

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI TRANSPORT VAZIRLIGI
TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI**

MIRALIMOV MIRZAXID XAMITOVICH

**METROPOLITEN TONNELLARI QOPLAMALARINING
KONSTRUKSIYAVIY YECHIMLARI VA HISOBLASH
USULLARI**



TOSHKENT – 2025

UO‘K(UDK) 624.042; 622.011.4

Miralimov M. X.

“Metropoliten tonnellari qoplamalarining konstruksiyaviy yechimlari va hisoblash usullari” - TOSHKENT, TDTU, 2025y, 127 bet.

Monografiyada metropoliten tonnelsozligi sohasida zamonaviy konstruksiyalarni yaratish va mavjudlarini takomillashtirish, ularni hisoblashning ilg‘or usullarini ishlab chiqish, yanada rivojlantirish bo‘yicha o‘tkazilgan ilmiy tadqiqotlar natijalari keltirilgan.

Konstruksiyalarni loyihalash va qurilish amaliyotiga joriy etilishida variantli loyihalash uslubi qo‘llanilgan, shuningdek, muallif tomonidan metropoliten stansiyalari va yurish tonnellari, ularning konstruksiyaviy tugunlari va elementlari yechimlarini takomillashtirish va yangilarini amaliyotga tatbiq qilish bilan bog‘liq muhandislik ratsionalizatorlik yondashuvi taqdim etilgan.

Tonnel qoplamalarining statik, dinamik va seysmik hisobini amalga oshirish maqsadida, konstruksiyalarning o‘zaro deformatsiyalanuvchanlik xossalarini hisobga olish orqali sonli tahlilning yangi takomillashtirilgan usuli va dialogli kompyuterda ishlovchi tizim ishlab chiqilgan. Ushbu tizim tonnel inshootlarining kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini aniqlash bilan bog‘liq hisob-kitoblar va hisobiy tajribalarni o‘tkazish uchun real imitatsion dasturiy model bo‘lib hisoblanadi. Taklif etilgan konstruksiyalarni tonnelsozlik loyihalashtirish amaliyotida qo‘llash maqsadida ularning deformatsion xossalari, mustahkamligi va zilzilabardoshligini turli statik (kvazistatik) va dinamik (seysmik) yuklamalar ta’sirida baholash ishlari amalga oshirilgan.

Monografiyadan oliy o‘quv yurtlarining tonnel qurilishi mutaxassisliklarida tahsil olayotgan talabalar, magistrantlar va doktorantlar, shuningdek tonnel inshootlarini qurish, rekonstruksiya qilish, texnik xizmat ko‘rsatish, ularning sifati va xavfsizligini nazorat qilish bilan shug‘ullanadigan davlat organlari, tashkilot va korxonalar mutaxassislari foydalanishlari mumkin.

Taqrizchilar:

TDTU, “Ko‘priklar va tonnellar” kafedrasi mudiri, DSc, prof. Shermuxamedov U.Z.

O‘zFA MISMI “Murakkab yuklanishlarni modellashtirish” laboratoriyasi mudiri, DSc, katta ilmiy xodim, Abirov R.A.

MUNDARIJA

	KIRISH.....	5
I BOB	MUAMMONING ZAMONAVIY HOLATI.....	16
1.1	Tonnelsozlikning rivojlanish istiqbollari	16
1.2	Tonnellarning grunt massivlari bilan o‘zaro ta’sirlashish xususiyatlari.....	18
1.3	Tonnel qoplamalari konstruksiyalarini qo‘llash tajribasi.....	22
1.4	Tonnel qoplamalari hisoblash usullarining rivojlanish holati	25
1.5	Asosiy muammolar va yechimlar.....	27
	I-bob bo‘yicha xulosalar	31
II BOB	METROPOLITEN TONNELLARI QOPLAMALARINING YANGI KONSTRUKSIYAVIY YECHIMLARI.....	32
2.1	Zilzilabardosh qoplamalarni loyihalash masalalari.....	32
2.2	Bir gumbazli metropoliten stansiyasi	33
2.3	Ikki gumbazli metropoliten stansiyasi	35
2.4	Ustunli metropoliten stansiyasi	37
2.5	Yurish tonnelli kesishuv tugunlaridagi metropoliten stansiyasi	39
2.6	Yig‘ma elementli yurish tonnellarining aylana qoplamasi	41
	II-bob bo‘yicha xulosalar	43
III BOB	TONNEL INSHOOTLARI VA KONSTRUKSIYALARINI HISOB-LASH USULLARI.....	45
3.1	Tonnellarni hisoblashga doir umumiy masalalar.....	46
3.2	Sterjenli tunnel tizimini statik va kvazistatik ta’sirlarga hisoblash usuli	46
3.3	“Tonnel-grunt massivi” tizimini statik va kvazistatik ta’sirlarga hisoblash usuli	47
	“Tonnel-grunt massivi” tizimini dinamik va seysmik ta’sirlarga hisoblash usuli	66
	III-bob bo‘yicha xulosalar.....	75
IV BOB	HISOBLASH USULLARINI AVTOMATLASHTIRISH.....	89
4.1	Masalalar yechimi uchun axborot tayyorlash	90
4.2	Ishlab chiqilgan hisoblash usullarini asoslash.....	
4.3	Tadqiqot ob’ektini hisoblashda SHEHM uchun tizim	
4.4	Ishlab chiqilgan usullar ishonchliligini baholash. Modelli masalalarni yechish.	
	IV-bob bo‘yicha xulosalar	

V BOB	METROPOLITEN TONNELLARI QOPLAMALARINING KUCH- LANGANLIK-DEFORMATSIYALANGANLIK HOLATI.....	111
5.1	Metropolitan yurish tonnelliari qoplamalarinig deformatsiyalanishi.....	111
	Bir gumbazli metropolitan stansiyalari hisobi	121
5.2	Yurish tonnelliari kesishuv tugunlaridagi metropolitan stansiyasinig	
5.3	hisobi	136
5.4	Ustunli metropolitan stansiyalari hisobi.....	144
5.5	Mavjud zilzilabardoshlik nazariyalari hisobiy modellari bo'yicha tonnelning seysmik mustahkamligini baholash	153
	V-bob bo'yicha xulosalar	159
	XULOSA.....	122
	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.....	

KIRISH

Dunyoda tunnel konstruksiyalarining yangicha prinsipial echimlarini qo'llagan holda zamonaviy transport inshootlarining qurilishi, ular mustahkamligi va uzoq muddat ishlashi bo'yicha hisobiy usullarni takomillashtirish, shuningdek loyihalashning zamonaviy ilg'or texnologiyalari va texnik vositalarini qo'llash tobora etakchi o'rin egallab bormoqda. Rivojlangan mamlakatlar, xususan AQSh, Shveysariya, Janubiy Koreya, Rossiya, Xitoy va O'zbekistonda tonnellar, ko'priklar, yo'llar va boshqa transport inshootlarining uzoq muddat ishlashi va mustahkamligi ularni loyihalashning zamonaviy ilg'or texnologiyalarini qo'llash orqali ta'minlanadi. Bu yo'nalishda metropoliten tonnellari qoplamalarining minimal xarajat talab qiladigan, shuningdek turli deformasion tavsiflarga ega bo'lgan grunt massivlarida ishlashining to'g'ri baholanishini inobatga oladigan konstruktsiyaviy echimlarini ishlab chiqish va rivojlantirishga alohida e'tibor qaratiladi.

Dunyoda metropoliten tonnellari konstruksiyalarining hajmiy-rejalashtirishga oid echimlari, inshootlar nazariyasi va turli yuklamalar va ta'sirlarda grunt massivlari bilan o'zaro ta'sirlashishning real xususiyatlari va xossalarini, ularni hisoblash usullarini takomillashtirishga alohida e'tibor berilmoqda. Shu bilan birga tunnel inshootlarining mustahkamligi va zilzilabardoshlilikini oshirish, konstruksiyalar statik, kvazistatik, dinamik va seysmik ta'sirlarda deformasiyalanishini samarali baholash usullarini ishlab chiqish ushbu sohaning o'ta muhim va dolzarb masalalaridan biri bo'lib qolmoqda.

Respublikamizda yo'l-transport qurilishini rivojlantirishga, shuningdek turli ta'sirlarga duch keladigan, qurilayotgan yer osti inshootlari ob'ektlarining mustahkamligini ta'minlash tizimlarini takomillashtirish va qurishga alohida e'tibor qaratilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2016 yil 21 oktyabrda gi №PP-2638 "Toshkent metropoliteni faoliyatini yanada rivojlantirish va samaradorligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Farmonlarida ushbu masalalar batafsil ko'rsatib o'tilgan.

Bugungi kunda turli xil ilmiy yondashuvlarga asoslangan ko'pdan-ko'p tashqi yuklamalar amal qilganida tunnel qoplamalari konstruksiyalarining grunt massivi bilan o'zaro ta'sirlashish sharoitlarida transport tonnellarini loyihalash va hisoblash usullari kabi masalalar bilan etakchi mamlakatlarning ilmiy markazlari, institutlari va universitetlari, xususan EnTech Engineering Inc., California Institute of Technology (AQSh), Karolinska Institute (Kanada), Heidelberg University (Germaniya), University of Trento (Italiya), University of Dundee (Buyuk Britaniya), Pompeu Fabra University (Ispaniya), University of Lausanne (Shveysariya), Kyoto University (Yaponiya), Korea Advanced Institute of Science and Technology (Janubiy Koreya), Nanyang Technological University (Singapur), Department of Tunneling & Underground Works of Beijing Jiaotong University (Xitoy), NIS «Tonnellar va

metropolitanlar» transport qurilishi ilmiy-tadqiqot instituti (Rossiya), Moskva avtomobil-yo'llar instituti (Rossiya) tomonidan amalga oshirilmoqda.

Jahonda tunnel inshootlarining konstruksiyaviy echimlarini takomillashtirish, gruntlar va boshqa yuklamalar ta'sirida mustahkamlikni tekshirish, kuchlanish hamda zo'riqishlarning qonuniyatlarini aniqlash va hisoblash usullarini ishlab chiqish bilan bog'liq tadqiqotlar o'tkazish orqali quyidagi natijalarga ega bo'lingan, xususan: keng ko'lamda "tunnel-grunt" tizimining xossalari va parametrlarini hisobga olgan imitasion modellashtirish uslublari ishlab chiqilgan (Aydaxo Universiteti, AQSh), metropoliten inshootlari uchun ochiq va yopiq usullarda quriladigan tunnel qoplamalarining yig'ma-monolit konstruksiyaviy echimlari (Myunxen Texnika universiteti, Germaniya), kompozit materiallardan, tog'li hududlarda barpo etiladigan transport tonnelli qoplamalar konstruksiyalari uchun, ularning ishlash muddatini uzaytirishni aniqlash bo'yicha fizik modellashtirish usullari (Department of civil and environmental engineering, Politecnico di Milano University, Italiya), yassi sterjenli elementlar tizimidan iborat bo'lgan tunnel konstruksiyalari va yer osti inshootlarini seysmik himoyalash uchun dinamik va seysmik yuklamalarga texnik echimlar va hisoblash usullari ishlab chiqilgan.

Dunyo bo'yicha metropoliten tonnelli qoplamalarining yangi zamonaviy konstruksiyaviy echimlarini yaratishda, siqilish-cho'zilish va siljishga uzun seysmik to'lqinlarining eng noqulay ta'sirini hisobga olgan holda konstruksiyalarning seysmik kuchlangan holatini hisoblash va aniqlash nazariyasi va usullarini rivojlantirish va takomillashtirish borasida ko'p sonli tadqiqotlar, olib borilgan, xususan:

- grunt bilan o'zaro ta'sirlashuvchi qoplamalarda yuzaga keladigan deformasiyalarning turi va ko'rinishini hisobga olgan holda turli yuklar ta'sirida mustahkamlik va zilzilabardoshlikni belgilab beradigan usular;

- tunnel qoplamalari shakli, ularning er yuzasiga nisbatan joylashishiga, shuningdek qoplama va gruntlar materiallari xossalari ekspluatatsiya jarayonida o'zgarishiga bog'liq holda hisoblash usullarini ishlab chiqish;

- «tunnel-grunt» tizimining o'zaro ta'sirlashuv xarakterini hisobga olgish orqali, kvazistatik va seysmik ta'sirlarda tunnel konstruksiyalarining deformasiyalanishini aniqlab beradigan matematik usullarni ishlab chiqish.

Butunjahon ko'lamida yer osti inshootlarining oqilona (rasional) konstruksiyalarini ishlab chiqish, grunt massivlarining statik, kvazistatik va dinamik (seysmik) ta'sirlarida tonnellar holati va ishlashini o'rganishga, shuningdek keng ko'lamda turli fizik jarayon va hodisalarni matematik va mexanik modellashtirish yo'li bilan tonelli konstruksiyalar mustahkamligi va zilzilabardoshlilikini baholash bo'yicha hisob-kitob usullarini rivojlantirish masalalariga T. Asakura, R.D. Borchardt, C.H. Dowding, G. Lanzano, T. Matsunaga, C. Chang, H. Basarir, D. Lee, V. P. Volkov, B. P. Bodrov, B. F. Materi, O. E. Bugaev, S. N. Berkin, A. N. Dinnik,

G. N. Savin, V. L. Fedorov, N. I. Bezuxov, O. V. Lujin, I. Ya. Dorman, N. N. Shaposhnikov, N. N. Fotieva, N. S. Bulichev, L. V. Makovskiy, E. N. Kurbaskiy, Sh. M. Aytaliev, J. K. Masanov va boshqa olimlarning ilmiy tadqiqotlari bag'ishlangan.

Respublikamizda seysmiklik darajasi yuqori bo'lgan hududlar uchun mo'ljallangan tonnel konstruksiyalarini yaratishda va grunt muhiti bilan ta'sirlashishni hisobga olgan holda tonnel qoplamalarida deformasiyalanish jarayonlarini aniqlash bo'yicha analitik va sonli usullarni ishlab chiqishda T. R. Rashidov, A. A. Ishanxodjaev, Ya. N. Mubarakov, G. X. Xojmetov, T. K. Abdullaev, H. Sagdiev, Sh. Yuldashev va ko'plab boshqa olimlarning ilmiy tadqiqotlari muhim o'rin tutgan.

Biroq, o'tkazilgan tadqiqotlarda muhandislik amaliyoti talablariga javob beradigan muayyan muammo va vazifalarni hal qilishga erishilmagan. Bundan tashqari, metropoliten tonnellari konstruksiyalariga yuk tushganida yuz beradigan, masalan, deformasion va konstruksiyaviy tavsiflar, grunt va qoplama parametrlarini hisobga olgan sonli modellashtirish usullari bo'yicha ularning kuchlanganlik-deformasiyalanganlik holatini keng diapazonda aniqlash orqali qator fizik jarayonlarni tushunish va tahlil qilish uchun ilmiy tadqiqotlar etarli darajada o'tkazilmagan.

Tadqiqotlarning nisbatan to'liq tahlili shuni ko'rsatadiki, qoplama konstruksiyasining turini oldindan tanlash, uning keyingi hisob-kitobi, ular asosida konstruksiyaga zarur o'zgartirishlar kiritish va ana shu operatsiyalarni takrorlashdan iborat bo'lgan tonnellarni variantli loyihalash istalgan samara – ya'ni materiallarni tejab sarflash bilan qoplamaning zarur mustahkamligi va zilzilabardoshligiga erishish imkonini beradi.

Muallif tomonidan olib borilgan tadqiqotlar Toshkent davlat transport universiteti, "Avtomobil yo'llaridagi sun'iy inshootlar" kafedrasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasi bo'yicha "Yangi yer usti va yer osti transport inshooti konstruksiyalarini ishlab chiqish va mavjudlarini takomillashtirish hamda O'zbekiston Respublikasi sharoitlarida ularning zilzilabardoshligini hisoblash bo'yicha tadqiqotlar o'tkazish" hamda "O'zbekiston Respublikasining mintaqaviy sharoitlarida transport inshootlarining yangi konstruksiyaviy echimlarini yaratish va joriy qilish" mavzulari doirasida bajarilgan.

I-BOB. MUAMMONING ZAMONAVIY HOLATI

1.1. Tunnelsozlikning rivojlanish istiqbollari

Yyer osti qurilish ishlarini amalga oshirish qadimdan mavjud bo'lib, ko'plab xalqlar tomonidan turli xil maqsadlar uchun qo'llangan. Hatto tosh asrida ham mehnat qurollari yasash uchun kremniy olish maqsadida tog' jinslariga ishlov berilgan [139]. Ko'plab yer osti inshootlari 2500 yil ilgari va undan ham avval hozirgi Markaziy Osiyo davlatlari hududida ham barpo etilgan [8, 9, 139].

Dunyo bo'ylab yyer osti inshootlari qurilishi ko'lamining ortishi, rivojlanishi hamda yer ustining tobora band etilishi, konstruksiyaviy qarashlar va xavfsizlik nuqtai nazari bilan bog'liq bo'ldi. Bugunga kelib transport tonnelleri Shveysariya, Ispaniya, Shvesiya, Yaponiya, Xitoy kabi ko'plab mamlakatlarda muvaffaqiyatli ishlatilib kelinmoqda [9, 177, 178, 152, 193]. Qayd etish lozimki, yyer usti stansiyalari bo'lgan zamonaviy metro tonnelleri AQShda qurilayotgan bo'lsa [168], shuningdek Rossiya ham transport tonnellarini qurish bo'yicha ulkan tajribaga ega [6, 7, 193].

Turk olimlarining Doruxan tunnelini loyihalashga doir hisobiy tadqiqotlari katta qiziqish uyg'otadi [175, 176, 193]. Jahonda bugungi kunda qiziqarli va istiqbolli hamda yuqori texnologik loyihalash va qurish usullari qo'llangan transport tonnelleri va metropolitenlar yer osti tunnelsozligining eng yaxshi namunasi bo'la oladi [12 13, 14, 15, 16, 25-27, 164, 186, 187, 194].

Toshkent metropolitenining birinchi yo'nalishini qurishda o'ziga xos muhandislik echimlari qabul qilingan[22]. Qayd etish lozimki, O'zbekiston Respublikasida tunnelsozlik, ayniqsa, Buyuk Ipak yo'li yo'nalishidagi Toshkent-O'sh yo'lidagi Qamchiq va Rezak dovonlari ostida Xitoy tomonga baland tog'li to'siqlar orqali o'tgan ikki avtomobil tonnelleri (1.1, a-rasm) va Toshkent metropolitenining yangi yo'nalishlari qurilishlaridan so'ng taraqqiy eta boshladi [69, 101, 106, 111].

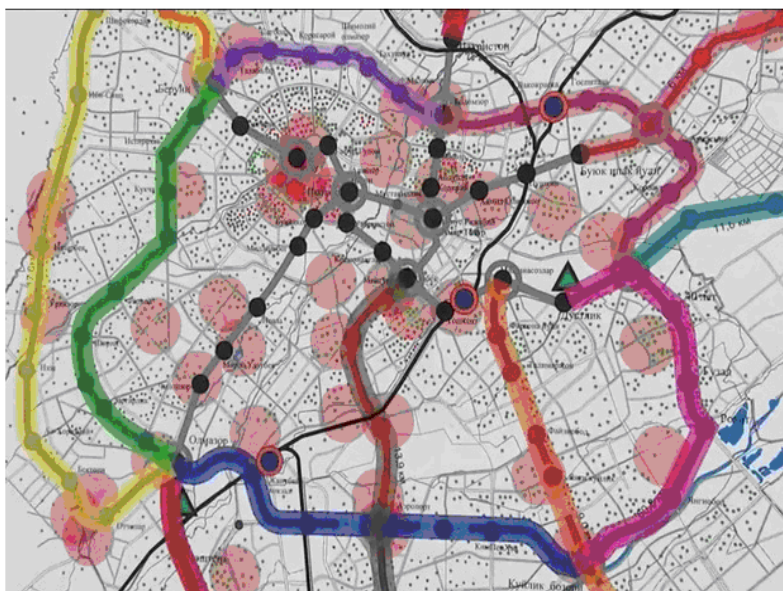
a)



b)



1.1-Rasm. Portalli uchastkalar: a) avtomobil yo'li tonneli, b) temir yo'l tonneli



1.2-Rasm. Toshkent metropoliteni yo‘nalishlarining yangi sxemasi [194]

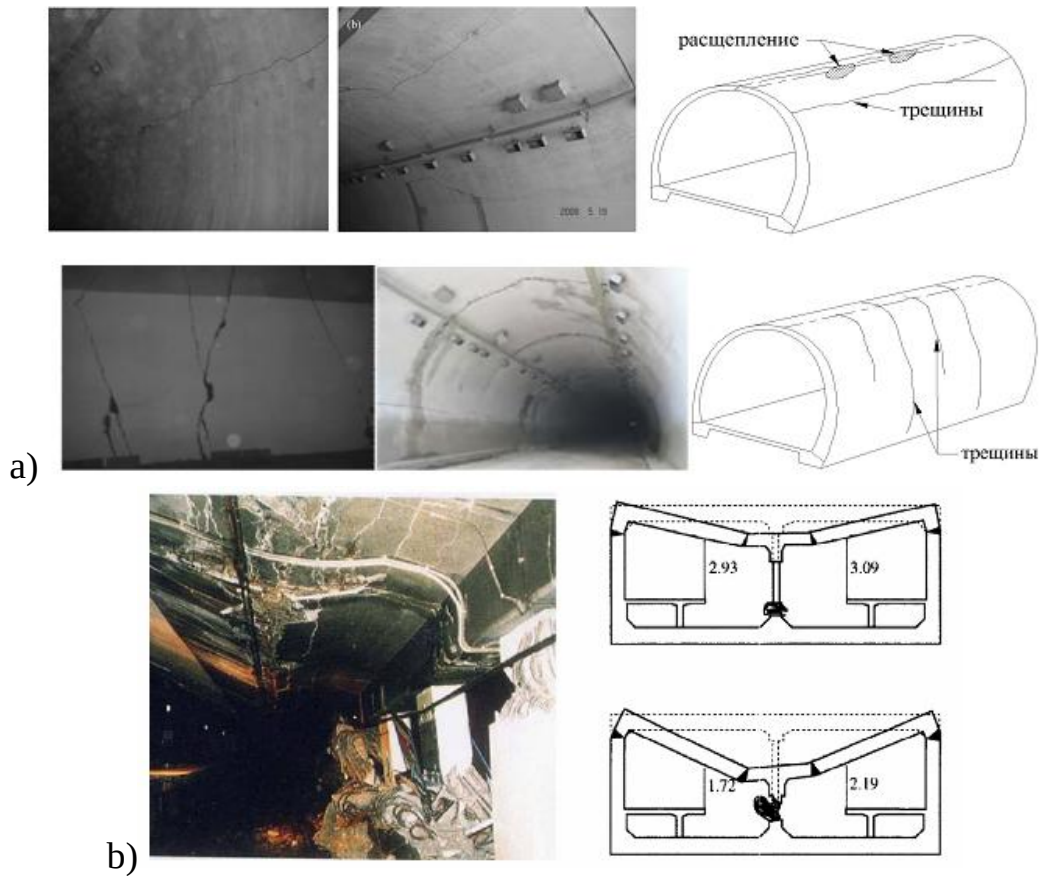
Angren–Pop temir yo‘l uchastkasidagi uzunligi 19,2 km bo‘lgan temir yo‘l tonneli Toshkent va Farg‘ona vodiysini temir yo‘l bilan bog‘lash uchun mo‘ljallangan [101, 151-154]. Dunyo bo‘yicha bu tunnel tog‘ hududida joylashishiga ko‘ra 8-o‘rinni, yo‘llari uzunligi bo‘yicha esa 13-o‘rinni egallaydi (1.1, b-rasm) [101, 151-154]. Bugungi kunda Toshkentda metropolitenning halqali shoxobchasini qurish ishlarining bir qismi yakunlangan [183; s. 1-2]. Bunda Sergeli shoxobchasini estakadali qilib qurish mo‘ljallangandir, shuningdek metropolitenning Yunusobod yo‘nalishini qurish ishlari ham yakuniga etgan [23, 186].

