vmatrix} = 144.$$

Аниқловчининг $DetA = \begin{vmatrix} 144 & 24 \\ 24 & 10,666 \end{vmatrix} = 960$ эканлигини аниқлаймиз. У ҳолда А матрицанинг тескариси

$$A^{-1} = \frac{1}{DetA} \begin{vmatrix} 10,666 & 24 \\ 24 & 144 \end{vmatrix} = \frac{1}{960} \begin{vmatrix} 10,666 & 24 \\ 24 & 144 \end{vmatrix}$$

номаълум зўриқишлар вектори қуйидагича топилади:

$$\vec{X} = -\frac{1}{960} \begin{vmatrix} 10,666 & 24 \\ 24 & 144 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} -378 \\ -72 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2,4 \\ 1,35 \end{vmatrix}$$

9. Рама элементларининг характерли кесимларидаги эгувчи моментларнинг ординаталарини (21.3) формула ёрдамида ҳисоблаймиз

$$\overline{M}_X = \overline{M}_P + L_M \cdot \vec{X} = \begin{vmatrix} -18 \\ -18 \\ -18 \\ 4,5 \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6 & 4 \\ 6 & 0 \\ 6 & 0 \\ 3 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 2,4 \\ 1,35 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -18 \\ -18 \\ -18 \\ 4,5 \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 19,8 \\ 14,4 \\ 14,4 \\ 7,2 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,8 \\ -3,6 \\ -3,6 \\ 2,7 \\ 0 \end{vmatrix}$$

10. Ҳисоблашнинг тўғри бажарилганлигига қаноат ҳосил қилиш учун (21.4) шартни текшираамиз, яъни $L_M^T \times B \times \overline{M}_X = 0$

$$\begin{vmatrix} 6 & 6 & 6 & 3 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} 0,666 & 0,333 & 0 & 0 & 0 \\ 0,333 & 0,666 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1,8 \\ -3,6 \\ -3,6 \\ 2,7 \\ 0 \end{vmatrix} = \frac{1}{EI} \begin{vmatrix} 6 & 6 & 6 & 12 & 0 \\ 2,666 & 1,333 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1,8 \\ -3,6 \\ -3,6 \\ 2,7 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Демак, рама тўғри ҳисобланган.

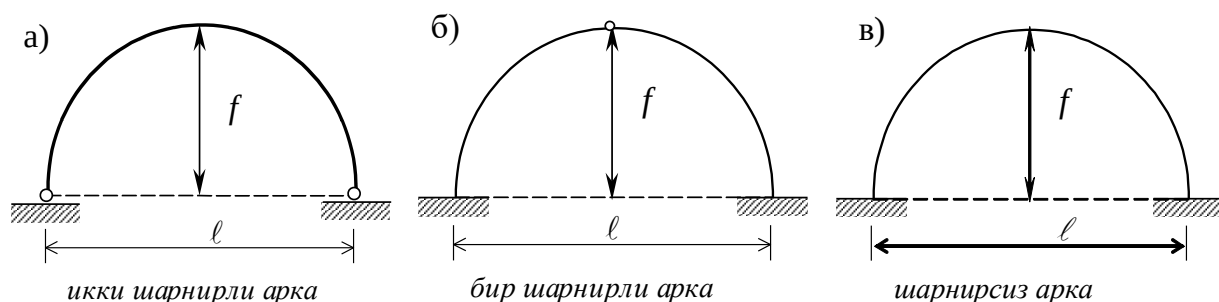
11. M_X ни аниқланган қийматлари асосида эгувчи момент эпюрасини қураамиз (20.1-расм, б)

20.1-расм, б да чизилган M_X эпюрани 13-15-амалий машгулотларда бажарилган мисолдаги аналитик усулда қурилган M_X эпюра билан солиштирсак, бир хил эканлигини кўрамиз. Q_X , N_X эпюралари ва умумий статик текшириш 13-15-амалий машгулотларда бажарилган мисолдагидек бажарилади.

7.8-§. Statik noaniq arkalarni hisoblash.

Statik aniqmas arkalar ikki sharnirli va sharnirsiz bo'lishi mumkin. Statik aniqmas arkalar sanoat-grajdan qurilishida, ko'priksizlikda, gidrotexnik inshootlarda keng qo'llaniladi. Qadimdan ota-bobolarimiz statik aniqmas arkalarni ravoqli konstruksiyalar sifatida qo'llashgan. Ravoqli konstruksiyalarga qanday kuch ta'sir qilishidan qat'iy nazar hovon (gorizontal) reaksiya kuchlari hosil bo'ladi. Bunday konstruksiyalar asosan siqilishiga ishlaydi.

Statik aniqmas arkalarni quyidagi turlarga bo'lish mumkin: ikki sharnirli, bir sharnirli va sharnirsiz arkalar. Ikki sharnirli arka ikki uchi sharnirlar vositasida tayanchlarga tiralgan egri brus bo'lib, u bir marta statik aniqmas sistemadir $S_A = -W = -3D + 2SH + S_T = -3 \cdot 1 + 2 \cdot 0 + 4 = 1$ (19.1-rasm, a).



19.1-расм

Sharnirsiz arka ikki uchi qistirib mahkamlangan egri brus bo'lib, u uch marta aniqmas sistema hisoblanadi $S_A = -W = -3 \cdot 1 + 2 \cdot 0 + 6 = 3$ (19.1-rasm, v). Bir sharnirli arka esa ikki marta statik aniqmasdir $S_A = -W = -3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 6 = 2$ (19.1-rasm, b).

Statik aniqmas arkalarni hisoblash kuchlar usuli yordamida bajariladi.

Bir sharnirli, ikki sharnirli va sharnirsiz arkalarni hisoblash bilan tanishib chiqamiz.

Ikki sharnirli arkalarni hisoblash. Ikki sharnirli arka bir marta statik aniqmas sistema bo'lgani uchun, uni bitta ortiqcha bog'lanishdan ozod qilib, asosiy sistemani ikki xil variantda tanlashimiz mumkin (19.2-rasm. b va v).

Asosiy sistemaning birinchi xil ko'rinishida uning o'rtasiga qo'shimcha sharnir kiritish yo'li bilan shu kesimdagi momentni noma'lum zo'riqish deb olamiz. (19.2-rasm. b). Ikkinchi asosiy sistemada V tayanchining gorizon-tal reaksiyasi noma'lum X_1 zo'riqish bilan almashtirilgan (19.2-rasm. v).

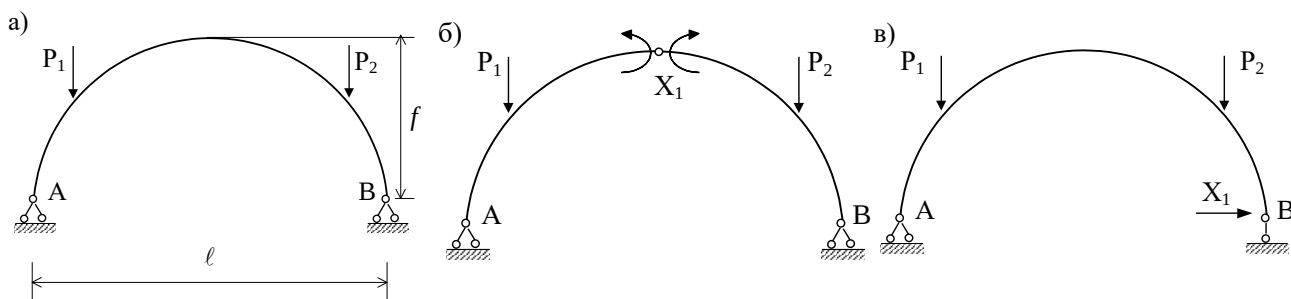
Asosiy sistema sifatida ikkinchi variantni qabul qilamiz. U holda, asosiy sistemaning B tayanchi gorizonttal bog'lanishi yo'nalishida tashqi yuklardan va noma'lum X_1 zo'riqishdan hosil bo'lgan gorizonttal ko'chishlarning yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak, chunki arkaning B tayanchi sharnirli qo'zg'almas tayanchdir. Bu shartni ifodalovchi kuchlar usulining kanonik tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0, \quad (19.1)$$

bu erda Δ_{1p} – asosiy sistemaga qo'yilgan tashqi yuklardan B tayanchda hosil bo'lgan gorizonttal ko'chish.

δ_{11} – asosiy sistemaning B tayanchiga gorizonttal yo'nalishda qo'yilgan birlik kuch $X_1=1$ dan hosil bo'lgan gorizonttal ko'chish.

(19.1) tenglamadan.



$$X_1 = H = -\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}}, \quad (19.2)$$

δ_{11} va Δ_{1r} ko'chishlarni aniqlashda Mor formulasidan foydalaniladi.

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} &= \int_0^S \frac{\bar{M}_1^2}{EI} ds + \int_0^S \frac{\bar{N}_1^2}{EF} ds + \int_0^S \eta \frac{\bar{Q}_1^2}{GF} ds; \\ \Delta_{1P} &= \int_0^S \frac{M_P \bar{M}_1}{EI} ds + \int_0^S \frac{N_P \bar{N}_1}{EF} ds + \int_0^S \eta \frac{\bar{Q}_1 \cdot Q_P}{GF} ds, \end{aligned} \right\} \quad (19.3)$$

bu erda S - arka o'qining uzunligi; $ds = \frac{dx}{\cos \varphi_x}$

Amaliyotda arka o'qining inersiya momenti ko'ndalang kesimlari bo'yicha o'zgarmas yoki o'zgaruvchan deb qaraladi. Agar arka ko'ndalang kesimi balandligi tayanch kesimidan boshlab markaz tomon kamayib borsa, u holda inersiya momentining va ko'ndalang kesim yuzasining o'zgarish qonuni quyidagicha bo'ladi:

$$I_x = \frac{I_0}{\cos \varphi_x}; \quad F_x = \frac{F_0}{\cos \varphi_x}; \quad (19.4)$$

bu erda, $I_0 = \frac{bh_0^3}{12}$, $F_0 = b \cdot h_0$ – arka markazidagi ko'ndalang kesimning eng kichik inersiya momenti va yuzasi; b va h – ko'ndalang kesimning eni va balandligi; φ_x – arka o'qiga o'tkazilgan urinma bilan absissa x o'qi orasidagi burchak.

Arka ko'ndalang kesimining inersiya momentini va yuzasini (19.4) formula ko'rinishda berilishi (19.3) ni integrallashni ancha soddalashtiradi.

Agar arkaning ko'ndalang kesimi tayanch kesimidan markaziy kesim tomon kattalashib borsa, inersiya momentining va ko'ndalang kesim yuzasining o'zgarishi quyidagicha ifodalanadi.

$$I_x = I_0 \cos \varphi_x; \quad F_x = F_0 \cdot \sqrt[3]{\cos \varphi_x} \quad (19.5)$$

19.2-rasm, v da ko'rsatilgan asosiy sistema uchun:

$$\bar{M}_1 = -1 \cdot y; \quad \bar{N}_1 = 1 \cdot \cos \varphi_x; \quad \bar{Q}_1 = 1 \cdot \sin \varphi_x$$

$$M_p = M_p^0; \quad N_p = Q_x^0 \sin \varphi_x; \quad Q_p = Q_x^0 \cos \varphi_x,$$

$h < \frac{1}{10} \ell$ bo'lsa, δ_{11} ni aniqlashda ko'ndalang kuchni, Δ_{1p} ni aniqlashda esa bo'ylama va ko'ndalang kuchlarni hisobga olmasa ham bo'ladi. U holda (19.3) formula quyidagicha yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} &= \int_0^s \frac{y^2 ds}{EJ_x} + \int_0^s \frac{\cos^2 \varphi_x}{EF_x} ds \\ \Delta_{1p} &= -\sum \int_0^s \frac{M_p^0 y ds}{EI_x} \end{aligned} \right\} \quad (19.6)$$

Agar $\frac{1}{3} \ell > f > \frac{1}{6} \ell$ va $h < \frac{1}{10} \ell$ bo'lsa, δ_{11} ni aniqlashda bo'ylama kuchlarni ham inobatga olmasa bo'ladi. U holda (19.6):

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} &= \int_0^s \frac{y^2 ds}{EI_x} \\ \Delta_{1p} &= -\sum \int_0^s \frac{M_p^0 y ds}{EI_x} \end{aligned} \right\} \quad (19.7)$$

δ_{11} va Δ_{1p} aniqlangandan so'ng ularni (19.2) ga qo'yib, noma'lum hovon kuchi X_1 aniqlanadi.

Arkaning ixtiyoriy K kesimidagi hosil bo'lgan zo'riqishlar quyidagi formulalarga asosan hisoblanadi.

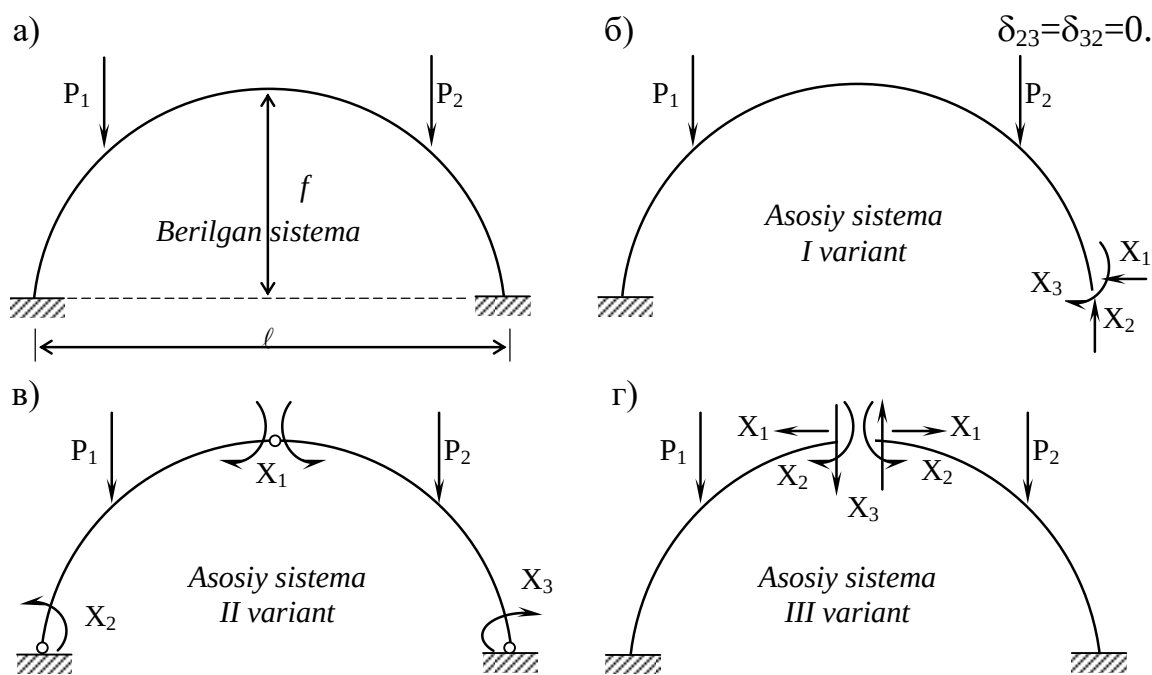
$$\left. \begin{aligned} M_k &= M_k^0 - X_1 \cdot y_k; \\ Q_k &= Q_k^0 \cos \alpha_k - X_1 \cdot \sin \alpha_k; \\ N_k &= -Q_k^0 \sin \alpha_k - X_1 \cdot \cos \alpha_k; \end{aligned} \right\} \quad (19.8)$$

Sharnirsiz arkalarni hisoblash. Sharnirsiz arka uch marta statik aniqmas sistema bo'lgani uchun uni uchta «ortiqcha» bog'lanishlardan ozod qilib, asosiy sistema tanlaymiz. Asosiy sistemaning bir necha ko'rinishini tahlil etamiz (19.3-

rasm, b, v, g). Asosiy sistemaga qo'yilgan tashqi yuk va noma'lum zo'riqlashlar ta'siridan «ortiqcha» bog'lanishlar yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan ko'chishlar yig'indisi nolga tengligini ifodalovchi kuchlar usulining kanonik tenglamalari sistemasini yozamiz.

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \Delta_{1P} &= 0 \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \Delta_{2P} &= 0 \\ \delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3P} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (19.9)$$

Agar arkaning simmetrikligini hisobga olib, asosiy sistemani simmetrik tanlasak, u holda asosiy sistema uchun birlik zo'riqlashlardan $\bar{X}_1=1$, $\bar{X}_2=1$ va $\bar{X}_3=1$ chizilgan eguvchi moment epyuralari $\bar{M}_1$ va $\bar{M}_2$ simmetrik bo'lib (19.4-rasm, a, b), $\bar{M}_3$ esa teskari simmetrik bo'ladi (19.4-rasm, g). SHuning uchun kanonik tenglamalarning noma'lumlari oldidagi ayrim koeffitsientlar nolga teng bo'ladi, ya'ni $\delta_{13}=\delta_{31}=0$ va



19.3-rasm

U holda (19.9) quyidagi ko'rinishni oladi:

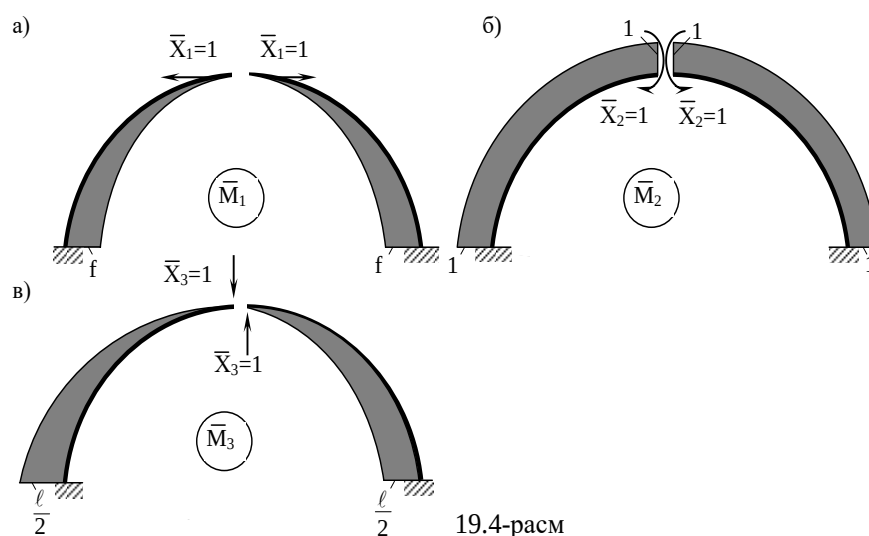
$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \Delta_{1P} &= 0 \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \Delta_{2P} &= 0 \\ \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3P} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (19.10)$$

Kanonik tenglamalar sistemasini (19.10) yana ham soddalashtirish maqsadida, noma'lum zo'riqlashlarni arkaning simmetrik kesimiga mahkamlangan absalyut bikr ($EJ=\infty$) konsollar uchiga ko'chiramiz. Uzunligi S ga teng bo'lgan absalyut bikr konsolning uchi arkaning elastiklik markazi deyiladi (19.5-rasm, a).

Elastik markazning o'rne, ya'ni bikr konsol uzunligi arkaning geometrik o'lchamlariga bog'liq bo'ladi.

$$\text{U holda} \quad \delta_{12} = \delta_{21} = \sum \int_0^S \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_2}{EI} ds = 0 \quad (19.11)$$

$\bar{X}_1 = 1$, $\bar{X}_2 = 1$ kuchlarning $\bar{M}_1$ va $\bar{M}_2$ epyuralaridan (19.7-rasm, b, v)



19.4-rasm

$$\bar{M}_1 = -1(C - y); \quad \bar{M}_2 = 1 \quad \text{unda} \quad (19.10)$$

$$\delta_{12} = - \int_0^S (C - y) \frac{ds}{EI} = 0 \quad (19.12)$$

Arkaning simmetrik ekanligini hisobga olsak (19.12) dan absalyut bikr konsol uzunligini aniqlaymiz.

$$C \int_0^{S/2} \frac{ds}{EI} - \int_0^{S/2} y \frac{ds}{EI} = 0,$$

$$C = \frac{\int_0^{S/2} y \frac{ds}{EI}}{\int_0^{S/2} \frac{ds}{EI}} \quad (19.13) \quad \text{Demak, absolyut biki konsol uzunligi } C \quad (19.13)$$

formulaga asosan topiladi. Bu holda $\delta_{12}=\delta_{21}=0$ bo'ladi.

Shunday qilib, kuchlar usulining kanonik tenglamasi bir biriga bog'liq bo'lmagan uchta mustaqil tenglamadan iborat bo'ladi.

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} &= 0 \\ \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} &= 0 \\ \delta_{33}X_3 + \Delta_{3p} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (19.14)$$

(19.14) tenglama koeffitsientlari Mor formulasi yordamida aniqlanadi.

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} &= \int_0^S \frac{\bar{M}_1^2 ds}{EI}, \quad \delta_{22} = \int_0^S \frac{\bar{M}_2^2 ds}{EI}, \\ \delta_{33} &= \int_0^S \frac{\bar{M}_3^2 ds}{EI}, \quad \Delta_{1p} = \int_0^S \frac{\bar{M}_1 M_p^0}{EI} ds, \\ \Delta_{2p} &= \int_0^S \frac{\bar{M}_2 M_p^0}{EI} ds, \quad \Delta_{3p} = \int_0^S \frac{\bar{M}_3 M_p^0}{EI} ds, \end{aligned} \right\} \quad (19.15)$$

Ushbu tenglamalarni echib, noma'lum kuchlarni aniqlaymiz:

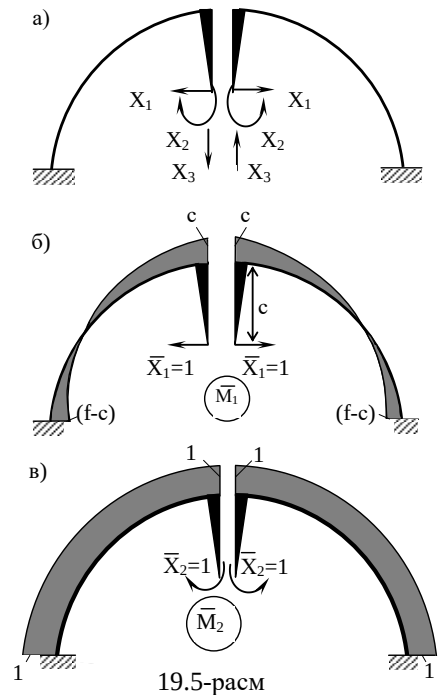
$$X_1 = -\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}}; \quad X_2 = -\frac{\Delta_{2p}}{\delta_{22}}; \quad X_3 = -\frac{\Delta_{3p}}{\delta_{33}}. \quad (19.16)$$

Sharnirsiz arkaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment, ko'ndalang kuch va bo'ylama kuchlar quyidagicha aniqlanadi.

$$\left. \begin{aligned} M_k &= M_k^0 - X_1(S-u_k) + X_2 + X_3 \cdot x_k; \\ Q_k &= Q_k^0 - X_1 \cdot \sin \alpha_k + X_3 \cdot \cos \alpha_k; \\ N_k &= -(N_k^0 + X_1 \cdot \cos \alpha_k + X_3 \cdot \sin \alpha_k). \end{aligned} \right\} \quad (19.17)$$

yoki M_{tot} epyurani quyidagi formuladan foydalanib qurish mumkin.

$$M_{\text{som}} = \bar{M}_1 X_1 + \bar{M}_2 X_2 + \bar{M}_3 X_3 + M_p \quad (19.18)$$



7.8-§. Statik noaniq fermalarni hisoblash.

Qurilish amaliyotida statik aniq fermalardan tashqari ko'pchilik hollarda statik aniqmas fermalar ham uchrab turadi. Bunday fermalarni hisoblash uchun statika tenglamalari etarli bo'lmaydi. SHu sababli statik aniqmas fermalarni echishda noma'lumlar soniga teng bo'lgan qo'shimcha deformatsiya tenglamalari tuziladi.

Statik aniqmas fermalarni hisoblashda ham statik aniq fermalar singari fermalarning biki tugunlari sharnirlar bilan almashtirilib, tashqi qo'zg'almas yuklar tugunlarga qo'yilgan deb qabul qilinadi.

Statik aniqmas fermalar kuchlar usuli bilan hisoblanadi va statik aniqmaslik darajasi S_A quyidagicha aniqlanadi:

$$S_A = S + S_T - 2T, \quad (18.1)$$

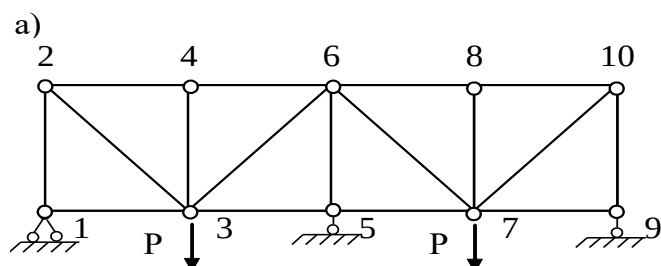
bu erda S - ferma sterjenlarining soni; S_T – ferma tayanch sterjenlari soni; T – ferma tugunlari soni.

Statik aniqmas fermalar tuzilishiga ko'ra t a s h q i v a i c h k i statik aniqmas fermalarga bo'linadi.

Agarda, fermaning tayanch sterjenlari soni uchtdan ortiq bo'lsa, bunday fermalar tashqi statik aniqmas ferma deyiladi. (18.1-rasm, a)

Agarda ferma tayanchlarining soni uchta bo'lib, sterjenlariga ko'ra statik aniqmas bo'lsa, ichki statik aniqmas deyiladi. (18.1-rasm, b).

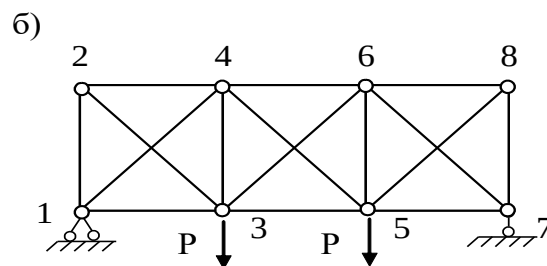
Ba'zi hollarda statik aniqmas fermalar bir vaqtda ichki va tashqi statik aniqmas bo'lishi mumkin.