1.2. Tonnellarning grunt massivlari bilan o‘zaro ta’sirlashish xususiyatlari

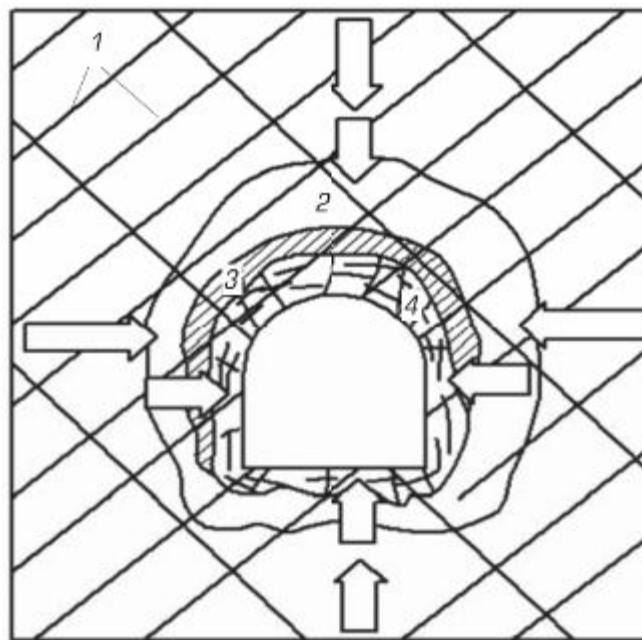
Ma’lumki, gruntlar massivi ko‘plab va turli-tuman fizik-mexanik, gidrogeologik va shu kabi xossalarga ega. Ular tunnel konstruksiyasiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Passiv itarma koeffitsienti 200 kgs/sm^2 dan yuqori bo‘lgan holda grunt muhiti tunnel qoplamasining ehtimoliy deformasiyalanishiga to‘liq qarshilik ko‘rsata oladi [24, 41, 43, 194].

[43, 165] kabi ilmiy ishlarda amalga oshirilgan tadqiqotlar namoyon etishicha, tunnel qoplamasi atrofini o‘rab turgan grunt (tuproq) xossalari ma’lum vaqt o‘tishi bilan o‘zgarib, bu esa, o‘z navbatida, qoplama konstruksiyasi ishiga ham o‘zgartirishlar kiritadi. Nisbatan, sayoz joylashgan tunnel qoplamalari uchun gruntlarning keng ko‘lamli siljishi, ayniqsa seysmik to‘lqinning jadal ta’siri eng katta xavf paydo qiladi (1.3-rasm) [94, 100, 166, 194]. Muhim omillar qatorida geologik muhitning endogen va ekzogen jarayonlar ko‘rinishidagi ta’sirini ko‘rsatish mumkin. Tadqiqotlar grunt qatlamida yuz beradigan turli jarayonlar tonnellar ishiga jiddiy ta’sir qilishini ko‘rsatdi [41, 156]. Er qobig‘ining seysmotehtonik siljishlari nisbatan kamroq o‘rganilgan. Bu muammo me’yoriy (normativ) hujjatlarda deyarli aks ettirilmagan [85, 95, 114]. Murakkab muhandislik-geologik sharoitlar, geodinamik va

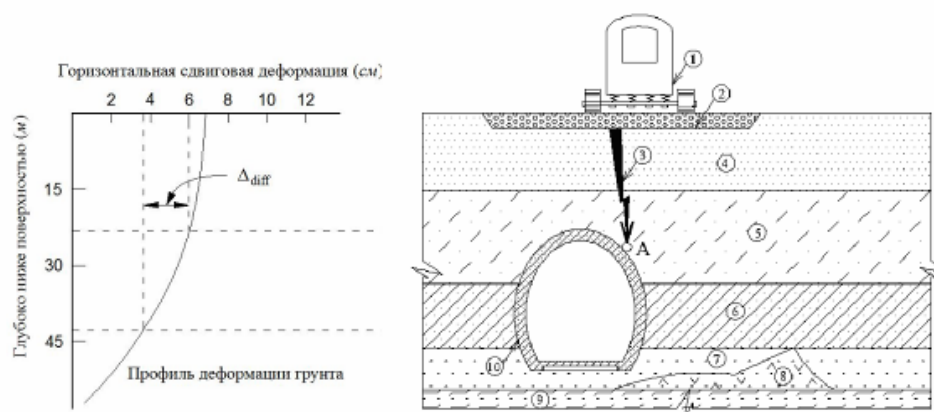
geodeformasion jarayonlar bilan bog‘liq bo‘lib, etarli darajada o‘rganilmaganligi sababli, shu jumladan seysmotektonikaning boshqa ko‘rinishlari kabi ular deyarli hisobga olinmaydi [11, 122, 168].



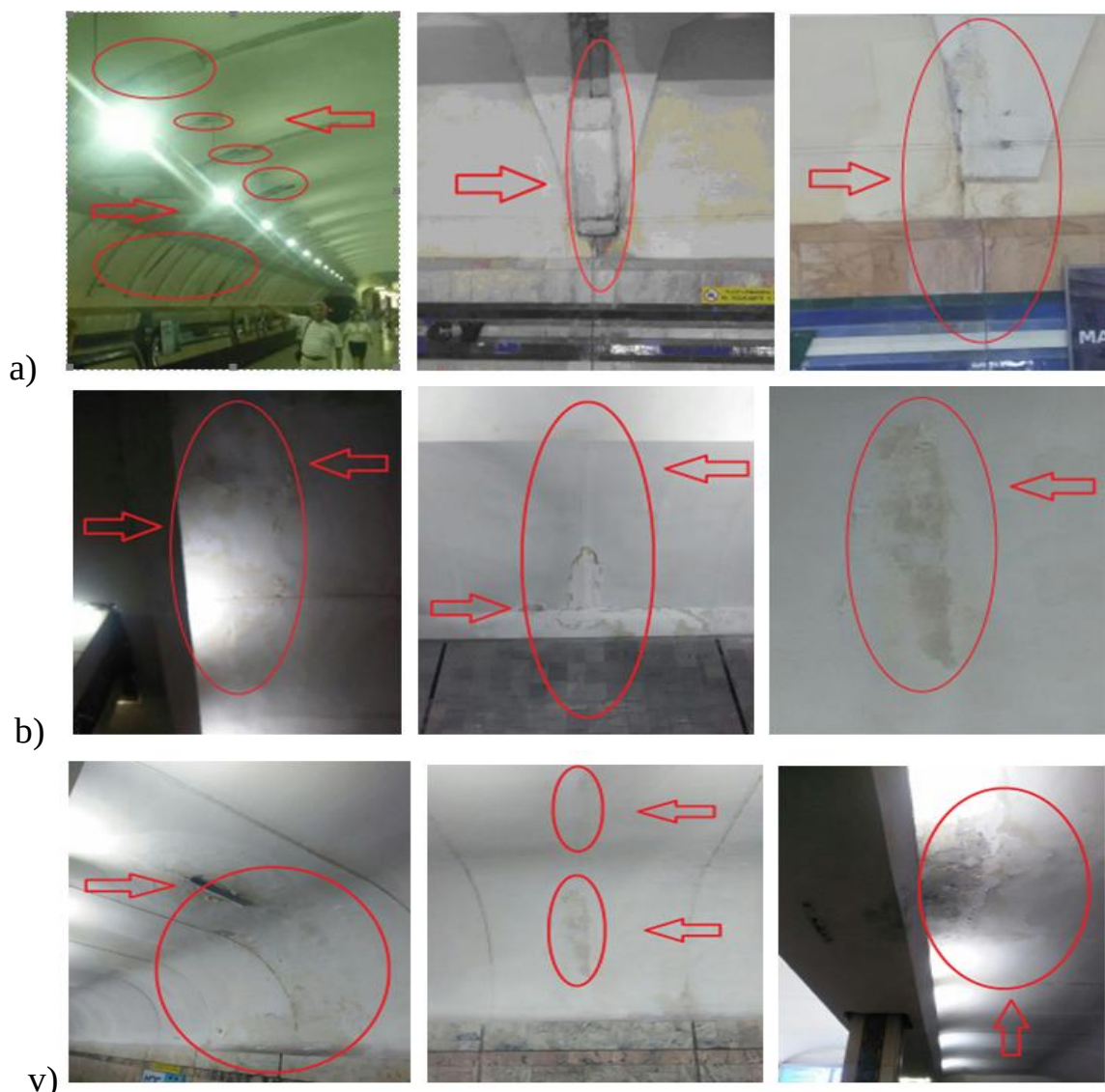
1.3-Rasm. Tunnel qoplamalarining shikastlanishi: a) Dyuzje zilzilasidan shikastlangan Bolu tonneli (Turkiya, 1999 y.), b) Kobe yaqinidagi Daykay tonneli (Yaponiya, 1995 y.)



1.4-Rasm. Tunnel atrofidagi grunt va tog‘ jinsining ta’sir ko‘rsatish sxemasi: yoriqlar (darzlar) hududlari (1); zo‘riqishlar qayta taqsimlanishi (2); yukdan xoli bo‘lish (3); siljishlar (4)



1.5-Rasm. Dinamik (seysmik) va statik yuklamalar o'zgarishining tuzilmaviy nobarqaror gruntlardan iborat massivning yer osti inshootlari asosi sifatida siljishiga ko'rsatadigan ta'sir ko'rsatish sxemasi: 1 – avtotransport; 2 – asfaltbeton yo'llar; 3 – transport vositalaridan tushadigan dinamik yuk; 4 – o'rtacha yiriklikdagi qumli qatlam; 5 – qumdor grunt; 6 – lessimon sog' tuproq; 7 – yirik donachali qum; 8, 9 – tuzilmasi nobarqaror grunlar; 10 – tunnel inshooti



1.6-Rasm. Metropoliten stansiya tonnellarida kuzatiladigan nuqson va shikastlanishlar: a) bir gumbazli, b) rama turpdagi, v) gumbazsimon rama turidagi

[164, 181] ilmiy ishlarida tunnel qoplamalarining shikastlanish va vayron bo'lish misollari keltirilgan. Sxema (1.4-rasm) tunnel sun'iy inshooti bajarilganidan so'ng uning atrofidagi tog' jinsi yoki gruntida turli jarayonlar yuz berishi ko'rinib turibdi [164, 181]. Gruntli jinslarda muvozanat holati geologik muhitdagi boshqa o'zgarishlarda ham izdan chiqishi mumkin [50, 58 167].

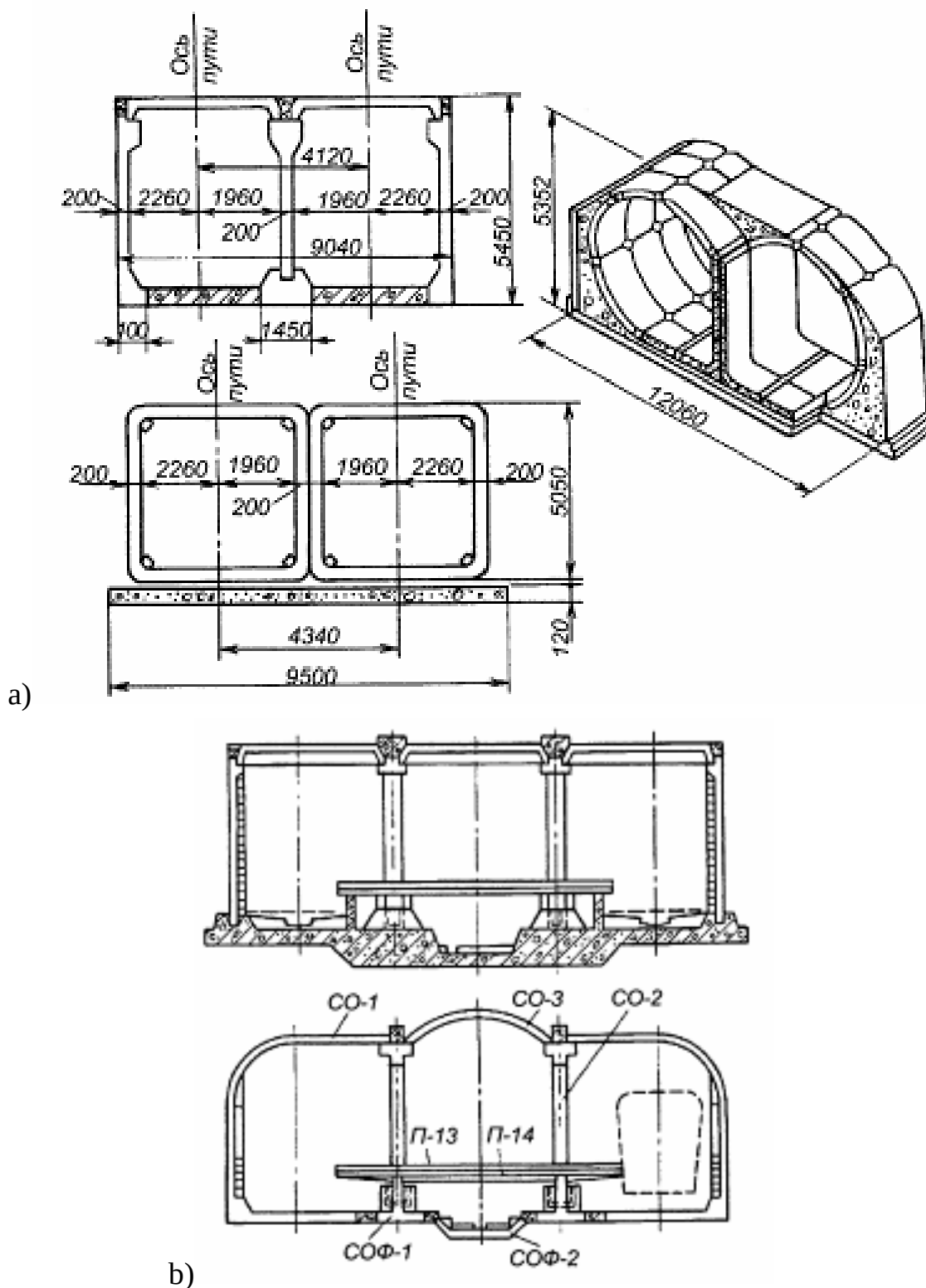
Tunnel qoplamalari konstruksiyalarida shikastlanish va nuqsonlar paydo bo'lishining asosiy sabablaridan biri "qoplama – grunt massivi" tizimida seysmik siljishlar va grunt massividagi texnogen ta'sirlar natijasida yuz beradigan jarayonlarni to'liq hisobga olmaslik bilan bog'liq (gruntlarning notekis namlanishi ularning yuk ko'tarish imkoniyati pasayishiga olib keladi va avtotransport vositalari og'irligi ostida ularning notekis cho'kishi va tunnel atrofida deformasiyalanish yuz berishi mumkin) (1.5, 1.6-rasmlar) [97, 100]. Masalan, bu kabi holatlar Toshkent metropolitenida tez-tez uchraydigan bo'lib qolgan (1.6-rasm). Seysmik jarayonlar grunt massivi siljishlarini keltirib chiqarib, bu tonnellarni hisoblash va loyihalash bosqichida to'g'ri hisobga olish zaruratini talab qiladi. Dinamik ko'rinishdagi yuklamalar esa grunt massivida qo'zg'alishlar keltirib chiqarib, bu holda massivda bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar ta'siridan ham siquvchi, ham cho'zuvchi kuchlanishlar yuzaga keltiradi. Bularning bari sayoz va chuqur joylashgan tonnellarni loyihalashda ularning qo'shimcha tarzda hisobga olinishini talab qiladi [103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 120].

1.3. Tunnel qoplamalari konstruksiyalarini qo'llash tajribasi

Dunyo bo'ylab tunnelsozlikda asosan monolit beton, temirbeton va yig'ma temirbetondan ishlangan konstruksiyalardan foydalaniladi [24, 154, 187]. Monolit qurilish texnologiyasi talab etilgan bikrlilik darajasini ta'minlab, konstruksiyalar kesimlaridagi zo'riqishlarning konsentrasiyalashish darajasini pasaytiradi [186, 187]. Biroq transport tunnelsozligining zamonaviy tajribasi ko'rsatishicha, konstruksiyalarni temirbeton zavodlarida tayyorlash inshootlarni qurish vaqtini qisqartirib, tegishli maqbul sharoitlarga ega bo'linganida qurilishning zarur sifatini ta'minlab beradi [121, 145, 164, 187]. Ushbu ilmiy ishlarda [8, 164, 187] o'tkazilgan tadqiqotlardan ma'lum bo'lishicha, tunnel inshootlarini qurishda monolit temirbeton konstruksiyalar boshqa konstruksiyalarga nisbatan qator ustuvor jihatlarga ega.

Bugunga kelib, Yaponiya, Germaniya, Xitoy va Rossiya kabi ko'plab mamlakatlarda uloqlari o'zaro bog'langan temirbeton elementlardan ishlangan yig'ma qoplamalar muvaffaqiyatli qo'llanib kelinmoqda [17, 18, 20, 21, 168, 187, 188]. Tunnelsozlik uchun Yaponiyada yer osti inshootlarini qurish tajribasi bir vaqtning o'zida konstruksiyalarning alohida qismlarini tiklash ishlarini amalga oshirish imkoniyati mavjudligini ko'rsatdi. Ushbu ilmiy ishlarda [11-15, 187, 188] qayd etilishicha, seysmik jihatidan xavfli hududlarda yig'ma konstruksiyalar

uloqlarida avvaldan zo'riqtirish holatini hosil qilish texnologiyasidan boshqa transport inshootlari konstruksiyalarini qurishda ham foydalanish mumkin. Toshkent metropoliteni bugungi kunga kelib umumiy uzunligi 47 km dan katta, hamda 43 stansiyadan ortiq bo'lgan 3 ta yo'nalishga ega, shuningdek yaqinda qurilgan estakadali xalqa yo'nalishi bilan birga [122].



1.7-Rasm. Toshkent metropolitenining zilzilabardosh temirbeton qoplamalari konstruksiyalari: a) yurish tonnelli, b) stansiya tonnelli

Toshkent metropolitenining dastlabki Chilonzar yo'nalishi qurilishida zavodda tayyorlangan yig'ma temirbeton elementlardan ishlangan konstruksiyalardan foydalanilgan (1.7-rasm) [69, 122].

Seysmik ta'sirlarga qarshi chora-tadbirlar ma'nosida yig'ma temirbeton elementlarning birga ishlashini ta'minlaydigan seysmik kamar (poyas)lar ko'zda tutilib, biroq ularni ishlatish tajribasi aynan shu konstruksiyalarning ba'zi kamchiliklarini, xususan, stansiyalarni qurish ishlari ko'p mehnat talab qilishini va armatura po'latining katta sarfini ko'rsatib berdi [122, 189].

Shunga bog'liq ravishda zilzilabardoshli konstruksiyalarni (zilzilalar va boshqa hodisalar paytida grunt massivlarining ehtimoliy siljish sharoitlarida yuqori ko'tarish imkoniyati bilan ishlaydigan) loyihalash talab etiladi [26, 90, 115, 119].

1.4. Tonnel qoplamalari hisoblash usullarining rivojlanish holati

So'ngi yillarda yer osti inshootlari mexanikasi masalalarini hal qilish usullarini rivojlantirishda tonnel qoplamalari approksimasiyalangan bikr jismlarning eng sodda sxemalariga ega bo'lgan masalalar ko'rib chiqilgan [34, 35, 40, 41, 42]. Bunda, tonnel qoplamalarini hisoblashga ikki xil asosiy yondashuv rivojlantirildi: birinchisida, prizmatik qobiq va sterjenli approksimasiya ko'rinishidagi qoplama konstruksiyalari bevosita tadqiqot ob'ekti bo'lib kelgan [27, 29, 32, 40, 43, 56, 58, 61, 65, 67, 115, 116], ikkinchisida, ikki muhit uchun qovushqoqlik yoki plastiklik nazariyasining kontaktli masalalari echilgan [30, 49, 50, 51, 63, 64, 71, 72, 136].

Shundan so'ng O. E. Bugaev, V.G. Xrapov, S.B. Xristov, N. N. Shaposhnikov singari tadqiqotchilar ilmiy ishlariga [47, 73, 145, 146, 148, 149;] asoslangan Metroproekt va Metrogiprotrans usullari paydo bo'ldi. Bunda qoplama sterjenli ko'pburchaklar tizimi bilan almashtirilib, tashqi yuklamalar va qovushqoq-elastik reaksiyalar esa ehtimoliy kontakt sharoitlari, massivning modellashtiruvchi xossalarni namyon etgan modelda jamlangan deb olingan [45, 130, 131, 134]. Tutash muhitlar mexanikasi usullarini qo'llagan holda yer osti inshootlarining hisoblash modellari yo'nalishi N. I. Bezuxov, A. V. Vovkushevskiy, K. V. Ruppeneyt, L. L. Starchevskaya kabi olimlarning mehnati tufayli rivoj topdi [39, 52, 53, 54, 55, 124, 125, 135]. Tutash muhitlar mexanikasi modellari qovushqoq-elastik asos gipotezasiga asoslangan sxemalarga nisbatan yer osti inshootlarining ishini nisbatan aniqroq aks ettirish imkonini beradi. Shunga bog'liq ravishda I. V. Rodin [123] aniq echim sifatida «qoplama - gruntlar massivi» tizimida sunyuiy inshoot o'tilishiga qadar mavjud bo'lgan "olinadigan kuchlanishlar" ta'siriga hisoblashni taklif qildi. Bunday modeldan foydalanish gruntlar massivining zo'riqqan tabiiy boshlang'ich holati bilan ifodalangan o'ziga xos xususiyatni hisobga oldi [125, 135].

Chuqur joylashgan tonnellar zilzilabardoshligi hisobi masalasini tadqiq etishga N. N. Fotieva [50, 142], N. S. Bulichev [49], Sh. I. Aytaliev, J. K. Masanov, I. B.

Baymaxanov [31] kabi tadqiqotchilar ishlari bag‘ishlangan. Ayniqsa T. R. Rashidov [121], G. X. Xojmetov [144], A. A. Ishanxodjaev [122], Ya. N. Mubarakov [112], X. Sagdiev [105], Sh. Yuldashev [152] kabi mahalliy olimlarning grunt bilan o‘zaro ta’sirlashuvchi yer osti inshootlarini hisoblashning dinamik usullarini rivojlantirishga oid ilmiy ishlari bu yo‘nalishda katta ahamiyatga ega bo‘ldi.

Hisoblash mashinalari asri rivojlanishi bilan tutash muhit va deformasiyalanuvchi qattiq jism mexanikasining eng taraqqiy etgan sonli usullaridan foydalanish bilan bog‘liq yo‘nalishlar paydo bo‘ldi [47, 73, 126, 145, 146, 148, 149]. Shunga bog‘liq ravishda konstruksiyalarni mustahkamlik va zilzilabardoshlikka hisoblashning muhandislik usullari va algoritmlarini yaratishda V. K. Kabulov [89], T. Buriev [48], K. Sh. Babamuratov [89], T. Sh. Shirinkulov [150], F. B. Badalov [36], K. S. Abdurashidov [26], A. Abdusattarov [25], T. Mavlonov [98], N. A. Krasin [96], T. Yuldashev [153], N. J. To‘ychiev [140], K. Salyamova [127], I. I. Safarov [128] va ko‘plab boshqa olimlarning ishlarini hisobga olish muhimdir.

Metrogiprotans usulining hisobiy modeli asosida sterjenlar nazariyasi yotadi, unda qoplamani o‘rab turgan muhit moslashuvchan elementlar kabi faraz qilinadi va imitatsiyalanib, tizim tugunlari Vinkler modeli orqali tugundagi kesimlar bilan bog‘lanadi [47, 73, 145, 146, 148, 149]. Grunt dan tushadigan tashqi yuklama sterjenli modelning asosiy (tugun) nuqtalariga qo‘yiladigan kuchlar ko‘rinishida taqdim etilgan statik vertikal va gorizontal tog‘ bosimining yig‘indisi sifatida shakllanadi [146, 148, 149]. Yangi konstruksiyalarga oid tadqiqotlar usullarini ishlab chiqish va ularni o‘tkazishda tonnellarni ko‘pburchakli sterjenli tizim sifatida qurilish mexanikasi asosida hisoblash inshootlar grunt bilan o‘zaro ta’sirlashuvining nisbatan mukammal, materiallar deformasiyalanishining noxiziqli xossalarini aks ettiradigan va turli-tuman tashqi ta’sirlarni hisobga oladigan modellaridan foydalanishni taqozo etadi [77, 86].

1.5. Asosiy muammolar va echimlar

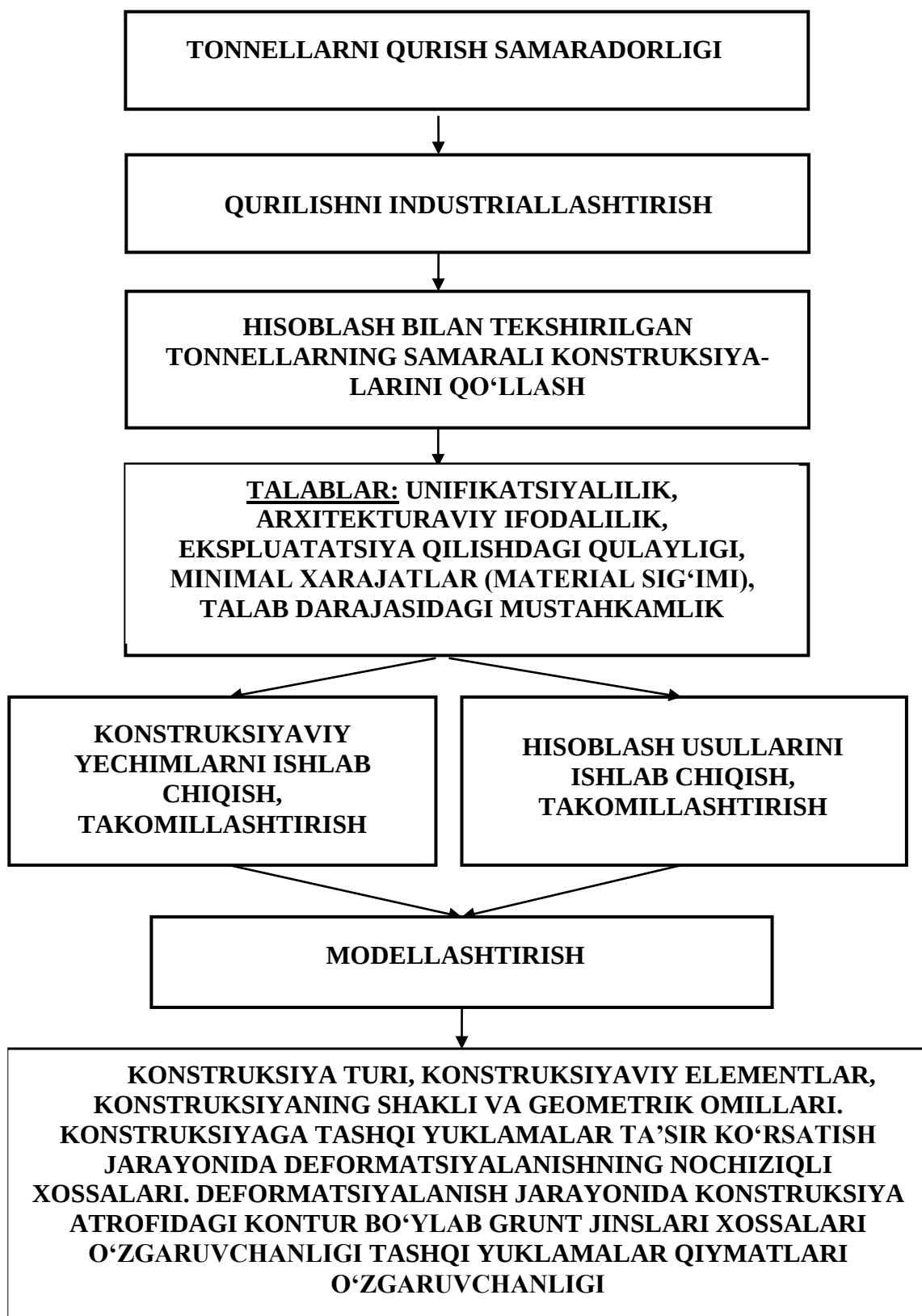
Yuqori darajadagi seysmik hududlarda tonnellarni qurishning bor tajribasi ishonchli va zilzilabardoshli konstruksiyalarni (grunt massivlarining ehtimoliy siljish va zilzilalar sharoitlarida yuk ko‘tarish imkoniyatini yo‘qotmay ishlaydigan) loyihalashda zarurligidan dalolat berib, zilzilabardoshli qurilishning umumiy talablari va tamoyillariga muvofiq ravishda metropoliten tonnellariga oid konstruksiyaviy echimlarini doimiy takomillashtirib borish jarayonini talab etadi [134, 159, 160, 161, 162].

Shu bilan birga, tunnel konstruksiyalariga yuk tushganida yuz beradigan qator fizik jarayonlarni anglab etish va har tomonlama tahlil qilish uchun zamonaviy hisoblash usullari asosidagi yer osti inshootlarini hisoblash usullari va uslubiyotlari talab etiladi hamda shunga bog‘liq ravishda hisob-kitoblar natijalarining

ishonchliligini nisbatan to'liq ta'minlash maqsadida sonli modellashtirish usullaridan foydalanish kerak bo'ladi [60, 71, 106, 107].

Yuqorida aytilganidek, grunt muhitidan tushadigan tashqi yuklama chierjenli modelning birikish nuqtalariga qo'yiladigan tugun kuchlari ko'rinishida taqdim etiladigan statik vertikal va gorizontal tog' bosimi yig'indisi tarzida shakllantiriladi. Bu kabi hisobiy sxema asosan taxminiy bo'lib, unda real tonnel konstruksiyalarining deformasiyalanish xossalari hisobga olinmaydi [60, 71, 106, 107]. Yangi konstruksiyalarga oid tadqiqotlar usullarini ishlab chiqish va ularni o'tkazishda tonnellarni ko'pburchakli sterjenli tizim sifatida qurilish mexanikasi asosida hisoblash inshootlar grunt bilan o'zaro ta'sirlashuvining nisbatan mukammal modellaridan foydalanishni taqozo etadi [77, 86]. Bundan tashqari, gruntlar massivida boshlang'ich zo'riqqan kuchlanish holati mavjud bo'lib, shu sababli «qoplama-grunt» tizimini gruntda sun'iy bo'shliq hosil bo'lishiga qadar mavjud bo'lgan "echiladigan kuchlanishlar" ta'siriga hisoblash talab etiladi [123]. Sonli imitasion modellashtirish ushbu tizimning shaxsiy elektron hisoblash mashinalarida (ShEHM) ishlay olish uchun dasturlangan umumiy logik-matematik va algoritmli taqdimotidan iborat bo'ladi [154, 155]. Jahon amaliyotida sonli imitasion modellashtirish usullarining amaliy ahamiyati alohida qayd etilgan [12, 154, 155, 156, 157, 134, 159, 160, 161, 162].

Taraqqiy etgan dasturiy modullar to'plamiga ega bo'lgan dasturiy ta'minot real ob'ektlarda emas, balki ularning dasturlar ko'rinishida ishlangan modellarida sonli-eksperimental tadqiqotlar o'tkazish orqali murakkab masalalarni hal qilish imkonini beradi. Biroq, bugungi kundagi mavjud «LIRA» dasturiy majmui tonnel konstruksiyalarining atrofidagi grunt massivi bilan birgalikdagi fizik mohiyatini to'liq hisobga olish va taqdim etishga qodir emas, chunki asosan er yuzasida joylashgan qurilish konstruksiyalarini hisoblash uchun mo'ljallangan [60, 138]. RK-2, Krep, Tigg2 turidagi ba'zi dasturlar bugungi kunda ishlatilmaydi, chunki ular eski avlod EHMLari (1960-1977 yy.) uchun mo'ljallangan bo'lishi bilan birga ishlatiladigan elementlar va nochiqli modellashtirish usullarini hisobga olish jihatidan jiddiy kamchiliklarga egadirlar [49, 58; 59, 126].



Turli ko‘rinish va konfiguratsiyaga ega bo‘lgan metropoliten tonnelli o‘z xususiyatlari va konstruksiyaviy jihatlariga ko‘ra yer usti inshootlaridan jiddiy farq qiladilar [60, 71, 106; s.24-31, 107]. Zamonaviy tunnelsozlikda yuzaga kelgan vaziyatni o‘rganish va tahlildan o‘tkazish muallifga u orqali transport tonnelli va metropoliten qurilishining samaradorligini oshirish muammosini hal qilish yo‘llaridan birini ko‘rsatish mumkin bo‘lgan metodologik sxemani keltirish imkonini beradi (1.8-rasm) [103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111].

I-bob bo‘yicha xulosalar

Seysmik faol hududlar uchun mo‘ljallangan tunnel konstruksiyalarini yaratishda qoplamalarining grunt muhiti bilan o‘zaro ta’sirlashuvini hisobga olgan holdagi deformasiyalanish jarayonida yuzaga keladigan holatlarni aniqlash bo‘yicha analitik va sonli hisoblash usullarini ishlab chiqishga qaratilgan ko‘p sonli tadqiqotlar o‘tkazilgan. Biroq, o‘tkazilgan tadqiqotlar davomida muayyan muammolar va masalalar o‘zining muhandislik amaliyoti talablariga javob beradigan echimini topmaganligini qayd etish mumkin.

Aniqlanishicha, mavjud muhandislik hisobiy usullarining cheklangan qo‘llanish sohasi, "qoplama - grunt massivi" tizimida yuzaga keladigan massiv va qoplamaning deformasiyalanishiga doir fizik jarayonlarni to‘liq hisobga olmaslik qabul qilinayotgan qarorlar sifatiga jiddiy ta’sir ko‘rsatadi.

Shunga bog‘liq holda transport tunnelsozligi samaradorligini oshirish maqsadida tunnel qoplamalarining konstruksiyaviy echimlarini yanada takomillashtirishga qaratilgan tadqiqotlarni kengaytirib borish kerakligini ko‘rsatiladi. Bunda turli yuklamalar va ta’sirlarda grunt massivi bilan o‘zaro ta’sirlashuvini hisobga olgan holda konstruksiyalarning haqiqiy ishlash sharoitlarini bayon etish uchun matematik modellarni ishlab chiqish va ana shu sharoitlarni aniqlash tadqiqotning muhim jihatlaridan biri bo‘lib hisoblanadi.

II-BOB. METROPOLITEN TONNELLARI QOPLAMALARINING YANGI KONSTRUKSIYAVIY ECHIMLARI

2.1. Zilzilabardosh qoplamalarni loyihalash masalalari

Tonnel qoplamalarini loyihalashda zilzilabardoshli qurilishga oid talablar va tamoyillarga rioya qilinishi shart [69, 88, 119, 122]:

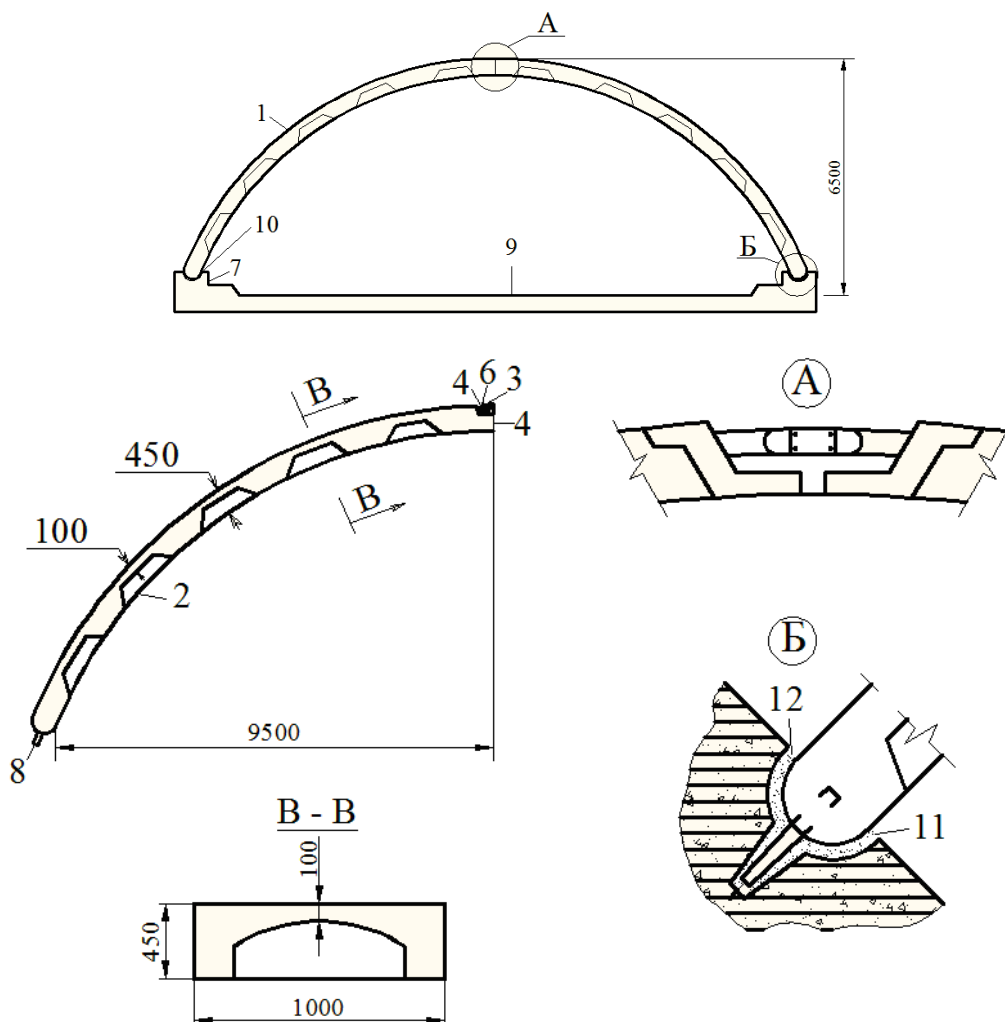
- seysmik kuchlar ta'sirining bir tekis taqsimlanish tamoyili;
- amal qilayotgan inersion seysmik kuchlar qiymatini kichraytirish tamoyili;
- turli konfiguratsiyali tonnellar bo'ylab deformatsiyalarni kamaytirish tamoyili;
- turli konfiguratsiyali tonnellar ko'ndalang kesim yuzasida bikrligni oshirish tamoyili.

Quyidagi ilmiy ishlarda [69,190] keltirilgan tadqiqotlarga muvofiq, seysmik jihatdan xavfli hududlarda yig'ma temirbeton elementlardan quriladigan konstruksiya qoplamalari uchun yuqorida aytib o'tilgan seysmik bardoshli qurilish tamoyillariga amal qilinganida, umuman, ular ishonchliligiga erishiladi. Sayoz joylashgan tunnel inshootlari uchun monolitlangan ulanmali yig'ma konstruksiyalar optimal bo'lib hisoblanadi [69,114,190]. Birinchi navbatda, konstruksiyalar bikrligi parametrlarining bir tekis taqsimlanish tamoyiliga rioya qilinishi shart, ya'ni qoplamada ulanayotgan elementlarning tugun va uloqlari mustahkamligi eguvchi momentlar, bo'ylama, ko'ndalang siquvchi va cho'zuvchi ta'sirlarning uzatilishini ta'minlab berishi kerak [41,187,188]. Inshoot zilzilabardoshligini oshirish maqsadida tonnelli uchastkaning nomaqbul uchastkalarida konstruksiyaviy chora-tadbirlarni – tunnel qoplamalarini bo'ylama va ko'ndalang armaturalash (simli to'r bilan kuchaytirish) amalga oshirish tavsiya etiladi [84]. Seysmik yuklamalarda gruntning kutilayotgan katta amplitudali tebranishlari va qoplamalarning tunnelning loyiha bo'yicha o'qiga nisbatan siljishlarini hisobga olib qoplamalar gabaritlarini kattalashtirish maqsadga muvofiq [139]. Zilzila paytida shikastlanishlar va vayronagarchilikning oldini olish maqsadida gruntga nisbatan siljishini hisobga olgan holda alohida konstruksiyalarni oldindan hisoblab chiqish tavsiya etiladi [64, 69, 122].

Muallif qator yillar davomida Toshkent davlat transport universitetining «Avtomobil yo'llaridagi sun'iy inshootlar» kafedrasida «Tonnellarni loyihalash va qurish» fanidan dars berish bilan birga metropoliten tonnellarining mavjud konstruksiyalarini bevosita takomillashtirish bilan shug'ullangan. Qayd etish lozimki, muhandislik amaliyotida variantli loyihalash qo'llanib, bunda konstruksiyasi turini oldindan tanlash ishning birinchi bosqichi bo'lib hisoblanadi. Shunga bog'liq ravishda, yuqorida keltirilgan tamoyil va talablarni hisobga olgan holda, "Tashmetroloyiha" instituti bilan hamkorlik qila turib, muhandislik-rasionalizatorlik yondashuvini qo'llash bilan stansiya va yurish tonnellari, ularning tugunlari va elementlarining mavjud konstruksiyaviy echimlarini takomillashtirish va yangilarini olish imkoni yuzaga keldi.

2.2. Bir gumbazli metropoliten stansiyasi

Metropoliten stansiyaning bir gumbazli konstruksiyasi (15.06.93 dagi №77 O‘zR patenti [79]) yirik o‘lchamli hajmiy elementlardan tashkil topgan. Metropoliten stansiyasi lotok va gumbazining yig‘ma temirbeton elementlardan tayyorlangan bir gumbazli konstruksiyasi ma‘lum [139]. Bu kabi konstruksiyali stansiyalarning kamchiligi ularni seysmik hududlarda qurishga mo‘ljallanmaganligi bilan bog‘liq bo‘ladi, chunki u seysmik ta‘sirga qarshi moslamalarsiz loyihalashtirilgan. Unga eng yaqin texnik echim bir gumbaz turidagi metropoliten stansiyasi bo‘lib, ushbu gumbaz seksiyalari o‘rnatilgan lotokni ham o‘z ichiga oladi [122]. Ushbu ma‘lum echimning kamchiligi – yarim gumbazlarni lotok bilan sharnirli birlashtirish tugunlarini jihozlash hisobiga stansiyaning seysmik yuklamalar ta‘sirida etarli ishonchli emasligi va o‘ta ko‘p material sarfini talab qilishi bilan bog‘liq. Ixtironing vazifasi stansiya zilzilabardoshligini oshirish va materiallar sarfini kamaytirishdan iborat.