1 марта ташқи статик аниқмас.

$$C_A = 17 + 4 - 2 \cdot 10 = 21 - 20 = 1$$

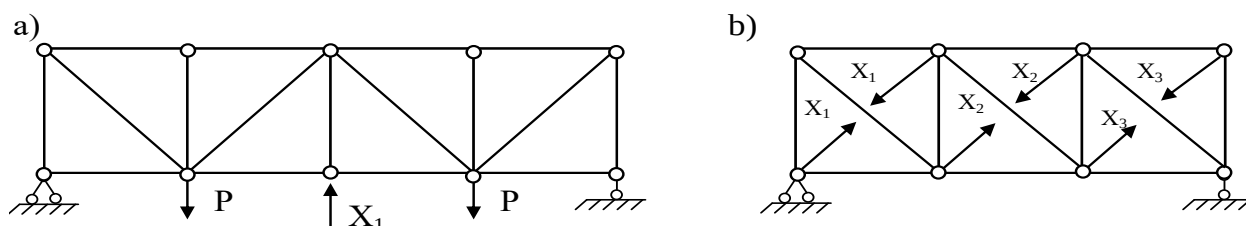
18.1 - расм



3 марта ички статик аниқмас.

$$C_A = 16 + 3 - 2 \cdot 8 = 3$$

Masalan, yuqoridagi qaralgan fermalar uchun asosiy sistema tanlaymiz 18.2-rasm, a dagi bir marta tashqi statik aniqmas fermaning asosiy sistemasini tanlash uchun o‘rtadagi tayanch bog‘lanishini noma’lum X_1 kuch bilan almashtiramiz (18.2-rasm, a). Uch marta ichki statik aniqmas fermani (18.2-rasm, b) uchta ortiqcha sterjenni qirqib noma’lum zo‘riqishlar X_1 , X_2 va X_3 lar bilan almashtirish orqali asosiy sistema tanlaymiz (18.2-rasm, b).


$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0, \quad (\text{a})$$

Uch marta ichki statik aniqmas fermaning kanonik tenglamasini yozsak:

Umumiy holda n marta statik aniqmas ferma uchun kuchlar usulining kanonik tenglamasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

231

Bu tenglamalarning har biri asosiy sistemada noma'lum zo'riqish yo'nalishi bo'yicha tashqi yuk va noma'lum zo'riqishlar ta'sirida hosil bo'lgan o'zaro ko'chishlarning yig'indisi nolga teng ekanligini ifodalaydi.

Kanonik tenglamalardagi birlik ko'chishlar $\delta_{ii}, \delta_{ik} = \delta_{ik}$ va ozod hadlar Mor formulasi yordamida aniqlanadi.

$$\delta_{ii} = \sum_{j=1}^m \frac{\bar{N}_{ji}^2 \ell_j}{EF_j}; \quad \delta_{ik} = \delta_{ki} = \sum_{j=1}^m \frac{\bar{N}_{ji} \bar{N}_{jk}}{EF_j} \ell_j; \quad \Delta_{ip} = \sum_{j=1}^m \frac{\bar{N}_{jp}^0 N_{ji}}{EF_j} \ell_j \quad (18.3)$$

(k=1,...,n; i=1,...,n)

Bu erda $\bar{N}_{ji}, \bar{N}_{jk}$ va N_{jp} - asosiy sistemaning j - sterjenida birlik noma'lum kuchlar $\bar{X}_i = 1, \bar{X}_k = 1$ va tashqi yukdan hosil bo'lgan zo'riqishlar. EF_j va ℓ_j - ferma j sterjenining bikrligi va uzunligi; m - asosiy sistemaning sterjenlari soni.

Ferma asosiy sistemasi sterjenlaridagi zo'riqishlar $\bar{N}_{ji}, \bar{N}_{jk}$ va N_{jp} statik aniq fermalarni hisoblashda qo'llanilgan usullar yordamida aniqlanadi.

Kanonik tenglamani (18.2) echib, noma'lum zo'riqishlar $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n$ aniqlangandan so'ng, statik aniqmas fermaning ixtiyoriy sterjenidagi zo'riqishlar quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$N_j = N_{jp}^0 + \bar{N}_{j1} \cdot X_1 + \bar{N}_{j2} \cdot X_2 + \dots + \bar{N}_{jn} \cdot X_n. \quad (18.4)$$

Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar to'g'ri aniqlanganligini bilish uchun statik va deformatsion tekshirishlar o'tkaziladi.

Statik tekshirishda ferma tugunlarini muvozanati tekshiriladi.

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

Deformatsion tekshirishda:

$$\sum_{j=1}^m \frac{\bar{N}_{js} N_j}{EF_j} \ell_j \approx 0, \quad (18.5)$$

bo'lishi kerak. Bu erda $\bar{N}_{js} = \bar{N}_{j1} + \bar{N}_{j2} + \dots + \bar{N}_{jn}$ birlik zo'riqishlarning yig'indisi.

7.10-§. Uzlüksiz balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.

Tutash balkalar qurilish amaliyotida ko'p uchraydigan inshoot elementlaridan biri hisoblanadi. Ular ko'priklar, tom osti yopmalarining va boshqa konstruksiyalarning asosiy qismlari sifatida qo'llaniladi.

Tutash balka deb, ikkitadan ortiq vertikal tayanchga ega bo'lgan va tayanchlaridan biri qo'zg'almas bo'lgan uzluksiz balkaga aytiladi.

Tutash balkalar statik aniqmas bo'lib, ularning statik aniqmaslik darajasi quyidagi formulaga asosan aniqlanadi:

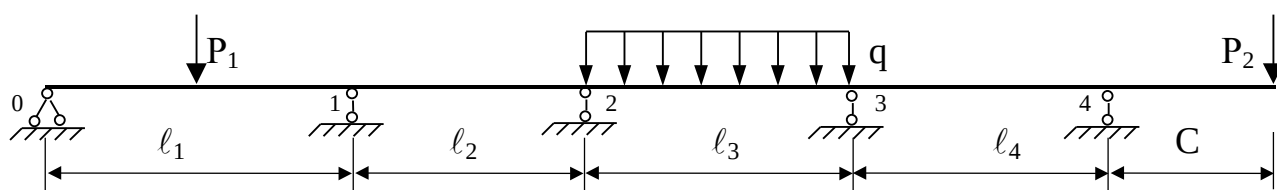
$$S_A = 2SH + S_T - 3D. \quad (a)$$

Tutash balka uzluksiz yaxlit balkadan tashkil topganligi sababli, $D = 1$, $SH = 0$ bo'ladi. U holda (a) formula quyidagi ko'rinishga keladi.

$$S_A = S_t - 3, \quad (22.1)$$

bu erda S_t - tayanch bog'lanishlar soni.

Tutash balkalarning tayanch bog'lanishlari va shu tayanchlarga to'g'ri keluvchi tayanch momentlari chapdan o'ngga qarab 0 dan boshlab 1, 2., deb belgilanadi, oraliqlar esa doimo o'ng tayanch raqami bilan belgilanadi.



22.1- rasm

Misol uchun 22.1-rasmda berilgan tutash balkani qaraymiz. Balkaning statik aniqmaslik darajasi.

$$S_A = S_t - 3 = 6 - 3 = 3, \text{ ga teng, ya'ni tutash balka 3 marta statik aniqmas.}$$

Tutash balkalarni kuchlar usuli bilan hisoblashni qaraymiz.

Tutash balkalarning statik aniqmaslik darajasi kuchlar usulida ulardagi ortiqcha bog'lanishlar sonini ifodalaydi. Tutash balkalarni bu ortiqcha bog'lanishlardan ozod

qilib, asosiy sistemaning ikki xil variantini tanlaymiz. Buning uchun yuqoridagi misolni qaraymiz. (22.1-rasm).

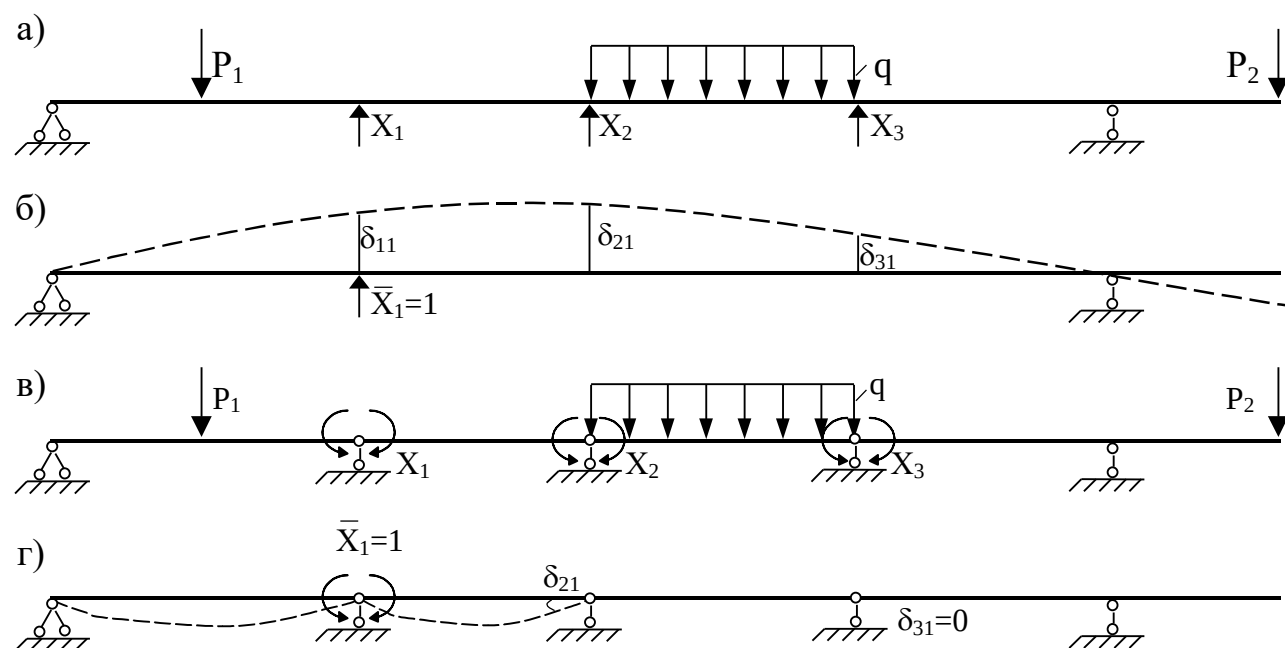
1-variant. Tutash balkada bo'lgan ortiqcha tayanch bog'lanishlarini olib tashlab, ularning ta'sirini noma'lum reaksiya kuchlari X_1 , X_2 , X_3 bilan almashtiramiz. (22. 2-rasm, a).

2-variant. Tutash balkaning oraliq tayanch kesimlariga sharnirlar kiritib, ichki bog'lanishlarning ta'sirini tegishli noma'lum tayanch momentlari bilan almashtiramiz. (22.2-rasm, v). Bu holda asosiy sistema oddiy statik aniq balkalardan iborat bo'ladi.

Kuchlar usulining kanonik tenglamasini tuzamiz.

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

Kanonik tenglamalarning har biri, asosiy sistemadagi noma'lumlar yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan ko'chishlarning yig'indisi nolga tengligini ifodalaydi.



22.2-rasm

Birinchi variantda ko'rsatilgan asosiy sistemadagi birlik ko'chishlarning δ_{ij} birortasi ham nolga teng bo'lmaydi (19.2-rasm, b). Ikkinchi variantdagi asosiy sistema uchun kanonik tenglamaning har biri, noma'lum tayanch momentlari yunalishi bo'yicha o'zaro burchak ko'chishlarning yig'indisi nolga tengligini

ifodalaydi. Bu asosiy sistema uchun ayrim yordamchi ko'chishlar nolga teng bo'ladi.

Masalan: $\delta_{31}=\delta_{13} =0$ (22.2-rasm, g).

Demak, tutash balkalarni hisoblashni osonlashtirish uchun ortiqcha noma'lumlar sifatida tayanch momentlarini qabul qilish qulaydir.

Uzluksiz balkalarni hisoblashni uch moment tenglamasi. Tutash balkalarda ortiqcha noma'lumlar sifatida tayanch momentlari qabul qilinib asosiy sistema tanlansa, u holda asosiy sistema oddiy balkalardan iborat bo'ladi. Har bir oddiy balka o'ziga qo'yilgan yuk va tayanch momentlari bilan yuklangan bo'ladi. (22.3-rasm, a).

Asosiy sistemaning n tayanchidan chapda ℓ_n va o'ngda ℓ_{n+1} oraliqlarni qarasak, bu oraliqlar faqat o'ziga qo'yilgan yukdan va noma'lum (X_{n-1} , X_n , X_{n+1}) M_{n-1} , M_n , M_{n+1} tayanch momentlaridan deformatsiyalanadi. U vaqtda shu tayanch uchun kanonik tenglama tuzsak, bu tenglama 3 noma'lumli bo'ladi.

$$\delta_{n,n-1}M_{n-1} + \delta_{n,n}M_n + \delta_{n,n+1}M_{n+1} + \Delta_{np} = 0 \quad (22.2)$$

Birlik momentlardan va tashqi yukdan qurilgan epyuralarni (22.3-rasm, b, v, g va d) Vereshchagin usuli yordamida ko'paytirib, $\delta_{n,n-1}$; δ_{nn} ; $\delta_{n,n+1}$; Δ_{np} larni aniqlab (22.2) tenglamaga qo'yamiz. Ozod hadni o'ng tomonga o'tkazib, $6EI_0$ ga ko'paytirib, quyidagi tenglamani olamiz.

$$M_{n-1}\ell_n^1 + 2M_n(\ell_n^1 + \ell_{n+1}^1) + M_{n+1}\ell_{n+1}^1 = -6\left(\frac{I_0}{I_n}B_n^c + \frac{I_0}{I_{n+1}}A_n^c\right), \quad (22.3)$$

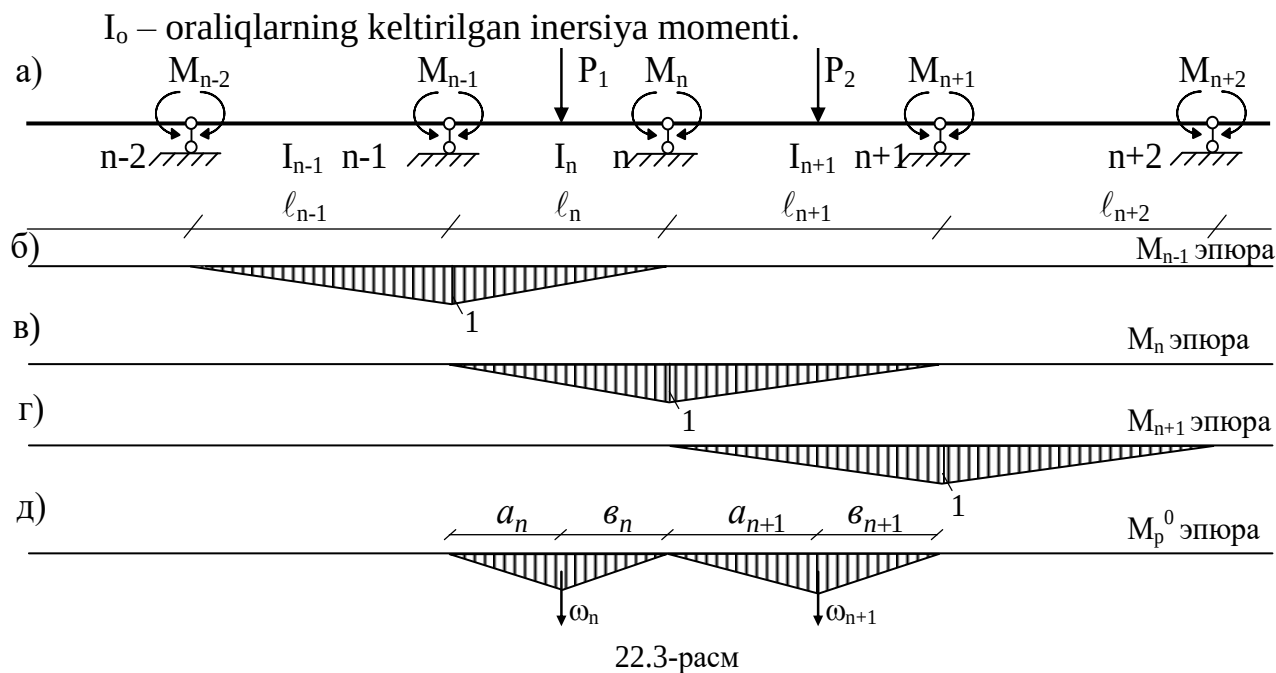
bu erda $\ell_n^1 = \frac{I_0}{I_n}\ell_n$; $\ell_{n+1}^1 = \frac{I_0}{I_{n+1}}\ell_{n+1}$; $-\text{oraliqlarning keltirilgan uzunligi}$;

$B_n^c = \omega_n \frac{a_n}{\ell_n}$ ℓ_n – oraliqdagi tashqi yukdan qurilgan epyura yuzasi soxta (fiktiv) yuk ω_n dan hosil bo'lgan o'ng tayanchdagi soxta reaksiya kuchi;

$A_{n+1}^c = \omega_{n+1} \frac{b_{n+1}}{\ell_{n+1}} - \ell_{n+1}$ – oraliqdagi tashqi yukdan qurilgan epyura yuzasi soxta yuk ω_{n+1} dan hosil bo'lgan chap tayanchdagi soxta reaksiya kuchi;

$a_n - \ell_n$ – oraliqdagi M_p^0 epyura og'irlik markazidan (soxta yukdan) $(n-1)$ - tayanchgacha bo'lgan masofa;

$\ell_{n+1} - \ell_{n+1}$ – oraliqdagi M_p^0 epyura og‘irlik markazidan (ω_{n+1} soxta yukdan) (n+1) - tayanchgacha bo‘lgan masofa;



Agarda $EI_{n-1}=EI_n=EI_{n+1}=EI_0= \text{const}$ bo‘lsa, u vaqtda (22.3)

$$M_{n-1}\ell_n + 2M_n(\ell_n + \ell_{n+1}) + M_{n+1}\ell_{n+1} = -6(B_n^c + A_{n+1}^c). \quad (22.4)$$

(22.3) va (22.4) tenglamada uchta qo‘shni tayanch momentlarining o‘zaro bog‘langanligi sababli, bu tenglama uch moment tenglamasi deb ataladi.

Tutash balkada qancha oraliq tayanchlar bo‘lsa, shuncha uch moment tenglamalari tuziladi. Demak, uch momentlar tenglamalarining soni tutash balkaning statik aniqlik darajasiga teng ekan. Uch moment tenglamasini yozishda quyidagi hollarni hisobga olish kerak.

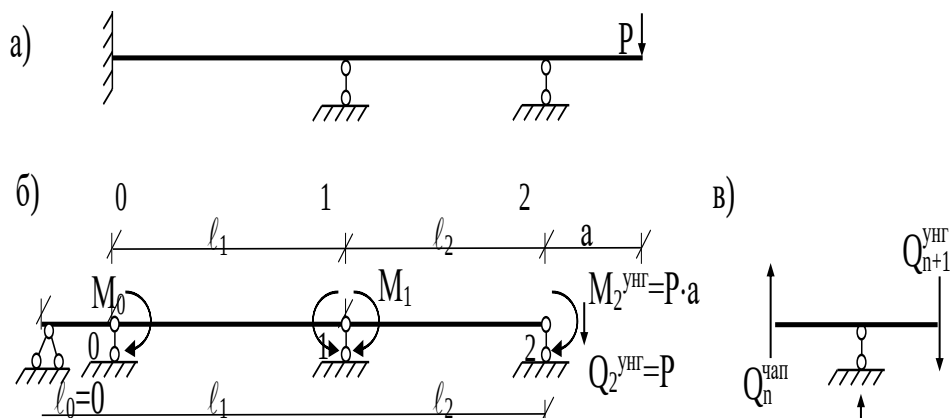
1. Tutash balkaning bir uchi konsolli bo‘lsa, bu konsoldagi tashqi yukdan hosil bo‘lgan tayanch momenti ma’lum deb, asosiy sistemaga qo‘yiladi. (22.4-rasm, b).

2. Tutash balkaning biror uchi qistirib mahkamlangan bo‘lsa, asosiy sistema tanlashda balkaning qistirilgan uchini fikran davom ettirib, yana bir oraliq

qo'shiladi. Bu oraliqning uzunligini tenglama tuzilgandan so'ng 0 ga teng deb olinadi va bu oraliqning birligi cheksiz deb hisoblanadi. (22.4-rasm, b).

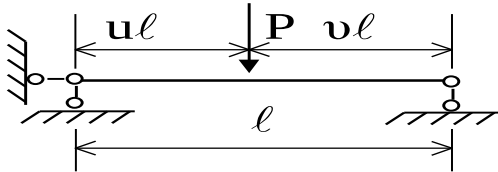
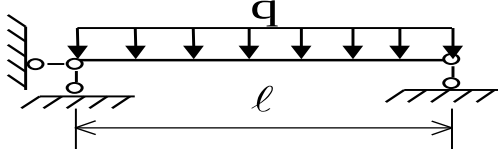
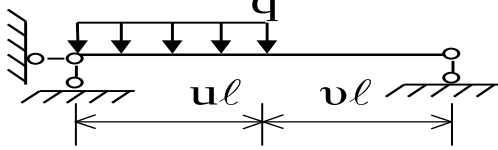
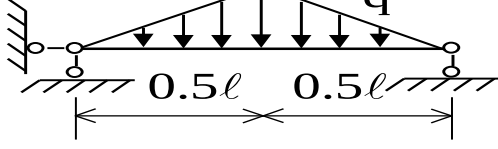
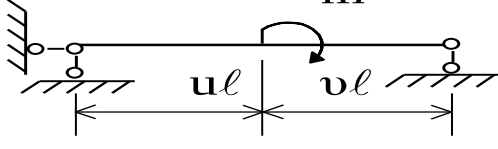
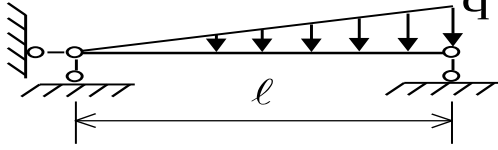
Uch moment tenglamalari sistemasini birgalikda echib, noma'lum tayanch momentlari aniqlangandan so'ng tutash balkalar uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralari quyidagi formulalar yordamida quriladi.

Tutash balkalar oraliqlarining har xil yuklanishlari uchun, 6 ga ko'paytirilgan holda soxta tayanch reaksiyalarining qiymatlari 22.1-jadvalda berilgan.



$$M_x = M_p^0 + M_{n-1} \frac{\ell_n - x}{\ell_n} + M_n \frac{x}{\ell_n}$$

$$Q_x = Q_p^0 + \frac{M_n - M_{n-1}}{\ell_n}$$

YUklanish turlari	6 A ^s	6 V ^s
1	2	3
	$p\ell^2 u \vartheta (1 + \vartheta)$ $u = \vartheta = 0,5$ bo'lsa $\frac{3}{8} \rho \ell^2$	$p\ell^2 u \vartheta (1 + u)$ $\frac{3}{8} \rho \ell^2$
	$\frac{q\ell^3}{4}$	$\frac{q\ell^3}{4}$
	$\frac{q\ell^3 u^2 (2 - u^2)}{4}$	$\frac{q\ell^3 u^2 (2 - u^2)}{4}$
	$\frac{5}{32} q\ell^3$	$\frac{5}{32} q\ell^3$
	$\frac{7}{60} q\ell^3$	$\frac{2}{15} q\ell^3$
	$-m\ell(1 - 3\vartheta^2)$ $u = \vartheta = 0,5$ bo'lsa $-\frac{m\ell}{4}$	$m\ell(1 - 3u^2)$ $\frac{m\ell}{4}$

$$\sum \int \frac{M_x \cdot \overline{M}_i}{EJ} dx \approx 0 \quad (22.7)$$

Ko'ndalang kuch epyurasi yordamida tayanch reaksiyalari quyidagi formula yordamida aniqlanadi. (22.4-rasm, v).

$$R_n = Q_{n+1}^{yH2} - Q_n^{yan} \quad (22.8)$$

7.11-§. Uzlüksiz balkalarni moment fokuslari usuli bilan hisoblash.

Agar tutash balkaning faqat bir oraliq'i yuklangan bo'lib, qolgan oraliqlari yuklanmagan bo'lsa, bunday balkalarni uch moment tenglamasi yordamida hisoblashdan ko'ra, moment fokuslari bilan hisoblash qulay hisoblanadi. Chunki bu holda hisoblash ancha soddalashadi. Moment fokuslari usulini quyidagi faqat bir oraliq'i yuklangan tutash balka misolida qaraymiz.

Faqat bir oraliq'i ℓ_n yuklangan tutash balka uchun qurilgan eguvchi moment epyurasini qaraylik (23.1-rasm). Bu epyuradan ko'rinib turibdiki, tutash balkaning yuklanmagan oraliqlaridagi tayanch momentlarining miqdori yuklangan oraliqdan boshlab kamayib boradi va moment chizig'i har bir oraliqni ma'lum nuqtada kesib o'tadi hamda bu nuqtada eguvchi moment nolga teng bo'ladi. Bu nuqtalarning o'ri o'zgarmas bo'lib, u yuklarning turiga, miqdoriga bog'liq bo'lmaydi. Bu yuklanmagan oraliqdagi eguvchi moment nolga teng bo'lgan nuqta moment fokusi deyiladi.

Agar nol nuqtalar yuklangan oraliqdan chap tomondagi oraliqlarida joylashgan bo'lsa, bu nuqtalar chap moment fokuslari $(F_1^{uan}, F_2^{uan}, \dots)$ deb ataladi. Agar nol nuqtalar yuklangan oraliqdan o'ng tomondagi oraliqlarda joylashgan bo'lsa, bu nuqtalar o'ng moment fokuslari $(F_1^{yhz}, F_2^{yhz}, \dots)$ deyiladi (23.1-rasm).

Fokus nuqtalar o'ri o'zgarmas bo'lgani uchun, yuklanmagan oraliqlarning tayanch momentlarining nisbati ham o'zgarmas bo'ladi va chap hamda o'ng fokuslar nisbatlariga bo'linadi.

$$K_{n-1}^{uan} = -\frac{M_{n-1}}{M_{n-2}} = \frac{\epsilon_{n-1}^{uan}}{a_{n-1}^{uan}}; \quad K_{n+1}^{yhz} = -\frac{M_n}{M_{n+1}} = \frac{a_{n+1}^{yhz}}{\epsilon_{n+1}^{yhz}}. \quad (23.1)$$

CHap va o'ng fokuslar nisbatini quyidagi rekurrent formulalar yordamida ham aniqlash mumkin.