2.1-Rasm. Bir gumbaz turdagi stansiya

Qo‘yilgan masala lotok yarim gumbazlarning tayanish joylarida ariqchali hamda ular tubida joylashtirilgan “inlar” bilan bajarilishi orqali hal qilinadi va bunda yarim gumbazlarning o‘yiqlari va quyi qirralari yarim silindr shakliga ega bo‘lib, yarim gumbazlar esa quyi qirralarida armatura chiqishlari bilan sement-qum aralashmasi

asosida qobirg‘asimon qilib o‘rnatiladi, hamda ana shu chiqishlarni lotoklar o‘yiq “inlari” ichiga sharnirli tarzda kiritish bilan o‘rnatilgan.

2.1-rasmda bir gumbazli turdagi zilzilabardoshli metropoliten stansiyasi tasvirlangan. U ikkita qobirg‘asimon yarim gumbazlardan 2 tashkil topgan gumbaz 1 ni tarkibiga olgan bo‘lib, yarim gumbazlar o‘zaro ust bog‘lanish qismiga 3 yuqori qirralari 4 bilan armaturali chiqishlar 5 vositasida qo‘zg‘almas qilib birlashtirilib, beton 6 bilan monolitlangan.

Yarim gumbazlar 3 ning quyi chekkalari 7 yarim silindr shakliga va armaturali chiqishlarga 8 ega. Lotoklar 9 yarim silindr shaklidagi o‘yiqlari 10 bo‘lgan, tubida “in”lar 11 hosil qilingan yarim armaturali chiqishlarning 2 tayanish joylarida bajarilgan.

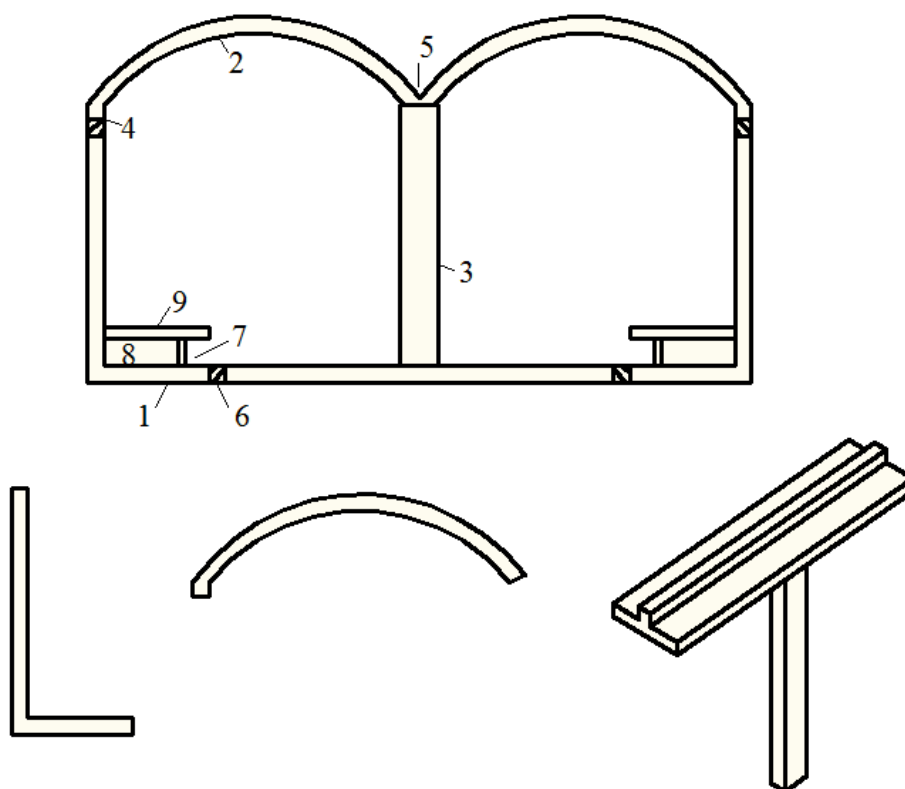
Yarim gumbazlar 2 lotok 9 bilan sharnirli qilib birlashtirilgan va 7 lotok 9 o‘yiqlarida 10 sement-qumli qorishmada 12, armaturali chiqishlar 8 lotok 9 “in”lariga 2 o‘rnatilgan.

Ushbu rasmdan A. A. Ishanxodjaev va Sh. I. Shanazarov tomonidan ishlab chiqilgan stansiyaning taniqli konstruksiyasi [122] yarim gumbazlarni o‘zaro va umuman lotok bilan birlashtiruvchi mahkamlash tugunlari qabul qilinganligi bilan takomillashtirilganligi ko‘rinib turibdi. Bunda konstruksiyalar vaznini engillashtirish maqsadida yarim gumbazlar qobirg‘a kesimli qilib bajarilgan.

2.3. Ikki gumbazli metropoliten stansiyasi

Ikki gumbazi turdagi metropoliten stansiyasi yirik o‘lchamli hajmiy elementlardan iborat (O‘zR ning 21.07.95 dagi № 3838 dastlabki patenti [83]). Ixtiro yer osti qurilishi sohasiga oid bo‘lib, seysmik darajasi yuqori bo‘lgan hududlarda metropolitenni ochiq usulda qurishda ishlatilishi mumkin. Taklif etilayotgan texnik echimga ustunlar yordamida ajratilgan ikki tonnelga ega bo‘lgan, ulardan hir biri gumbazli orayopmaga va monolit betondan ishlangan devor-lotokli qismiga ega bo‘lgan stansiya konstruksiyasi eng yaqin bo‘lib hisoblanadi [139].

Biroq ushbu konstruksiya stansiyaning seysmik hududlarda tiklashda etarli darajada ishonchli emas va ko‘p mehnat talab qiladi. Ixtironing vazifasi zilzilabardoshlik darajasi yuqori bo‘lgan metropoliten stansiyasi konstruksiyasini ishlab chiqishdan iborat bo‘lib, bu uni qurishda mehnat sarfini kamaytirish imkonini beradi.



2.2-Rasm. Ikki gumbazli stansiya

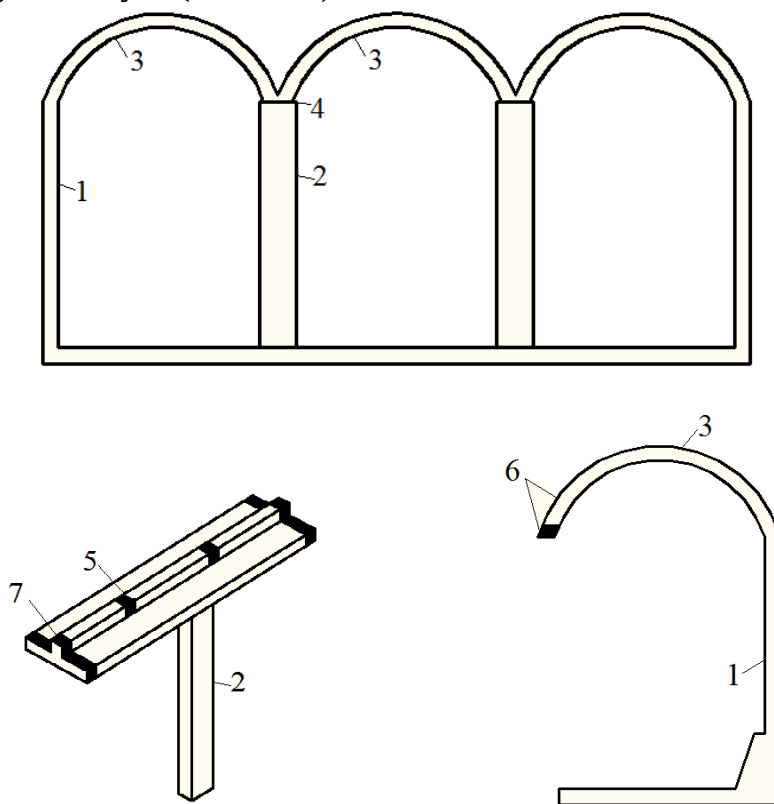
Qo'yilgan masala ustunlar yordamida ajratilgan zilzilabardoshli, ikkita tonneli mavjud, ulardan har biri gumbazli orayopmasi va devor-lotok qismiga ega bo'lgan metropoliten stansiyasidan iborat, shunda gumbazli orayopma va devor-lotok qismi alohida temirbeton elementlardan ishlangan hamda o'zaro ustunlar bilan seysmik chok vositasida birlashtirilib, bunda devor-lotokli element L-simon kesim ko'rinishida yasalishi orqali hal qilinadi. Stansiya yig'ma elementlardan bajarilib, ularni o'zaro seysmik choklar yordamida birlashtirish zilzilabardoshlikni oshirish va stansiyaning tiklashdagi mehnat sarfini kamaytirish imkonini beradi. 2.2-rasmda tasvirlangan stansiya konstruksiyasi ko'ndalang kesimi bo'yicha izohlanadi, ya'ni stansiya devor-lotokli elementlar 1, hamda L-simon kesimli qilib ishlangan gumbazli orayopma 2 ga ega bo'lib, ular ustun 3 bilan ajratilgan ikkita tonnel hosil qiladilar. Elementlar temirbetondan bajarilgan bo'lib, o'zaro seysmik choklar 4, 5, 6 vositasida birlashtirilgan. Devor-lotokli element 1 chiqishlar 7 va 8 bilan jihozlangan bo'lib, ularga osonlik bilan platforma plitalari 9 o'rnatiladi. Stansiyaning qurishda alohida elementlar 1, 2 va 3 tayyorlangan tonnel yoki xandaqqa o'rnatiladi va o'zaro seysmik choklar vositasida birlashtiriladi. Seysmik choklar turli statik va dinamik ta'sirlarda yuklamaning taqsimlanishini ta'minlab, shu tufayli stansiyaning zilzilabardoshlilik darajasini orttiradi. Yig'ma elementlardan foydalanish stansiyaning qurish muddatlarini va material sarfini ancha qisqartiradi. Bunday stansiya ham yonlama, ham orolcha tarzidagi platformalar bilan ishlatilishi mumkin.

2.4. Ustunli metropoliten stansiyasi

Ustunli turdagi uch gumbazli zilzilabardoshli stansiya hajmiy temirbeton elementlardan iborat (O‘zR ning 19.09.95 y. dagi №3248 dastlabki patenti [80]). Ixtiro yer osti qurilishi sohasiga oid bo‘lib, seysmik darajasi yuqori bo‘lgan hududlarda metropoliten qurilishida qo‘llanishi mumkin. Taklif etilayotgan texnik echimga eng yaqin bo‘lib ustunli turdagi zilzilabardoshli metropoliten stansiyasi hisoblanadi [122].

Ushbu stanqiyaning kamchiliklari sifatida qurilishning katta moddiy xarajatliligini va elementlarni birlashtirish ko‘p mehnat talab qilishini ko‘rsatish mumkin. Ixtiro vazifasi – zilzilabardoshlik darajasi yuqori bo‘lgan metropoliten stansiyasini yaratish, stansiyanı tiklashga ketadigan moddiy va mehnat xarajatlarini kamaytirishdan iborat. Qo‘yilgan masala o‘rta va yon tonnellariga ega bo‘lgan, yuqori uchlari o‘zaro rigellarda T-simon element bilan qo‘zg‘almas tarzda birlashtirilgan, yon tonnellar gumbazli orayopmali qilib bajarilgan yig‘ma temirbeton elementlardan ishlangan ustunli turdagi metropoliten stansiyasida gumbazli orayopma uch qismlarida va rigelda qo‘yilma detallar o‘rnatilishi bilan hal qilinadi. Qo‘yilma detallar mavjudligi elementlarni yig‘ish ishini ancha soddalashtiradi.

Gumbazli orayopma tashqi ta’sir yuklamasining gorizontaal elementlardan vertikal elementlarga qayta taqsimlanishiga ko‘maklashib, bu elementlarni kuchaytirishga ketadigan moddiy xarajatlar kamayishiga olib kelib, zilzilabardoshlik imkoniyatlarini yaxshilaydi (2.3-rasm).



2.3-Rasm. Ustun turidagi uch gumbazli va yassi lotokli stansiya

Stansiya o'rta (markaziy) tunnelga hamda ikkita yon 1 tunnelga ega bo'lib, ular orasiga T-simon elementlar 2 ko'rinishidagi ustunar o'rnatilgan, tonnellar qubbali (gumbazli) orayopmaga 3 ega. Rigel 4 va gumbazli orayopma qirralarida qo'yilma detallar, mos ravishda 5 va 6 o'rnatilgan bo'lib, ular vositasida gumbazli orayopma rigel va T-simon element bilan birlashtiriladi. Stansiya o'qi yo'nalishida rigellar o'zaro qo'yilma detallar 7 yordamida biriktirilgan. Stansiya ochiq usulda quriladi. Stansiya qoplamasida alohida temirbeton elementlar o'zaro birlashtirilib, bu bilan stansiya oraliq'ini hosil qiladilar, hamda qo'yilma detallarni 5, 6, 7 payvandlash orqali ulanadilar. Bu kabi biriktirish kamroq mehnat talab qilib, buning hisobiga mehnat unumdorligi ham ortadi. Gruntidan tushadigan yuklama gumbazli orayopmadan foydalanish hisobiga bir tekis taqsimlanib, bu esa stansiyaning zilzilabardoshlik darajasini oshiradi. Bundan tashqari, gumbazli orayopma stansiyalarning me'moriy bezalishiga xilma-xillilik baxsh etish imkonini beradi.

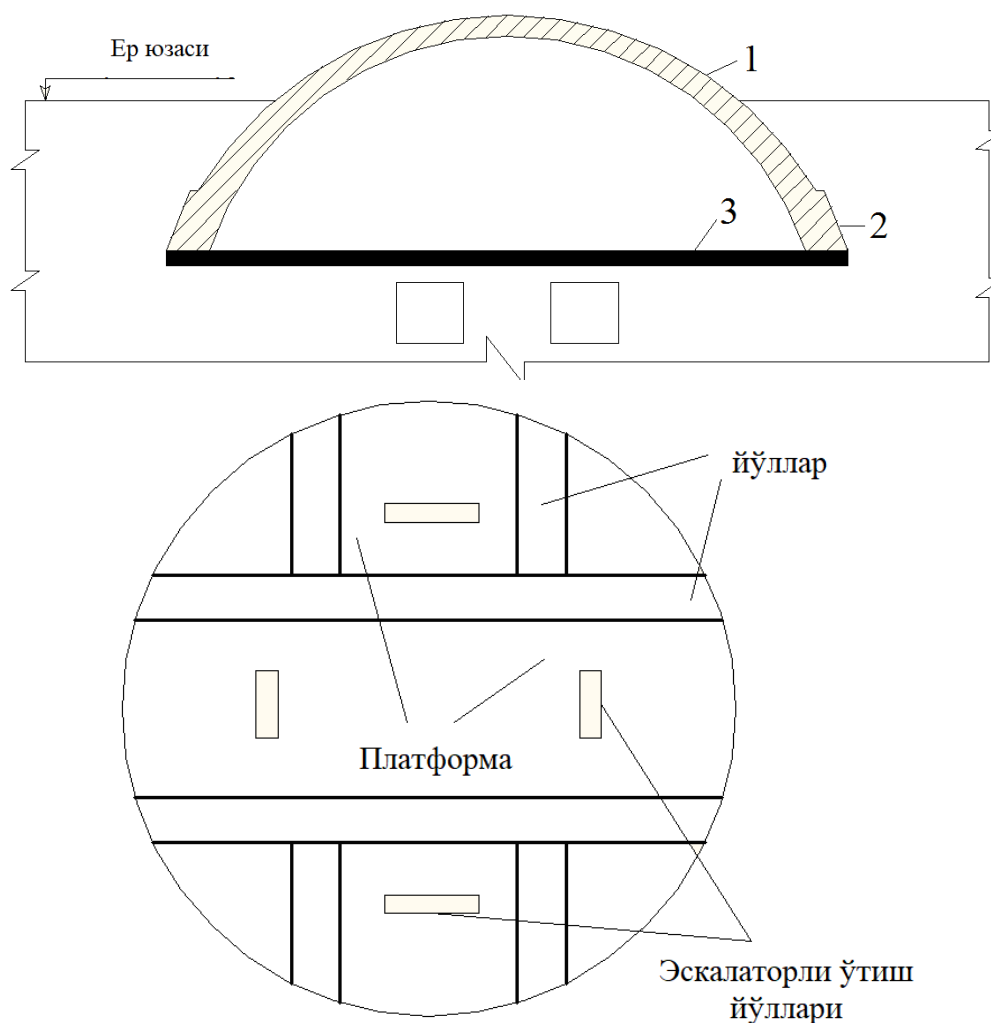
2.5. Yurish tonnellari kesishuv tugunlaridagi metropoliten stansiyasi

Ixtiro yer osti qurilishi sohasiga oid bo'lib, seysmik darajasi yuqori hududlarda ochiq usuldagi metropoliten qurilishida qo'llanilishi mumkin (O'zR ning 24.02.97y. dagi № 4386 dastlabki patenti [81]). Texnik mohiyatiga ko'ra taklif etilayotgan echimga yurish tonnellarining kesishish tugunidagi, ramali konstruksiyasi ko'rinishidagi gumbazga, turli darajalarda joylashtirilgan platformalar va yo'llarga ega bo'lgan birlashtirilgan stansiya eng yaqin bo'lib hisoblanadi [139]. Ushbu inshootning kamchilik jihatlari – katta moddiy xarajatlar va qurilish muddatlarining cho'zilib ketishi bilan bog'liq.

Shu jumladan, mazkur stansiya etarli darajada seysmik bardoshlilikka ega emasligi va katta moddiy xarajatlari bilan tavsiflanadi. Ixtiro vazifasi yuqori darajadagi va tejamkorlikka ega bo'lgan stansiya konstruksiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Qo'yilgan masala zilzilabardoshli stansiyada metropolitenlarining gumbazli konstruksiya, platformalar va turli darajada joylashgan temir yo'llariga ega bo'lgan kesishuv tugunida, yupqa devorli gumbaz-qobiq ko'rinishida, bir yo'nalishning platforma va yo'llari esa boshqa yo'nalish platforma va yo'llariga nisbatan perpendikulyar joylashganligi, bunda yo'llarning kesishuv joyi stansiya markazidan o'tganligi bilan hal qilinadi.

Stansiya ustining gumbaz sifatida bajarilishi inshoot va butun stansiyaning seysmik turg'unligini oshiradi. Gumbazning bo'shliqdagi yupqa devorli konstruksiyasi va yo'llarning stansiya markazida joylashgan kesishuv nuqtalari qurilishda tejamkorlik darajasini oshiradi (2.4-rasm).

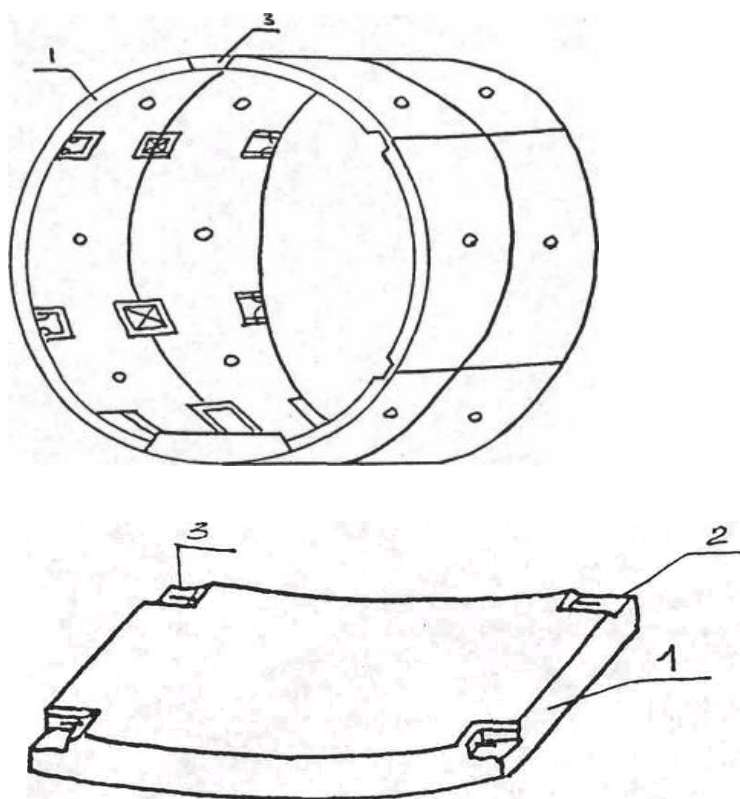


2.4-Rasm. Yurish tonnellari kesishish tugunlaridagi stansiya

Stansiya kuchaytirilgan taglikli 2 yupqa devorli gumbaz 1, platforma va bir yoʻnalishdagi izga, hamda platforma va avvalgi yoʻnalish bilan stansiya markazida kesishgan boshqa temir yoʻl izlariga 3 ega. Gumbaz balandligining 1/2-1/3 qismi er yuzasiga chiqib turadi. Stansiyaning konstruksiyaviy echimini shu tarzda, kesishuv chizigʻida bajarish tejamkor echim boʻlib, stansiya arxitekturasini har xil qilish, uning ichki maydonidan xalq xoʻjalik obʻektlarini joylashtirish imkonini beradi. Metropoliten stansiyasini yurish tonnellarining kesishuv tugunlarida loyihalash, shuningdek chuqur joylashgan metropoliten tonnellarini qurishda ham foydalanish mumkin.