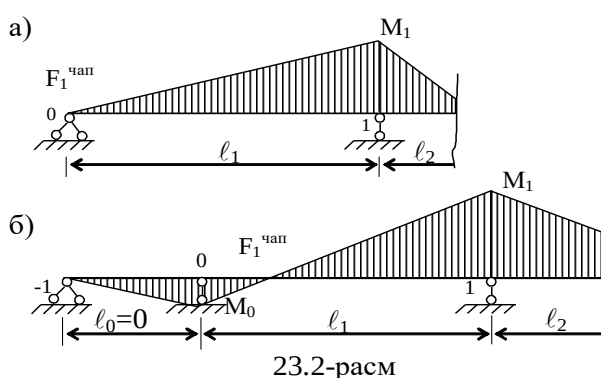
$$K_{n+1}^{uan} = 2 + \frac{\ell_n}{\ell_{n+1}} \left(2 - \frac{1}{K_n^{uan}} \right); \quad (23.2)$$

$$K_{n-1}^{yhz} = 2 + \frac{\ell_n}{\ell_{n-1}} \left(2 - \frac{1}{K_n^{yhz}} \right). \quad (23.3)$$

Bu formulalarni yuklanmagan oraliq uchun uch momentlar tenglamasini tuzish yordamida aniqlash mumkin.

Chap fokuslar nisbatini aniqlash balkaning birinchi oraliq'idan boshlanadi. O'ng fokus nisbatlarini hisoblash esa balkaning oxirgi oraliq'idan boshlanib, ketma-ket birinchi oraliqqacha davom ettiriladi. Tutash balka chap va o'ng uchlarning bog'lanishiga qarab birinchi va oxirgi oraliqlarning fokus nisbatlarini aniqlaymiz.

Agar balkaning chap uchi sharnirli qilib mahkamlangan bo'lsa, u holda birinchi oraliq uchun chap fokus nisbati quyidagicha bo'ladi (23.2-rasm, a):

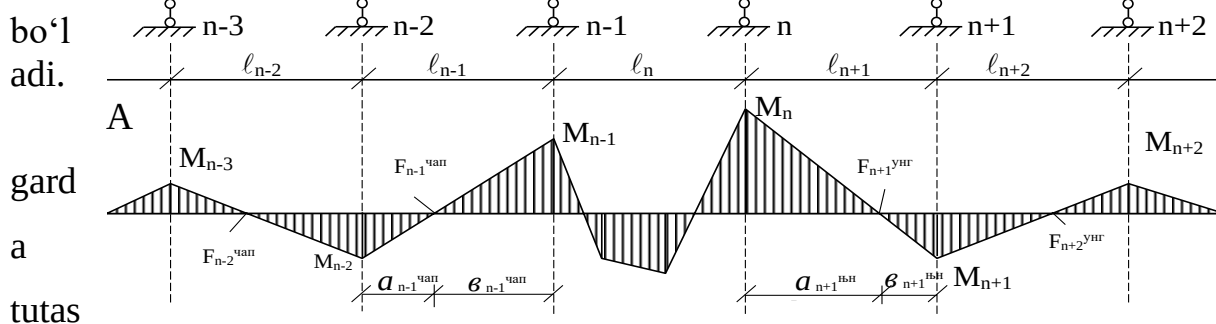


$$K_1^{qan} = -\frac{M_1}{0} = \infty \quad \text{Agar balkaning chap uchi qistirib qo'yilgan bo'lsa, u}$$

holda balkaning qistirilgan uchini fikran davom ettirib, yana bir oraliq qo'shiladi va bu oraliq uchun (23.2-rasm, b):

$$K_0^{qan} = -\frac{M_0}{M_{-1}} = \infty \quad \text{bo'ladi. (23.1) formulaga asosan birinchi oraliq uchun:}$$

$$K_1^{qan} = 2 + \frac{0}{\ell_1} \left(2 - \frac{1}{\infty}\right) = 2$$



23.1-rasm

h balkaning faqat n -oralig'i yuklangan bo'lsa, shu oraliq tayanch momentlarini M_n va M_{n-1} n , $n-1$ tayanchlar uchun uch momentlar tenglamasini tuzib va uni echish natijasida aniqlash mumkin.

CHap tayanchi momenti:

$$M_{n-1} = -6 \frac{A_n^c K_n^{y\mathcal{H}2} - B_n^c}{\ell_n (K_n^{y\mathcal{H}2} K_n^{uan} - 1)} \quad (23.4)$$

O'ng tayanchi momenti

$$M_n = -6 \frac{B_n^c K_n^{uan} - A_n^\Phi}{\ell_n (K_n^{y\mathcal{H}2} K_n^{uan} - 1)} \quad (23.5)$$

Agar tutash balkaning birinchi oralig'i yuklangan bo'lib, chap uchi konsol-siz sharnirli mahkamlangan bo'lsa, tayanch momentlari quyidagicha topiladi:

$$M_0 = 0; \quad M_1 = -\frac{6B_1^c}{\ell_1 K_1^{y\mathcal{H}2}}. \quad (23.6)$$

Shunga o'xshash oxirgi oralig'i yuklangan ℓ_{n+1} va sharnirli mahkamlangan konsolsiz tutash balka uchun, tayanch momentlari quyidagicha hisoblanadi:

$$M_n = 0; \quad M_{n-1} = -\frac{6A_n^c}{\ell_n K_n^{uan}}. \quad (23.7)$$

Qolgan yuklanmagan oraliqlarning tayanch momentlarini fokuslar nisbati yordamida aniqlash mumkin.

$$M_{n-2} = -\frac{M_{n-1}}{K_{n-1}^{uan}}; \quad M_{n-3} = -\frac{M_{n-2}}{K_{n-2}^{uan}}; \quad \dots \quad (23.8)$$

$$M_{n+1} = -\frac{M_n}{K_{n+1}^{y\mathcal{H}2}}; \quad M_{n+2} = -\frac{M_{n+1}}{K_{n+2}^{y\mathcal{H}2}}; \quad \dots \quad (23.9)$$

Shunday qilib, tutash balkalarni moment fokuslari usuli yordamida hisoblash quyidagi tartibda bajariladi.

Tutash balkaning har bir oralig'i uchun chap va o'ng fokus nisbatlari (23.2) va (23.3) formulalarga asosan aniqlanadi.

Yuklangan oraliqdagi tayanch momentlari (23.4) va (23.5) formulalar yordamida hisoblanadi.

Agar balkaning birinchi oralig'i yuklangan bo'lib, chap uchi konsolsiz sharnirli mahkamlangan bo'lsa, yoki oxirgi oraliq konsolsiz sharnirli mahkamlangan bo'lib yuklangan bo'lsa, u holda tayanch momentlari (23.6) va (23.7) formulalardan aniqlanadi.

Yuklanmagan oraliqlarning tayanch momentlari (23.8) va (23.9) formulalarga asosan topiladi.

Agar tutash balkaning bir necha oralig'i tashqi kuchlar bilan yuklangan bo'lsa, u holda moment fokuslari usulida tutash balka har bir yuk qo'yilgan oraliq uchun alohida hisoblanadi, so'ngra tayanch momentlarining algebraik yig'indilari bo'yicha umumiy eguvchi moment epyurasi chiziladi. Umumiy eguvchi moment epyurasidan foydalanib ko'ndalang kuch epyurasi quriladi.

Tayanch iboralar:

Statik aniqmas, tejimli va bikr, iqtisodiy qulay, ortiqcha bog'lanishlar, haroratning o'zgarishi, tayanchlarning cho'kish, tekis ramalar, tashqi statik aniqmas, ichki statik aniqmas, ortiqcha bog'lanishlar soni, asosiy sistema, ko'chishlar, noma'lum kuchlar, kuchlar ta'sirining mustaqillik printsipli, kanonik tenglamalar mohiyati, birlik epyura, tashqi yuk epyurasi, birlik ko'chish, koeffitsient, tashqi yuklardan ko'chish, ozod had, Mor formulasi, Vereshchagin usuli, sistemani yechish, simmetrik ramalar, sistemalarni simmetrikligidan foydalanish, statik aniqmas ramalarni hisoblashda soddalashtirish usullari, to'g'rilangan moment epyuralari, tashqi yukdan moment epyuralari, xarakterli kesimlar, kuchlar ta'sirining mustaqilligi, Juravsiy tenglamasi, tugunlar muvozanati, statik tekshirish, deformatsion tekshirish, tutash balkalar, statik aniqmaslik darajasi, asosiy sistema, birlik epyuralar, tashqi yukdan epyura, koeffitsientlar, ozod hadlar, uch moment tenglamalari, keltirilgan oraliq, natijaviy ichki kuch epyuralari, Ikki sharnirli arka, sharnirsiz arka, kuch usuli, asosiy sistema, elastik markaz, bikr konsol.

Test savollari.

Qanday sistemalarga statik noaniq sistema deyiladi?

1@)bog'lovchilardagi reaksiya kuchlarini statikaning muvozanat tenglamalari orqali aniqlab bo'lmaydigan sistemalarga

2#)inshoot va konstruksiyalarning hisobini osonlashtirish uchun ularning soddalashtirilgan sxemasiga

3#)bir-biri bilan bikir va sharnirli birikma orqali bog'langan elementlardan tuzilgan sistemalarga

4#)bir-biriga bikir kilib biriktirilgan sterjenlardan tashkil topgan sistemalarga

Statik noaniq sistemalar shartli ravishda qanday sistemalarga ajratiladi?

1@)tashqi va ichki statik noaniq

2#)ichki va kinematik statik noaniq

3#)tashqi va dinamik statik noaniq

4#)dinamik va statik noaniq

Statik aniqmas sistemalar qaysi usullar yordamida hisoblanadi?

1@)kuchlar, ko'chishlar va aralash

2#)kuchlar, ko'chishlar va statik

3#)ko'chishlar, aralash va dinamik

4#)kuchlar, ko'chishlar va taqribiy

Statik aniqmaslik darajasi deb nimaga aytiladi?

1@)statik noaniq sistemadagi ortiqcha bog'lanishlar soni

2#)har qanday jism tekislikda olgan urnini to'la aniqlab beruvchi geometrik parametrlar soni

3#)tayanch bog'lanishlari soni orqali belgilanuvchi ifoda

4#)sharnirli mexanizmning geometrik o'zgarmas bo'lishi uchun zarur bo'lgan sterjenlar soniga

Statik noaniq sistemalarning xossaligidan birini ko'rsating?

1@)ortiqcha bog'lanishlar mavjudligi hisobiga sistemaning bikirligining oshishiga erishiladi

2#)ortiqcha bog'lanishlar mavjudligi hisobiga sistemaning bikirligining tejalishiga erishiladi

3#) ortiqcha bog‘lanishlar mavjudligi hisobiga sistemaning bikirligining yo‘qolishiga erishiladi

4#) ortiqcha bog‘lanishlar mavjudligi hisobiga sistemaning bikirligining kamayishiga erishiladi

Statik noaniq sistemalar statik aniq sistemalardan nimasi bilan farq qiladi?

1@) ortiqcha bog‘lanishlar hisobiga

2#) qo‘shimcha kiritilgan bog‘lanishlar hisobiga

3#) bog‘lanishlar sonining kamligi hisobiga

4#) ular orasida hech qanday farq mavjud emas

Statik noaniq sistemalarning xossaligidan biri-bu

1@) tejamilligi

2#) elementlarning ko‘pligi

3#) elementlarining o‘lchamlari kattaligi

4#) sistema bikirligining kamayishi

Kuch usulida sistemalarning statik noaniqlik darajasi qaysi formuladan aniqlanadi?

1@) $n = 3k - Sh$

2#) $n = 3k + Sh$

3#) $n = k - Sh$

4#) $n = k + Sh$

Kuchlar usulining noma'lumlari nimalar?

1@) ortiqcha bog‘lanishlardagi zo‘riqlashlar

2#) ortiqcha bog‘lanishlardagi ko‘chishlar

3#) ortiqcha bog‘lanishlardagi parametrlar

4#) inshoot qismlarining burchakli ko‘chishlari

Kuch usulida statik aniqmas rama uchun asosiy sistema qanday tanlanadi?

1@) Qo‘shimcha bog‘lanishlar olib tashlanadi

2#) Berilgan rama qisqartiriladi

3#) Qo‘shimcha bog‘lanishlar qo‘yiladi

4#) Ramani kuch usulida hisoblashda bo‘lib bo‘lib olinadi

Kuch usulida bir noma'lumli sistema uchun tuzilgan tenglamani toping?

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

2#) $r_{11}Z_1 + R_{1p} = 0$

3#) $\delta_{11}X_1 - \Delta_{1p} = 0$

4#) $r_{11}Z_1 - R_{1p} = 0$

Ikki noma'lumli sistema uchun kuchlar usulida tuzilgan kanonik tenglama qaysi qatorda keltirilgan?

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

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

3#)
$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 - \Delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 - \Delta_{2p} = 0 \end{cases}$$

4#)
$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 - \delta_{12}X_2 + \Delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 - \Delta_{2p} = 0 \end{cases}$$

Kuchlar usulining kanonik tenglamalaridagi noma'lumlar nimalardan iborat?

1@) zo‘riqvchi kuchlar

2#) ko‘chishlar

3#) deformatsiyalar

4#) siljishlar

Kuchlar usulining kanonik tenglamalaridagi ko‘chishlar qanday nomlanadi?

1@) birlik koeffitsientlar va ozod hadlar

2#) ichki zo‘riqish kuchlari

3#) tashqi kuchlarning bajargan ishi

4#) ichki kuchlarning bajargan ishi

Kuchlar usulining kanonik tenglamasidagi δ_{ii} had nimani ifodalaydi?

1@) birlik kuch yo‘nalishida shu kuchdan hosil bo‘lgan ko‘chish

2#) tashqi kuch yo‘nalishida birlik kuchdan hosil bo‘lgan ko‘chish

3#) birlik kuch yo'nalishida tashqi kuchdan hosil bo'lgan ko'chish

4#) kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipini ifodalaydi

Kuchlar usulining kanonik tenglamasidagi Δ_{ip} ozod had nimani ifodalaydi?

1@) birlik kuch yo'nalishida tashqi kuchdan hosil bo'lgan ko'chish

2#) tashqi kuch yo'nalishida birlik kuchdan hosil bo'lgan ko'chish

3#) kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipini ifodalaydi

4#) birlik kuch yo'nalishida shu kuchdan hosil bo'lgan ko'chish

Kanonik tenglamaning birlik koeffitsientlari qanday aniqlanadi?

1@) birlik eguvchi moment epyuralarini bir-biriga ko'paytirish orqali

2#) tashqi yuklar va birlik eguvchi moment epyuralarini bir-biriga ko'paytirish orqali

3#) tashqi yuklar epyuralarini bir-biriga ko'paytirish orqali

4#) birlik kuchlar va tashqi kuchlarni bir-biriga ko'paytirish orqali

Kanonik tenglamaning ozod hadlari qanday aniqlanadi?

1@) tashqi yuklar va birlik eguvchi moment epyuralarini bir-biriga ko'paytirish orqali

2#) tashqi yuklar epyuralarini bir-biriga ko'paytirish orqali

3#) birlik kuchlar va tashqi kuchlarni bir-biriga ko'paytirish orqali

4#) birlik eguvchi moment epyuralarini bir-biriga ko'paytirish orqali

Birlik ko'chishlar qaysi formuladan aniqlanadi?

$$1@) \delta_{ik} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_k ds}{EI}$$

$$2#) \delta_{ik} = \sum \int_0^s \frac{\bar{M}_i M_k ds}{EI} + \sum \int_0^s \frac{\mu \bar{Q}_i Q_k ds}{GF}$$

$$3#) \delta_{ik} = \sum \int_0^s \frac{\mu \bar{Q}_i Q_k ds}{GF}$$

$$4#) \delta_{ik} = \sum \int_0^s \frac{\bar{N}_i N_k ds}{EF}$$

Kanonik tenglama tarkibidagi bir xil indeksli ko'chishlar nima deb ataladi?

1@) bosh ko'chishlar

2#) ikkinchi darajali ko'chishlar

3#)uchinchi darajali ko‘chishlar

4#)to‘rtinchi darajali ko‘chishlar

Kanonik tenglama tarkibidagi turli indeksli ko‘chishlar nima deb ataladi?

1@)ikkinchi darajali ko‘chishlar

2#)bosh ko‘chishlar

3#)to‘rtinchi darajali ko‘chishlar

4#)uchinchi darajali ko‘chishlar

Statik noaniq ramani natijaviy eguvchi moment epyurasi qaysi usullar yordamida tekshiriladi?

1@)statik va deformatsion

2#)kinematik va deformatsion

3#)tugun kesish va moment nuqta usuli

4#)proeksiyalash va kesish usuli

Nazorat savollari:

1. Statik noaniq sistemalarning tahrifini ayting?
2. Statik noaniq sistemalarning asosiy xususiyatlari nimadan iborat?
3. Tekis sistemalarning statik noaniqlik darajasi qanday aniqlanadi?
4. Kuch usulining asosiy sistemasi qanday tanlanadi?
5. Asosiy sistema qanday shartlarga javob berishi kerak?
6. Kuch usulining kanonik tenglamalari qanday mahnoni bildiradi?
7. Tenglamalar sistemasining koeffitsient va ozod hadlari qanday mahnoga ega?
8. Kuch usulini qanday ramalarda qo‘llash maqsadga muvofiq bo‘ladi?
9. Birlik epyuralar nima uchun quriladi?
10. Kanonik tenglamalar sistemasining koeffitsienti va ozod hadlarini aniqlashda qaysi usul qulay?
11. Tenglamalar sistemasining koeffitsient va ozod hadlarini tekshirishdan maqsad nima?
12. Kanonik tenglamalar sistemasidagi noma'lumlar nima maqsadda aniqlanadi?
13. Natijaviy eguvchi moment epyurasini necha hil usulda qurish mumkin?

14. Natijaviy moment epyurasini tekshirish usullarini ayting.
15. Bo'ylama kuch ishorasi va yo'nalishi qanday aniqlanadi?
16. Ichki zo'riqish epyuralari qanday maqsadda quriladi?
17. Tutash balkalarni hisoblashda uch moment tenglamalarini qo'llash qanday afzallikka ega?
18. Tutash balkalarda tayanch reaksiyalari qanday topiladi?
19. Statik noaniq arkalarni amalda qo'llanish sohalarini ayting?
20. Ikki sharnirli va sharnirsiz arkalar statik noaniqlik darajasini hisoblang.
21. Qanday arkalarni kuch usulida hisoblashda murakkablik mavjud?
22. Statik noaniq arkalarni hisoblashni soddalashtirish usullarini ayting.
23. Birk konsol uchi koordinatalari qanday aniqlanadi?

Onlayn masofaviy o'qitish usullari

Talaba tomonidan VII-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.

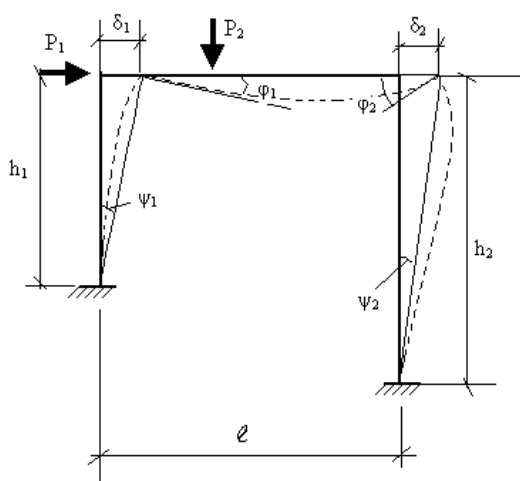
Tyutor talaba tomonidan bajarib jo'natilgan topshiriq taqdimnomasini ochadi, uni tekshiradi, kamchilik va mulohazalarni yozish joyida bildiradi va jo'natiladi. Tyutor tomonidan baholanadi va saqlash uchun (сохранит все оценки) tugmasi bosiladi.

VIII-bob. Statik noaniq sistemalarni ko'chishlar usulida hisoblash.

8.1-§. Statik noaniq sistemalarni hisoblashning ko'chishlar usuli.

Ko'chishlar usulining mohiyati va noma'lumlari. Sistemaning kinematik noaniqlik darajasi. Statik aniqmas sistemalarni kuchlar usuli bilan hisoblashda ularning ortiqcha bog'lanishlari soni zo'riqish kuchlari (moment, bo'ylama va ko'ndalang kuchlar) noma'lum deb qabul qilingan edi.

Bu zo'riqish miqdorlari aniqlangandan so'ng statik aniqmas sistemaning ko'chishlari hisoblanadi. Bu masalani boshqacha yo'l bilan yechish mumkin, buning



6.1-rasm

uchun avval ramalarda hosil bo'lgan ko'chishlarni hisoblab, so'ngra uning ixtiyoriy kesimlaridagi ichki zo'riqish kuchlarining o'zgarish qonuni yoziladi va ularning umumiy epyurasini qurish mumkin. Masalan, 6.1-rasmda tasvirlangan rama tashqi kuchlar ta'sirida deformatsiyalanib, uning tugunlari burchakli va chiziqli ko'chadi (6.1 – rasm).

φ_1, φ_2 – burchakli ko'chishlar; δ_1, δ_2 – chiziqli ko'chishlar; ψ_1, ψ_2 – og'ish burchaklari.

Ustunning og'ish burchaklarini tugunlarning gorizontal ko'chishi orqali ifodalash mumkin:

$$\psi_1 = \frac{\delta_1}{h_1}; \quad \text{yoki} \quad \delta_1 = \psi_1 h_1; \quad \psi_2 = \frac{\delta_2}{h_2} \quad \text{yoki} \quad \delta_2 = \psi_2 h_2.$$

Gorizontal ko'chishlar $\delta_1 = \delta_2 = \delta$ sababli $\psi_1 = \psi_2 \frac{h_2}{h_1}$ yozish mumkin.

Ramalarni ko'chishlar usuli bilan hisoblashda noma'lum miqdor sifatida ulardagi tugunlarning burchakli φ va chiziqli δ ko'chishlari qabul qilinadi. Bu ko'chishlar (φ va δ) ni hisoblashda rama elementlarini faqat egilishi ehtiborga olinib, ularning siqilishi yoki cho'zilishi hisobga olinmaydi.

Ramalarni ko'chishlar usuli bilan hisoblashda umumiy noma'lumlar soni n ularning tugunlarini burilishi va chiziqli ko'chishlarining yig'indisiga teng bo'ladi.

$$n = n_{\varphi} + n_{\delta}, \quad (6.1)$$

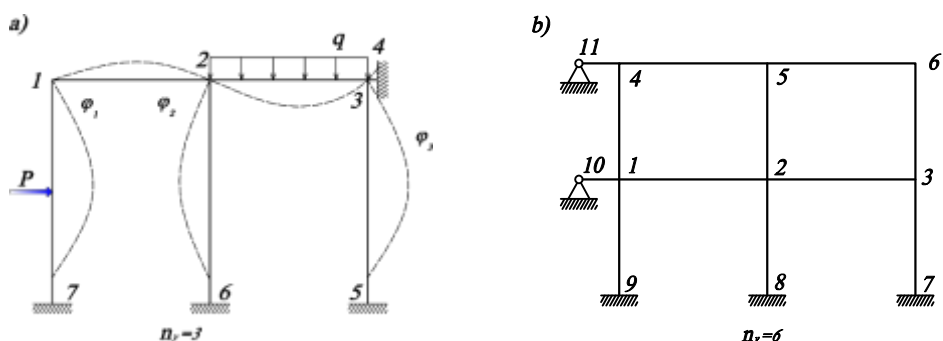
bunda; n_{φ} – birkir tugunlarning burilish burchaklari soni,

n_{δ} – tugunlarning chiziqli ko'chishlari soni.

Umumiy noma'lumlar soni n ramaning kinematik aniqlaslik darajasi deyiladi.

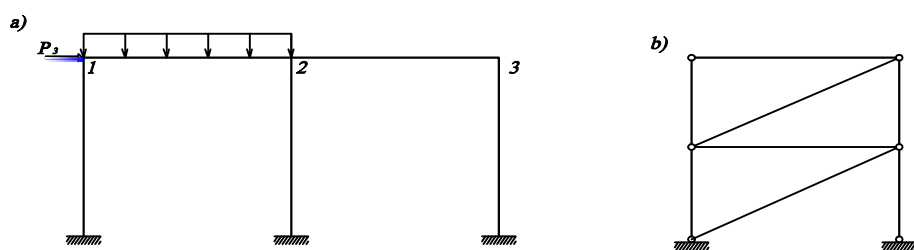
Ramalar ikki guruhga bo'linadi:

Erkinmas ramalar. Bunday ramalar tugunlarining chiziqli ko'chishi nolga teng bo'ladi ($n_{\delta}=0$). Erkinmas ramalarning kinematik aniqlaslik darajasi ular tugunlarining burchakli ko'chishlar soniga teng bo'ladi. (6.2 – rasm).



Erkin ramalar. Bu guruhga tugunlari burchakli va chiziqli ko'chishlarga ega bo'lgan ramalar kiradi (6.3 – rasm). $\delta_1=\delta_2=\delta_3$; $n_{\varphi}=3$; $n_{\delta}=1$ kinematik aniqlaslik darajasi $n=3+1=4$ bo'ladi.

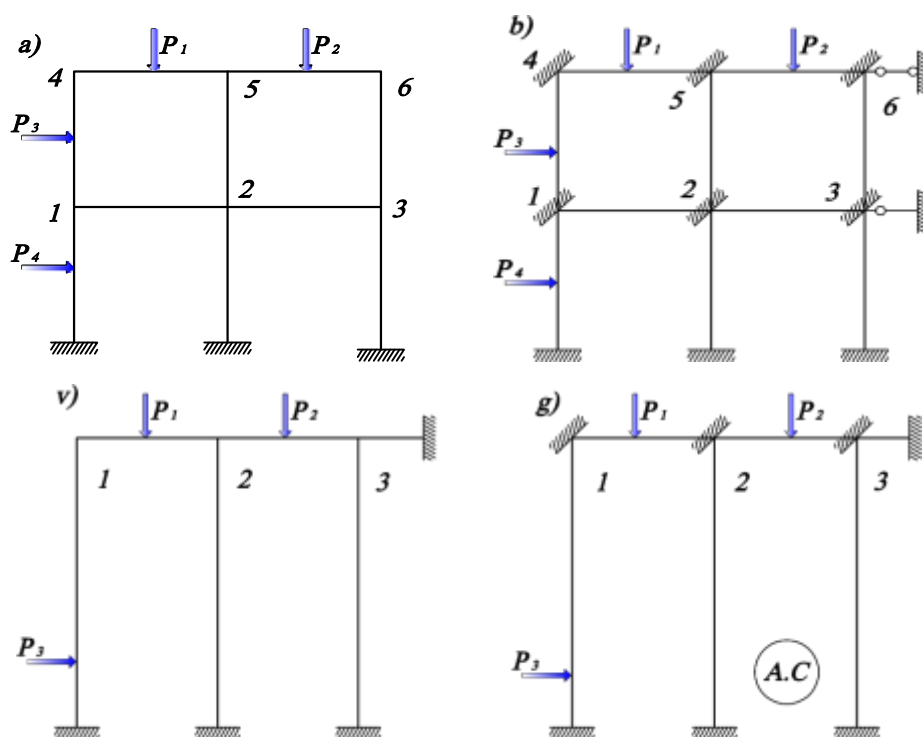
Murakkab erkin ramalar tugunlarining chiziqli ko'chishlari sonini aniqlash uchun ularning har bir tuguniga sharnir kiritish yo'li bilan yangi sharnirli sxema hosil qilamiz. Bu sharnirli mexanizmning erkinlik darajasi ramaning chiziqli ko'chishlari soniga teng. 6.3b – rasmda ko'rsatilgan ramaning kinematik aniqlaslik darajasi $n=n_{\varphi}+n_{\delta}=4+2=6$ bo'ladi.



8.2-§. Ko'chish usulining asosiy sistemasi va kanonik tenglamalari.

Ko'chish usulining asosiy sistemasi. Ko'chishlar usulida asosiy sistema berilgan ramaga, uning tugunlarining burchakli va chiziqli ko'chishlariga qarshilik ko'rsatuvchi ikki hil qo'shimcha bog'lovchilar kiritish yo'li bilan hosil qilinadi. Birinchi hil bog'lovchilar faqat tugunlarning burchakli ko'chishlariga qarshilik ko'rsatadi, ikkinchi hil bog'lovchilar esa tugunlarning chiziqli ko'chishlariga imkon bermaydi. 6.4–rasmda ko'rsatilgan rama uchun yuqorida bayon etilgan tartibda asosiy sistema tanlaymiz.

Noma'lumlar soni $n=8$, bundan $n_{\varphi}=6$, $n_{\delta}=2$ ga teng bo'ladi.



$$\Pi = \Pi_{\varphi} + \Pi_{\delta} = 3 + 0 = 3$$

6.4 – rasm

Demak, ko'chishlar usulining asosiy sistemasi bir prolyotli statik aniqmas balkalardan tashkil topgan bo'ladi.

Asosiy sistema tugunlariga kiritilgan har bir qo'shimcha bog'lanishda hosil bo'lgan reaksiyalarning yig'indisi R_i nolga teng bo'lishi kerak, chunki berilgan rama tugunlarida bu bog'lanishlar yo'q, yahni

$$R_1=0; R_2=0; \dots R_n=0 \quad (6.2)$$

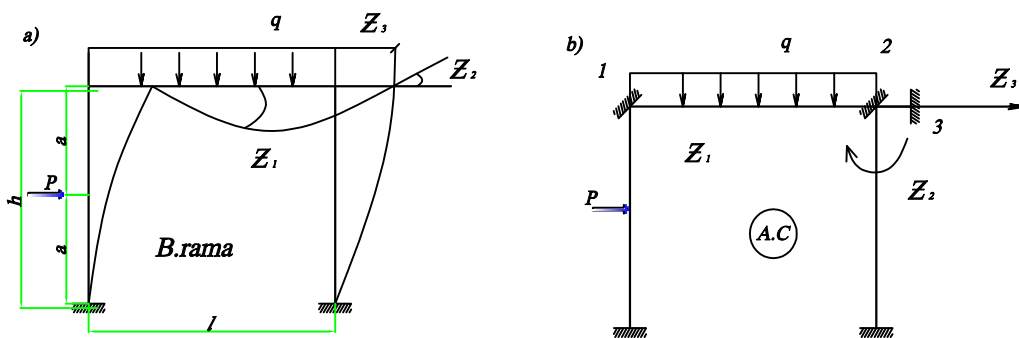
Ko'chish usulining kanonik tenglamalari. Tashqi kuchlar ta'sirida bo'lgan rama tugunlarining chiziqli va burchakli ko'chishlarini aniqlash uchun kanonik tenglamalar sistemasini tuzish printsipli berilgan rama bilan asosiy sistemalar o'rtasidagi farqlarni yo'qotishga asoslangan.

Bu shartni qanoatlantiruvchi tenglamalar ko'chishlar usulining kanonik tenglamalar sistemasi deyiladi.

Kanonik tenglamalar tuzish tartibini quyidagi misolda ko'rib chiqamiz: (6.5-rasm).

Rama tugunlarining burchakli va chiziqli noma'lum ko'chishlarini Z_i bilan belgilaymiz.

Asosiy sistema hosil qilish uchun rama tugunlariga qo'yilgan qo'shimcha bog'lanishlarda tashqi kuchlar va Z_i , Z_2 , Z_3 ko'chishlardan reaktiv momentlar va zo'riqish kuchlari hosil bo'ladi.



– rasm

Asosiy sistema berilgan sistemaga ekvivalent bo'lishi uchun

$$\left. \begin{aligned} R_{1(Z_1, Z_2, Z_3, P)} &= 0, \\ R_{2(Z_1, Z_2, Z_3, P)} &= 0, \\ R_{3(Z_1, Z_2, Z_3, P)} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6.2')$$

bo'lishi kerak.

Bunda R_1 va R_2 – asosiy sistema birinchi hil bog'lanishlaridagi tashqi kuch, Z_i , Z_2 , - burchakli va Z_3 – chiziqli ko'chishlardan hosil bo'lgan reaktiv momentlarning yig'indisi;

R_3 – asosiy sistema tugunlarining gorizontal ko'chishiga qarshilik ko'rsatuvchi reaktiv zo'riqish kuchlarining yig'indisi.

Kuchlar ta'sirining mustaqillik printsipiga asosan (6.2') sistemaning birinchi tenglamasini yoyib chiqamiz:

$$R_1 = R_{1Z1} + R_{1Z2} + R_{1Z3} + R_{1P} \quad (6.2'')$$

Bunda birinchi indeks asosiy sistema bog'lanishlarining nomerini, ikkinchi indeks esa shu bog'lanishdagi reaksiyaning hosil bo'lish sababini ko'rsatadi.

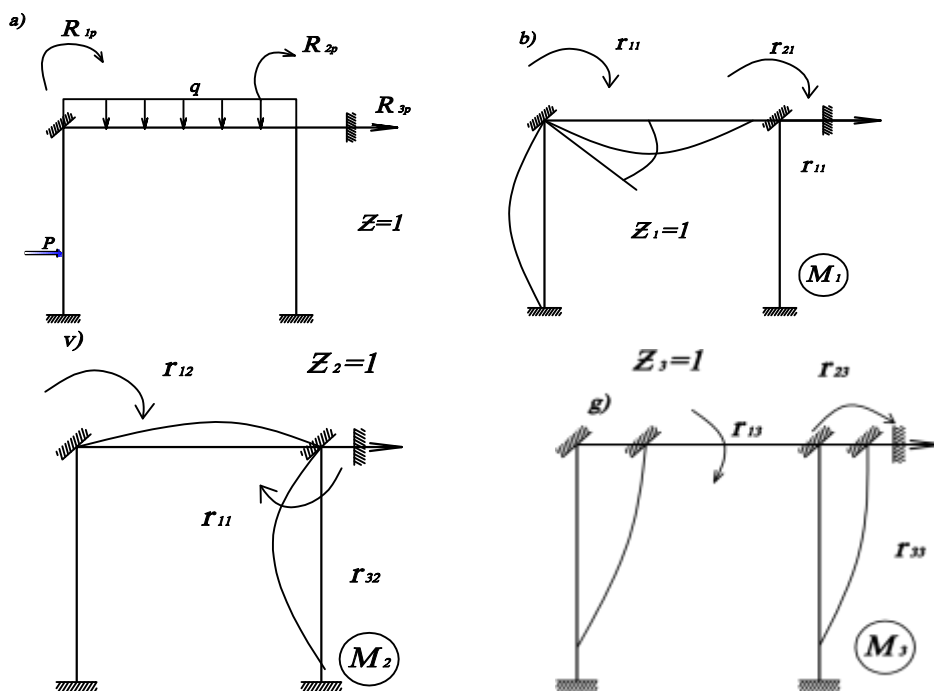
Masalan: R_1 - birinchi bog'lanishida Z_1 burchakli ko'chishdan hosil bo'lgan reaktiv moment va x.k.z...

R_{1R} – asosiy sistema birinchi bog'lanishida tashqi kuchdan hosil bo'lgan reaktiv moment.

R_{1Z1} , R_{1Z2} va R_{1Z3} reaktiv moment va kuchlarni tegishli birlik ko'chishlardan hosil bo'lgan birlik reaksiya orqali quyidagicha ifodalaymiz:

$$R_{1Z1}=r_{11}Z_1; \quad R_{1Z2}=r_{12}Z_2; \quad R_{1Z3}=r_{13}Z_3,$$

bunda: r_{11} —asosiy sistemaning birinchi bog'lanishini birlik burchakka ($Z_1=1$) burilishidan hosil bo'lgan reaktiv moment (6.6b-rasm).



6.6 – rasm

U xolda (6.2'') tenglama quyidagi qo'rinishga keladi

marta statik aniqmas balka bo‘lib, uni kuchlar usuli bilan echamiz. Kuchlar usulining asosiy sistemasi 25.1-rasm, b da ko‘rsatilgan. Birlik eguvchi moment epyurasi $\bar{M}$ 25.1-rasm, v da va balkaning birk tayanchi burchak burilishi 25.1-rasm, g da ko‘rsatilgan. $\delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0$, bu erdan $X_1 = -\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}}$

δ_{11} va Δ_{1p} birlik va tashqi yuk ko‘chishlarini aniqlaymiz:

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1^2}{EI} dx = \frac{\ell \cdot \ell}{2EI} \cdot \frac{2}{3} \cdot \ell = \frac{\ell^3}{3EI}; \quad \Delta_{1p} = -\varphi\ell;$$

U holda noma'lum reaksiya kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$X_1 = \frac{\varphi\ell}{\ell^3} \cdot 3EI = \frac{3EI \cdot \varphi}{\ell^2} \quad \text{agar} \quad \varphi = 1; \quad X_1 = 3EI / \ell^2$$

YAkuniy eguvchi moment epyurani quyidagi formula yordamida quramiz (25.1-rasm, d).

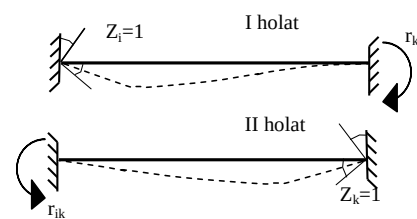
$$M = \bar{M}_1 X_1$$

Shu tartibda boshqa hollar uchun ham birlik ko‘chishlar va tashqi yuklardan epyuralar quramiz. 25.1-jadvalda bir oraliqli balkalar uchun birlik, burchakli, chiziqli ko‘chishlar va har xil yuklanishlar uchun reaksiyalar hisoblangan tayyor natijalar berilgan.

Birlik reaksiyalarning o‘zaro bog‘lanishi haqida teorema. Asosiy sistemaning i va k birlik holatlari uchun bajarilishi mumkin bo‘lgan ishlarning o‘zaro bog‘lanishi teoremasini yozamiz (25.2-rasm).

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

YA'ni i holat reaksiya kuchlarining k holatdagi ko‘chishda bajargan ishi k holat reaksiya kuchlarining i holatdagi ko‘chishlarida bajargan ishiga tengdir.



25.2-rasm

$$r_{ik}Z_i = r_{ki}Z_k, \quad Z_i = Z_k = 1 \quad \text{tengligidan} \quad r_{ik} = r_{ki} \quad \text{bo'ladi.}$$

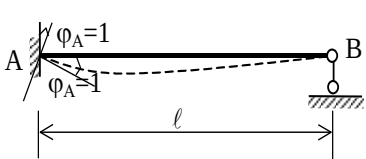
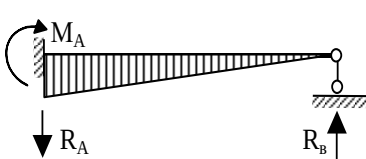
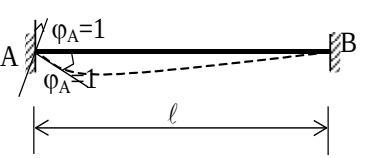
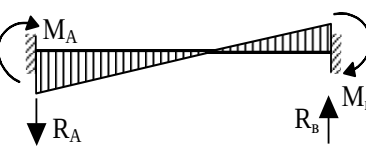
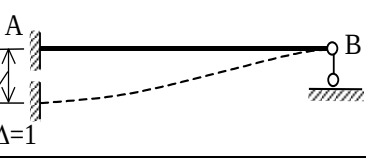
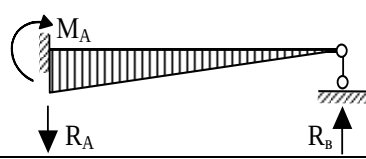
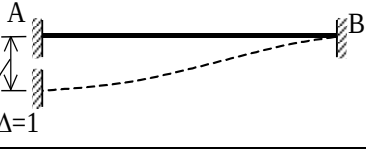
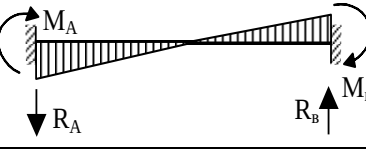
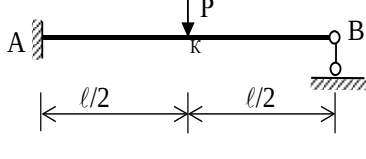
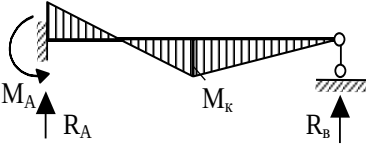
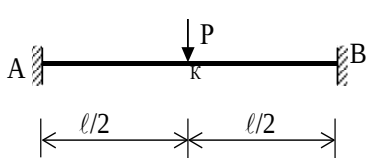
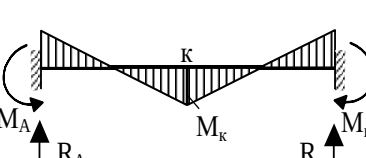
Bu tenglik reaksiyalarning o‘zaro bog‘lanish teoremasi deyiladi.

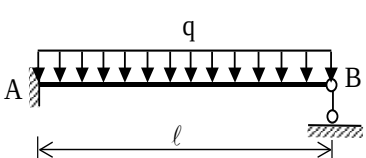
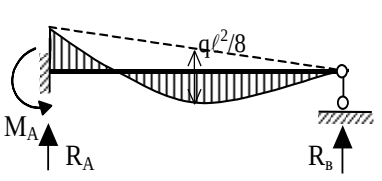
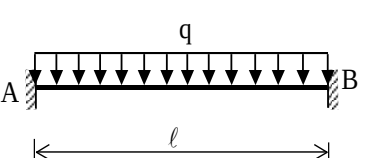
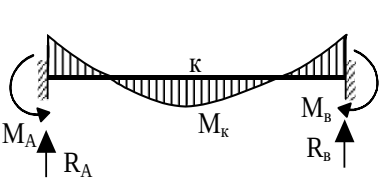
Birlik reaksiya bilan birlik ko‘chishning o‘zaro bog‘lanish teoremasi. Asosiy sistema ixtiyoriy elementining ikki holatini tekshiramiz. 1-holatda elementga tashqi R kuch qo‘yilgan bo‘lsin (25.3-rasm, a). 2-holatda esa tayanch bog‘lanishi $Z_i =$

1 ga burilgan bo'lsin (25.3-rasm, b). Bu ikki holat uchun ishlarning o'zaro bog'lanish teoremasini yozamiz:

$$\begin{aligned}
 A_{pi} &= A_{ip} & \text{Bunda} & & A_{pi} &= R_{ip} \cdot 1 + P \cdot \delta_{pi}; \\
 A_{ip} &= 0. & \text{U holda} & & R_{ip} + P \cdot \delta_{pi} &= 0, \\
 R_{ip} &= -P \delta_{pi}. & & & & (25.8)
 \end{aligned}$$

5-jadval

t/n	Balkalarning sxemalari va uning yuklanishlari	Eguvchi moment epyurasi va reaksiyalar	Moment va reaksiya qiymatlari
1.			$R_A = -R_B = -3EI/l^2$ $M_A = 3EI/l$
2.			$R_A = -R_B = -6EI/l^2$; $M_A = 4EI/l$; $M_B = 2EI/l$.
3.			$R_A = -R_B = -3EI/l^3$; $M_A = 3EI/l^2$.
4.			$R_A = -R_B = 12EI/l^3$; $M_A = M_B = 6EI/l^2$.
5.			$R_A = \frac{11P}{16}$; $R_B = \frac{5P}{16}$; $M_A = 3Pl/16$; $M_K = 5Pl/32$.
6.			$M_B = M_K = \frac{Pl}{8}$; $M_A = -\frac{Pl}{8}$; $R_A = R_B = \frac{P}{2}$

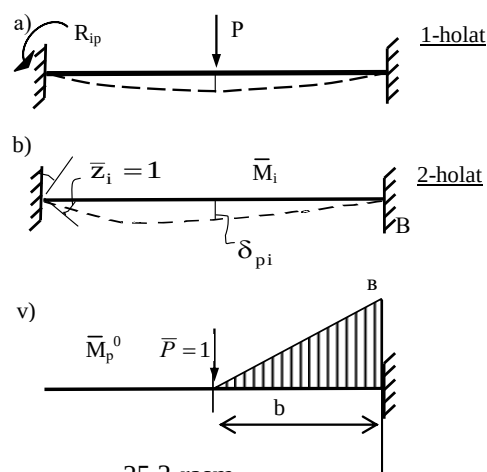
7.			$M_A = -\frac{q l^2}{8};$ $R_A = \frac{5}{8} q l;$ $R_B = \frac{3}{8} q l.$
8.			$M_A = -M_B = -\frac{q l^2}{12};$ $R_A = R_B = \frac{q l}{2};$ $M_K = \frac{q l^2}{24}.$

Agarda tashqi yuk $\bar{P} = 1$ bo'lsa,

$$R_{ip} = -\delta_{pi}. \quad (25.9)$$

Demak, asosiy sistemada $\bar{P} = 1$ dan i bog'lanishida hosil bo'lgan reaksiya kuchi bilan uning i bog'lanishining birlik ko'chishidan R kuch yo'nalishi bo'yicha hosil bo'lgan ko'chish miqdorlari o'zaro teng bo'lib, ishoralari teskari bo'ladi. Bunga birlik reaksiya bilan birlik ko'chishning o'zaro bog'lanish teoremasi deyiladi.

Agar δ_{pi} ko'chish Mor formulasiga asosan aniqlansa birinchi R holat sifatida statik aniq sistema olish tavsiya qilinadi (25.3-rasm, v).



25.3-rasm

$$\delta_{pi} = \sum \int \frac{\bar{M}_p^0 \cdot \bar{M}_i}{EI} dx \quad (a)$$

(25.9) va (a) ga asosan kanonik tenglamalarning ozod hadlarini hisoblaymiz.

$$R_{ip} = -P \cdot \delta_{pi} = -P \sum \int \frac{\bar{M}_p^0 \bar{M}_i}{EI} dx,$$

$$M_p^0 = P \bar{M}_p^0 \quad \text{deb belgilasak, u holda} \quad R_{ip} = -\sum \int \frac{M_p^0 \bar{M}_i}{EI} dx, \quad (25.10)$$

bu erda M_p^0 - tashqi kuchdan statik aniq sistemada hosil bo'lgan eguvchi moment epyurasi. Demak, asosiy sistemaning bog'lanishida tashqi kuchlardan hosil bo'lgan reaksiyani (25.10) formulaga asosan aniqlash mumkin.

8.4-§. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash.

Kanonik tenglamalar sistemasini yechish. Kanonik tenglamalar sistemasining koeffitsientlari va ozod hadlarini topish uchun avvalo asosiy sistema uchun eguvchi moment epyuralarini birlik noma'lum ko'chishlardan va tashqi yuklardan qurish kerak. Buni tayyor tablitsa yordamida bajarish mumkin.

Barcha koeffitsientlar va ozod hadlarni ikki guruhga ajratish mumkin:

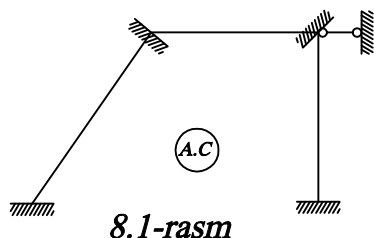
a) kiritilgan qistirilgan tayanchlardagi reaktiv momentlar; b) kiritilgan chiziqli sterjenlardagi reaktiv kuchlar.

Qistirilgan tayanchlardagi reaktiv momentlar va ozod hadlar tugunlarni kesib quyidagi muvozanat tenglamalaridan topiladi: $\Sigma M = 0$.

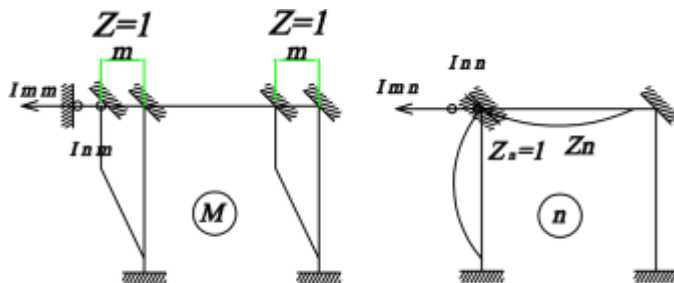
Reaktiv kuchlar quyidagi formuladan topiladi: $\Sigma T = 0$.

Kanonik tenglamalar sistemasining koeffitsientlari va ozod hadlarini epyuralarni ko'paytirish usulida topish.

Asosiy sistema 8.1–rasmda ko'rsatilgan holatlarda qo'shimcha bog'lanishlardagi reaksiyalarni mos epyuralarni ko'paytirish usulida topish qo'laydir. Ko'chish usulining asosiy sistemasini ikki xolatini qaraymiz (8.2-rasm).



8.1-rasm



8.2-rasm

“n” xolatidagi kuchlarni “m” xolatidagi ko'chishlarida bajargan ishni A_{nm} eguvchi momentlar orqali ifodalaymiz.

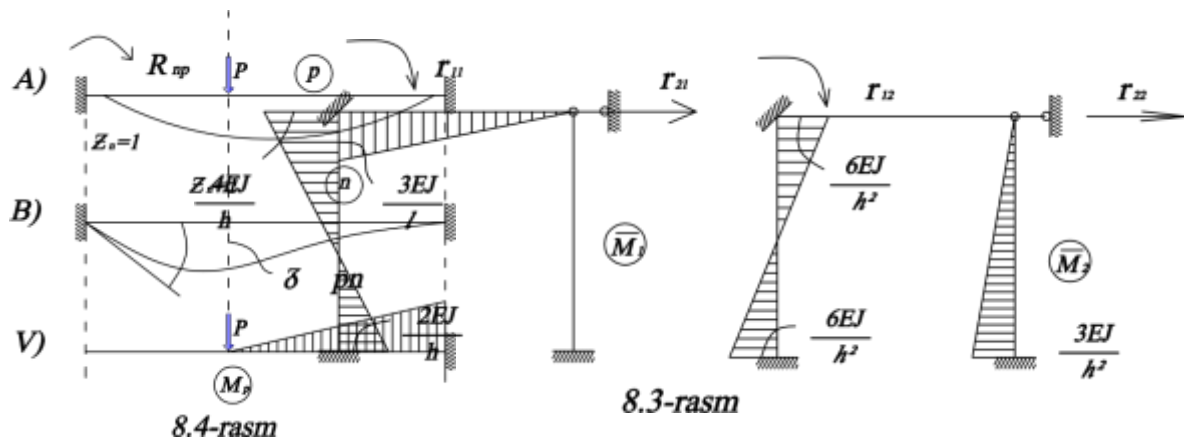
$$A_{nm} = r_{mn} \cdot 1 = \sum \int \frac{\bar{M}_m \bar{M}_n ds}{EI} \quad \text{bu yerdan} \quad r_{mn} = \sum \int \frac{\bar{M}_m \bar{M}_n ds}{EI} \quad (8.1)$$

Ishlarning o'zaroligi teoremasiga asosan:

$$A_{nm} = A_{mn}, \text{ lekin } A_{nm} = r_{mn} \cdot 1; A_{mn} = r_{nm} \cdot 1; \text{ u holda } r_{nm} = r_{mn} \quad (8.2)$$

bu reaksiyalarning o'zaroligi teoremasi.

r_{12} va r_{22} koeffitsientlarini quyidagi rama misolida aniqlaymiz (8.3-rasm).



$$r_{12} = \sum \int \frac{\overline{M}_1 \overline{M}_2 ds}{EI} = \frac{h}{6EI} \left(-2 \cdot \frac{2EI}{h} \cdot \frac{6EI}{h^2} - 2 \cdot \frac{4EI}{h} \cdot \frac{6EI}{h^2} + \frac{2EI}{h} \cdot \frac{6EI}{h^2} + \frac{6EI}{h^2} \cdot \frac{4EI}{h} \right) =$$

$$= \frac{h}{6EI} \left[-\frac{12(EI)^2}{h^3} - \frac{24(EI)^2}{h^3} \right] = -\frac{36EI}{6h^2} = -\frac{6EI}{h^2}$$

statik usuldagi qiymati bilan mos keladi.

$$r_{22} = (\overline{M}_2)(\overline{M}_2) \text{ dan aniqlanadi.}$$

Tashqi yuklardan reaksiyani aniqlash uchun asosiy sistema ikki holatini qaraymiz: yuk holati “R” va birlik holat “n” (8.4-rasm).

“R” holatidagi tashqi kuchlarning “n” xolatidagi ko’chishlarida bajargan ishi

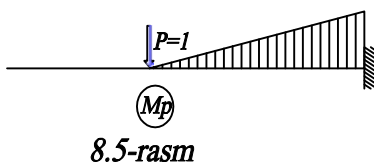
$$A_{pn} = p \cdot \delta_{pn} + R_{np} \cdot 1,$$

“n” xolatidagi kuchlarning “R” xolatidagi ko’chishlarida bajargan ishi $A_{nr}=0$. $A_{rn}=A_{nr}$ – sababli, $R_{nr}=-r_{\delta} \cdot r_n$, bu yerda δ_{rn} statik aniqmas asosiy sistemada R kuchi yo’nalishida “n” xolatidagi ko’chishi. $R=1$ da bu nisbat quyidagi ko’rinishga keladi (8.4 – rasm.):

$$r_{nr}=-\delta_{rn} \quad (8.3)$$

bu reaksiya va ko’chishlarning o’zaroligi teoremasi bo’ladi. δ_{rn} ni aniqlash uchun $\overline{M}'_p$ epyurani (8.5 – rasm) $\overline{M}'_n$ epyurasiga ko’paytiriladi.