2.6. Yigʻma elementli yurish tonnellarining aylana qoplamasi

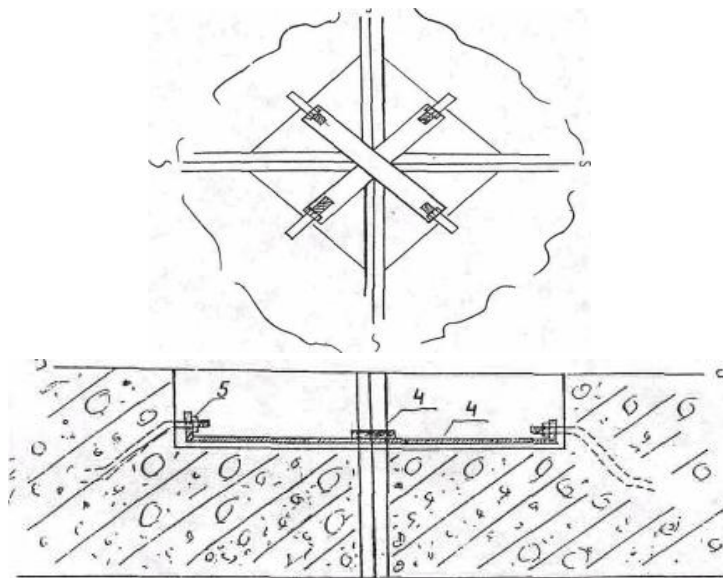
Ixtiro, qurilish, asosan tunnelsozlik sohasiga, aniqrogʻi aylana metropoliten tunnel qoplamalari konstruksiyalariga oiddir (OʻzR ning 24.02.97 y. dagi № 4387 dastlabki patenti [82]). Taklif etilayotgan echimning texnik mohiyatiga koʻra oʻzaro boltlar bilan kesishma sxema boʻyicha, blok burchaklarida oʻyiqlar asosiga kiritib yasalgan plankalar va xivichlar (shtirlar) bilan birlashtirilgan, tyubing bloklaridan ishlangan aylana qoplama eng yaqin boʻlib hisoblanadi [122].



2.5-Rasm. Yig‘ma temirbeton qoplama

Qoplamaning kamchiligi – o‘yqlarni tayyorlash bilan bog‘liq noaniqliklar va shtirlarning ular asosida (tubida) joylashtirilishi tufayli montaj qilish murakkabligi va ko‘p mehnat talab qilishidir. Ixtiro vazifasi montaj qilish paytida mehnat sarfi kamayishini ta‘minlaydigan qoplama konstruksiyasini ishlab chiqishdan iborat. Qo‘yilgan masala yig‘ma temirbeton elementlardan ishlangan, tarkibida tyubingli bloklarga ega bo‘lgan, kesishma sxema bo‘yicha boltlar bilan ulanib, blok burchaklarida o‘rnatilgan o‘yqlarda joylashtirilgan shtirlarga o‘rnatilgan plankalar yordamida qotirilgan zilzilabardoshli aylana qoplama o‘yqlar qirrasida joylashtirilishi, plankalar esa P-simon shaklli qilib ishlanganligi bilan hal qilinadi.

Shtirlarni o‘yqlar qirrasida joylashtirish va bloklarni P-simon plankalar yordamida birlashtirish qoplamani tezroq va kamroq mehnat sarfi bilan montaj qilish imkonini beradi. Ixtiroga 2.5-rasmdagi chizma bilan izoh berilib, bunda qoplama konstruksiyasi va o‘yqlari bo‘lgan alohida blok tasvirlangan. 2.6-rasmda bloklarning ulanish joyi, reja va kesimda ko‘rsatilgan. Qoplama tyubingli bloklarga 1 ega bo‘lib, blok burchaklarida o‘yqlar 2 ishlangan va o‘yqlar 2 qirralarida shtirlar 3 joylashtirilgan. Qoplamani yig‘ish (montaj qilish) paytida alohida bloklar o‘zaro qo‘shilib, shtirlarga 3 P-simon shaklli plankalar 4 o‘rnatiladi va ular boltlar 5 bilan birlashtiriladi va monolitlanadi. Bloklar kesishmali sxema asosida birlashtiriladi. Natijada tunnel qoplamasining seysmik hududlarda ishonchli ishlashini ta‘minlaydigan birikma hosil bo‘ladi.



2.6-Rasm. Yig'ma temirbeton qoplama tugunining konstruksiyasi

II-bob bo'yicha xulosalar

Mongrafiyaning mazkur bobida tunnel inshootlari qoplamalarini yaratish va loyihalash bo'yicha asosiy talablarga e'tibor qaratiladi:

- seysmik kuchlar ta'sirini bir tekis taqsimlash tamoyili;
- ta'sir qiladigan inersion seysmik kuchlar qiymatini kamaytirish tamoyili;
- turli konfiguratsiyali tonnellar bo'ylab deformasiyalanishni kamaytirish tamoyili;
- turli konfiguratsiyali tonnellar ko'ndalang kesimi sathida bikrlilikni oshirish tamoyili.

Muhandislik amaliyotida yer osti inshootlari konstruksiyalarini variantli loyihalash usuli qo'llanib, bunda ishning birinchi bosqichi qoplama turini tanlashdan iborat bo'ladi. Shunga bog'liq tarzda, yuqorida aytib o'tilgan tamoyillar va talablarni hisobga olib, "Toshmetroloyiha" instituti bilan birga ishlagan holda, muallif tomonidan metropoliten stansiyalari va yurish tonnellari, ularning konstruksiyaviy tugunlari va elementlari echimlarini takomillashtirish va yangicha echimlarini olish bilan bog'liq muhandislik rasionalizatorlik yondashuvi taqdim etilgan.

Yuqorida ko'rsatilgan fikrlardan kelib chiqib, metropoliten tonnellari qoplamalari tugun va elementlarining quyidagi konstruksiyaviy echimlari takomillashtirildi va ishlab chiqildi:

- bir gumbazli metropoliten stansiyasi;
- ikki gumbazli metropoliten stansiyasi;
- ustunli metropoliten stansiyasi;
- yurish tonnellari kesishuv tugunlaridagi metropoliten stansiyasi;
- yig'ma elementli yurish tonnellari aylana qoplamasi.

III-BOB. TONNEL INSHOOTLARI VA KONSTRUKSIYALARINI HISOBLASH USULLARI

3.1. Tonnellarni hisoblashga doir umumiy masalalar

Ilmiy jihatdan asoslangan uslubiyotni ishlab chiqish, tunnel qoplamasining bundan keyingi hisobi, hisob-kitoblar asosida konstruksiyaga zarur tuzatishlar kiritish va ana shu operatsiyalarni takrorlash zarur samaradir – ya'ni materiallarni oqilona sarflab, ulardan eng maqbul tarzda foydalanish bilan qoplamaning mustahkamligi, turg'unligi va ishonchliligiga erishish imkonini beradi. Biz tomonimizdan ishlab chiqilgan metropoliten tonnellarini hisoblash usullari [78, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113] mazkur bobda quyidagi xususiyatlardan iborat bo'lib, ular mavjud usulblardan ushbu jihatlari bilan farq qiladilar:

Tunnel qoplamalarining sterjenli model bo'yicha grunt bilan o'zaro ta'sirlashishni hisobga olgan hisoblash usuli quyidagilar uchun takomillashtirilgan:

ixtiyoriy berilgan ta'sir turiga ixtiyoriy ko'rinishdagi konstruksiyalar uchun;

turli chuqurliklarda joylashgan monolit va yig'ma konstruksiyalar uchun;

ixtiyoriy ko'rinishdagi konstruksiyalar, shu jumladan qoplama elementlarining geometrik va fizik parametrlari o'zgarishini hisobga olgan holda monolit va yig'ma konstruksiyalar uchun;

"qoplama – gruntlar massivi" tizimida ro'y berayotgan turli jarayonlar oqibatida kelib chiqadigan grunt jinslari massivining qo'zg'alish va deformatsiyalarini hisobga olish;

tunnel qoplamalarining konstruksiyaviy elementlari va atrofdagi grunt muhiti uchun kuchlangan va deformatsiyalangan holatlarni tahlil qilishning sonlili usullari ishlab chiqildi.

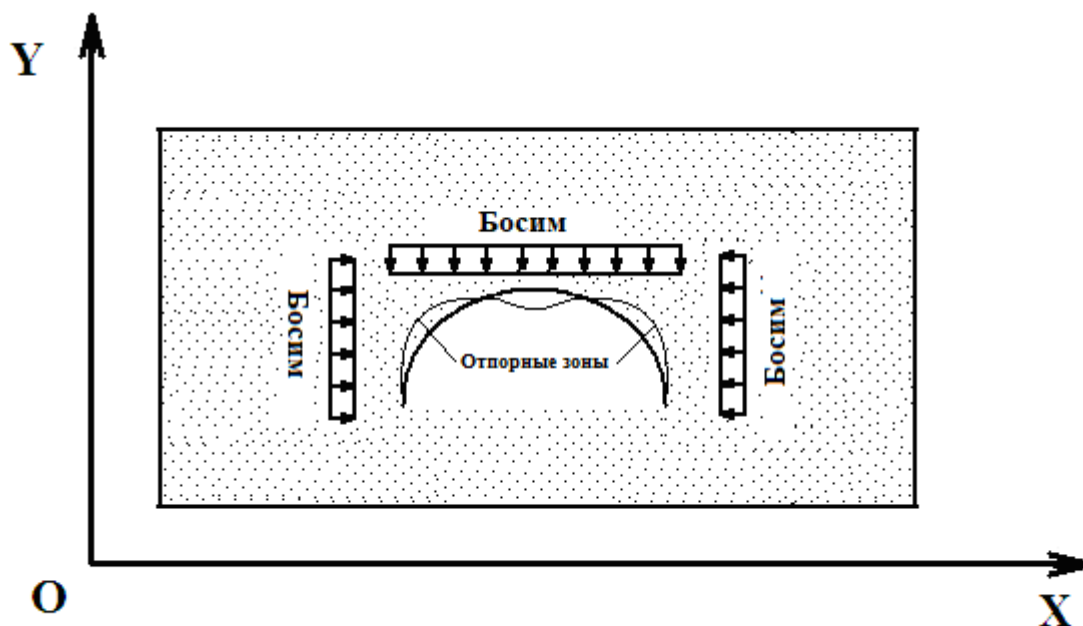
Gruntlar massividagi kuchlanishlar maydonida tunnel ishlanmasidan o'tilishini modellashtirgan yangicha uslubiyoti va algoritm ishlab chiqildi;

Tunnel qoplamalarining dinamik va seysmik hisobini amalga oshirish uchun tonnellar konstruksiyalari materiallarining nasllanish-deformasiyalanish xossalari hisobga olishda sonli tahlil qilishning yangicha usuli ishlab chiqildi. Prof. F. B. Badalov tomonidan taklif qilingan integral va integro-differensial tenglamalarning zaif-singulyar xususiyatlarini istisno etish usuli bilan birga Vilsonning θ -usuli asosidagi masalaning diskret modellarini bayon etadigan, oddiy zaif-sinudyar differensial tenglamalar tizimini hal qilishning hisoblash algoritmi ishlab chiqildi.

3.2. Sterjenli tunnel tizimini statik va kvazistatik ta'sirlarga hisoblash usuli

Ushbu usullarni ishlab chiqishda vyidagi ilmiy ishlarda biz keltirib o'tgan natijalardan kelib chiqamiz [78, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113]. Tunnel atrofidagi gruntlar massivi bilan birga ishlaydigan qoplamani ko'rib chiqamiz

(3.1-rasm). Bu holda ana shu konstruksiya statik jihatdan ko‘p marotaba aniqlikka ega bo‘lmagan tizim bo‘lib hisoblanadi.



3.1-Rasm. Tunnel qoplamasining deformasiyalanishi

Tashqi yuklamalarning faol ta'sirida, grunt itarishi xossasi oqibatida, bunday qoplama deformasiyalanadi va o'zining dastlabki holatini o'zgartiradi [51, 139] (3.1-rasm). Tunnel konstruksiyasining deformasiyalanishini ko'rib chiqish va tahlil qilishda gruntga tegib turgan ayrim nuqtalarning grunt tomonga va aksincha teskari yo'nalishda siljishlari kuzatiladi [51].

Bundan kelib chiqib, itarma bor va itarma yo'q uchastkalarni (konturning bir qismi bo'lib, unda qoplama siljishlari tunnel konturidan ichki tarafga yuz beradi) ajratib olish mumkin bo'ladi. Itarmasiz uchastkada qoplamada kattagina eguvchi momentlar va ichki ta'sir qiluvchi kuchlar yuzaga kelib qoladi, chunki u ichki tarafidan qarshilikka ega emas [51, 139]. Tunnel qoplamasi gruntli jins tomoniga siljib boradigan itarish uchastkasida, grunt tarafidan kuchli qarshilikka duch keladi va reqktiv zo'riqish qoplama konstruksiyasi deformasiyalanishini cheklashga majbur qilib, buning natijasida uning kesimlarida shuningdek kattagina eguvchi momentlar va ichki ta'sir qiluvchi kuchlar paydo bo'ladi [139]. Shunday qilib, tunnel qoplamasini hisoblashda uning atrofini o'rab turgan grunt muhiti bilan ta'sirlashib ishlashini ham hisobga olinishi lozim [56, 63, 74, 95, 139]. Ana shu joylarda (nuqtalarda) gruntga tegish oqibatida qoplama va gruntning o'zaro ta'sirlashish kuchlari yuzaga keladilar. Shunga bog'liq holda qoplama kesimlaridagi ichki ta'sir kuchlarini ehtimoliy aniqlashda normal zo'riqishlar va tunnel ishlanmasi ichki yuzasidagi siljishlar orasidagi bog'liqliklarni aniqlab olish muhim vazifalardan biridir [51, 139]. Umumiy holda, bundan tashqari, itarma zonasida urinma (ishqalanish) kuchlari ham yuzaga keladilar [126, 139]. Yuzaga kelayotgan urinma kuchlar va

ishqalanish zo'riqlishlari qoplama konturining tashqi devorlari bo'ylab tunnel qoplamasiga uzatiladi.

Bunda tunnel qoplamasiga ta'sir ko'rsatadigan gruntning tashqi bosimlari qiymatlarini aniqlash uchun tunnel ustidagi gumbazga tushadigan bosim gipotezasining (izdan chiqqan zona hosil bo'lishi) asosiy qoidalar va bog'liqliklaridan foydalanamiz [51, 139] (3.2-rasm), bunda:

$$P^B = \gamma \frac{B}{2\bar{f}} - \text{taqsimlangan vertikal bosim qiymati,}$$

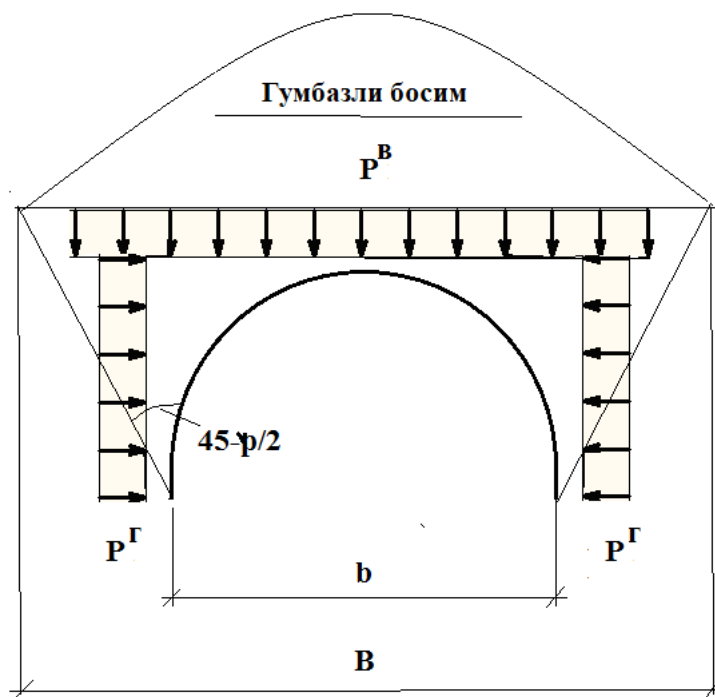
$$P^r = (P^B + \gamma \frac{h}{2}) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - \text{taqsimlangan gorizontaal bosim qiymati,}$$

$$B = b + 2htg(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - \text{tunnel ustidagi buzilgan grunt hududi (masofasi)}$$

qiymati. Bu erda $\gamma, \bar{f}, \varphi$ - grunt solishtirma og'irligi, bikrlilik koeffitsienti va uning ichki ishqalanish burchagi, h, b – qoplama yoki suniy bo'shliq (tunnel atrofida) balandligi va masofasi, h_1 - gumbazga tushadigan bosim qiymati [41]. Sayoz joylashgan va ochiq usulda tiklanadigan metropoliten tonnellari uchun, grunt bosimi qiymatlari qoplama ustida joylashgan gruntlar og'irligini hisobga olgan holda aniqlanadi [51, 139]:

$$P^B = \sum_{i=1}^n \gamma h_i, \quad P^r = P^B \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

h_i qoplama ustidagi grunt i -qatlamining balandligi.



3.2-Rasm. Grunt bosimi qiymatini aniqlash uchun keltirilgan sxema

Tonnel qoplamalarining konstruksiyalarini hisoblashda tashqi ta'sirlarning eng maqbul birikmalarini hisobga olamiz. Bunga o'ziga xos (alohida) birikmalar ham kiritiladi [93, 139]. Seysmik yuklamani alohida birikmalar tarkibiga oid deb hisoblaymiz (asosiy birikmaning doimiy va vaqtinchalik yuklamalarini hisobga olgan holda) [139]. Ana shunda [69] lar asosida, seysmik yuklamalar ular ko'rsatadigan kvazistatik ta'sirni hisobga olgan holda hisoblab topiladi. Seysmik yuklamani [51, 139] uzunligi katta seysmik to'liqlar o'lchamlari, tonnellar ko'ndalang kesimidan ancha katta deb hisoblansa, bu holda qoplamalarning seysmik ta'sirlarga hisoblash vazifasini, tabiiyki, ularning ikki turi – bo'ylama va ko'ndalang seysmik to'liqlar ta'siriga hisoblashga, ya'ni kvazistatik masalalarni echishga keltirish mumkin bo'ladi [49, 69, 122].

Bu holda tunnel qoplamasining statik yuklanish sxemasidan foydalanib (3.2-rasm), kvazistatik seysmik kuchlardan tushadigan tashqi kuchlarni hisoblaymiz va tashqi yuklamalar tarkibiga tog'-grunt bosimidan tushadigan kuchlarni ham qo'shamiz [50]. Keltirilgan tegishli hujjatlarni [49, 69, 122] ko'rib chiqish asosida yer osti konstruksiya va inshootlariga ko'rsatadigan alohida ta'siriga ko'ra quyidagi bog'liqliklarni taklif etishimiz mumkin:

A. Qoplama elementlari massasidan tushadigan seysmik inersion yuklamalar elementlarning og'irlik markazida qo'yilgan yoki sathda uning butun elementlari bo'yicha vertikal va gorizontaal taqsimlangan deb qabul qilinadi [49, 69].

V. Sayoz va chuqur joylashtirilgan tonnellar uchun grunt massasidan tushadigan vertikal va gorizontaal inersion yuklamalar quyidagi bog'liqliklar bo'yicha aniqlanadi:

$$P^B = AK_1 \gamma \frac{B}{2f}, \quad P^T = (P^B + AK_1 \gamma \frac{h}{2}) tg^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

$$P^B = AK_1 \sum_{i=1}^n \gamma h_i, \quad P^T = P^B tg^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

Bu erda quyidagi belgilashlar qabul qilingan: AK_1 - seysmiklik koeffitsienti, A – grunt zarralarining erkin tushish (qulash) tezlashishi ulushlaridagi shartli seysmik tezlanishi, mos ravishda 7, 8, 9 ballik hisobiy seysmiklik darajasi uchun 0,1, 0,2, 0,4 qiymatlarini oladi; $K_1=0,25$ – tunnel qoplamalarining yo'l qo'yilishi mumkin bo'lgan shikastlanishlarini hisobga olgan koeffitsient [57, 168].

V. Sh. G. Napetvaridze tomonidan [115, 69] ishda taklif etilgan bog'liqlik asosida, vertikal inersion bosim qoplama ustida joylashgan gruntlar ustuni og'irligiga bog'liqdir:

$$P^T = 0,67 \beta(t) AK_1 \rho h \sin(\pi y / 2h)$$

S. Istalgan shakldagi tonnellar uchun vertikal inersion bosim A. V. Ruxadze formulasiga binoan hisoblab topilishi mumkin [126]:

$$P^r = AK_1 \gamma h \left(1 - \frac{\gamma}{4h} \left(3 - 9 \frac{\gamma}{h} + 10 \frac{\gamma^2}{h^2}\right)\right)$$

D. Chuqur joylashgan tonnellar uchun inersion yuklamalar N. S. Bulыchev tomonidan taklif qilingan normal va urinma kuchlanishlarning (cheksizlikka qo'yilgan) ekstremal qiymatlarining ta'siri tufayli yuzaga keladigan kvazistatik kuchlanishlar bo'yicha aniqlanishi mumkin [49]:

$$\begin{aligned} P^B &= \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma V_p T_0 & P^r &= \lambda \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma V_s T_0 \\ P_{xy}^B &= \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma V_s T_0 & P_{xy}^r &= \lambda \frac{1}{2\pi} AK_1 \gamma V_s T_0 \end{aligned}$$

Vertikal yuklamalar kabi, tonnelning lotok qismidan tushadigan grunt yuklamasini P^B ga teng deb olish kerak.

E. tonnel qoplamalari uchun konstruksiyada cho'zilish va egilishdan yuzaga keladigan zo'riqish, ta'sir qiluvchi to'lqinlarning tonnel gorizontal o'qi bo'ylab harakatlanishida, quyidagilar asosida hisoblab topilishi mumkin [69]:

$$\sigma_{\max} = \frac{5,2EA_0}{V_s T_0}$$

Bu yerdagi formulalarda quyidagi belgilashlar qabul qilingan: T_0 - grunt zarralari o'z tebranishlarining ustuvor davri (soniyada), seysmologik tadqiqotlar ma'lumotlari yoki aniq keltirilgan grafik bo'yicha aniqlanishi mumkin [69], V_p , V_s - gruntdagi bo'ylama qv ko'ndalang to'lqinlar tezliklari. A_0 – grunt tebranishlari amplitudasi; $\beta(t) = W\{t\}$ – dinamiklikning spektral koeffitsienti, [69] asosida aniqlanadi, K_s – seysmiklik koeffitsienti, ρ, λ - gruntning zichligi va yonlama bosim koeffitsienti; E - qoplama materialining elastiklik moduli [69].