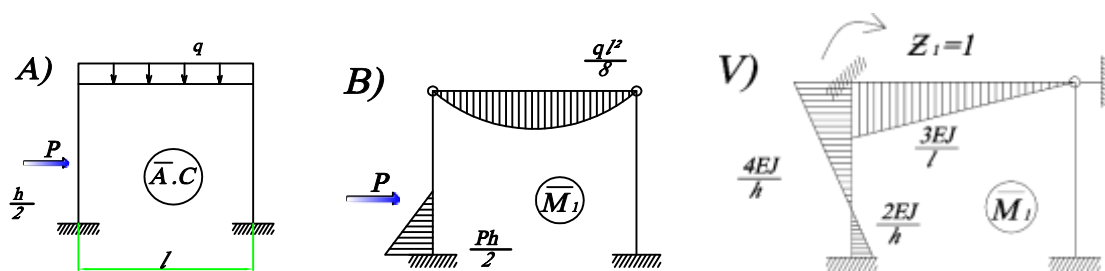
$$\delta_{pn} = \sum \int \frac{\overline{M}'_p \overline{M}_n dx}{EI} \text{ yoki } R_{np} = -p_{\delta} \cdot p_n = \sum \int \frac{\overline{M}'_p \overline{M}_n ds}{EI}$$



$$\text{Agar } p \cdot \overline{M}'_p = Mp' \text{ bo'lsa, u holda } R_{np} = -\sum \int \frac{\overline{M}'_p \overline{M}_n ds}{EI}$$

bo’ladi. $\overline{M}'_p$ - statik aniq sistemaning tashqi yukdan eguvchi moment ordinatalari (shu jumladan “n” bog’lanishi albatta

tashlab yuboriladi.) Misol: R_{1R} reaksiyasi aniqlansin?



8.6 – rasm

$$R_{1p} = -\sum \int \overline{M}_1 \frac{M'_p ds}{EI} = -\frac{2}{3} \cdot \frac{ql^2}{8} \cdot l \cdot \frac{1}{EI} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3EI}{l} + \frac{1}{2} \cdot \frac{ph}{2} \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{1}{EI} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2EI}{h} = -\frac{ql^2}{8} + \frac{ph}{8}.$$

8.5-§. Natijaviy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlash.

Natijaviy M_x eguvchi moment epyurasini tekshirish uchun statik tekshirish o'tkaziladi. Ushbu tekshirishda ramaning tugunlari qirqib olinadi va ularga qolgan qismining ta'sirini tegishli moment zo'riqlari bilan almashtiriladi. Har bir tugun uchun muvozanat shartlari yoziladi. Chunki ramaning har bir tuguni muvozanatda bo'lishi shart. Ko'chishlar usulida ramaning eguvchi moment epyurasini statik tekshirish zaruriy bo'lishi bilan birgalikda etarli bo'la oladi. Bu usulda deformatsion tekshirish o'tkazish shart emas.

Ramaning ko'ndalang va bo'ylama kuch epyuralarini qurish hamda uni umumiy statik tekshirish kuchlar usulidagidek bajariladi

Kuchlar va ko'chishlar usullarini taqqoslash. Kuchlar va ko'chishlar usullari bilan statik noaniq ramalarni hisoblash tartiblarida qo'yidagicha o'xshashliklar va farqlar borligini ko'ramiz:

1. Bu ikkala usul bo'yicha ramalarni hisoblash, avvalo noma'lumlar sonini aniqlashdan boshlanadi. Kuchlar usulida ramadagi ortiqcha bog'lanishlar soni, ya'ni ramaning statik aniqmaslik darajasi topiladi. Ko'chishlar usulida rama tugunlarining mumkin bo'lgan ko'chishlari soni, ya'ni ramaning kinematik aniqmaslik darajasi aniqlanadi.

2. Ikkala usulda ham ramalarni hisoblashda asosiy sistema tanlanadi. Lekin asosiy sistemalar bir-biridan farq qiladi. Kuchlar usulida asosiy sistemani tanlash

uchun berilgan rama ortiqcha bog‘lanishlardan ozod qilinsa, ko‘chishlar usulida berilgan rama tugunlariga qo‘shimcha bog‘lanishlar kiritiladi. Kuchlar usulining asosiy sistemasi har xil ko‘rinishda bo‘lishi mumkin, ko‘chishlar usulini yagona bo‘ladi.

3. Kuchlar usulining asosiy sistemasi sifatida ortiqcha bog‘lanishlar-dagi zo‘riqishlar noma‘lum kuchlar bilan almashtirilib, statik aniq sistema tanlansa, ko‘chishlar usulining asosiy sistemasida rama tugunlariga kiritilgan qo‘shimcha bog‘lanishlar yo‘nalishi bo‘yicha tugunlarning ko‘chishlari noma‘lum deb qaraladi. SHunday qilib, birinchi usulda kuchlar noma‘lum deb qabul qilinsa, ikkinchi usulda ko‘chishlar noma‘lum sifatida qabul qilinadi. Shu sababli bu usullardan birinchi kuchlar usuli deyilsa, ikkinchisi ko‘chishlar usuli deyiladi.

4. Ushbu ikkala usulda ham noma‘lumlar soniga teng bo‘lgan kanonik tenglamalar tuziladi. Kanonik tenglamalar sistemasining umumiy ko‘rinishi o‘xshash bo‘lsa ham, mazmunan bir-biridan katta farq qiladi. Kuchlar usuli kanonik tenglamalari har bir noma‘lum zo‘riqish yo‘nalishi bo‘yicha tashqi yuk va barcha noma‘lum zo‘riqishlardan asosiy sistemada hosil bo‘lgan ko‘chishlar yig‘indisi nolga tengligini ifodalaydi, chunki aslida berilgan ramada bu noma‘lumlar yo‘nalishida ko‘chishlar hosil bo‘lmaydi. Ko‘chishlar usulining kanonik tenglamalari esa, asosiy sistemaga kiritilgan har bir qo‘shimcha bog‘lanishida tashqi yuk va noma‘lum ko‘chishlardan hosil bo‘lgan reaksiyalar va ularning yig‘indisi nolga tengligini ifodalaydi, chunki berilgan rama tugunlarida bu bog‘lanishlar aslida yo‘q bo‘lib, tugunlar doimo muvozanatda bo‘lishi shart.

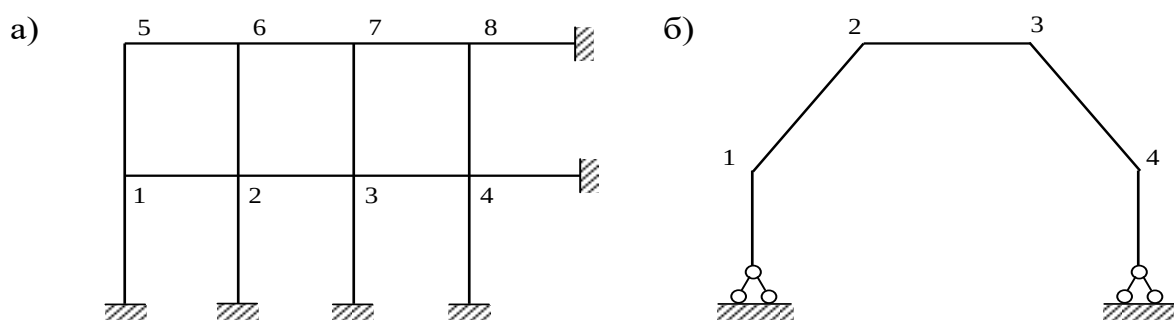
5. Ikkala usul kanonik tenglamalari koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash uchun birlik va tashqi yuk eguvchi moment epyuralaridan foydalaniladi. Kuchlar usulida asosiy sistemaga birlik noma‘lum zo‘riqishlar va tashqi yuk ta’siridan hosil bo‘lgan eguvchi moment epyuralari qurilsa, ko‘chishlar usulida esa, asosiy sistemaga birlik ko‘chishlardan va tashqi yuklar ta’siridan eguvchi moment epyuralari quriladi. Ko‘chishlar usulida moment epyuralarini qurish ancha oson bo‘lib, ularni qurishda alohida sterjenlar uchun chizilgan moment epyularining tayyor maxsus jadval qiymatlaridan foydalaniladi. Kuchlar usulida kanonik tenglama koeffitsientlarini va

ozod hadlarini aniqlash faqat epyuralarini o‘zaro ko‘paytirish, ya’ni kinematik usul orqali bajarilsa, ko‘chishlar usulida kinematik usuldan tashqari statik usul orqali ham aniqlash mumkin. Bunda statik usul kinematik usulga nisbatan oson va qulaydir. Ammo og‘ma ustunli ramalarda tenglama koefitsientlarini hisoblashda kinematik usulni qo‘llash maqsadga muvofiq hisoblanadi.

6. Kuchlar usulida ham, ko‘chishlar usulida ham, ramaning xotima, (yakuniy) eguvchi moment, ko‘ndalang va bo‘ylama kuch epyuralari bir xil qoidaga asosan hisoblanadi.

Kuchlar va ko‘chishlar usulini taqqoslash natijasida quyidagi xulosaga kelish mumkin:

1. Ramalarni ko‘chishlar usuli bilan hisoblash kuchlar usuliga nisbatan ancha qulayliklar tug‘diradi, chunki ko‘chishlar usulining asosiy sistemasi bitta (yagona) bo‘lsa, kuchlar usulining asosiy sistemasi juda ko‘p variantda bo‘lishi mumkin; ko‘chishlar usulining asosiy sistemasi uchun tashqi yuk va birlik ko‘chishlardan chiziladigan eguvchi moment epyuralarini qurish sodda bo‘lib, standart epyuralardan foydalanilsa, kuchlar usulida bu epyuralar murakkab ko‘rinishda bo‘ladi; ko‘chishlar usulida kanonik tenglama koefitsientlari va ozod hadlarini aniqlash sodda bo‘lib, rama tugunlarining muvozanat shartidan topilsa, kuchlar usulida epyuralarni o‘zaro



29.1-pacm

ko‘paytirish orqali aniqlanadi, bu esa hisoblash ishlarini ancha ko‘paytiradi.

2. Vertikal ustunli ramalarni ko‘chishlar usuli bilan hisoblash kuchlar usuliga nisbatan ancha qulay bo‘lsa, og‘ma va qiyshiq ustunli ramalarni kuchlar usuli bilan hisoblash ko‘chishlar usuliga nisbatan osonroq bo‘lishi mumkin. Ko‘chishlar usulining bu qulayliklari hamma ramalar uchun ham to‘g‘ri bo‘lmaydi. Masalan,

29.1-rasm, a da tasvirlangan rama ko'chishlar usuli bilan hisoblansa, u 8 marta kinematik aniqmas, kuchlar usuli bo'yicha esa 21 marta statik aniqmasdir. Demak, bu ramani ko'chishlar usuli bilan hisoblash qulay. 29.1-rasm, b da ko'rsatilgan ramani hisoblashda kuchlar usulini tadbiq qilsak, uning statik aniqmaslik darajasi birga teng. Ko'chishlar usuli bo'yicha esa bu rama 6 marta kinematik aniqmas. Demak, bu ramani kuchlar usuli bilan hisoblash qulay ekan.

8.6-§. Statik noaniq ramalarni aralash usulda hisoblash.

Aralash usul. Aralash usul bilan statik aniqmas ramalarni hisoblashda ramaning bir qismi uchun kuch usuli, ikkinchi qismi uchun ko'chishlar usuli ishlatiladi.

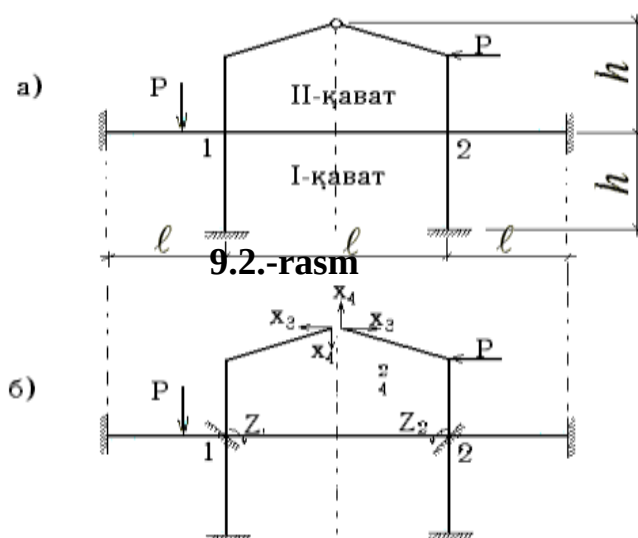
Aralash usulni 1927 yili prof. A. A. Gvozdev tavsiya etgan.

Bu usulda asosiy sistema tanlash uchun ramaning bir qismidan ortiqcha bog'lanishlarni yo'qotib, ikkinchi qismiga qo'shimcha bog'lanishlar qo'yish kerak.

Ramaning bir qismida noma'lum $X_1, X_2, \dots, X_n$ zo'riqishlar bo'lsa, ikkinchi qismida esa $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ ko'chishlar ishtirok etadi. Bu bilan hisoblash ancha osonlashadi.

Aralash usulining hisoblash nazariyasini, 9.2 – rasmda ko'rsatilgan rama misolida ko'rib chiqamiz.

Hisoblash usulini tanlash uchun quyidagi jadvalni tuzamiz.



Noma'lumlar soni		
Qavat	Kuchlar usuli bo'yicha	Ko'chishlar usuli bo'yicha
I – qavat	9	2
II – qavat	2	4
Jami:	11	6

Bu rama faqat kuchlar usuli bilan hisoblansa 11 marta statik aniqmas bo'ladi. Faqat ko'chishlar usuli bilan hisoblansa 6 marta kinematik aniqmas bo'ladi.

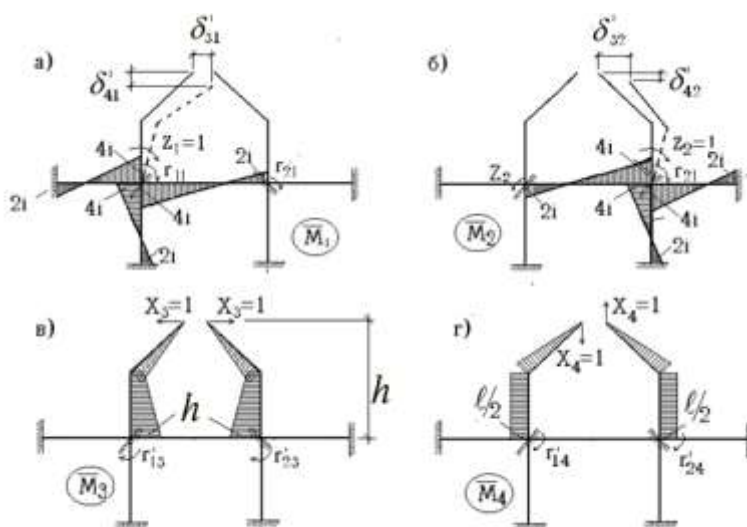
Agar ramaning birinchi qavatini ko'chishlar, ikkinchi qavatini kuch usuli bilan hisoblansa (aralash usul), umumiy noma'lumlar soni 4 ga teng bo'ladi, yahni, birinchi qavatning ikkita tugunlaridagi Z_1, Z_2 ko'chishlari va ikkinchi qavatning sharniridagi X_3, X_4 zo'riqishlar noma'lum bo'ladi.

Aralash usulning asosiy sistemasi 9.2b – rasmda ko'rsatilgan.

Kanonik tenglamalar sistemasi quyidagicha bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + r'_{13}X_3 + r'_{14}X_4 + R_{1p} &= 0, \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + r'_{23}X_3 + r'_{24}X_4 + R_{2p} &= 0, \\ \delta'_{31}Z_1 + \delta'_{32}Z_2 + \delta_{33}X_3 + \delta_{34}X_4 + \Delta_{3p} &= 0, \\ \delta'_{41}Z_1 + \delta'_{42}Z_2 + \delta_{43}X_3 + \delta_{44}X_4 + \Delta_{4p} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9.1)$$

Asosiy sistema uchun birlik eguvchi moment epyuralari quyidagicha bo'ladi:



9.3-rasm

Bu tenglamalar har bir hadining mazmunini uning birinchi tenglamasidan boshlab ko'ramiz:

$r_{11}Z_1$ —asosiy sistema birinchi biki bog'lanishini Z_1 burchakka burilishdan hosil bo'lgan reaksiya;

$r_{12}Z_2$ —asosiy sistema birinchi biki bog'lanishida ikkinchi biki bog'lanishini Z_2 , burchakka burilishdan hosil bo'lgan reaksiya;

$r_{113}X_3$ —asosiy sistema birinchi biki bog'lanishini X_1 burchakka burilishdan hosil bo'lgan reaksiya;

$r_{114}X_4$ —xuddi shunday, X_4 kuchidan hosil bo'lgan reaksiya;

Sanab o'tilgan reaksiyalar yig'indisi nolga teng, chunki aslida bunday biki bog'lanish yo'q, demak ularning reaksiyalari ham yo'q. SHunday qilib birinchi tenglama statika tenglamasi hisoblanadi.

Ikkinchi tenglama ham shunday mazmunni bildiradi.

Uchinchi tenglamani ko'ramiz va uning har bir hadi mazmunini belgilaymiz:

$\delta'_{31}Z_1$ —asosiy sistema X_3 kuchi yo'nalishida, birinchi biki bog'lanishni Z_1 qiymatga burilishdan hosil bo'lgan ko'chish;

$\delta'_{32}Z_2$ —asosiy sistema X_3 kuchi yo'nalishida, ikkinchi biki bog'lanishni Z_2 burilishdan hosil bo'lgan ko'chish;

$\delta_{33}X_3$ —asosiy sistema X_3 kuchi yo'nalishida X_3 kuchidan ko'chish;

$\delta_{34}X_4$ —asosiy sistema X_3 kuchi yo'nalishda X_{4i} kuchidan ko'chish;

Δ_{3p} —asosiy sistema X_3 kuchi yo'nalishida tashqi yuklardan ko'chish.

Aytilgan ko'chishlar yig'indisi nolga teng, chunki aslida ramaning bu sharnirli tuguni qirqilmagan, X_3 kuchi qo'yilgan nuqta ko'chmaydi. SHunday qilib, uchinchi tenglama ko'chishlar yig'indisi nolga tengligini ifodalaydi; uni kinematika tenglamalari deb atash mumkin.

To'rtinchi tenglama ham huddi shunday mazmunini ifodalaydi.

Aralash usulining kanonik tenglamalar sistemasidagi koeffitsientlar to'rt toifaga bo'linadi:

1. Asosiy sistemada birlik ko'chishlar $Z_1=1$ va $Z_2=1$ (9.3 a, b-rasm) dan hosil bo'lgan reaksiyalarni ifodalovchi koeffitsientlar r_{11} , $r_{12}=r_{21}$, r_{22} . Bu koeffitsientlar ko'chishlar usulida aytilgan qoidalarga asosan aniqlanadi.

2. Birlik noma'lum kuchlardan $X_3=1$, $X_4=1$ dan hosil bo'lgan reaksiyalarni ifodalovchi koeffitsientlar (9.3v,g – rasm):

$$r'_{13}, \quad r'_{14}, \quad r'_{23}, \quad r'_{24}$$

3. Asosiy sistemada noma'lum zo'riqishlar yo'nalishi bo'yicha birlik ko'chishdan hosil bo'lgan ko'chishlarni ifodalovchi koeffitsientlar (9.3a,b –rasm):

$$\delta'_{31}, \quad \delta'_{32}, \quad \delta'_{41}, \quad \delta'_{42}$$

4. Asosiy sistemada $X_3=1$, $X_4=1$ birlik kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishlar:

$$\delta_{33}, \delta_{34} = \delta_{43}, \delta_{44}.$$

Bu koeffitsientlar kuchlar va ko'chishlar usullarida tahriflangan qoidalarga asosan aniqlanadi.

Birlik ko'chishlar bilan birlik reaksiyani o'zaro bog'lovchi teoremaga ko'ra $r'_{13} = -\delta'_{31}$ va $r'_{14} = -\delta'_{41}$ bo'ladi.

Bizning holda: $r'_{13} = h$; $r'_{23} = -h$; $r'_{14} = -\frac{l}{2}$; $r'_{24} = -\frac{l}{2}$; $\delta'_{13} = -h$; $\delta'_{23} = \frac{l}{2}$; $\delta'_{24} = \frac{l}{2}$;

Shunday qilib, birlik ko'chishlardan hosil bo'lgan ko'chishlar kinematika qoidasigan (yoki geometrik nisbatlar orqali), birlik kuchlardan hosil bo'lgan kiritilgan bog'lanishlardagi zo'riqishlar– statika qoidasi bo'yicha topiladi. Kanonik tenglamalarning ozod hadlari ham kuchlar va ko'chishlar usullarida ko'rsatilganidek hisoblanadi.

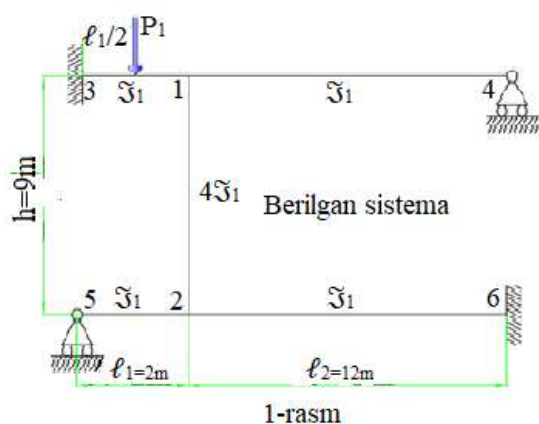
Rama eguvchi momentlarining umumiy epyurasini chizish uchun quyidagi formuladan foydalanishi mumkin:

$$M_{yM} = M_p^o + \overline{M}_1 Z_1 + \overline{M}_2 Z_2 + \overline{M}_3 X_3 + \overline{M}_4 X_4. \quad (9.2)$$

Statik noaniq ramalarni ko'chish usulida hisoblash .

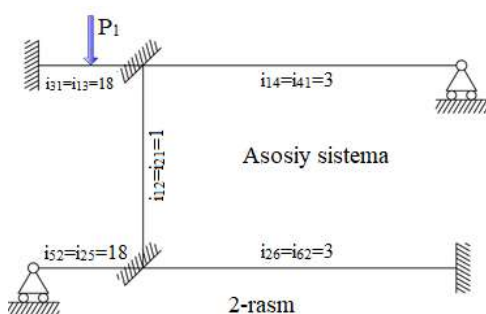
Masalani sharti : Statik noaniq ramalarni ko'chish usulida hisoblashda quyidagilar talab qilinadi:

1. Berilgan ramani kinematik noaniqlik darajasini aniqlash.
2. Ramaning kinematik noaniqlik darajasiga qarab berilgan sistemaga mos asosiy sistema tanlash.
3. Tanlab olingan asosiy sistema uchun kanonik tenglamalar sistemasini tuzish.
4. Asosiy sistemadagi har bir qo'shimcha bog'lanishlarga birlik ko'chishlar berib birlik eguvchi moment $M_1, M_2, M_3, \dots, M_p$ epyuralarini qurish.
5. Kanonik tenglama koeffitsientlari r_i va ozod hadlarni R_{ip} larni qiymatlarini hisoblash.
6. Kanonik tenglamalar sistemasini yechib uning nomalumlari bo'lgan $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$ larning qiymatlarini hisoblash.
7. Berilgan statik noaniq rama uchun uning M_{um}, Q_{um} va N_{um} yakuniy huloa epyuralarini qurish.
8. Bu qurilgan M_{um}, Q_{um} va N_{um} epyuralarining to'g'riligini statik, deformatsion va energetik usullarda tekshirish.



Berilgan qiymatlarni e'tiborga olib statik noaniq ramaning berilgan sistemasini chizib olamiz. Bu chizma 1- rasmda berilgan.

Berilganlar: $l_1=2m, l_2=12m, h=9m,$
 $P_1=5kN, J_1:J_2=1:4 \quad J_2=4J_1$



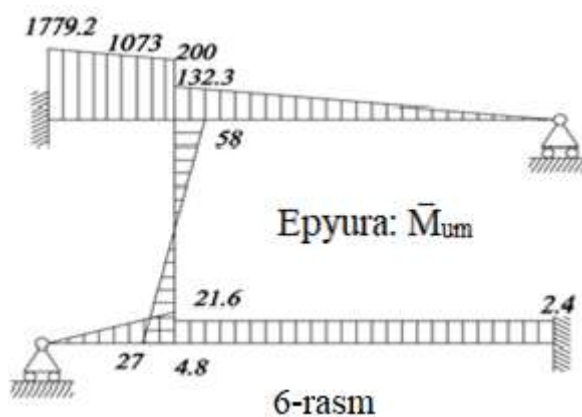
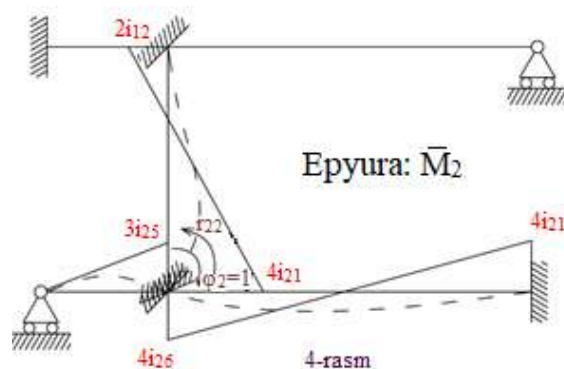
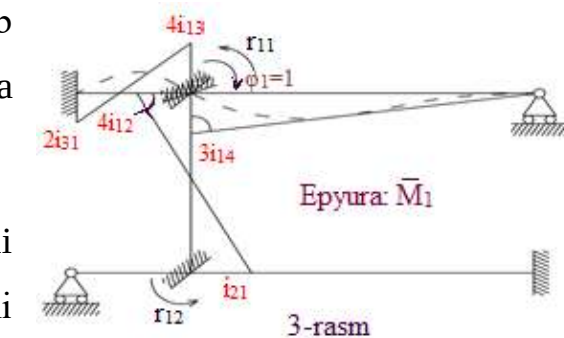
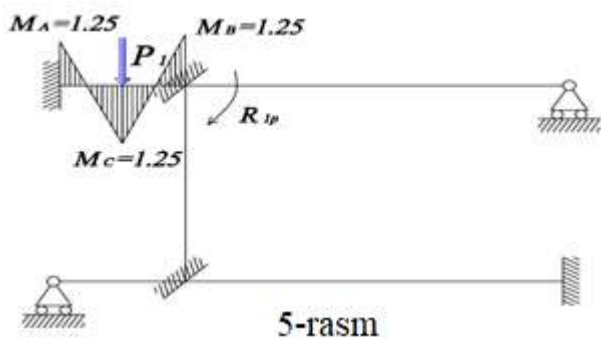
Masalani yechish : 1. Berilgan rama 2 marta kinematik noaniqdir. Uning 1chi va 2 chi tugunlarni tashqi kuch tasirida burchakli ko'chadi yani $n_b = 2$ lekin bu tugunlar chiziqli ko'chmaydi chunki bu qistirib mahkamlangan sterjenlarga ulangan yani $n_{ch} = 0$ Demak $n = n_b + n_{ch} = 2 + 0 = 2$ Demak berilgan rama 2 marta kinematik noaniq rama ekan.

2. Ramaning 1 va 2- tugunlarini buralishiga qarshilik ko'rsatuvchi qo'shimcha bog'lanishlar qo'yib asosiy sistemani tanlab olamiz. Bu tanlab olingan asosiy sistema 2- rasmda ko'rsatilgan.

3. Berilgan va asosiy sistemalar orasidagi farqlarni yo'qotuvchi kanonik tenglamalar sistemasini tuzamiz

$$\begin{cases} r_{11} \cdot \varphi_1 + r_{12} + R_{1p} = 0 \\ r_{21} \cdot \varphi_1 + r_{22} \cdot \varphi_2 + R_{2p} = 0 \end{cases}$$

4. Endi asosiy sistemani har bir qo'shimcha bog'lanishiga alohida –alohida birlik $\varphi_1=1$ va $\varphi_2=1$ buralishlar berib ularning buralishidan hosil bo'lgan M_1 va M_2 birlik eguvchi moment epyuralarini ko'ramiz. Bu epyuralarni ko'rishda ko'chish usullarining



maxsus jadvalidan foydalanamiz. Bu jadval

“Qurilish mexanikasi” darslik kitoblarida keltirilgan.

Bu M_1 va M_2 eguvchi moment epyurasiga mos ravishda 3 va 4- rasmlarda keltirilgan.

5. Asosiy sistemaga faqat tashqi P_1 kuchni tasir ettirib, bu kuch tasirida hosil bo'lgan M_p eguvchi moment epyuralartini ko'ramiz. Bu eguvchi moment M_p epyurasini ko'rishda ko'chish usulining maxsus jadvalidan foydalaniladi.

$$M_C = 2U \cdot V^2 \cdot P_1 \cdot \ell_1 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} \cdot 5 \cdot 2 = 1,25$$

$$M_A = M_B = U \cdot V^2 \cdot P_1 \cdot \ell_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot 5 \cdot 2 = 1,25$$

Kanonik tenglama koeffitsientlari r_{ik} va ozod hadlari R_{ip} larni hisoblab topish uchun M_1 va M_2 epyuralaridan tugunlarni kesib ajratib olib va ularning muvazanatini tekshiramiz. Avvalambor rama sterjenlarining keltirilgan o'lchamsiz

birikmalarini hisoblab topamiz. Masala shartidan $\frac{J_1}{J_2} = \frac{1}{4}$ bundan

$J_2 = 4J_1$ ekanligini topamiz o'lchamsiz bikirlik $i = \frac{EJ_1}{m\ell_i}$ ni kiritamiz. Mashitab

koeffitsient $m = \frac{EJ_1}{36}$ deb tanlaymiz bunda 36 raqami hamma sterjinlarining uzunligi hisoblanadi.

$h_1=9m$, $l_1=2m$, va $l_2=12m$ larga bo'linadi.

$$\text{Demak : } i_{31} = i_{13} = \frac{EJ_1}{\ell_1} \cdot \frac{36}{EJ_1} = \frac{36}{\ell_1} = \frac{36}{2} = 18 \quad i_{14} = i_{41} = \frac{EJ_1}{\ell_2} \cdot \frac{36}{EJ_1} = \frac{36}{\ell_2} = \frac{36}{12} = 3$$

$$i_{12} = i_{21} = \frac{EJ_1}{h_1} \cdot \frac{36}{4 \cdot EJ_1} = \frac{36}{h_1 \cdot 4} = \frac{36}{9 \cdot 4} = 1$$

$$i_{52} = i_{25} = \frac{EJ_1}{\ell_1} \cdot \frac{36}{EJ_1} = \frac{36}{\ell_1} = \frac{36}{2} = 18$$

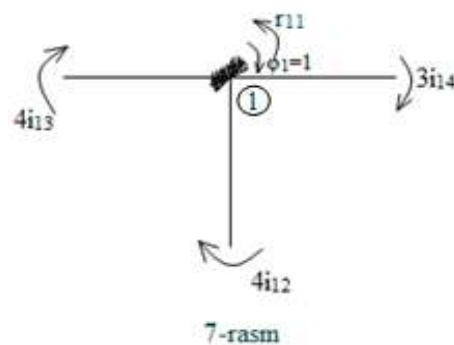
$$i_{62} = i_{26} = \frac{EJ_1}{\ell_2} \cdot \frac{36}{EJ_1} = \frac{36}{\ell_2} = \frac{36}{12} = 3$$

Bu keltirilgan o'lchamliksiz bikirliklarni asosiy sistemada tasvirlaymiz (2-rasm) M_1 epyuradan

birinchi tugunni kesib olamiz.

$$\sum M_1 = r_{11} - 3i_{14} - 4i_{12} - 4i_{13} = 0$$

$$r_{11} = 3i_{14} + 4i_{12} + 4i_{13} = 3 \cdot 3 + 4 \cdot 1 + 4 \cdot 18 = 85$$



epyuradan ikkinchi tugunni kesib olamiz:

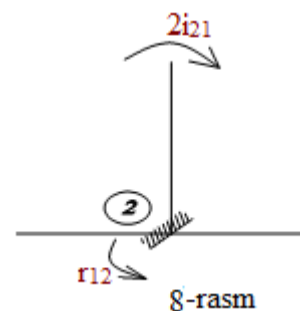
$$\sum M_2 = r_{12} - 2i_{21} = 0$$

$$r_{12} = r_{21} = 2r_{21} = 2 \cdot 1 = 2$$

M_2 epyuradan ikkinchi tugunni kesib olamiz:

$$\sum M_2 = r_{22} - 3i_{25} - 4i_{21} - 4i_{26} = 0$$

$$r_{22} = 3i_{25} + 4i_{21} + 4i_{26} = 3 \cdot 18 + 4 \cdot 1 + 4 \cdot 3 = 70$$



M_p birinchi tugunni kesib

olamiz: $R_{1p} = 1,25$

M_p epyurasidan ikkinchi tugunni kesib olamiz: $\sum M_2 = R_{2p} = 0, \quad R_{2p} = 0.$

7. Bu hisoblab topilgan r_{ik} va R_{ip} larni kanonik

tenglamaga qo'yib uning nomalum burilish burchaklari φ_1 va φ_2 larni topamiz:

$$85 \cdot \varphi_1 + 2 \cdot \varphi_2 = -1,25$$

$$2 \cdot \varphi_1 + 70 \cdot \varphi_2 = 0$$

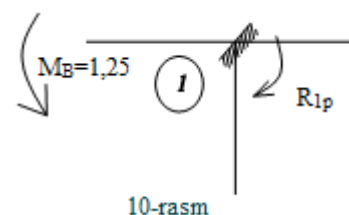
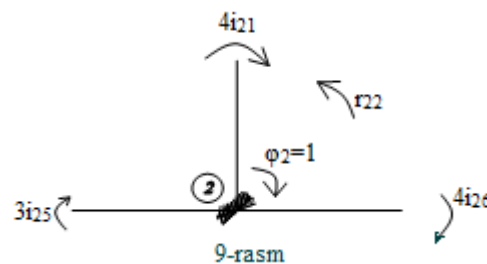
$$\Delta = \begin{bmatrix} 85 & 2 \\ 2 & 70 \end{bmatrix} = 5950 - 4 = 5946$$

$$\Delta_1 = \begin{bmatrix} -1,25 & 2 \\ 0 & 70 \end{bmatrix} = -87,5 - 0 = -87,5.$$

$$\Delta_2 = \begin{bmatrix} 85 & -1,25 \\ 2 & 0 \end{bmatrix} = 0 + 2,5 = 2,5.$$

$$\varphi_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = -\frac{87,5}{5946} = -0,0147$$

$$\varphi_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{2,5}{5946} = 0,0004$$



8. Berilgan rama uchun M_{um} xulosa yakuniy eguvchi moment epyurasini quraniz .

uning ordinatalari $M_{umumiy} = M_1\varphi_1 + M_2\varphi_2 + M_p$ formula yordamida hisoblanadi.

$$M_{31} = -2i_{31} \cdot \varphi_1 + 1,25 = -2 \cdot 18 \cdot (-0,0147) + 1,25 = 1,7792$$

$$M_{13} = 4i_{13} \cdot \varphi_1 + 1,25 = 4 \cdot 18 \cdot (-0,0147) + 1,25 = -1,0584 + 1,25 = 0,2$$

$$M_{14} = -3i_{14} \cdot \varphi_1 = -3 \cdot 3 \cdot (-0,0147) = 0,1323$$

$$M_{41} = 0$$

$$M_{12} = 4i_{12} \cdot \varphi_1 + 2i_{12} \cdot \varphi_2 = 4 \cdot 1 \cdot (-0,0147) + 2 \cdot 1 \cdot (0,0004) = -0,058 + 0,0008 = -0,058$$

$$M_{21} = -2i_{21} \cdot \varphi_1 - 4i_{21} \cdot \varphi_2 = -2 \cdot 1 \cdot (-0,0147) - 4 \cdot 1 \cdot (0,0004) = 0,027$$

$$M_{52} = 0$$

$$M_{25} = 3i_{25} \cdot \varphi_2 = 3 \cdot 18 \cdot (0,0004) = 0,0216$$

$$M_{26} = -4i_{26} \cdot \varphi_2 = -4 \cdot 3 \cdot (0,0004) = -0,0048$$

$$M_{62} = 2i_{62} \cdot \varphi_2 = 2 \cdot 3 \cdot (0,0004) = 0,0024$$

Bu eguvchi moment ordinatalari juda kichik bo'lgani uchun kN dan N ga o'tqazib
olamiz :

$$M_{31} = 1779,2Nm; \quad M_{13} = 200Nm;$$

$$M_{14} = 132,3Nm; \quad M_{41} = 0$$

$$M_{12} = -58Nm; \quad M_{21} = 27Nm;$$

$$M_{52} = 0; \quad M_{25} = 21,6Nm;$$

$$M_{26} = 4,8Nm; \quad M_{62} = 2,4Nm.$$

Bu hisoblangan ordinatalardan foydalanib M_{um} epyurasini quramiz . Bu epyura 6-rasmda keltirilgan

$$M_{13} = \frac{2}{3}i_{13} \cdot \varphi_1 + 1,25 = \frac{2}{3} \cdot 18 \cdot (-0,0147) + 1,25 = -0,1764 + 1,25 = 1,073kN \cdot m = 1073N \cdot m$$

Q_{um} epyurasini qurish uchun M_{um} qurilgan epyurasidan foydalanish mumkun . Rama elimentlari chekkalaridagi eguvchi momentlarni bilgan holda ramani oddiy balkalardan tashkil topgan deb qarash mumkun . Bu oddiy balkalar chekka momentlar va tashqi kuchlar bilan yuklangan bo'ladi . Bu rama quyidagi rasmda keltirilgan. Undan foydalanib Q_{um} ordinatalarini hisoblaymiz:

3-1 sterjen uchun

$$\sum M_3 = M_{31} - M_{13} + R_1 \cdot \ell_1 = 0 \quad \rightarrow \quad R_1 = \frac{M_{13} - M_{31}}{\ell_1} = \frac{200 - 1779,2}{2} = -789,6$$

$$\sum M_1 = -M_{13} + M_{31} - R_3 \cdot \ell_1 = 0 \quad \rightarrow \quad R_3 = \frac{M_{31} - M_{13}}{\ell_1} = \frac{1779,2 - 200}{2} = 789,6$$

2-4 sterjen uchun

$$\sum M_1 = M_{14} + R_4 \cdot \ell_2 = 0 \quad \rightarrow \quad R_4 = \frac{-M_{14}}{\ell_2} = -\frac{132,3}{12} = -11,02$$

$$\sum M_4 = M_{14} - R_1 \cdot \ell_2 = 0 \quad \rightarrow \quad R_1 = \frac{M_{14}}{\ell_2} = \frac{132,3}{12} = 11,02$$

1-2 sterjen uchun

$$\sum M_1 = M_{12} + M_{21} - R_2 \cdot h_1 = 0 \quad \rightarrow \quad R_2 = \frac{M_{12} + M_{21}}{h_1} = \frac{58 + 27}{9} = 9,44$$

$$\sum M_2 = M_{12} + M_{21} + R_1 \cdot h_1 = 0 \quad \rightarrow \quad R_1 = -\frac{M_{12} + M_{21}}{h_1} = -\frac{58 + 27}{9} = -9,44$$

5-2 sterjen uchun

$$\sum M_5 = -M_{25} + R_2 \cdot \ell_1 = 0 \quad \rightarrow \quad R_2 = \frac{M_{25}}{\ell_1} = \frac{4,8}{2} = 2,4$$

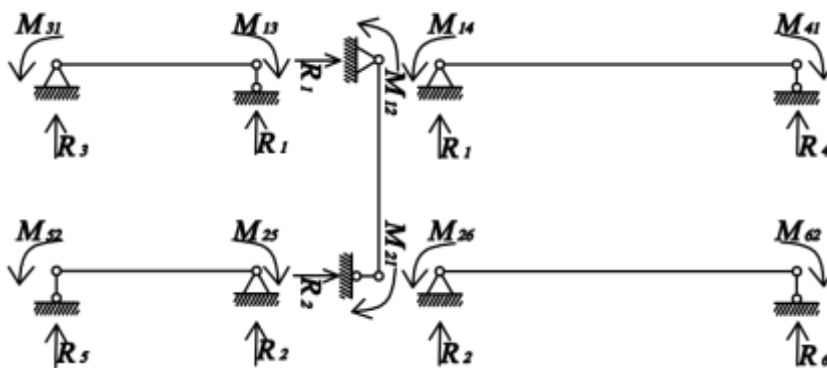
$$\sum M_2 = -M_{25} - R_5 \cdot \ell_1 = 0 \quad \rightarrow \quad R_5 = -\frac{M_{25}}{\ell_1} = -\frac{4,8}{2} = -2,4$$

2-6 sterjen uchun

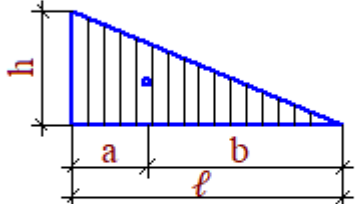
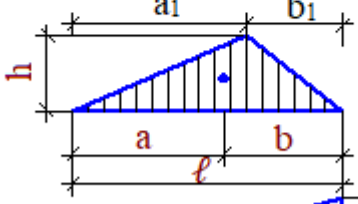
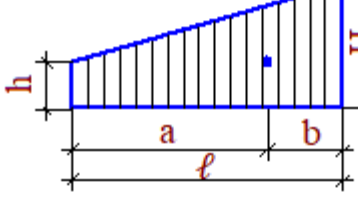
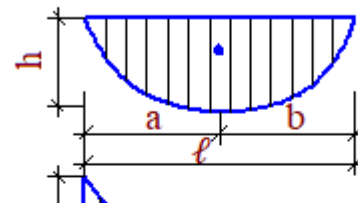
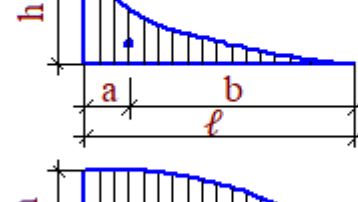
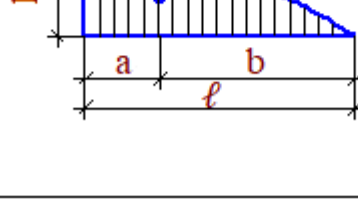
$$\sum M_2 = M_{26} - M_{65} + R_6 \cdot \ell_1 = 0 \quad \rightarrow \quad R_6 = \frac{M_{62} - M_{26}}{\ell_2} = \frac{2,4 - 4,8}{12} = -0,2$$

$$\sum M_6 = M_{25} - M_{65} - R_2 \cdot \ell_1 = 0 \quad \rightarrow \quad R_2 = \frac{M_{26} - M_{65}}{\ell_2} = \frac{4,8 - 2,4}{12} = 0,2$$

Bu xisoblangan Q ning ordinatalaridan foydalanib qurilgan Q_{um} epyura k) rasmda keltirilgan



N_{um} epyurasini Q_{um} epyura tugunlarini kesib ajartib olib ularning muvozanatini tekshish yo'li bilan ordinatalarini xisoblash ko'rish mumkun .

Epyuralarni ko'rinishi	Yuzasi W	Og'rlik markazini koordinatalari	
		a	b
	$\frac{Ih\ell}{2}$	$\frac{I\ell}{3}$	$\frac{2\ell}{3}$
	$\frac{Ih\ell}{2}$	$\frac{(\ell+a_1)}{3}$	$\frac{(\ell+b_1)}{3}$
	$\frac{\ell(H+h)}{2}$	$\frac{\ell(2H+h)}{3(H+h)}$	$\frac{\ell(H+2h)}{3(H+h)}$
	$\frac{2h\ell}{3}$	$\frac{I\ell}{2}$	$\frac{I\ell}{2}$
	$\frac{Ih\ell}{3}$	$\frac{I\ell}{4}$	$\frac{3\ell}{4}$
	$\frac{2h\ell}{3}$	$\frac{3\ell}{8}$	$\frac{5\ell}{8}$

Tayanch iboralar:

Chiziqli ko'chish, burchakli ko'chishlar, bikir tugun, erkinmas ramalar, erkin ramalar, noma'lumlar, bikir bog'lanish, chiziqli bog'lanish, reaktiv moment, reaktiv kuch, asosiy sistema, bir tomoni qistirilgan ikkinchi tayanchi sharnirli, tashqi yuklar, chiziqli ko'chish, burchakli ko'chish, tayanch momenti, reaksiyalar, statik usul, epyuralarni ko'paytirish usullari, birlik holat, tashqi yuk holati, kuch usuli asosiy sistemasi, ko'chish usuli asosiy sistemasi, koeffitsientlar, ko'chishlardan ko'chishlar, ko'chishlardan zo'riqishlar, kuchlardan ko'chishlar, kuchlardan reaksiyalar, kinematik usul, aralash usul.

Test savollari.

Ko'chishlar usulining noma'lumlari nimalar?

- 1@)chiziqli va burchakli ko'chishlar
- 2#)kinematik bog'lanishlar soni
- 3#)ortiqcha bog'lanishlardagi reaksiyalar
- 4#)sistemaga kiritilgan ortiqcha bog'lanishlar

Ko'chishlar usulida ramalarning kinematik noaniqlik darajasi qaysi formuladan aniqlanadi?

- 1@) $n = n_b + n_{ch}$
- 2#) $n = n_b - n_{ch}$
- 3#) $n = n_b : n_{ch}$
- 4#) $n = n_b \cdot n_{ch}$

Ko'chishlar usulining asosiy sistemasi qanday qabul qilinadi?

- 1@)qo'shimcha bog'lanishlar kiritish orqali
- 2#)ortiqcha bog'lanishlarni olib tashlash orqali
- 3#)ortiqcha bog'lanishlarni kamaytirish orqali
- 4#)sistemaga qo'yilgan kuchlarni almashtirish orqali

Kanonik tenglamalarni tuzish qoidasi nimaga asoslangan?

- 1@)berilgan sistema bilan asosiy sistema orasidagi farqni yo'qotishga
- 2#)kuchlar sistemasi bilan asosiy sistema orasidagi farqni kamaytirishga

3#)birinchi sistemaning ikkinchi sistemadan farqlanishiga

4#)berilgan sistema bilan asosiy sistema orasidagi farqni oshirishga

Ikki noma'lumli sistema uchun ko'chishlar usulida tuzilgan kanonik tenglama qaysi qatorda keltirilgan?

$$1@) \begin{cases} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + R_{1p} = 0 \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + R_{2p} = 0 \end{cases}$$

$$2#) \begin{cases} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 - R_{1p} = 0 \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 - R_{2p} = 0 \end{cases}$$

$$3#) \begin{cases} r_{11}Z_1 - r_{12}Z_2 + R_{1p} = 0 \\ r_{21}Z_1 - r_{22}Z_2 + R_{2p} = 0 \end{cases}$$

$$4#) \begin{cases} r_{11}Z_1 - r_{12}Z_2 + R_{1p} = 0 \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 - R_{2p} = 0 \end{cases}$$

Ko'chishlar usulida kanonik tenglama koeffitsientlari qaysi usullar yordamida aniqlanadi?

1@)statik va epyuralarni ko'paytirish usullari

2#)dinamik va kinematik usullar

3#)Kuchlar va ko'chishlar usullari

4#)Aralash va taqribiy usullar

Oddiy deformatsiya turlari necha xil?

1@)to'rt xil

2#)olti xil

3#)ikki xil

4#)uch xil

Qanday kuchlanish normal (σ) kuchlanish deyiladi?

1@)ko'ndalang kesimning normaliga parallel yo'nalgan kuchlanish ko'ndalang

2#)kesimning normaliga tik yo'nalgan kuchlanish

3#)ko'ndalang kesimning normaliga parallel yo'nalgan kuch

4#)ko'ndalang kesimning normaliga tik yo'nalgan kuch

Qanday kuchlanish urinma (τ) kuchlanish deyiladi?

1@)ko'ndalang kesimning yuziga parallel yo'nalgan kuchlanish

2#)ko'ndalang kesimning yuziga tik yo'nalgan ko'chlanish

3#)ko'ndalang kesimning yuziga parallel yo'nalgan kuch

4#)ko'ndalang kesimning yuziga tik yo'nalgan kuch

Qanday masalalar statik aniqmas masalalar deb ataladi?

1@)agar noma'lumlar soni statikaning muvozanat tenglamalari sonidan ortiq bo'lsa

2#)agar noma'lumlar soni statikaning muvozanat tenglamalari soniga teng bo'lsa

3#)agar noma'lumlar soni statikaning muvozanat tenglamalari sonidan kam bo'lsa

4#)agar noma'lumlar soni statikaning muvozanat tenglamalari soniga bog'liq bo'lmasa

Eguvchi momentning o'lchov birligi nima?

1@)[кНМ]

2#) [кГ]

3#) [Н]

4#) [М]

Ko'ndalang kuchning o'lchov birligi nima?

1@)[кН]

2#) [кГ]

3#) [кНМ]

4#) [М]

Nazorat savollari:

1. Kuch usuli va ko'chish usuli noma'lumlari qanday xususiyatlari bo'yicha farq qiladi?
2. Qanday sistemalarni kuch usulida va qanday sistemalarni ko'chish usulida xisoblash qulay bo'ladi?
3. Aralash usulning qanday afzalliklari bor?
4. Aralash usul koeffitsientini aniqlashda qachon statik va qachon kinematik usul qo'llaniladi?
5. Aralash usulda nechta usul ishtirok etadi?

6. Aralash usulda kanonik tenglama koeffitsientlarini aniqlashning statik usulini ko'rsating?
7. Bu usulda koeffitsientlarni hisoblashning kinematik usulini ko'rsating?
8. Birlik noma'lum kuchlardan hosil bo'lgan reaksiyalar qanday belgilanadi?
9. Asosiy sistemada noma'lum zo'iqishlar yo'nalishi bo'yicha ko'chishdan hosil bo'lgan ko'chishlarni ifodalovchi ko'chish qanday ifodalanadi?
10. Birlik ko'chish va birlik reaksiyalarni o'zaroligi haqidagi teorema qanday ifodalanadi?

Onlayn masofaviy o'qitish usullari

Talaba tomonidan VIII-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.

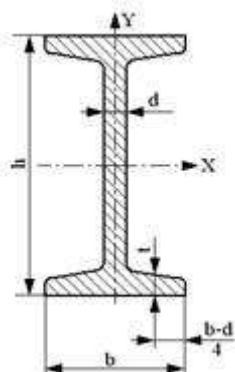
Jo'natilgan topshiriqni talaba qabul qilib oladi. Belgilangan mavzu bo'yicha talaba topshiriqni yuklab oladi va aytilgan tarzda bajaradi.

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.