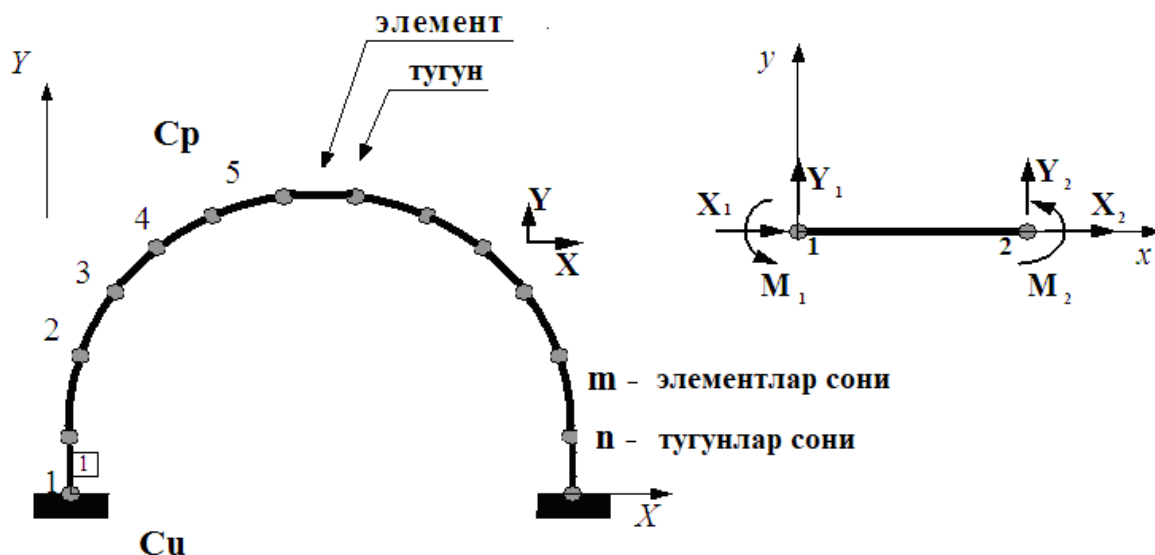
Hisob-kitoblarda gruntlar massividagi alohida zo'riqqan holatni hisobga olish talab etiladi. Seysmik jarayonlarning namoyon bo'lishi natijasida deformasiya hosil bo'lib, gruntlar ning boshlang'ich tuzilmasi buziladi va bu gruntlar massivida qatlamlanishning qavatlanishga o'tishiga, uzilish, pachaqlanish, ag'darilish va siljishlar paydo bo'lishiga olib keladi [49, 69, 122]. Massiv tuzilmasining buzilishi oqibatida tonnel qoplamalarining konstruksiyalariga qo'shimcha yuklama ta'siri yuzaga keladi [90].

Yassi masalaning quyidagicha qo'yilishini tanlaymiz: itarma bosimi qoplama ular kontaktlashuvida grunt siljib borayotgan radial yo'nalishda yuz bergan paytdagi nuqtalarida yuz beradi, bu holda inshootda nisbiy siljish va bosimlar paydo bo'ladi deb kelishib olamiz [49]. Nisbiy siljish mavjud bo'lmagan nuqtalarda (itarmasiz uchastkalar) ko'rsatilgan yo'nalishlarda gruntning berilgan qiymati o'zgarishsiz qolaveradi. Bularning bari XOY koordinatalar global tizimida qo'yilgan kuchlar

o'zgarishiga olib kelib, bunda tadqiqotlar [41, 104; 105, 122, 149] natijalaridan foydalanib, o'zaro ta'sirlashish kuchi uchun quyidagilarni yozib olishimiz mumkin:

$$\vec{P}_0 = k^* \vec{U}, \quad k^* = \begin{bmatrix} k_x & 0 \\ 0 & k_y \end{bmatrix}, \quad \vec{U} = \begin{Bmatrix} \tilde{u} \\ \tilde{v} \end{Bmatrix} \quad (3.1)$$

bunda k^* - inshootning grunt bilan o'zaro ta'sirlashuv koeffitsientlari matritsasi, U - tunnel inshooti nuqtalarining siljish vektori.



3.3-Rasm. Sterjenli elementlardan tashkil topgan qoplama konstruksiyasi sxemasi

Ana shunda biz tunnel qoplamasi konstruksiyasini grunt bilan o'zaro ta'sirlashuvini hisobga olgan holda hisoblash uchun matematicheskuyu modelni qurishimiz mumkin bo'ladi. Bunda sterjenli tizimlar qurilish mexanikasining asosiy tenglamalari va quyidagi ishlarda olingan bog'liqliklarni hisobga olamiz [66, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 120]. Shunda quyidagilarni yozib olamiz:

a) qoplama koordinatalari global tizimida joylashadi, p ta tugundan tashkil topgan va uzunligi - l bo'lgan t ta sterjenli elementdan iborat bo'ladi (3.3, 3.4-rasmlar);

b) har bir i -nchi sterjenli tizimga tashqi yuklama jamlangan kuchlar vektori ko'rinishida $\vec{P}_i = [P_{xi}, P_{yi}]^T$, p ta tugunga esa $\vec{P} = [\vec{P}_1^T, \vec{P}_2^T, \dots, \vec{P}_n^T]^T$ ko'rinishda qo'yiladi;

v) sterjenli tizimda har bir tugun uch xil tarzda siljishi mumkin: u , - X o'qi bo'ylab, v - Y o'qi bo'ylab, va φ - burchakli siljish (burilish), i -nchi tugun uchun, $\vec{Z}_i = [U_i, V_i, \varphi_i]^T$ va p ta tugunning $\vec{Z} = [\vec{Z}_1^T, \vec{Z}_2^T, \dots, \vec{Z}_n^T]^T$ ko'rinishdagi siljishlari vektorini hosil qilish bilan;

g) sterjenli tizimda alohida j -nchi sterjenda amal qilayotgan ichki kuchlar uch xil ichki kuchlar orqali belgilanadi $\vec{s}_j = [N_j, M_{\theta j}, M_{\phi j}]$, bunda $N_j, M_{\theta j}, M_{\phi j}$ -

bo'ylama kuch, sterjen boshlanish va tugash qismidagi eguvchi momentlar. Ichki kuchlar vektorini, t ta sterjen uchun quyidagi ko'rinishda yozib olamiz:

$$\vec{S} = [\vec{s}_1^T, \vec{s}_2^T, \dots, \vec{s}_m^T]^T$$

Sterjenli tizimga ta'sir ko'rsatayotgan o'zaro ta'sirlashuv kuchlarining tugunli qiymatlarini aniqlash uchun alohida chekli sterjenli elementni ko'rib chiqamiz. Sterjenlarning egilish nazariyasi bog'liqligi asosida [118], bunday sterjen to'sinli funksiyalar ko'rinishidagi deformasiyalanish shakliga ega $\tilde{U} = H(x)\tilde{Z}$ bo'ladi, Bu erda $N(x)$ – siljishlar maydoni shaklining to'sinli funksiyasi, sterjenning deformasiyalanish turiga bog'liq: siqilgan va cho'zilgan element uchun quyidagi ko'rinishga ega - $H(x) = \{(1 - \frac{x}{l}) \frac{x}{l}\}^T$; egiluvchan element uchun esa mazkur ko'rinishda yozib olinadi

$$H(x) = \{(\frac{x^3}{l^3} - \frac{3x^2}{l^2} + 1) (\frac{x^3}{l^2} - \frac{2x^2}{l} + x) (\frac{3x^2}{l^2} - \frac{2x^3}{l^3}) (\frac{x^3}{l^2} - \frac{x^2}{l})\}^T$$

Quyida ilmiy ishlarning uyg'unligi to'g'risidagi teoremdan [118; s.50-54] foydalanib, o'zaro ta'sirlashuv kuchlarining tugunli qiymatlarini aniqlab olamiz:

$$\vec{P}_0 \cdot \tilde{U}^T = k^* \cdot \tilde{U} \cdot \tilde{U}^T, \quad \tilde{Z}^T \int_l \vec{P} H^T(x) dx = \tilde{Z}^T \int_l H^T(x) k^* H(x) dx \tilde{Z} h$$

Bu erda h - sterjenli elementning (1 ga teng bo'lgan) eni. Bundan kelib chiqib sterjenli elementning grunt bilan o'zaro ta'sirlashuv kuchini quyidagi ko'rinishda yozib olinadi:

$$\vec{P}_0 = \bar{K} \cdot \tilde{Z}^T, \quad \bar{K} = \int_l H^T(x) k^* H(x) dx h \quad (3.2)$$

Element uzunligi bo'yicha integrallaymiz va siqilish-cho'zilish va egilish deformasiyalarini birgalikda hisobga olish uchun sterjen elementi uchun o'zaro ta'sirlashuvining quyidagi matritsasiga ega bo'lamiz:

$$K = \begin{bmatrix} \frac{1}{3}k_x & 0 & 0 & \frac{1}{6}k_x & 0 & 0 \\ & \frac{13}{35}k_y l & \frac{11}{210}k_y l^2 & 0 & \frac{9}{70}k_y l & -\frac{13}{420}k_y l^2 \\ & & \frac{1}{105}k_y l^3 & 0 & -\frac{13}{420}k_y l^2 & -\frac{1}{140}k_y l^3 \\ & & & \frac{1}{3}k_x & 0 & 0 \\ & \text{Сум.} & & & \frac{13}{35}k_y l & -\frac{11}{210}k_y l^2 \\ & & & & & \frac{1}{105}k_y l^3 \end{bmatrix}$$

[66, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111] lar asosida grunt bilan o'zaro ta'sirlashadigan strejenli tizim uchun umumiy tenglamalarni yozamiz:

A. Statik tenglamalar

$$A\vec{S} = \vec{P} - \vec{K} \cdot \vec{Z}^T \quad (3.3)$$

B. Geometrik tenglamalar

$$A^T \vec{Z} = \vec{A} \quad (3.4)$$

V. Fizik tenglamalar

$$D\vec{S} = \vec{A} - \vec{A}' \quad (3.5)$$

Bu erda quyidagi belgilanishlar qabul qilingan: A – muvozanat (global) tenglamalari matritsasi, quyidagi ko‘rinishdagi alohida sterjenli elementlarning koeffitsientlari matritsasidan iborat:

$$a = \begin{bmatrix} -\cos \alpha & \frac{\sin \alpha}{l} & -\frac{\sin \alpha}{l} \\ -\sin \alpha & -\frac{\cos \alpha}{l} & \frac{\cos \alpha}{l} \\ 0 & -1 & 0 \\ \cos \alpha & -\frac{\sin \alpha}{l} & \frac{\sin \alpha}{l} \\ \sin \alpha & \frac{\cos \alpha}{l} & -\frac{\cos \alpha}{l} \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

D – Guk qonunining kvazidiagonal matritsasi (alohida elementlar matritsalaridan tashkil topgan), $\vec{A}, \vec{A}'$ - deformatsiyalar vektori va qo‘shimcha deformatsiyalar vektori, bizning holda $\vec{A}' = 0$. Alohida element uchun bunday matritsa, Guk qonuni va uning vektori $\vec{A}$ quyidagi ko‘rinishda yozib olinadi:

$$d = \begin{bmatrix} \frac{l}{EF} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{l}{3EI} & \frac{l}{6EI} \\ 0 & \frac{l}{6EI} & \frac{l}{3EI} \end{bmatrix}, \quad \Delta = [\Delta l_j, \Delta \varphi_{ij}, \Delta \varphi_{ej}]$$

G. C_u konturda kinematik chekli shartlar tayanch tugunlarini $\vec{Z}_u$ siljitishlar orqali qondiriladi:

$$\vec{Z} = \vec{Z}_u, \quad X, Y \in C_u \quad (3.6)$$

D. C_p konturida statik chekli shartlar tegishli tugunlar yoki elementlarni yuklash orqali qondiriladi:

$$\vec{S} = \vec{P} - \vec{P}_0, \quad X, Y \in C_p \quad (3.7)$$

Bu erda $\vec{S}$ - ichki kuchlar vektori, $\vec{P}$ - tugunlardagi tishqi kuchlar vektori (3.4-rasm).

E. Ayrim elementlarning o‘zaro ta’sir kuchlaridan tashkil topgan global tizimdagi o‘zaro ta’sirlashuv kuchi quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi

$$\vec{P}_0 = \vec{K} \cdot \vec{\tilde{Z}} = \vec{K} \cdot (\vec{Z} - \vec{Z}_r) \quad (3.8)$$

Bu erda $\vec{Z}_r$ - gruntlar massividagi turli ta’sirlar va jarayonlar natijasida yuzaga keladigan tugunlardagi tashqi siljishlar vektori.

Ana shunda yuqorida aytilganlarni hisobga olib, hamda [66, 103, 104, 105] lar asosida grunt bilan o‘zaro ta’sirlashadigan tonnel qoplamasini hisoblashning matematik modeli ko‘rinishidagi quyidagi matritsali tenglamalarini yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} A\vec{S} &= \vec{P} - \vec{K} \cdot (\vec{Z} - \vec{Z}_r) \\ A^T \vec{Z} &= \vec{\Delta} \\ D\vec{S} &= \vec{\Delta} \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Olingan tenglamalar diskret tizimlar uchun algebraik bo‘lib qoladi. Chegaraviy shartlar tugunlarda beriladi. (3.9) tenglamalarni tizim siljishlari orqali ifodalash bilan diskret tizimlar uchun siljishlar vektoriga nisbatan tenglamalar tizimiga ega bo‘lamiz

$$(AD^{-1}A^T)\vec{Z} + \vec{K}\vec{Z} = \vec{P} + \vec{K}\vec{Z}_r \quad (3.10)$$

Tizim tugunlari siljishlari quyidagi (3.10) echim yordamida aniqlanadi

$$\vec{Z} = (K + \vec{K})^{-1}(\vec{P} + \vec{K}\vec{Z}_r), \quad K = (AD^{-1}A^T) \quad (3.11)$$

(3.10) tenglamalar tizimini hal qilish uchun avtomatlashtirilgan tarzda ro‘yobga chiqariladigan elementma-element yondashuvdan foydalaniladi. Tizimning bikrlilik matritsasi $K = (AD^{-1}A^T)$ musbat aniqlangan va tasmali (lentali) bo‘ladi, chunki u kvadratsimon shaklga ega. ShEHM xotirasidagi simmetriya tufayli hisob-kitoblar maqsadida uning yarmini bosh diagonal elementlari bilan birga saqlaymiz. [70] dan kelib chiqqan holda alohida elementning lokal (mahalliy) koordinatalar tizimidagi bikrlilik matritsasini quyidagicha yozib olamiz:

$$K = \begin{bmatrix} \frac{EF}{l} & 0 & 0 & -\frac{EF}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & 0 & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} \\ -\frac{EF}{l} & 0 & 0 & \frac{EF}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & 0 & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix} \quad (3.11, a)$$

Bu yerda, E - alohida element materialining elastiklik moduli, l - alohida element ko‘ndalang kesimi yuzasi inersiya momenti, F - alohida element ko‘ndalang

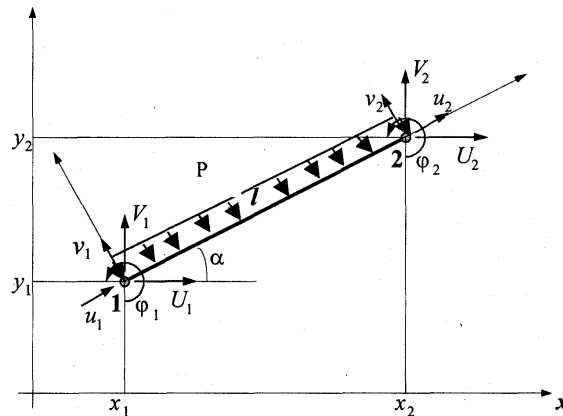
kesimi yuzasi, l – alohida element uzunligi. Gauss-Jordan uslubiga [70] ko‘ra a matritsada, agar sterjen elementi bosh yoki tugash qismida sharnir mavjud bo‘lsa, mos ravishda satrlar va ustunlar chiqarib tashlanadi. Bundan keyingi hisob-kitoblar uchun tizimning global bikrlilik matritsasi lokal bikrlilik matritsalarini jamlash bilan birga, o‘zgartirish matritsasi orqali olinadi [S]:

$$[AKA^T] = [C]^T [ad^{-1}a^T] [C]$$

$$[C] = \begin{bmatrix} [c] & 0 \\ 0 & [c] \end{bmatrix}, \quad [c] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Bizning masalamizda ishlab chiqilgan matematik model nochiziqlilikning ikki turi: geometrik va fizik nochiziqlilikni o‘z ichiga oladi. Geometrik nochiziqlilikni hisobga olishda, [66, 103, 104, 105, 106] ga muvofiq, qoplama konstruksiyasi hisobiy kesimlari koordinatalarining o‘zgarishlarini har bir bosqichda ko‘rib boramiz, chunki umumiy deformasiyalanishlar natijasida uning berilgan kesimlari holati o‘zgaradi. Ana shunda biz siljishlarga nisbatan mazkur ko‘rinishdagi nochiziqli tenglamalar tizimini yozib olishimiz mumkin bo‘ladi:

$$(A(\vec{Z})D^{-1}A^T(\vec{Z}))\vec{Z} + \vec{K}\vec{Z} = \vec{P} + \vec{K}\vec{Z}_r \quad (3.12)$$



3.4-Rasm. Sterjenli elementning yuklanish sxemasi

Bu yerda matritsa $K_T(\vec{Z}) = (A(\vec{Z})D^{-1}A^T(\vec{Z}))$ har bir yuklanish bosqichida noma'lum siljishlarni tarkibiga olib, aynan shunday qilib tizimning geometrik nochiziqliligi hisobga olinadi. Sterjen elementi deformasiyalangan holatining o‘zgarishini hisobga olishda tenglamalar tizimi (3.12) echimi o‘sib borishlarda topiladi, ya’ni oldinma-ketin yuklanishlar uslubi qo‘llanadi. Ana shunda, yassi sterjenli element uchun nochiziqli (urinma) matritsadan [66, 103, 104, 105, 106, 107, 108] foydalanib, λ_n ga teng parametrni oldinma-ketin berib borish yo‘li bilan yuklamani porsiyalarga ajratish orqali, siljishlar o‘sib borishini hisobga olish uchun quyidagi bog‘liqlikka ega bo‘lamiz:

$$\Delta \vec{Z}_n = (K_T(\vec{Z}) + \vec{K})^{-1} \Delta \lambda_n (\vec{P} + \vec{K}\vec{Z}_r), \quad \vec{Z}_n = \sum_{i=1}^n \Delta \vec{Z}_i, \quad \Delta \lambda_n = \lambda_{n+1} - \lambda_n \quad (3.13)$$

(3.13) tenglamalarni echish amaliyoti chiziqli masalani birinchi odimda yuklama bo'yicha va siljishlar vektori aniqlanganidan keyin hal qilishni ko'rib chiqib, har bir navbatdagi odimda tizimning geometrik bikrligi matritsasiga tuzatishlar kiritib boriladi [66, 103, 104, 105, 106]. Shu yo'l bilan odimdan odimga o'tib, qo'yilgan masala hal qilinadi. Bunda yuqorida aytib tilgan urinma geometrik bikrlilik matritsasi geometriya o'zgarishini va sterjenli elementlarda odimdan odimga o'tishda kuchlar mavjudligini hisobga oladi [66]:

$$K_T(\bar{Z}) = K_1(\bar{Z}) + K_2(\bar{S}), \quad K_1(\bar{Z}) = A(\bar{Z})D^{-1}A^T(\bar{Z}), \quad K_2(\bar{S}) = K_2(N) + K_2(Q)$$

$$K_1(\bar{Z}) = \begin{bmatrix} \frac{EF}{l} & 0 & 0 & -\frac{EF}{l} & 0 & 0 \\ & \frac{12EJ}{l^2} & \frac{6EJ}{l} & 0 & -\frac{12EJ}{l^2} & \frac{6EJ}{l} \\ & & \frac{4EJ}{l} & 0 & -\frac{6EJ}{l^2} & \frac{2EJ}{l} \\ & & & \frac{EF}{l} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{12EJ}{l^2} & -\frac{6EJ}{l} \\ & & & & & \frac{4EJ}{l} \end{bmatrix}$$

Симм.

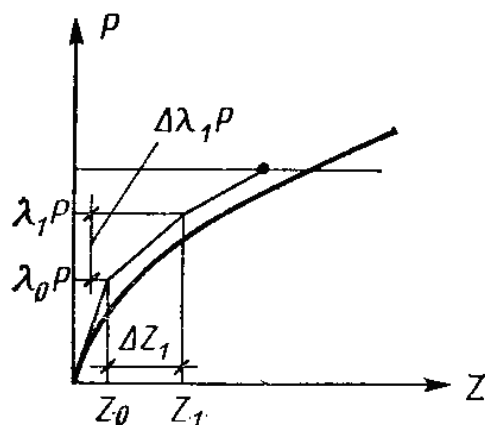
$K_1(\bar{Z}), K_2(\bar{S})$ matritsasi sterjenli tizim elementining odimdan-odimga o'tishida quyidagi matritsalar oraqali geometriya, bo'ylama (N), ko'ndalang (Q) kuchlar va sterjen uzunligi ($\bar{l} = l + \Delta l$) o'zgarishlarini hisobga oladi:

$$K_2(N) = \begin{bmatrix} \sin^2 \varphi & -\sin \varphi \cos \varphi & 0 & -\sin^2 \varphi & \sin \varphi \cos \varphi & 0 \\ -\sin \varphi \cos \varphi & \cos^2 \varphi & 0 & \sin \varphi \cos \varphi & -\cos^2 \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin^2 \varphi & \sin \varphi \cos \varphi & 0 & \sin^2 \varphi & -\sin \varphi \cos \varphi & 0 \\ \sin \varphi \cos \varphi & -\cos^2 \varphi & 0 & -\sin \varphi \cos \varphi & \cos^2 \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

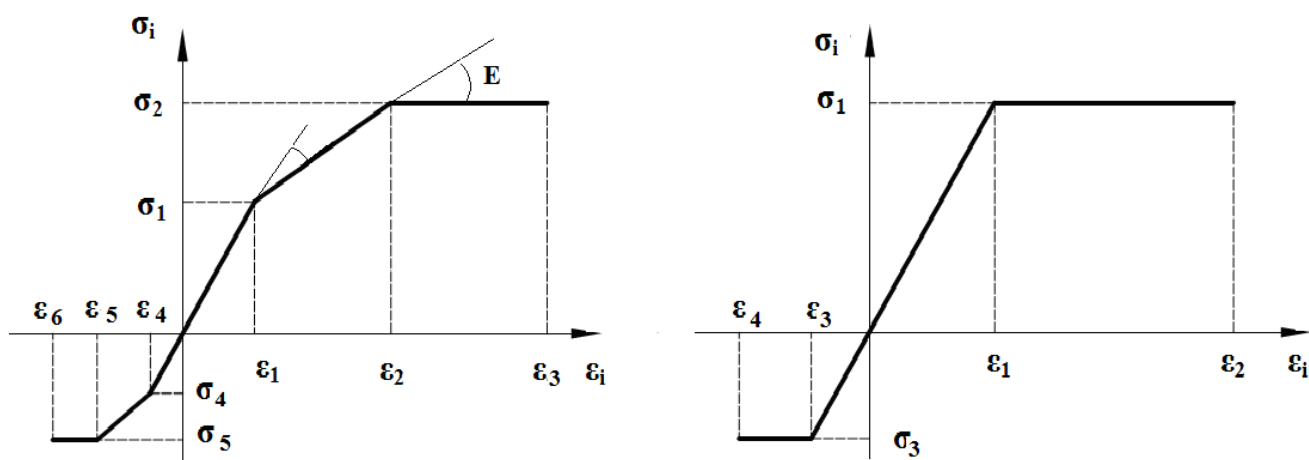
$$K_2(Q) = \frac{Q}{l} \begin{bmatrix} -\sin 2\varphi & \cos 2\varphi & 0 & \sin 2\varphi & \cos 2\varphi & 0 \\ \cos 2\varphi & \sin 2\varphi & 0 & -\cos 2\varphi & -\sin 2\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin 2\varphi & -\cos 2\varphi & 0 & -\sin 2\varphi & \cos 2\varphi & 0 \\ -\cos 2\varphi & -\sin 2\varphi & 0 & \cos 2\varphi & \sin 2\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Bu erda φ - deformatsiyalangan sterjen uchun tizimning odimdan odimga o'tishda burilish burchagining o'zgarishi. Bir erkinlik darajasiga ega bo'lgan tizim uchun bu jarayon grafik ko'rinishida 3.5, a-rasmda ko'rsatilgan.

a)

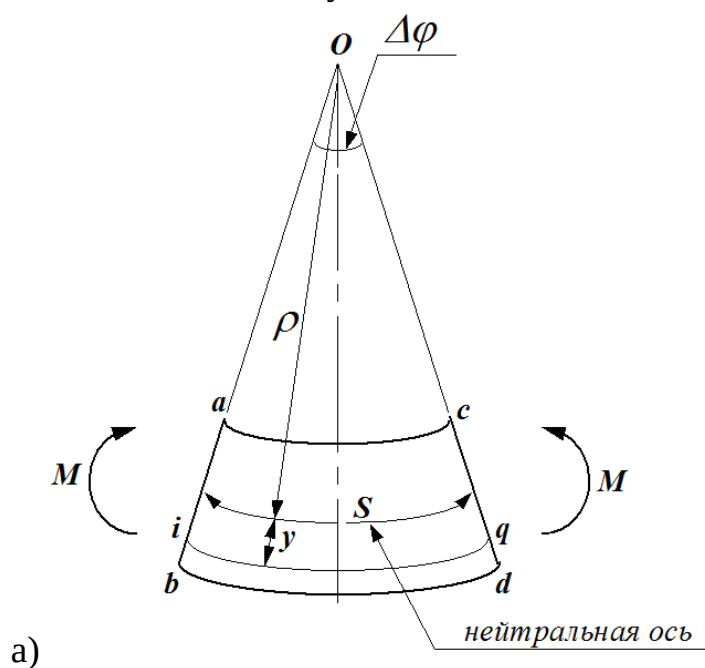


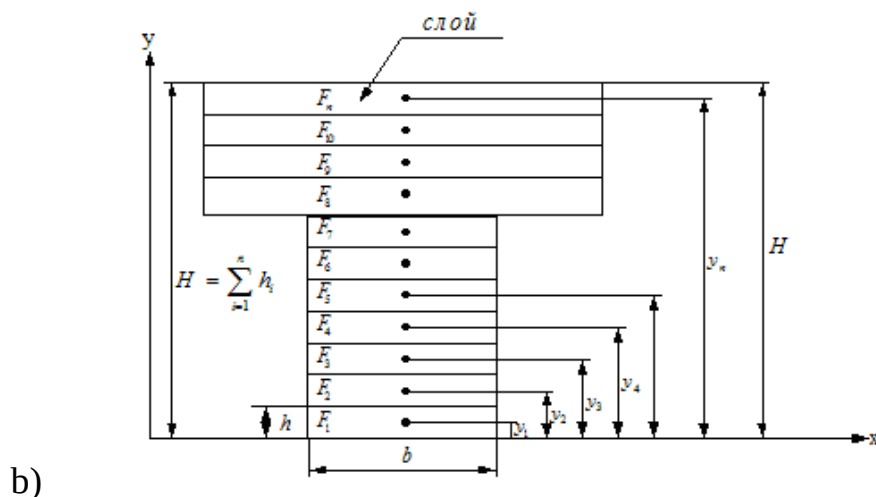
b)



3.5-Rasm. Nochiziqli masalalarni echishda ishlatiladigan sxemalar: a) oldinma-ketin yuklanishlar usuli, b) materiallar deformatsiyalanishining nochiziqli diagrammalari

Fizik nochiziqli hisoblashni ko'rib chiqish va amalga oshirishda sterjenli elementning materiali muayyan diagrammaga bo'ysunadi deb hisoblab (3.5, b-rasm), quyida ko'p qatlamli chekli elementdan foydalanamiz [66, 78, 103, 104, 113, 126]:





3.6-Rasm. Sterjen ko‘ndalang kesimi qatlamliligini (b) hisobga olgan holdagi uning egilish sxemasi (a)

Qoplama elementlari (konstruksiya) ko‘ndalang kesimini shartli ravishda perpendikulyar vertikal o‘q qatlamlariga ajratamiz va har bir element uchun uning qatlami og‘irlik markazidagi hisobidan kelib chiqib deformasiyalarni topamiz [66, 78, 103, 104, 113, 126]. Konstruksiya materialining deformasiyalanish diagrammasi (3.5, b-rasm) bo‘yicha deformasiyalar darajasini bilib, zo‘riqishlar va urinma elastiklik modulini aniqlab olamiz.

Hisoblash usulini ishlab chiqishda quyidagi farazlarni qabul qilamiz [126]:

a) qoplama beton, po‘lat yoki cho‘yan kabi materiallardan tashkil topishi mumkin;

b) element kesimlaridagi qatlamlar umumiy balandlik sifatida jamlanadi:

$$\sum_{i=1}^n h_i = H ;$$

v) sterjenli elementning har bir kesimida alohida ko‘rsatilgan qatlamning eni o‘zaro bir xil bo‘ladi (3.6, b-rasm);

g) berilgan konstruksiya materiallari xossalari ularning elementlari uchun ularning siqilishga va cho‘zilishga o‘tkazilgan sinov diagrammalaridan olinadi («kuchlanish - deformasiya» bog‘liqliklari [66, 78, 103, 104, 113, 126];

d) materialning chegaraviy deformativ tavsiflari deb nisbiy deformasiyalarning maksimal qiymatlari olinadi;

e) konstruksiyaga yuklamalarni qismma-qism qo‘yib boramiz. Bunda yuklamaning har bir o‘sish qismi (porsiyasi) uchun, avvalgi bosqichlarda erishilgan deformasiyalarga ko‘ra hisoblab topiladigan elastik tavsifli chiziqli masalani hal qilamiz. Yakunda olingan echim avvalgi echimlarga qo‘shib qo‘yiladi;

j) yuk tushishi oldidan sterjen hisobiy kesimining barcha qatlamlari boshlang‘ich elastiklik moduliga ega deb hisoblanib, yuklama tusha boshlaganidan so‘ng kesimning har bir qatlami uchun yuklamaning har bir ortishida deformasiya

qiymatiga bog'liq ravishda (ana shu qatlamdagi) elastiklik moduli aniqlanadi. Shu sababli kesimning egilishga EI va siqilish-cho'zilishga EF bikrliklarini qatlamlar bikrliklari yig'indisi sifatida olamiz. U quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$EI = \sum_{i=1}^n E_i(\varepsilon)I_i, \quad EF = \sum_{i=1}^n E_i(\varepsilon)\Delta F_i$$

Ko'ndalang kesim qatlamlarining inersiya momentlari gorizontall o'qqa nisbatan olinib, koordinatalari quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta F_i E_i y_i}{\sum_{i=1}^n \Delta F_i E_i} = \frac{\Delta F_1 E_1 y_1 + \Delta F_2 E_2 y_2 + \dots + \Delta F_n E_n y_n}{\Delta F_1 E_1 + \Delta F_2 E_2 + \dots + \Delta F_n E_n}; \quad \Delta F_i = h_i b_i$$

Bu erda quyidagi belgilanishlar qabul qilingan: E – alohida element kesimining elastiklik moduli; I - alohida element kesimining inersiya momenti; $E_i, I_i, \Delta F_i$, - har bir alohida elementning mos ravishda elastiklik moduli, inersiya momenti, ko'ndalang kesimining yuzasi, p – qatlamlar soni. Alohida element har bir qatlamining $u=ys$ o'qiga nisbatan inersiya momenti quyidagiga teng bo'ladi:

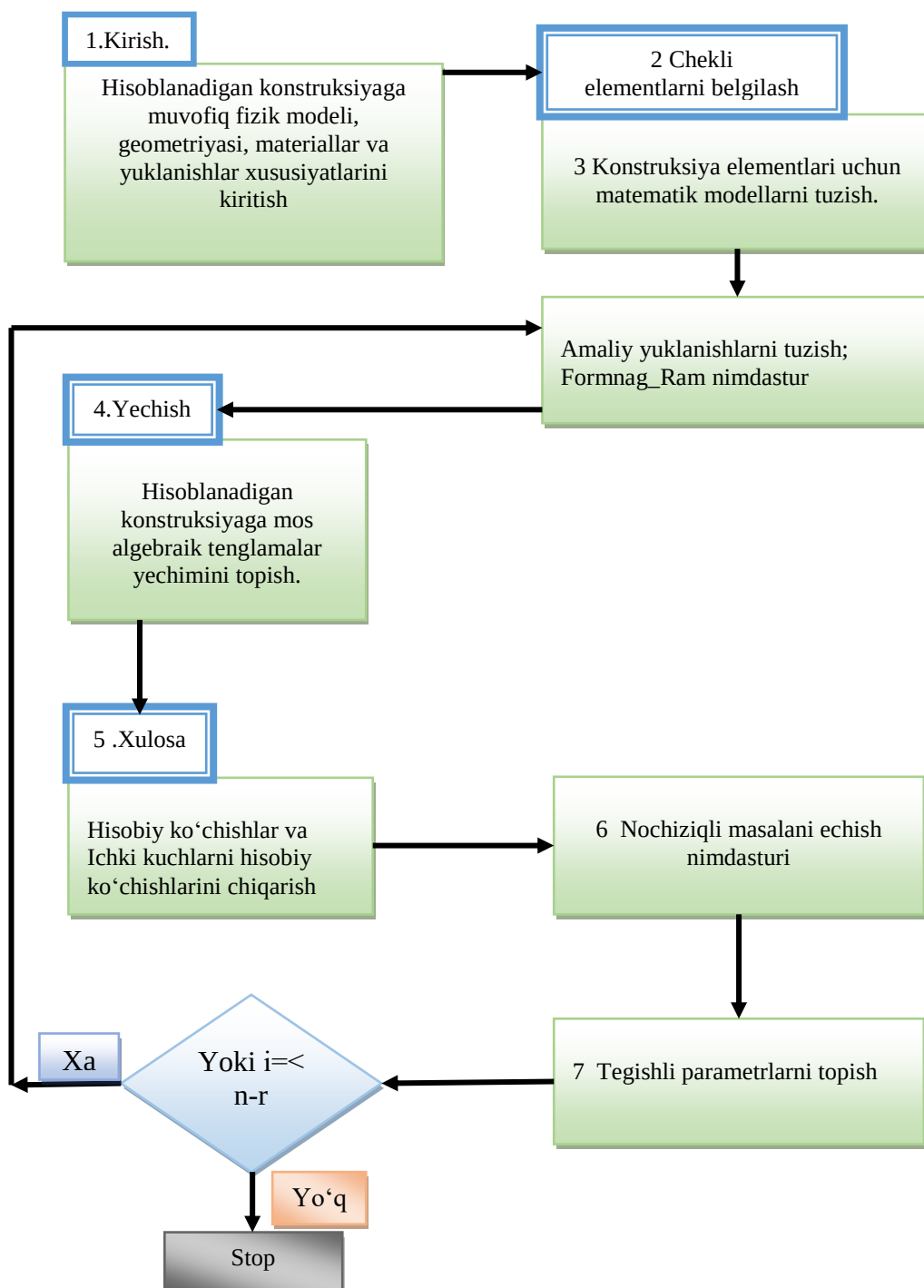
$$I_i^{yc} = \frac{b_i h_i^3}{12} + (y_c - y_i)^2 b_i h_i.$$

Endi sterjen elementi kesimini ko'rib chiqamiz (3.6, a-rasm). Tahlil qilib chiqib, quyidagicha yozib olamiz: $S = \rho \Delta \varphi$, bunda ρ - egrilik radiusi, $\Delta \varphi$ - bu holda ab kesimning cd kesimga qiyalik burchagi. iOq sektori uchun keltirilgan yoy uzunligini $S + \Delta S = (\rho + y) \Delta \varphi$ deb belgilaymiz, shunda S ni ana shu tenglamaga qo'yish bilan $\rho \Delta \varphi + \Delta S = \rho \Delta \varphi + y \Delta \varphi$ ifodasiga ega bo'lamiz. Bunda izlanayotgan absolyut (mutlaq) uzayish $\Delta S = y \Delta \varphi$ ga teng, nisbiy uzayish qiymati esa

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S} = \frac{y \Delta \varphi}{S}$$

kesimining ixtiyoriy nuqtasidagi deformasiyani aniqlash mumkin bo'ladi. Bunda element kesimining n -qatlami uchun zo'riqishlar $\sigma_i = E_i \varepsilon_i$ ga tengdir.

Ishlab chiqilgan dasturiy ta'minot qoplama konstruksiyasi va uning elementlari hisobining alohida kichik dastur-modullaridan iborat bo'ladi. 3.7-rasmda boshqaruvchi dastur algoritmining sxemasi taqdim etilgan.



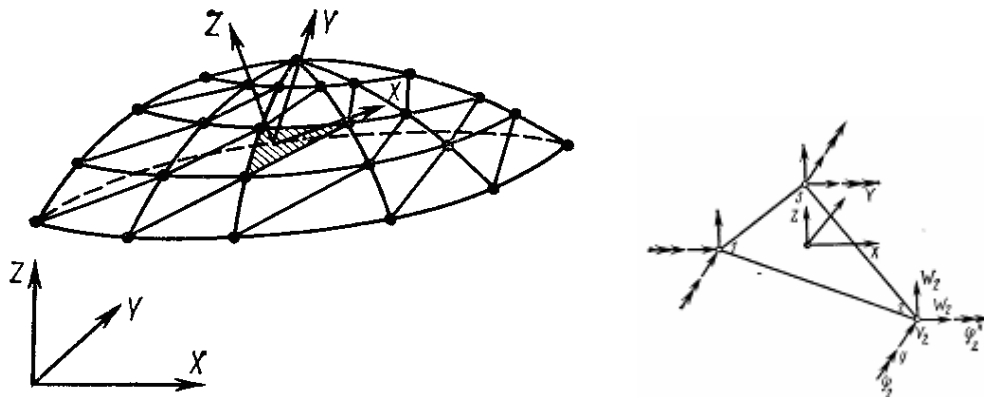
3.7-Rasm. Hisoblash usulining algoritmi

Avtomatlashtirish usullari 4-bobda keltirilgan bo'lib, bu erda chiziqli yoki nochiziqli masala echimlari tanlanib, sterjenli elementlarning har bir kesimi uchun konstruksiyaning deformasiyalanishini ko'rsatadigan grafiklar quriladi. Loyihashunoslik amaliyotida ko'pincha qobiqli konstruksiyalar (masalan, metropoliten stansiyalarining lotokli va gumbazli elementlari) hisobini amalga oshirishga to'g'ri keladi. Bu holda siljish va deformasiyalanish masalasini qo'yishda shuningdek Z yo'nalishini ham hisobga olamiz. Cheklangan sathni (yuzani), avvalgi holda bo'lgani kabi, n ta tugun va m ta elementga ajratamiz. Bunda sterjenli to'rlardan farqli ravishda uchburchak to'r (3.8-rasm) hosil bo'ladi. Ana shunda [66,

70] ga binoan har bir tugun 5 tadan erkinlik darajasiga ega bo'lib, bunda i-nchi tugun uchun $\bar{Z}_i = [U_i, V_i, W_i, \varphi_i^x, \varphi_i^y]^T$ ko'rinishdagi tugun siljishlari vektorini hosil qiladi (3.8-rasm). Bunda inshootning grunt bilan o'zaro ta'sirlashish matritsasi (3.1) tenglamasida w yo'nalishida o'zaro ta'sirlashuv koeffitsienti k_z qo'shiladi. (3.11) tenglamadagi kabi endi qoplama-qobiqning bikrlilik matritsasi orqali ifodalangan muvozanat umumiy tenglamalarini yozib olamiz:

$$\bar{Z} = (K + \bar{K})^{-1}(\bar{P} + \bar{K}\bar{Z}_r) \quad (3.14)$$

(3.14) tenglamalar tizimi avtomatlashtirilgan usul yordamida hal qilinadi. K ifodasi tizimning bikrlilik matritsasi. Koordinatalar mahalliy (lokal) tizimida elementning bikrlilik matritsasi 15x15 tartibga ega [66, 119].



3.8-Rasm. Uchburchak elementlardan iborat qobiqli konstruktsiya

Qoplamani tashkil qilgan uchburchaklar ixtiyoriy yo'nalishga qarata joylashishi mumkin. Shuning uchun (3.14) tenglamada reaksiya matritsasini tuzish uchun bikrlilik matritsasini $[S]$ o'zgartirish matritsasi orqali mahalliy tizimdan umumiy tizimga o'tkazib, quyidagi ko'rinishga keltirish zarur bo'ladi:

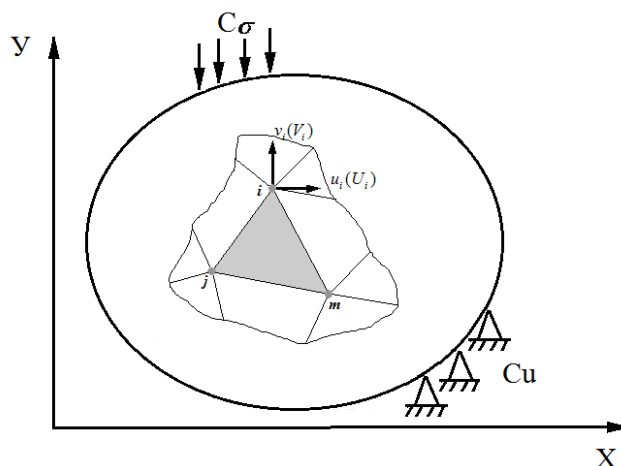
$$[K] = [C]^T [k] [C]$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & c \end{bmatrix}, \quad [k] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.3. "Tunnel-grunt massivi" tizimini statik va kvazistatik ta'sirlarga hisoblash usuli

Hisoblash usullarini ishlab chiqishda biz quyidagi ishlarda keltirgan natijalardan kelib chiqamiz [103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 120].

Gruntning zkuchlanganlik holati shundan iboratki, tunnel qoplamasi zo'riqqan, birlamchi zo'riqishlari maydoni avvaldan mavjud bo'lgan massivda yaratiladi. Bu boshlang'ich zo'riqqan holat sun'iy bo'shliq hosil qilinganidan so'ng buziladi [110, 111, 120].



3.9-Rasm. Kuchlar ta'siridagi jism

Ana shunda haqiqiy kuchlanganlik holat ushbu nuqtadagi iqoplama o'tkazish yoki sun'iy bo'shliq chegarasidagi zo'riqishlarni olish tufayli kelib chiqqan boshlang'ich zkuchlanishlar va zo'riqishlar o'zgarishi yig'indisi σ_{ij0} sifatida hosil bo'ladi:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij0} + \sigma'_{ij}$$

Kuchlanishlar o'zgarishlari σ'_{ij} qo'shimcha ko'chishlar deb ataladi. Bu bo'lg'usi sun'iy bo'shliq konturidan ana mavjud radial va urinma zo'riqishlarni (kuchlanishlarni) olish shartligini anglatadi. Olib qo'yilayotgan kuchlanishlar, sun'iy bo'shliq konturiga qo'yilganida qiymatiga ko'ra boshlang'ich zo'riqishlarga teng, ammo belgisiga ko'ra qarama-qarshidir. Yassi deformasiyalangan holat uchun masalani modellashtirishda tunnel o'ymasining poezd uzunligiga taxminan 100 m ga siljishini hisobga olamiz.

Pastda ikki o'lchamli Ω soha va S ($S_u, C\sigma$) chegarasi bilan XOU yuzasida belgilab berilgan jismni ko'rib chiqamiz. 3.9-rasmda ko'rsatilgani kabi, jism makonda yassi masala uchun berilgan ma'lumotlar bilan qayd etilgan va unga kuchlar ta'sir ko'rsatadi.