PO'LAT PROKATNING SORTAMENTI

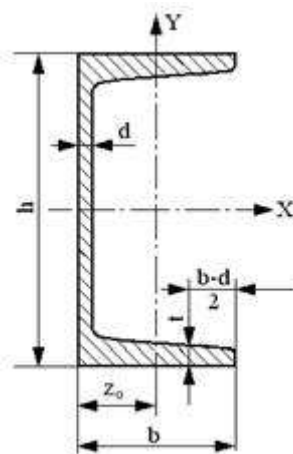
Qo'shtavrlar GOST 8239-72



	O‘lchamlar mm				Kesim yuzasi , sm ² A	Mass a, kg 1 m	O‘qlar uchun ma’lumotlar miqdori						
	h	b	d	t			x-x				y-y		
							I _x , sm ⁴	W _x , sm ³	i _x , sm	S _x , sm ³	I _y , sm ⁴	W _y , sm ³	i _y , sm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	100	55	4,5	7,2	12,0	9,46	198	39,7	4,0	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,50	350	58,4	4,8	23,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,70	572	81,7	5,7	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	15,90	873	109,0	6,5	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,40	1290	143,0	7,4	81,4	82,6	18,40	1,88
18a	180	100	5,1	8,3	25,4	19,90	1430	159,0	7,5	89,8	114,0	22,80	2,12
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21,00	1840	184,0	8,2	104,0	115,0	23,10	2,07
20a	200	110	5,2	8,6	28,9	22,70	2030	203,0	8,3	114,0	155,0	28,20	2,32
22	220	110	5,4	8,7	36,0	24,00	2550	232,0	9,1	131,0	157,0	28,60	2,27
22a	220	120	5,4	8,9	32,8	25,80	2790	254,0	9,2	143,0	206,0	34,30	2,50
24	240	115	5,6	9,5	34,8	27,30	3460	289,0	9,9	163,0	193,0	34,50	2,37
24a	240	125	5,6	9,8	37,5	29,40	3800	317,0	10,1	178,0	260,0	41,60	2,63
27	270	125	6,0	9,8	40,2	31,50	5010	371,0	11,2	210,0	260,0	41,50	2,54
27a	270	135	6,0	10,2	43,2	33,90	5500	407,0	11,3	229,0	337,0	50,00	2,80
30	300	135	6,5	10,2	46,5	36,50	7080	472,0	12,3	268,0	337,0	49,90	2,69
30a	300	145	6,5	10,7	49,9	39,20	7780	518,0	12,5	292,0	436,0	60,10	2,95
33	330	140	7,0	11,2	53,8	42,20	9840	597,0	13,5	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	48,60	13380	743,0	14,7	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,2	545,0	667,0	89,10	3,03
45	450	160	9,0	14,2	84,7	66,50	27696	1231, 0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09

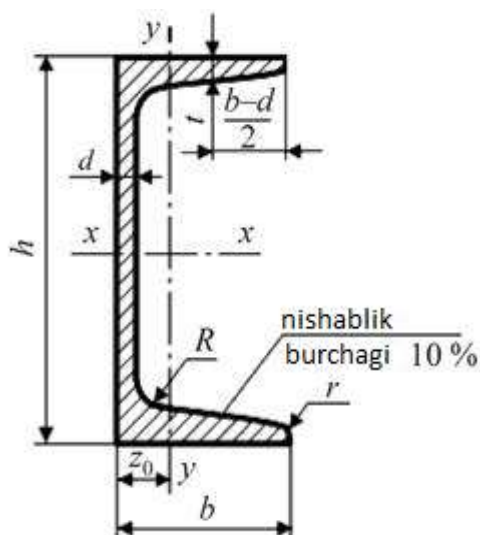
50	500	170	10,0	15,2	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54

Ichki qirrasli nishab shvellerlar po'lat prokat ГОСТ 8240-72



Profillar №	O‘chamlar mm				Kesim yuzasi, sm ² A	Massa, kg 1 m	O‘qlar uchun ma’lumotlar miqdori							z ₀ , sm
							x-x				y-y			
	h	b	d	t			I _x , sm ⁴	W _x , sm ³	i _x , sm	S _x , sm ³	I _y , sm ⁴	W _y , sm ³	i _y , sm	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	50	32	4,4	7,0	6,16	4,84	22,8	9,10	1,92	5,59	5,61	2,75	0,945	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,9	8,59	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,3	10,4	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,6	12,3	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,67
14a	140	62	4,9	8,7	17,0	13,3	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87
16	160	64	5,0	8,4	18,1	14,2	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,80
16a	160	68	5,0	9,0	19,5	15,3	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18	180	70	5,1	8,7	20,7	16,3	1090	121	7,24	69,8	86,0	17,0	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	22,3	17,4	1190	132	7,32	76,1	105	20,0	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9,0	23,4	18,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20	2,07
20a	200	80	5,2	9,7	25,2	19,8	1670	167	8,15	95,9	139	21,2	2,35	2,28
22	220	82	5,4	9,5	26,7	21,0	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
22a	220	87	5,4	10,2	28,8	22,6	2330	212	8,90	121	187	30,0	2,55	2,46
24	240	90	5,6	10,0	30,6	24,0	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60	2,42
24a	240	95	5,6	10,7	32,9	25,8	3180	265	9,84	151	245	37,2	2,78	2,67
27	270	95	6,0	10,5	35,2	27,7	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11,0	40,5	31,8	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7,0	11,7	46,5	36,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	53,4	41,9	10200	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,68
40	400	115	8,0	13,5	61,5	48,3	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

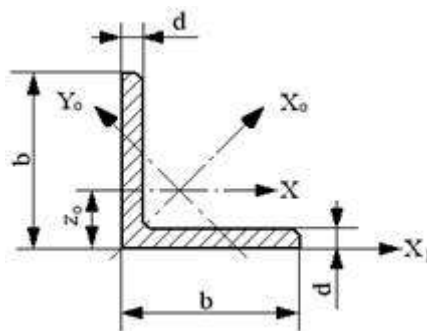
Shvellerlar ГOCT 8240–97



To'sin nomeri	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>	Kesim yuzasi, sm ² A	Massa, kg 1 m	O‘qlar uchun ma’lumotlar miqdori							<i>z</i> ₀ , sm
	mm						<i>x – x</i>				<i>y – y</i>			
							I _x , sm ⁴	W _x , sm ³	i _x , sm	S _x , sm ³	I _y , sm ⁴	W _y , sm ³	i _y , sm	
5	50	32	4,4	7,0	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,080	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,30	12,80	4,75	1,190	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,30	10,40	304,0	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	40,8	45,4	11,00	1,70	1,67
14a	140	62	4,9	8,7	17,00	13,30	545,0	77,8	5,66	45,1	57,5	13,30	1,84	1,87
16	160	64	5,0	8,4	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	54,10	63,3	13,80	1,87	1,80
16a	160	68	5,0	9,0	19,50	15,30	823,0	103,0	6,49	59,4	78,8	16,40	2,01	2,00
18	180	70	5,1	9,7	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	69,8	86,0	17,00	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	22,20	17,40	1190,0	132,0	7,32	76,1	105,0	20,00	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	87,80	113,0	20,50	2,20	2,07
20a	200	80	5,2	9,7	25,20	19,80	1670,0	167,0	8,15	95,9	139,0	24,20	2,35	2,28
22	220	82	5,4	9,5	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	110,0	151,0	25,10	2,37	2,21
22a	220	87	5,4	10,2	28,80	22,60	2330,0	212,0	8,99	121,0	187,0	30,00	2,55	2,46
24	240	90	5,6	10,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	139,0	208,0	31,60	2,60	2,42
24a	240	95	5,6	10,7	32,90	25,80	3180,0	265,0	9,84	151,0	254,0	37,20	2,79	2,67
27	270	95	6,0	10,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	178,0	262,0	37,30	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	224,0	327,0	43,60	2,84	2,52
33	330	105	7,0	11,7	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	281,0	410,0	51,80	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	53,40	41,90	10820,0	601,0	14,20	350,0	513,0	61,70	3,10	2,68
40	400	115	8,0	13,5	61,50	48,30	15220,0	761,0	15,70	444,0	642,0	73,40	3,23	2,75

Teng yonli burchakliklar po'lat prokat

ГОСТ 8509-72



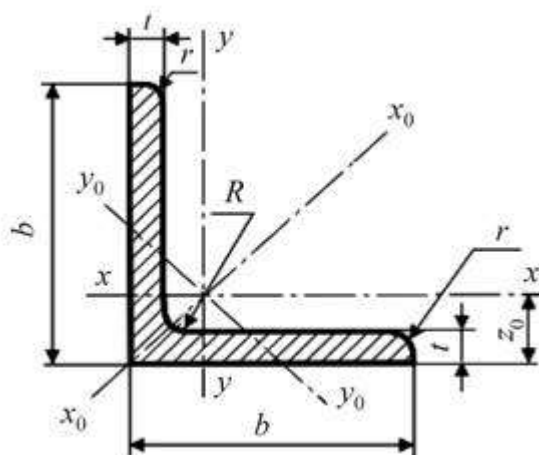
Profil r №	O‘chamlar mm		Kesim yuzasi , sm ² A	Mass a, kg 1 m	O‘qlar uchun ma’lumotlar miqdori							
	b	d			x-x		X ₀ -X ₀		y ₀ -y ₀		X ₁ -X ₁	Z ₀ , sm
					I _x , sm ⁴	i _x , sm	I _{x max} , sm ⁴	i _{x max} , sm	I _{y min} , sm ⁴	I _{y min} , sm ⁴	I _{x 1} , sm ⁴	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	20	3	1,13	0,89	0,40	0,59	0,63	0,75	0,17	0,39	0,81	0,60
		4	1,46	1,15	0,50	0,58	0,78	0,73	0,22	0,38	1,09	0,64
2,5	25	3	1,43	1,12	0,81	0,75	1,29	0,95	0,34	0,49	1,57	0,73
		4	1,86	1,46	1,03	0,74	1,62	0,93	0,44	0,48	2,11	0,76
2,8	28	3	1,62	1,27	1,16	0,85	1,84	1,07	0,48	0,55	2,20	0,80
3,2	32	3	1,86	1,46	1,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,63	3,26	0,89
		4	2,43	1,91	2,26	0,96	3,58	1,21	0,94	0,62	4,39	0,94
3,6	36	3	2,10	1,65	2,56	1,10	4,06	1,39	1,06	0,71	4,64	0,99
		4	2,75	2,16	3,29	1,09	5,21	1,38	1,36	0,70	6,24	1,04
4	40	3	2,35	1,85	3,55	1,23	5,63	1,55	1,47	0,79	6,35	1,09
		4	3,08	2,42	4,58	1,22	7,26	1,53	1,90	0,78	8,53	1,13
		5	3,79	2,97	5,53	1,20	8,75	1,54	2,30	0,79	10,73	1,17
4,5	45	3	2,65	2,08	5,13	1,39	8,13	1,75	2,12	0,89	9,04	1,21
		4	3,48	2,73	6,63	1,38	10,5	1,74	2,74	0,89	12,1	1,26
		5	4,29	3,37	8,03	1,37	12,7	1,72	3,33	0,88	15,3	1,30
5	50	3	2,96	2,32	7,11	1,55	11,3	1,95	2,95	1,00	12,4	1,33
		4	3,89	3,05	9,21	1,54	14,6	1,94	3,80	0,99	16,6	1,38
		5	4,80	3,77	11,2	1,53	17,8	1,92	4,63	0,98	20,9	1,42
5,6	56	4	4,38	3,44	13,1	1,73	20,8	2,18	5,41	1,11	23,3	1,52
		5	5,41	4,25	16,0	1,72	25,4	2,16	6,59	1,10	29,2	1,57

6,3	63	4	4,96	3,90	18,9	1,95	29,9	2,45	7,81	1,25	33,1	1,69
		5	6,13	4,81	23,1	1,94	36,6	2,44	9,52	1,25	41,5	1,74
		6	7,28	5,72	27,1	1,93	42,9	2,43	11,2	1,24	50,0	1,78
7	70	4,5	6,20	4,87	29,0	2,16	46,0	2,72	12,0	1,39	50,0	1,88
		5	6,86	5,38	31,9	2,16	50,7	2,72	13,2	1,39	56,7	1,90
		6	8,15	6,39	37,6	2,15	59,6	2,71	15,5	1,38	68,4	1,94
		7	9,42	7,39	43,0	2,14	68,2	2,69	17,8	1,37	80,1	1,99
		8	10,7	8,37	48,2	2,13	76,4	2,68	20,0	1,37	91,0	2,02
7,5	75	5	7,39	5,80	39,5	2,31	62,6	2,91	16,4	1,49	69,6	2,02
		6	8,78	6,89	46,6	2,30	73,9	2,90	19,3	1,48	83,9	2,06
		7	10,1	7,96	53,3	2,29	84,6	2,89	22,1	1,48	98,3	2,10
		8	11,5	9,02	59,8	2,28	94,9	2,87	24,8	1,47	115	2,15
		9	12,8	10,1	66,1	2,27	105	2,86	27,5	1,46	127	2,18
8	80	5,5	8,63	6,78	52,7	2,47	83,5	3,11	21,8	1,59	93,2	2,17
		6	9,38	7,36	57,0	2,47	90,4	3,11	23,5	1,58	102	2,19
		7	10,8	8,51	65,3	2,45	104	3,09	27,0	1,58	119	2,23
		8	12,3	9,65	73,4	2,44	116	3,08	30,3	1,57	137	2,27
9	90	6	10,6	8,33	82,1	2,78	130	3,50	34,0	1,79	145	2,43
		7	12,3	9,64	94,3	2,77	150	3,49	38,9	1,78	169	2,47
		8	13,9	10,9	106	2,76	168	3,48	43,8	1,77	194	2,51
		9	15,6	12,2	118	2,75	186	3,46	48,6	1,77	219	2,55
10	100	6,5	12,8	10,1	122	3,09	193	3,88	50,7	1,99	214	2,68
		7	13,8	10,8	131	3,08	207	3,88	54,2	1,98	231	2,71
		8	15,6	12,2	147	3,07	233	3,87	60,9	1,98	265	2,75
		10	19,2	15,1	179	3,05	284	3,84	74,1	1,96	333	2,83
		12	22,8	17,9	209	3,03	331	3,81	86,9	1,95	402	2,91
		14	26,3	20,6	237	3,00	375	3,78	99,3	1,94	472	2,99
11	110	16	29,7	23,3	264	2,98	416	3,74	112	1,94	542	3,06
		7	15,2	11,9	176	3,40	279	4,29	72,7	2,19	308	2,96

		8	17,2	13,5	198	3,39	315	4,28	81,8	2,18	353	3,00
12,5	125	8	19,7	15,5	294	3,87	468	4,87	122	2,49	516	3,36
		9	22,0	17,3	327	3,86	520	4,86	135	2,48	582	3,40
		10	24,3	19,1	360	3,85	571	4,84	149	2,47	649	3,45
		12	28,9	22,7	422	3,82	670	4,82	174	2,46	782	3,53
		14	33,4	25,2	482	3,80	764	4,78	200	2,45	916	3,61
		16	37,8	29,6	539	3,78	853	4,75	224	2,44	1051	3,68
14	140	9	24,7	19,4	466	4,34	739	5,47	192	2,79	818	3,78
		10	27,3	21,5	512	4,33	814	5,46	211	2,78	911	3,82
		12	32,5	25,5	602	4,31	957	5,43	248	2,76	1097	3,90
16	160	10	31,4	24,7	774	4,96	1229	6,25	319	3,19	1356	4,30
		11	34,4	27,0	844	4,95	1341	6,24	348	3,18	1494	4,35
		12	37,4	29,4	913	4,94	1450	6,23	376	3,17	1633	4,39
		14	43,3	34,0	1046	4,92	1662	6,20	431	3,16	1911	4,47
		16	49,1	38,5	1175	4,89	1866	6,17	485	3,14	2191	4,55
		18	54,8	43,0	1299	4,87	2061	6,13	537	3,13	2472	4,63
		20	60,4	47,4	1419	4,85	2248	6,10	589	3,12	2756	4,70
18	180	11	38,8	30,5	1216	5,60	1933	7,06	500	3,59	2128	4,85
		12	42,2	33,1	1317	5,59	2093	7,04	540	3,58	2324	4,89
20	200	12	47,1	37,0	1823	6,22	2896	7,84	749	3,99	3182	5,37
		13	50,9	39,9	1961	6,21	3116	7,83	805	3,98	3452	5,42
		14	54,6	42,8	2097	6,20	3333	7,81	861	3,97	3722	5,46
		16	62,0	48,7	2363	6,17	3755	7,78	970	3,96	4264	5,54
		20	76,5	60,1	2871	6,12	4560	7,72	1182	3,93	5355	5,70
		25	94,3	74,0	3466	6,06	5494	7,63	1438	3,91	6733	5,89
		30	111,5	87,6	4020	6,00	6351	7,55	1688	3,89	8130	6,07
22	220	14	60,4	47,4	2814	6,83	4470	8,60	1159	4,38	4941	5,93
		16	68,6	53,8	3175	6,81	5045	8,58	1306	4,36	5661	6,02

		16	78,4	61,5	4717	7,76	7492	9,78	1942	4,98	8586	6,75
		18	87,7	68,9	5247	7,73	8337	9,75	2158	4,96	9342	6,83
		20	97,0	76,1	5765	7,71	9160	9,72	2370	4,94	10401	6,91
25	250	22	106,1	83,3	6270	7,69	9961	9,69	2579	4,93	11464	7,00
		25	119,7	94,0	7006	7,65	1112	9,64	2887	4,91	13064	7,11
		28	133,1	104,5	7717	7,61	1224	9,59	3190	4,89	14674	7,23
		30	142,0	111,4	8177	7,59	1296	9,56	3389	4,89	15753	7,31

Teng yonli burchakliklar po'lat prokat ГОСТ 8509–93



Burchakli klar nom erlar i	b	t	R	r	Kesim yuzasi , sm ² A	Massa, kg 1 m	O'qlar uchun ma'lumotlar miqdori									
							x – x			x ₀ – x ₀		y ₀ – y ₀			I _{xy} , cm ⁴	z ₀ , cm
							I _x , sm ⁴	W _x , sm ³	i _x , sm	I _{x0max} , sm ⁴	i _{x0max} , sm	I _{y0min} , sm ⁴	W _{y0} , sm ³	i _{y0min} , sm		
2	20	3 4	3,5	1,2	1,13 1,46	0,89 1,15	0,40 0,50	0,28 0,37	0,59 0,58	0,63 0,78	0,75 0,73	0,17 0,22	0,20 0,24	0,39 0,38	0,23 0,28	0,60 0,64
2,5	25	3 4			1,43 1,86	1,12 1,46	0,81 1,03	0,46 4,59	0,75 0,74	1,29 1,62	0,95 0,93	0,34 0,44	0,33 0,41	0,49 0,48	0,47 0,59	0,73 0,76
2,8	28	3	4,0	1,3	1,62	1,27	1,16	0,58	0,85	1,84	1,07	0,48	0,42	0,55	0,68	0,80
3	30	3 4	4,0	1,3	1,74 2,27	1,36 1,78	1,45 1,84	0,67 0,87	0,91 0,80	2,30 2,92	1,15 1,13	0,60 0,77	0,53 0,61	0,59 0,58	0,85 1,08	0,85 0,89
3,2	32	3 4	4,5	1,5	1,86 2,43	1,46 1,91	1,77 2,26	0,77 1,0	0,97 0,96	2,80 3,58	1,23 1,21	0,74 0,94	0,59 0,71	0,63 0,62	1,03 1,32	0,89 0,94
3,5	35	3			2,04	1,60	2,35	0,93	1,07	3,72	1,35	0,97	0,71	0,69	1,37	0,97
		4 5			2,17 3,28	2,10 2,58	3,01 3,61	1,21 1,47	1,06 1,05	4,76 5,71	1,33 1,32	1,25 1,52	0,88 1,02	0,68 0,68	1,75 2,10	1,01 1,05

4	40	3	5,0	1,7	2,35	1,85	3,55	1,22	1,23	5,63	1,55	1,47	0,95	0,79	2,08	1,09
		4			3,08	2,42	4,58	1,60	1,22	7,26	1,53	1,90	1,19	0,78	2,68	1,13
		5			3,79	2,98	5,53	1,95	1,21	8,75	1,52	2,30	1,39	0,78	3,22	1,17
4,5	45	3	5,0	1,7	2,65	2,08	5,13	1,56	1,39	8,13	1,75	2,12	1,24	0,89	3,00	1,21
		4			3,48	2,73	6,63	2,04	1,38	10,52	1,74	2,74	1,54	0,89	3,89	1,26
		5			4,29	3,37	8,03	2,51	1,37	12,74	1,72	3,33	1,81	0,88	4,71	1,30
5	50	3	5,5	1,8	2,96	2,32	7,11	1,94	1,55	11,27	1,95	2,95	1,57	1,00	4,16	1,33
		4			3,89	3,05	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	0,99	5,42	1,38
		5			4,80	3,77	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	0,98	6,57	1,42
		6			5,69	4,47	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	7,65	1,46
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	3,44	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	7,69	1,52
		5			5,41	4,25	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97	1,10	9,41	1,57
6	60	4	7,0	2,3	4,72	3,71	16,21	3,70	1,85	25,69	2,33	6,72	2,93	1,19	9,48	
		5			5,83	4,58	19,79	4,56	1,84	31,40	2,32	8,18	3,49	1,18	11,6 ¹	1,62
		6			6,92	5,43	23,21	5,40	1,83	36,81	2,31	9,60	3,99	1,18	3,60	1,66
		8			9,04	7,10	29,55	7,00	1,81	46,77	2,27	12,34	4,90	1,17	17,2 ²	1,70
		10			11,08	8,70	35,32	8,52	1,79	55,64	2,24	15,00	5,70	1,16	20,3 ²	1,78
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	3,90	18,86	4,09	1,95	29,90	2,45	7,81	3,26	1,25	11,0 ⁰	1,85
		5			6,13	4,81	23,10	5,05	1,94	36,80	2,44	9,52	3,87	1,25	13,7 ⁰	1,69
		6			7,28	5,72	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44	1,24	15,9 ⁰	1,74
																1,78

7	70	4,5	8	2,7	6,20	4,87	29,04	5,67	2,16	46,03	2,72	12,04	4,53	1,39	17,0 0	1,88
		5			6,86	5,38	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92	1,39	18,7 0	
		6			8,15	6,39	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66	1,38	22,1 0	
		7			9,42	7,39	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31	1,37	25,2 0	
		8			10,67	8,37	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,99	1,37	28,2 0	
7,5	75	5	9	3	7,39	5,80	39,53	7,21	2,31	62,65	2,91	16,41	5,74	1,49	23,1 0	2,02
		6			8,78	6,89	46,57	8,57	2,30	73,87	2,90	19,28	6,62	1,48	27,3 0	
		7			10,15	7,96	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43	1,47	31,2 0	
		8			11,50	9,02	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,80	8,16	1,47	35,0 0	
		9			12,83	10,07	66,10	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91	1,46	38,6 0	
8	80	5,5			8,63	6,78	52,68	9,03	2,47	83,56	3,11	21,80	7,10	1,59	30,9 0	2,17
		6			9,38	7,36	56,97	9,80	2,47	90,40	3,11	23,54	7,60	1,58	33,4 0	
		7			10,85	8,51	65,31	11,32	2,45	103,60	3,09	26,97	8,55	1,58	38,3 0	
		8			12,30	9,65	73,36	12,80	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44	1,57	43,0 0	
9	90	6	10	3,3	10,61	8,33	82,10	12,40	2,78	130,00	3,50	33,87	9,88	1,79	48,10	2,4 3
		7			12,28	9,64	94,30	14,45	2,77	149,67	3,49	38,94	11,15	1,78	55,40	2,4 7
		8			13,93	10,93	106,11	16,36	2,76	168,42	3,48	43,80	12,34	1,77	62,30	2,5 1
		9			15,60	12,20	118,00	18,29	2,75	186,00	3,46	48,60	13,48	1,77	68,00	2,5 5

10	100	6,5	12	4	12,82	10,06	122,10	16,69	3,09	193,46	3,89	50,73	13,38	1,99	71,40	2,6 8
		7			13,75	10,79	130,59	17,90	3,08	207,01	3,88	54,16	14,13	1,98	76,40	2,7 1
		8			15,60	12,25	147,19	20,30	3,07	233,46	3,87	60,92	15,66	1,98	86,30	2,7 5
		10			19,24	15,10	178,95	24,97	3,05	283,83	3,84	74,08	18,51	1,96	110,00	2,8 3
		12			22,80	17,90	208,90	29,47	3,03	330,95	3,81	86,84	21,10	1,95	122,00	2,9 1
		14			26,28	20,63	237,15	33,83	3,00	374,98	3,78	99,32	23,49	1,94	138,00	2,9 9
		16			29,68	23,30	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79	1,94	152,00	3,0 6
11	110	7	12	4	15,15	11,89	175,61	21,83	3,40	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	106,00	2,9 6
		8			17,20	13,50	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	116,00	3,0 0
12	120	8			18,80	14,76	259,75	29,68	3,72	412,45	4,68	107,04	23,29	2,39	153,00	3,2 5
		9			23,24	18,24	317,16	36,59	3,69	503,79	4,66	130,54	27,72	2,37	187,00	3,3 3
		10			27,60	21,67	371,80	43,30	3,67	590,28	4,62	153,33	31,79	2,36	218,00	3,4 1
		15			33,99	26,68	448,90	52,96	3,63	711,32	4,57	186,48	37,35	2,34	262,00	3,5 3

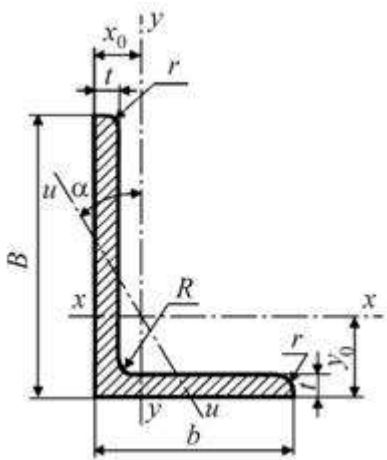
12,5	125	8	14	4,6	19,69	15,46	294,36	32,20	3,87	466,76	4,87	121,98	25,67	2,49	172,00	3,3 6
		9			22,0	17,30	327,48	36,00	3,86	520,00	4,86	135,88	28,26	2,48	192,00	3,4 0
		10			24,33	19,10	359,82	39,74	3,85	571,04	4,84	148,59	30,45	2,47	211,00	3,4 5
		12			28,89	22,68	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94	2,46	248,00	3,5 3
		14			33,37	26,20	481,76	54,17	3,80	763,90	4,78	199,62	39,10	2,45	282,00	3,6 1
		16			37,77	29,65	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,10	2,44	315,00	3,6 8
14	140	9	14	4,6	24,72	19,41	465,72	45,55	4,34	739,42	5,47	192,03	35,92	2,79	274,00	3,7 8
		10			27,33	21,45	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05	2,78	301,00	3,8 2
		12			32,49	25,50	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97	2,76	354,00	3,9 0
15	150	10	14	4,6	29,33	23,02	634,76	58,07	4,65	1008,56	5,86	260,97	45,34	2,98	374,00	4,0 7
		12			34,89	27,39	747,48	68,90	4,63	1187,86	5,83	307,09	52,32	2,97	440,00	4,1 5
		15			43,08	33,82	908,38	84,66	4,59	1442,60	5,79	374,17	61,96	2,95	534,00	4,2 7
		18			51,09	40,11	1060,08	99,86	4,56	1680,92	5,74	438,24	70,91	2,93	621,00	4,3 8

16	160	10	16	5,3	31,43	24,67	774,24	66,19 72,44	4,96	1229,10	6,25	319,38	52,52	3,19	455,00	4,3 0
		11			34,42	27,02	844,21	78,62	4,95	1340,06	6,24	347,77	56,53	3,18	496,00	4,3 5
		12			37,39	28,35	912,89	90,77	4,94	1450,00	6,23	357,78	60,53	3,17	537,00	4,3 9
		14			43,57	33,97	1046,47	102,6 4	4,92	1662,13	6,20	430,81	68,15	3,16	615,00	4,4 7
		16			49,07	38,52	1175,19	114,2 4	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92	3,14	690,00	4,5 5
		18			54,79	43,01	1290,24	125,6 0	4,87	2061,03	6,13	537,46	82,08	3,13	771,00	4,6 3
		20			60,40	47,44	1418,85		4,85	2248,26	6,10	589,43	90,02	3,12	830,00	4,7 0
18	180	11			38,80	30,47	1216,44	92,47	5,60	1933,10	7,06	499,78	72,86	3,59	716,00	4,8 5
		12			42,19	33,12	1316,62	100,4 1	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15	3,58	776,00	4,8 9
20	200	12	18	6,0	47,10	36,97	1822,78	124,6 1					98,68		1073,0 0	5,3 7
		13			50,85	39,92	1960,77	134,4 4	6,22	2896,16	7,84	749,40	105,0 7	3,99	1156,0 0	5,4 2
		14			54,60	42,80	2097,00	144,1 7	6,21	3116,18	7,83	805,35	111,5 0	3,98	1236,0 0	5,4 6
		16			61,98	48,65	2362,57	163,3 7	6,20	3333,00	7,81	861,00	123,7 7	3,97	1393,0 0	5,5 4
		20			76,54	60,08	2871,47	200,7 3	6,17	3755,39	7,78	969,74	123,7 7	3,96	1393,0 0	5,5 4
		25			94,29	74,02	3466,21	245,5 9	6,12	4560,42	7,72	1181,92	146,6 2	3,93	1689,0 0	5,7 0
		30			111,54	87,56	4019,60	288,5 7	6,06	5494,04	7,63	1438,38	172,6 8	3,91	2028,0 0	5,8 9
									6,00	6351,05	7,55	1698,16	193,0 6	3,89	2332,0 0	6,0 7
22	220	14	21	7,0	60,38	47,40	2814,36	175,1 8	6,83	4470,15	8,60	1158,56	138,6 2	4,38	1655,0 0	5,9 1
		16			68,58	53,83	3175,44	198,7 1	6,80	5045,37	8,58	1305,52	153,3 4	4,36	1869,0 0	6,0 2

25	250	16	24	8,0	78,40	61,55	4717,10	258,4 3	7,76	7492,10	9,78	1942,09	203,4 5	4,98	2775,0 0	6,7 5		
						68,86		288,8 2		8336,69			233,3 9		3089,0 0	6,8 3		
						87,72	5247,24	318,7 6		9159,73			242,5 2		3395,0 0	6,9 1		
						76,11	5764,87			9961,60			4,94					
						83,31	6270,32	348,2 6		7,09			11125,5 2		4,93	3691,0 0	7,0 0	
						93,97	7006,39	391,7 2		7,65			9,64		2887,26	4,91	4119,0 0	7,1 1
						104,5 0	7716,86			7,61			12243,8 4		4,90			
						133,12												
						141,96	111,4 4	8176,52		434,2 5			7,59		12964,6 6	311,9 8	4,89	4527,0 0
								462,1 1				327,8 2		4788,0 0	7,3 1			

Teng yonli emas burchakliklar po‘lat prokat

GOST 8510–86



Burcha kliklar nomerla ri	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	Kesi m yuza si, sm ² A	Mass a, kg 1 m	O‘qlar uchun ma’lumotlar miqdori									<i>x</i> ₀ , sm	<i>y</i> ₀ , sm	<i>I</i> _{xy} , sm ⁴	tg <i>α</i>
	mm							<i>x – x</i>			<i>y – y</i>			<i>y₀ – y₀</i>						
								<i>I_x</i> , sm ⁴	<i>W_x</i> , sm ³	<i>i_x</i> , sm	<i>I_y</i> , sm ⁴	<i>W_y</i> , sm ³	<i>i_y</i> , sm	<i>I_{u min}</i> , sm ⁴	<i>W_u</i> , Sm ³	<i>i_{u min}</i> , sm				
2,5/1,6	25		3	3,5	1,2	1,16	0,91	0,70	0,43	0,78	0,22	0,19	0,44	0,13	0,16	0,34	0,4 2	0,86	0,22	0,39 2

		16	4				1,12	1,27	0,62	0,94	0,45	0,30	0,56	0,26	0,25	0,43	0,5 1	1,0	0,43	0,42 7
			5				1,46	1,61	0,82	0,93	0,56	0,39	0,55	0,34	0,32	0,43	0,5 4	1,04	0,54	0,42 1
3,2/2	32	20	3			1,49	1,17	1,52	0,72	1,01	0,46	0,30	0,55	0,28	0,25	0,43	0,4 9	1,08	0,47	0,38 2
			4			1,94	1,52	1,93	0,93	1,00	0,57	0,39	0,54	0,35	0,33	0,43	0,5 3	1,12	0,59	0,37 4
4/2,5	40	25	3			1,89	1,48	3,06	1,14	1,27	0,93	0,49	0,70	0,56	0,41	0,54	0,5 9	1,32	0,96	0,38 5
			4			2,47	1,94	3,93	1,49	1,26	1,18	0,63	0,69	0,71	0,52	0,54	0,6 3	1,37	1,22	0,28 1
			5	4,0	1,3	3,03	2,37	4,73	1,82	1,25	1,41	0,77	0,68	0,86	0,64	0,53	0,6 6	1,41	1,44	0,37 4
							2,26	4,18	1,54	1,25	2,01	0,91	0,87	1,09	0,75	0,64	0,7 8	1,28	1,68	9,54 4
							2,46	5,04	1,88	1,24	2,41	1,11	0,86	1,33	0,91	0,64	0,8 2	1,32	2,00	0,53 9
4,5/2,8	45	28	3			2,14	1,68	4,41	1,45	1,48	1,32	0,61	0,79	0,79	0,52	0,61	0,6 4	1,47	1,38	0,38 2
			4	5,0	1,7	2,80	2,20	5,68	1,90	1,42	1,69	0,80	0,78	1,02	0,67	0,60	0,6 8	1,51	1,77	0,37 9
5/3,2	50	32	3			2,42	1,9	6,18	1,82	1,60	1,99	0,81	0,91	1,18	0,68	0,70	0,7 2	1,60	2,01	0,40 3
			4	5,5	1,8	3,17	2,4	7,98	2,38	1,59	2,56	1,05	0,90	1,52	0,88	0,69	0,7 6	1,65	2,59	0,40 1
5,6/3,6	56	36	4			3,58	2,81	11,37	3,01	1,78	3,70	1,34	1,02	2,19	1,13	0,78	0,8 4	1,82	3,74	0,40 6
			5	6,0	2,0	4,41	3,46	13,82	3,70	1,77	4,48	1,65	1,01	2,6	1,37	0,78	0,8 8	1,87	4,50	0,40 4
6,3/4,0	63	40	4			4,04	3,17	16,33	3,83	2,01	5,16	1,67	1,13	3,07	1,41	0,87	0,9 1	2,03	5,25	0,39 7
			5			4,98	3,91	19,91	4,72	2,00	6,26	2,05	1,12	3,73	1,72	0,86	0,9 5	2,08	6,41	0,39 6
			6	7,0	2,3	5,90	4,63	23,31	5,58	1,99	7,29	2,42	1,11	4,36	2,02	0,86	0,9 9	2,12	7,44	0,39 3
			8			7,68	6,06	29,60	7,22	1,96	9,15	3,12	1,09	5,585	2,60	0,85	1,0 7	2,20	9,27	0,38 6

6,5/5,0	65	50					4,36	23,41	5,20	2,05	12,08	3,23	1,47	6,41	2,68	1,07	1,2 6	2,00	9,88	0,57 6
							5,18	27,46	6,16	2,04	14,12	3,82	1,46	7,52	3,15	1,07	1,3 0			0,57 5
							5,98	31,32	7,08	2,03	16,05	4,38	1,45	8,60	3,59	1,06	1,3 4			0,57 1
							6,77	35,00	7,99	2,02	18,88	4,93	1,44	9,65	4,02	1,06	1,3 7			0,57 0
7/4,5	70	45	5	7,5	2,5	5,59	4,39	27,76	5,88	2,23	9,05	2,62	1,27	5,34	2,20	0,98	1,0 5	2,28	9,12	0,40 6
7,5/5	75	60	5	8,0	2,7	6,11	4,79	34,81	6,81	2,39	12,47	3,25	1,43	7,24	2,73	1,09	1,1 7	2,39	12,00	0,436
			6			7,25	5,69	40,92	8,08	2,38	14,60	3,85	1,42	8,48	3,21	1,08	1,2 1			
			8			9,47	7,43	52,38	10,52	2,35	18,52	4,88	1,40	10,87	4,14	1,07	1,2 9			
8/5	80	50	5	8,0	2,7	6,36	4,49	41,64	7,71	2,56	12,68	3,28	1,41	7,57	2,75	1,00	1,1 3	2,60	13,20	0,387
			6			7,55	5,92	48,98	9,15	2,55	14,85	3,88	1,40	8,88	3,24	1,08	1,1 7			
			8			8,15	6,39	52,06	9,42	2,53	25,18	5,58	1,76	13,61	4,66	1,29	1,4 9			
9/5,6	90	56	5,5	9,0	3,0	7,86	6,17	65,28	10,74	2,88	19,67	4,53	1,58	11,77	3,81	1,22	1,2 6	2,92	20,54	0,384
			6			8,54	6,70	70,58	11,66	2,88	21,22	4,91	1,58	12,70	4,12	1,22	1,2 8			
			8			11,18	8,77	90,87	15,24	2,85	27,08	6,39	1,56	16,29	5,32	1,21	1,3 6			
10/6,3	100	63	6	10, 0	3,3	9,58	7,53	98,29	14,52	3,20	30,58	6,27	1,79	18,20	5,27	1,38	1,4 2	3,23	31,50	0,393
			7			11,09	8,70	112,8 6	16,78	3,19	34,99	7,23	1,78	20,83	6,06	1,37	1,4 6			
			8			12,57	9,87	126,9 6	19,01	3,18	39,21	8,17	1,77	23,38	6,82	1,36	1,5 0			
			10			15,47	12,14	153,9 5	23,32	3,15	47,18	9,99	1,75	28,34	8,31	1,35	1,5 8			

11/7	110	70	6,5	10,	3,3	11,45	8,98	142,4	19,11	3,53	45,61	8,42	2,00	26,94	7,05	1,53	1,5	3,55	46,80	0,402
			8	0		13,93	10,93	171,5			54,64	10,20	1,98	32,31	8,50	1,52	1,6		55,90	
12,5/8	125	80	7	11,	3,7	14,06	11,04	226,5	26,67	4,01	73,73	11,89	2,29	43,40	9,96	1,76	1,8	4,01	74,70	0,407
			8			15,98	12,58	225,9			80,95	13,47	2,28	48,82	11,25	1,75	1,8		84,10	
			10			19,70	15,47	311,6			100,4	16,52	2,26	59,33	13,74	1,74	1,9		102,0	
			12			23,36	18,34	1			7	16,52	2,26	59,33	13,74	1,74	2		0	
								364,7			44,07	3,95	116,8	19,46	2,24	69,47	16,11	4,22	118,0	
14/9	140	90	8	12,	4,0	18,00	14,13	363,6	38,25	4,49	119,7	17,19	2,58	70,27	14,39	1,58	2,0	4,49	121,0	0,411
			10	0		22,24	17,46	444,4			4	21,14	2,58	85,51	17,58	1,96	2,1		147,0	
16/10	160	100	9	13,	4,3	22,87	17,96	605,9	56,04	5,15	186,0	23,96	2,85	110,4	20,01	2,20	2,2	5,19	194,0	0,391
			10			25,28	19,85	666,5			204,0	26,42	2,84	121,1	22,02	2,19	2,2		213,0	
			12			30,04	23,58	784,2			9	31,23	2,82	142,1	25,93	2,18	2,3		249,0	
			14			34,72	27,26	2			5	35,89	2,80	162,4	29,75	2,16	6		0	
								897,1			271,6			9			2,4		282,0	
18/11	180	110	10	14	4,7	28,33	22,20	952,2	78,59	5,80	276,3	32,27	3,12	165,4	26,96	2,42	2,4	5,88	295,0	0,376
			12			33,69	26,40	1122,56			9	38,20	3,10	194,2	31,83	2,40	2,5		348,0	
20/12,5	200	125	11	14,	4,7	34,87	27,37	1449,02	107,3	6,45	446,3	45,98	3,58	263,8	38,27	2,75	2,7	6,50	465,0	0,392
			12			37,89	29,74	1568,19			6	49,85	3,57	285,0	41,45	2,74	2,8		503,0	
			14			43,87	34,43	1800,83			3	57,43	3,54	326,5	47,57	2,73	2,9		575,0	
			16			49,77	39,07	2026,08			7	64,83	3,52	366,9	53,56	2,72	2,9		643,0	
								1			6			9			9		0	

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‘yorida 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, ulradan 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 biriktirish 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 sinso, asosiy balkaning ishiga putur etmaydi. Asosiy balka sinso, 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 oaliqli 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 gorizonta 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 gorizontal 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 gorizontal 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 gorizontal 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 biriktirish 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 gorizonta 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 arkalarining tortqichli xili ham uchrab turadi – Tortqichlar sharoitiga qarab tayanchlardan yuqoriroq o'rnatilishi mumkin.

75. Arkalarining 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. **Пластинкой** – 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 противоположенного направленную.
- 16. Моментом силы называется** – произведенная сила и плечо взятое соответствующим знаком.
- 17. Стержневой системой** – называется стержневые конструкции жестко соединение.
- 18. Степенном свобода 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 будить 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 движущей силы
- 31. Внутренними силовыми факторами называется –** возникающие внутренне усилия под действием внешних сил.
- 32. Статический метод построения линия влияния –** основой на составлении уравнению равновесия для произвольного положения единичной движущей силы ($P=1$).
- 33. Кинематический способ –** построения линия влияния основной принцип возможных перемещения.
- 34. Для определения опорной реакции в опоре А –** нужно составить уравнения равновесия относительно шарнира в опоре В.
- 35. Для определения опорной реакции в опоре В –** нужно составить уравнения равновесия относительно шарнира в опоре А.
- 36. Линия влияния опорных реакций для двухконсольных балки –** получается продолжением линии влияния опорных реакций простой балки до конца консоли.
- 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 сеченей определяется умножением значений силы на ординату полученной из линия 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 простие 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 сели разрушается основное 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 определяемой 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 этаж 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 приводятся в одних координатах.

53. Построение линий влияния многопролетной балки – называется с построения по этажной схемы.

54. Построение линий влияния осуществляется – на действия подвижной единичной силы.

55. Какая система называется фермой – при замене жестких узлов на шарнирные если сохраняет свои геометрические неизменяемости, то тогда такие системы называются фермой.

56. Фермы являются усовершенствованным видом балки – и выполняет задачи как балки, если балки используется при перекрытии не больших пролетов, то фермы используются для перекрытия больших пролетов.

57. Если все стержни фермы лежат в одной плоскости – то ферма называется плоской, в противном случае называется пространственной.

58. Расстояние между опорами фермы – называется пролетом

59. Стержень лежащих в верхнем и в нижнем поясах называется – поясами фермы, лежащие в середине стержень фермы составляет решетки 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 простом балке.

63. Способ моментной точки – является сумма моментов взятых от всех сил лежащих в одну стороны 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'ldoshev. 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. 3 I l a₁
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., Лашенков 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	6
I-bob. Qurilish mexanikasining asosiy tushunchalari.	
1.1-§. Qurilish mexanikasi faniga kirish.....	8
1.2-§. Inshootlar hisoblash sxemalari va ularning turlari.....	12
1.3-§. Inshootlar hisoblash sxemalarining kinematic analizi.....	14
Tayanch iboralar	23
Test savollari	23
Nazorat savollari	30
Onlayn masofaviy o‘qitish usullari	30
II-bob. Ta’sir chiziqlar nazariyasi.	
2.1-§. Oddiy va konsol balkalarda zo’riqlarning ta’sir chiziqlari.....	32
2.2-§. Ta’sir chiziqlari yordamida zo’riqlarni aniqlash.....	38
Tayanch iboralar	43
Test savollari	43
Nazorat savollari	46
Onlayn masofaviy o‘qitish usullari	46
III-bob. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalar	
3.1-§. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash---	48
3.2-§. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni harakatlanuvchi yuklar ta’siriga hisoblash	54
Tayanch iboralar	75
Test savollari	75
Nazorat savollari	78
Onlayn masofaviy o‘qitish usullari	78
IV-bob. Statik aniq tekis fermalar.	
4.1-§. Statik aniq teks fermalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash	79

4.2-§. Statik aniq teks fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash -----	87
4.3-§. Shprengelli fermalarni hisoblash -----	110
Tayanch iboralar -----	122
Test savollari -----	122
Nazorat savollari -----	127
Onlayn masofaviy o'qitish usullari -----	128

V-bob. Uch sharnirli sistemalar

5.1-§. Uch sharnirli sistemalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash -----	129
5.2-§. Uch sharnirli sistemalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash -----	136
Tayanch iboralar -----	147
Test savollari -----	147
Nazorat savollari -----	149
Onlayn masofaviy o'qitish usullari -----	150

VI-bob. Elastik sistemalardagi ko'chishlarni aniqlash.

6.1-§. Elastik sistemalardagi ko'chishlar-----	151
6.2-§. Qurilish mexanikasining ba'zi asosiy teoremlari -----	153
6.3-§. Ko'chishlarni aniqlash formulalari -----	155
Tayanch iboralar -----	162
Test savollari -----	162
Nazorat savollari -----	167
Onlayn masofaviy o'qitish usullari -----	167

VII-bob. Statik noaniq sistemalarni kuchlar usulida hisoblash.

7.1-§. Statik noaniq sistemalar va ularning xususiyatlari -----	168
7.2-§. Kuchlar usulining asosiy sistemasi va kanonik tenglamalari -----	172
7.3-§. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash -----	177
7.4-§. Natijaviy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlash ----	189

7.5-§. Simmetrik ramalarni kuchlar usulida hisoblash -----	197
7.6-§. Statik noaniq sistemalarni temperature ta'siriga va tayanchlar cho'kishiga hisoblash -----	211
7.7-§. Statik noaniq sistemalarni kuchlar usuli bilan matritsalar yordamida hisoblash -----	218
7.8-§. Statik noaniq arkalarni hisoblash -----	223
7.9-§. Statik noaniq fermalarni hisoblash -----	230
7.10-§. Uzlüksiz balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash -----	233
7.11-§. Uzlüksiz balkalarni moment fokuslari usuli bilan hisoblash -----	239
Tayanch iboralar -----	242
Test savollari -----	243
Nazorat savollari -----	247
Onlayn masofaviy o'qitish usullari -----	248
VIII-bob. Statik noaniq sistemalarni ko'chishlar usulida hisoblash.	
8.1-§. Statik noaniq sistemalarni hisoblashning ko'chishlar usuli -----	249
8.2-§. Ko'chishlar usulining asosiy sistemasi va kanonik tenglamalari -----	251
8.3-§. Rama sterjeni chekka kesimining deformatsiyalari bilan tayanch momentlari orasidagi bog'lanish -----	254
8.4-§. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash -----	258
8.5-§. Natijaviy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlash ---	260
8.6-§. Statik noaniq ramalarni aralash usulda hisoblash -----	263
Tayanch iboralar -----	274
Test savollari -----	274
Nazorat savollari -----	276
Onlayn masofaviy o'qitish usullari -----	277
I-Ilova -----	278

Glossariy	294
Adabiyotlar	308

ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация	3
Введение	6

Глава I. Основные понятия строительной механики.

§ 1.1. Введение в науку о строительной механике	8
§ 1.2. Расчетные схемы конструкций и их виды	12
§ 1.3. Кинематический анализ построения расчетных схем	14
Ключевые слова	23
Вопросы теста	23
Контрольные вопросы	30
Методы онлайн дистанционное обучение	30

Глава II. Теория линий влияния.

§ 2.1. Линии влияния в простых и консольных балках	32
§ 2.2. Определение усилий при помощи линий влияния	38
Ключевые слова	43
Вопросы теста	43
Контрольные вопросы	46
Методы онлайн дистанционное обучение	46

Глава III. Многопролетных статически определимые балки.

§ 3.1. Расчет многопролетных статически определимых балок от неподвижной нагрузки	48
§ 3.2. Расчет многопролетных статически определимых балок на воздействие подвижных нагрузок	54
Ключевые слова	75
Вопросы теста	75
Контрольные вопросы	78

Методы онлайн дистанционное обучение -----	78
Глава IV. Статические определимые плоские фермы.	
§ 4.1. Расчет ферм на неподвижную нагрузку -----	79
§ 4.2. Линии влияния усилий в стержнях простейших ферм -----	87
§ 4.3. Расчет шпренгелловых ферм -----	110
Ключевые слова -----	122
Вопросы теста -----	122
Контрольные вопросы -----	127
Методы онлайн дистанционное обучение -----	128
Глава V. Трехшарнирные системы	
§ 5.1. Расчет трехшарнирных систем от неподвижной нагрузки -----	129
§ 5.2. Расчет трехшарнирных систем на воздействие подвижных нагрузок ---	136
Ключевые слова -----	147
Контрольные вопросы -----	147
Контрольные вопросы -----	149
Методы онлайн дистанционное обучение -----	150
Глава VI. Определение перемещений в упругих системах.	
§ 6.1. Перемещения в упругих системах -----	151
§ 6.2. Некоторые основные теоремы строительной механики -----	153
§ 6.3. Формулы определения перемещения -----	155
Ключевые слова -----	162
Вопросы теста -----	162
Контрольные вопросы -----	167
Методы онлайн дистанционное обучение -----	167
Глава VII. Расчет статических неопределемых систем методом сил.	
§ 7.1. Статические неопределемые системы и их свойства -----	168
§ 7.2. Основные системы канонических уравнений методом сил -----	172
§ 7.3. Определение коэффициенты и степень свободы канонического уравнения метода сил -----	177
§ 7.4. Определение результирующего изгибающего момента, поперечных	

и продольных сил -----	189
§ 7.5. Расчет симметричных рам методом сил -----	197
§ 7.6. Расчет статических неопределенных систем на действие температуры и перемещения опор -----	211
§ 7.7. Расчет статически неопределимых систем с использованием теории матриц -----	218
§ 7.8. Расчет статически неопределимые арки -----	223
§ 7.9. Расчет статически неопределимые фермы -----	230
§ 7.10. Расчет неразрезных балок на действие постоянных нагрузок -----	233
§ 7.11. Расчет неразрезных балок методом моментных фокусов -----	239
Ключевые слова-----	242
Вопросы теста -----	243
Контрольные вопросы -----	247
Методы онлайн дистанционное обучение -----	248
Глава VIII. Расчет статических неопределимых систем методом перемещений.	
§ 8.1. Расчет статически неопределимых систем методом перемещений-----	249
§ 8.2. Основная система и канонические уравнения методом перемещений -----	251
§ 8.3. Соотношения между концевыми моментами и угловыми деформациями рам-----	254
§ 8.4. Определение коэффициентов и свободных членов системы канонических уравнения -----	258
§ 8.5. Определение результирующего изгибающего момента, поперечных и продольных сил -----	260
§ 8.6. Расчет статически неопределимых рам смешанным методом -----	263
Ключевые слова-----	274
Вопросы теста -----	274
Контрольные вопросы -----	276
Методы онлайн дистанционное обучение -----	277

I-приложение-----	278
Глоссарий -----	294
Литература-----	308

TABLE OF CONTENTS

Annotation -----	3
Introduction -----	6
Chapter I. Basic concepts of structural mechanics.	
§ 1.1. Introduction to the science of structural mechanics -----	8
§ 1.2. Design schemes of structures and their types -----	12
§ 1.3. Kinematic analysis of the construction of design schemes -----	14
Keywords -----	23
Test Questions -----	23
Test questions -----	30
Methods of online distance learning -----	30
Chapter II. Theory of lines of influence.	
§ 2.1. Influence Lines in Plain and Cantilever Beams -----	32
§ 2.2. Determining Forces Using Influence Lines -----	38
Keywords -----	43
Test Questions -----	43
Test questions -----	46
Methods of online distance learning -----	46
Chapter III. Multi-span statically determinate beams.	
§ 3.1. Calculation of multi-span statically determinate beams from a fixed load ----	48
§ 3.2. Calculation of multi-span statically determinate beams for the effect of moving loads -----	54
Keywords -----	75
Test Questions -----	75
Test questions -----	78
Methods of online distance learning -----	78
Chapter IV. Static definable flat trusses.	

§ 4.1. Calculation of trusses for a fixed load -----	79
§ 4.2. Lines of influence of forces in the rods of the simplest trusses -----	87
§ 4.3. Calculation of sprengel trusses -----	110
Keywords -----	122
Test questions -----	122
Test questions -----	127
Methods of online distance learning -----	128

Chapter V. Three-Hinged Systems

§ 5.1. Calculation of three-hinged systems from a fixed load -----	129
§ 5.2. Calculation of three-hinged systems for the effect of moving loads -----	136
Keywords -----	147
Test questions -----	147
Test questions -----	149
Methods of online distance learning -----	150

Chapter VI. Determination of displacements in elastic systems.

§ 6.1. Displacements in elastic systems -----	151
§ 6.2. Some basic theorems of structural mechanics -----	153
§ 6.3. Displacement formulas -----	155
Keywords -----	162
Test Questions -----	162
Test questions -----	167
Methods of online distance learning -----	167

Chapter VII. Calculation of static indeterminate systems by the force method.

§ 7.1. Static indeterminate systems and their properties-----	168
§ 7.2. Basic systems of canonical equations by force method -----	172
§ 7.3. Determination of the coefficients and degrees of freedom of the canonical equation of the force method -----	177
§ 7.4. Determination of the effective bending moment, transverse and longitudinal forces -----	189
§ 7.5. Calculation of symmetrical frames by the force method -----	197

§ 7.6. Calculation of static uncertain systems for the effect of temperature and movement of supports -----	211
§ 7.7. Calculation of statically indeterminate systems using theory matrices ----	218
§ 7.8. Calculation of statically indeterminate arches -----	223
§ 7.9. Calculation of statically indeterminate farms -----	230
§ 7.10. Calculation of continuous beams for the action of constant loads -----	233
§ 7.11. Calculation of continuous beams by the method of moment foci -----	239
Keywords -----	242
Test Questions -----	243
Test questions -----	246
Methods of online distance learning -----	248
Chapter VIII. Calculation of static indeterminate systems by the displacement method.	
§ 8.1. Calculation of statically indeterminate systems by the displacement method -----	249
§ 8.2. Basic system and canonical equations by displacement method -----	251
§ 8.3. Relationship between End Moments and Angular Deformations ram-----	254
§ 8.4. Determination of the coefficients and free terms of the system o canonical equations -----	258
§ 8.5. Determination of the effective bending moment, transverse and longitudinal forces -----	260
§ 8.6. Calculation of statically indeterminate frames by a mixed method -----	263
Keywords -----	274
Test Questions -----	274
Test questions -----	276
Methods of online distance learning -----	277
Application-I-----	278
Glossary -----	294
Literature-----	308