Deformasiyalarni kichik va ular uchun quyidagi asosiy tenglamalar mos keladi deb hisoblaymiz [66, 109, 110, 111]:

1. Muvozanat tenglamasi

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \bar{X} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \bar{Y} = 0 \quad (3.15)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau$$

bunda X va Y - hajmiy kuchlar. Yoki matritsa shaklida

$$A\vec{\sigma} + \vec{P} = 0$$

bunda
$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad \vec{\sigma} = [\sigma_x \sigma_y \tau], \quad \vec{P} = [\bar{X} \quad \bar{Y}]$$

2. Deformasiyalar va siljishlar orasidagi bog‘liqliklar

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \quad (3.16)$$

yoki $\vec{\varepsilon} = A^T \vec{U}$, bunda $\vec{\varepsilon} = [\varepsilon_x \quad \varepsilon_y]^T$, $\vec{U} = [u \quad v]^T$

3. Fizik tenglamalar

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu \sigma_y), \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu \sigma_x), \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad (3.17)$$

yoki $\vec{\varepsilon} = B \vec{\sigma}$

bunda
$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad \vec{\sigma} = [\sigma_x \sigma_y \tau_{xy}], \quad \vec{P} = [\bar{X} \quad \bar{Y}]$$

$$B = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix}$$

Shunda quyidagicha yozib olish mumkin [66, 109, 110, 111]:

$$\begin{aligned} A \vec{\sigma} + \vec{P} &= 0 \\ \vec{\varepsilon} &= A^T \vec{U} \\ \vec{\varepsilon} &= B \vec{\sigma} \end{aligned} \quad (3.18)$$

C_u konturidagi kinematik chegaraviy shartlar

$$\vec{U} = \vec{U}_u \quad (3.19)$$

C_σ konturidagi statik chegaraviy shartlar

$$A_c \vec{\sigma} = \vec{P}_\sigma \quad (3.20)$$

Bu erda $\vec{U}_u, \vec{P}_\sigma$ - C_u konturidagi berilgan siljishlar vektori va C_σ dagi berilgan kuchlar vektori, A_c - yo‘naltiruvchi kosinuslar matritsasi.

(3.18) formuladagi tizimning ikkinchi va uchinchi tenglamasidan $\vec{\sigma}$ ni ifodalaymiz:

$$\vec{\sigma} = B^{-1} A^T \vec{U}$$

Ana shunda

$$B^{-1} = D = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Puasson koeffitsienti ν yassi deformasiya uchun $\frac{\nu}{1-\nu}$ bilan almashtiriladi.

$\vec{\sigma}$ qiymatini birinchi tenglamaga (3.18) qo'yish bilan siljishlardagi elastiklik nazariyasining matritsa shaklidagi differensial tenglamasiga ega bo'lamiz [41, 109, 110, 111]:

$$ADA^T \vec{U} + \vec{P} = 0 \quad (3.22)$$

Variasion masalani qo'yishda differensial tenglamadan (3.22) va tegishli chekli shartlaridan (3.19-3.20) foydalanamiz. Ana shunda Lagranj tamoyili asosida to'liq potensial energiya funksionali I minimal qiymat olishi kerak bo'ladi [37]. Ana shunda siljishlar funksiyasi vektori $U(x,y)=[u(x,y),v(x,y)]$ tizimning to'liq energiyasi funksionaliga minimum etkazib beradi

$$I = \bar{I} + \bar{A} = \iint_{\Omega} F(u, v, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}) dx dy \quad (3.23)$$

$$\text{ma'lum cheklovlarda } \vec{U} \Big|_C = \vec{U}_u(x, y)$$

$$\bar{A} = \iint_{\Omega} P_x u + P_y v dx dy, \quad \bar{I} = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} (\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \tau_{xy} \gamma_{xy}) dx dy,$$

Bu erda quyidagilar qabul qilingan: $\bar{A}$ - tashqi kuchlarning potensial energiyasi, P - ichki kuchlarning potensial energiyasi. Keltirilgan formulada (3.23) funksionalning stasionarlilik sharti yuqorida berilgan chegaraviy shartlar bilan birga masalaning to'g'ridan-to'g'ri qo'yilishiga ekvivalent bo'lishi shart. Ana shunda ikki o'lchamli masalaning F kvadratik funksionali uchun quyidagi bog'liqlikni yozib olishimiz mumkin [36, 110]:

$$F = \mu \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right) + \frac{\lambda}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + P_x u + P_y v \quad (3.24)$$

Funksional minimumini izlab topish masalasi unimidalliligidan kelib chiqib, (3.24) tenglamani Eyler-Puasson tenglamasiga qo'yish bilan [36], quyidagi ko'rinishdagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial u} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial u_x} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial u_y} &= 0 \\ \frac{\partial F}{\partial v} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial v_x} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial v_y} &= 0 \end{aligned} \quad (3.25)$$

Shunday qilib, [36, 37, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 120] larni hisobga olib, masalaning to'g'ridan-to'g'ri qo'yilishiga ega bo'lamiz. Masalani

variasion va to'g'ridan-to'g'ri qo'yilishining ekvivalentligi qo'yilgan masalalarni chekli elementlar usuli yordamida echish uchun variasion yondashuvni qo'llash imkonini beradi [103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 120]. Berilgan soha Ω uchun, bo'lakli-uzluksiz bazisli funksiyalar $\{N_m(x,y)\}$ va tugunli siljishlar $\vec{Z}_m$ asosida diskret hisoblash modelini olishimiz mumkin bo'ladi. Ushbu bazis funksiyalar avtomat ravishda C_u chegarasidagi kinematik chekli shartlarni qoniqtiradilar:

$$\vec{U} = \sum_{m=1}^M N_m(x,y) \cdot \vec{Z}_m \text{ или в матричном виде } \vec{U} = N\vec{Z}$$

$$N = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & \dots & 0 & N_m \\ 0 & N_1 & 0 & \dots & N_m & 0 \end{bmatrix}, \quad \vec{Z} = [Z_1 \dots Z_m] \quad (3.26)$$

Ushbu holda $t=1 \dots M$ – bazisli funksiyalar tugunlari soni. Ana shunda [37, 129] kinematik chekli shartlarni qondirish bilan, matritsali ko'rinishdagi quyidagi tenglamalar tizimini olamiz:

$$K\vec{Z} = \vec{P} \quad (3.27)$$

Bunday noxiziqli masalaning qo'yilishi elastiklik nazariyasiga oid masalalar qo'yilishi bilan deyarli bir xil bo'lib, bundan faqat zo'riqishlarning deformasiyalar bilan bog'liqligi istisnodir va ana shunda, asosiy bog'liqliklardan [129] foydalanib, kuchlanishlar va deformasiyalar bog'liqligini muayyan matritsa orqali yozib ko'rsatamiz. Bunda jismlar mexanik xossalari vaqt o'tishi bilan o'zgarishini hisobga olmaymiz. Materialda yoyiluvchanlik, relaksasiya yo'q deb hisoblaymiz va jismlar kvazistatik yuklanishlardaligini hisobga olamiz (tizimning faol tarzda yuklanishi sodir bo'ladi). Bunda chegaradan tashqari holatdagi kuchlanishlar chegaraviy holat mezonini qondiradigan paytda boshlanadi deb faraz qilamiz [51, 129]. Deformasiyalar va kuchlanishlar orasidagi bog'liqlikni yuklanishning har qanday o'sib borishida ikki, ya'ni chegaraviyga qadar va chegaraviydan tashqari (plastik) qismdan iborat bo'lgan deformasiyalanishdan kelib chiqadi degan qarashdan kelib chiqib ko'rib chiqamiz:

$$d\vec{\varepsilon} = d\vec{\varepsilon}_e + d\vec{\varepsilon}_p \quad (3.28)$$

Bu holda kuchlanishlarning o'sib borishi $d\vec{\sigma}$ deformasiyalarning chegaraviy holat matritsasi orqali quyidagi ifoda bilan shu kabi (tegishli) o'sishlari bilan bog'liqdir [129]:

$$d\vec{\sigma} = D_{ep} d\vec{\varepsilon} \quad (3.29)$$

bunda, mustahkamlanmaydigan material uchun

$$D_{ep} = \left[D - \frac{[D\vec{a}][D\vec{a}]^T}{\vec{a}^T D \vec{a}} \right] \quad (3.30)$$

Bunday matritsa O. M. Zenkevich tomonidan olingan bo'lib [70], unda chegaradan tashqari holatning $\vec{a}$ -vektori ([129] ga ko'ra oquvchanlik vektori) va yassi deformasiyalanish holati uchun D matritsasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$D^{-1} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 & -\nu \\ -\nu & 1 & 0 & -\nu \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 \\ -\nu & -\nu & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

bu erda E , ν - mos ravishda elastiklik moduli va Puasson koeffitsienti. D matritsasi (3.30) formulada (3.31) matritsani o'zgartirish bilan olinadi va quyidagi ko'rinishga ega:

$$D = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 & \nu \\ \nu & 1-\nu & 0 & \nu \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ \nu & \nu & 0 & 1-\nu \end{bmatrix}$$

Agar, gruntlar muhitiga nisbatan, chegaraviy muvozanat sifatida Mor-Kulon plastiklik (mustahkamlik, oquvchanlik) shartidan [51, 129] foydalanilsa:

$$F = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \varphi - c \cdot \cos \varphi = 0 \quad (3.32)$$

u holda, $dF(\vec{\sigma}) = 0$ bo'lganida kuchlanishning chegaraviy holatdan o'tib ketishi ro'y bermaydi deb yozish mumkin. Yuklama olib qo'yilganida, ya'ni $dF(\vec{\sigma}) < 0$, material bir muncha elastik xossalarini namoyon qiladi [70, 129]:

$$dF(\vec{\sigma}) = \frac{\partial F(\vec{\sigma})}{\partial \vec{\sigma}} d\vec{\sigma} = 0, \quad \vec{a}^T = \frac{\partial F(\vec{\sigma})}{\partial \vec{\sigma}} - \text{чегаравий ҳолат вектору}$$

bu erda c, φ - tizim materialining ilashish koeffitsienti va ichki ishqalanish burchagi. $\vec{a}$ vektori uchun sonli qiymat M. R. Sekulovich tomonidan [129] ilmiy ishida olingan.

Biz (3.30) matritsani dasturladik va u tunnel sun'iy inshootlarini hisoblash maqsadida ishlatiladi. Masala oldinma-ketin yuklanishlar uslubi yordamida hal qilinib, bunda har bir ortish (o'sish) odimida chekli elementlar chegaraviy holatga o'tishi nazorat qilib turiladi. Boshqacha qilib aytganda, dastlab yuklamaning o'sishi $\Delta \vec{P}$ beriladi, hamda ana shu o'sishga masala echilib, $\Delta \sigma_x, \Delta \sigma_y, \Delta \tau_{xy}$ kuchlanishlar aniqlanadi.

Quyida yuklamani chegaraviy hududga chekli elementlar o'tishiga olib keladigan zarur o'sish darajasini aniqlash amaliyoti bajariladi. Ushbu amaliyotni

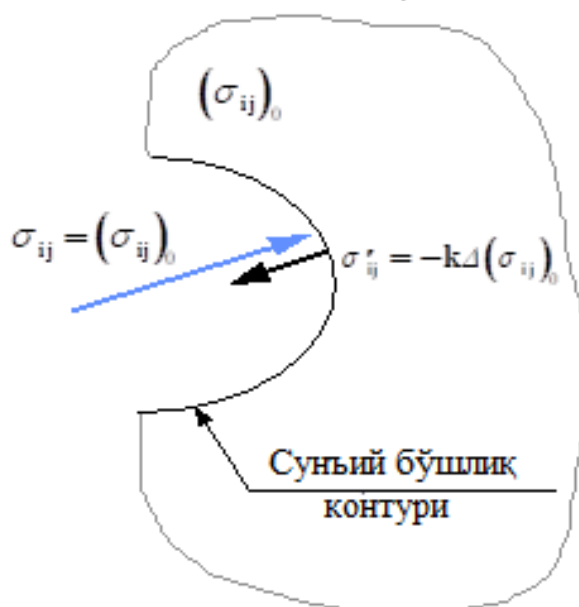
batafsilroq tasvirlab o'tamiz. Asosiy kuchlanishlar ma'lum formulalar [49, 51] bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \\ \sigma_3 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}\end{aligned}\quad (3.33)$$

(3.33) ni (3.32) ga qo'yish bilan va o'zgartirishlarni amalga oshirib, quyidagilarni yozib qo'yish mumkin:

$$(\sigma_x + \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = [(\sigma_x + \sigma_y) + 2cctg^2\varphi]\sin^2\varphi \quad (3.34)$$

Agar $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ o'rniga $\sigma_x + r\Delta\sigma_x, \sigma_y + r\Delta\sigma_y, \tau_{xy} + r\Delta\tau_{xy}$ ni qo'yib, hamda (3.34) tenglamani r ga nisbatan echsak, unda elastik hududda joylashgan har bir element uchun ana shu chekli element chegaraviy holatga etishi uchun yuklama o'sishini ko'paytirish kerak bo'lgan o'z r koeffitsientini aniqlash mumkin bo'ladi. r qiymati minimal tarzda chegaraviy sohaga birinchi bo'lib o'tadigan elementdir. Bundan kelib chiqib, agar, yuklamani oshirishning ushbu odimi $\Delta\vec{P}$ da hisoblab topilgan barcha natijalarni $\Delta\vec{P}$, minimal r koeffitsientga ko'paytirilsa, u holda chegaraviy sohaga bitta element o'tadigan vaziyatga ega bo'lamiz. Yuklamani orttirib borishning har bir odimida ana shu hisoblarni navbatma-navbat qo'llash bilan chekli elementlarning chegaraviy sohaga oldinma-ketin (navbatma-navbat) o'tishiga erishiladi. 3.11-rasmda mazkur masalani echish algoritmi keltirilgan.



3.10-Rasm. Sun'iy bo'shliq hosil bo'lishini modellashtirish

Yuqorida aytilgani kabi, qazish ishlarini amalga oshirishda grunt massivida shu vaqtga qadar mavjud bo'lgan boshlang'ich zo'riqqan holat izdan chiqadi. Shunda gruntning istalgan nuqtasidagi boshlang'ich kuchlanishlar σ_{ij} yig'indilari $(\sigma_{ij})_0$ va

sun'iy bo'shliq hosil qilinishi tufayli yuzaga keladigan qo'shimcha kuchlanishlar dan σ'_{ij} iborat bo'ladi:

$$\sigma_{ij} = (\sigma_{ij})_0 + \sigma'_{ij}$$

Sun'iy bo'shliqlar gruntlarning dastlab zo'riqtirilgan massivida ishlab chiqilganligi sababli, vaziyatning real tasvirlanishi sun'iy bo'shliqlar lar geometriyasidagi bosqichma-bosqich o'zgarishlarni hisobga olishi shart bo'ladi. Sun'iy bo'shliqlar geometriyasidagi bosqichma-bosqich o'zgarishlar o'rniga konturdagi chegaraviy kuchlarni boshlang'ich qiymatdan nolga qadar asta-sekin pasaytirish yo'li bilan ularning hosil qilinishini modellashtiramiz (3.10-rasm).

АЛГОРИТМ

$$\begin{aligned} \vec{\sigma}_{k=1} &= \vec{\sigma} & \text{Бoшланғич куч} & \vec{P}_{\text{возм}} \\ \vec{Z}_{k=1} &= 0 & \Delta \vec{P} &= 0.01 \cdot \vec{P}_{\text{возм}} \\ & & \vec{P}_{k=1} &= 0 \\ \text{Юкнинг } k\text{-чи қадами} & & & \\ \text{агар } P_{k-1} < P_{\text{возм}} & \text{ у ҳолда} & & \\ & \Downarrow & & \\ \tilde{R}_K \Delta \vec{Z}_K &= \Delta \vec{P} \\ \Delta \vec{\epsilon}_K &= B \times \Delta \vec{Z}_K \\ \Delta \vec{\sigma}_K &= D \times \Delta \vec{\epsilon}_K & \text{ёки } D_{ep} \times \Delta \vec{\epsilon}_K \\ \text{Эластик элементлар учун} & F(\vec{\sigma}_{K-1} + r \Delta \vec{\sigma}_K) = 0 \rightarrow r \\ \vec{\sigma}_K &= \vec{\sigma}_{K-1} + r \Delta \vec{\sigma}_K \\ \vec{\epsilon}_K &= \vec{\epsilon}_{K-1} + r \Delta \vec{\epsilon}_K \\ \vec{Z}_K &= \vec{Z}_{K-1} + r \Delta \vec{Z}_K \\ \vec{P}_K &= \vec{P}_{K-1} + r \Delta \vec{P}_K \end{aligned}$$

3.11-Rasm. Masalani yechish algoritmi

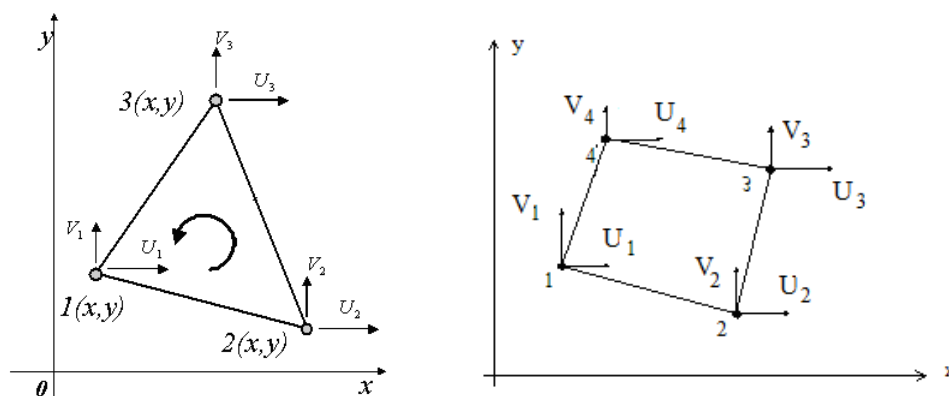
Holatning chekli (so'nggi) zo'riqqan holatiga kuchlardan xoli bo'lgan chegara $\sigma_{ij} = 0$ muvofiq kelib, qo'shimcha kuchlar $\sigma'_{ij} = -(\sigma_{ij})_0$ bunga javob beradi. Sun'iy bo'shliqning hosil bo'lishini modellashtirish uchun chekli (so'nggi) holatga 3.10-rasmda tasvirlangani kabi chegaradagi kuchlarni asta-sekin kamaytirib borish natijasida erishiladi deb tasavvur qilamiz. Agar boshlang'ich kuchlarni qiymati $\Delta(\sigma_{ij})_0 = \frac{(\sigma_{ij})_0}{K}$ bo'lgan K ta pog'onaga bo'lsak, u holda yuklamalarni pasaytirishning k -chi odimi uchun qo'shimcha kuchlar quyidagini tashkil etadi:

$$\sigma'_{ij} = -k \Delta(\sigma_{ij})_0 = -\frac{k \cdot (\sigma_{ij})_0}{K} \quad (3.35)$$

To'liq kuchlar esa quyidagiga teng:

$$\sigma_{ij} = (\sigma_{ij})_0 + \sigma'_{ij} = (\sigma_{ij})_0 \left(1 - \frac{k}{K}\right).$$

Bundan kelib chiqib, so'nggi qadam $k=K$, risoladagi kabi $\sigma'_{ij} = -(\sigma_{ij})_0$, $\sigma_{ij} = 0$. ni beradi.



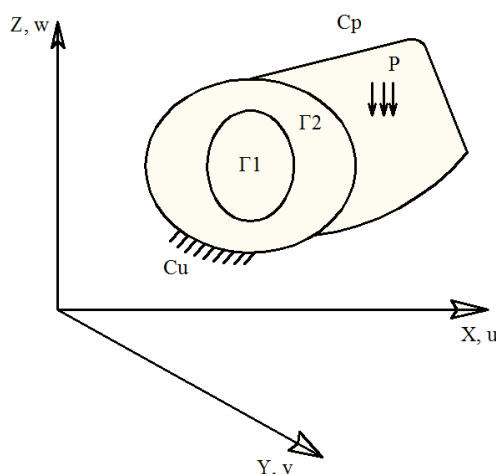
3.12-Rasm. Yassi uchburchakli va izoparametrik chekli elementlar

So'ngra nochiziqli masalani hisoblashning algoritmi (3.11) va nochiziqli tahlil nazariyasi asosidagi tegishli dasturlar paketi tuzildi. Dasturda inshootning chegaraviy shartlari, fizik va geometrik tavsiflari foydalanuvchi tomonidan har bir alohida masala shartlariga bog'liq ravishda beriladi. Avtomatlashtirish muammolari 4-bobda keltirilgan. Bu erda yassi sohani chekli elementlar bilan modellashtirish uchun chekli elementlarning ikki turidan foydalanilgan [129.]: 1-chi tartibli yassi uchburchakli element va yassi izoparametrik element (3.12-rasm).

3.4. "Tonnel-grunt massivi" tizimini dinamik va seysmik ta'sirlarga hisoblash usuli

Hisoblash usulini ishlab chiqishda quyidagi ilmiy ishlarda olingan natijalarni ham hisobga olamiz [78, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113]. Dinamik yuklamalar ta'sirida tashqi va ichki hajmiy kuchlar bosimi ostida tonnel inshooti ishlab turgan tizim – (qoplamalar konstruksiyasi) va uni o'rab turgan muhit – grunt (massivlari) vaqt o'tishi bilan o'zgaruvchan bo'ladi deb hisoblaymiz.

Bu yerda G_1 jism ostida ero sti inshootini, G_2 jism deganda esa gruntlar muhitini tushunamiz.



3.13-rasm. «Tonnel – grunt muhiti» tizimi modeli

Tizimga dinamik (portlashlar, turli tebranish manbalari) va seysmik yuklamalar ta'sir ko'rsatganida kuchlanganlik-deformasiyalanganlik holatni tadqiq etish yer osti konstruksiyasidagi ichki ishqalanish jarayonlari va grunt massividagi energiya dissipasiyasini hisobga olgan holda o'tkazish talab etiladi. Vaqt o'tishi bilan materiallardagi qovushqoqlik xossalari mavjudligi hamda gruntdagi dinamik to'liqlarning cheksizlikka o'tib ketishi bilan bog'liq holda tebranishlarning so'nishi ro'y beradi. Bu kabi masalalarni hal qilish bilan bog'liq asosiy qiyinchilik shundan iboratki, hisoblashda chekli sohani olishga to'g'ri keladi va bu to'liq chegaralarga urilib qaytishiga olib keladi. Bu esa echim natijalariga xatolik kiritadi. Shu sababli bu muammoni hal qilishga bir necha xil yondashuv mavjud [44, 79, 98, 135, 136]:

- chekka to'siqdan urilib qaytgan to'liqlar ko'rib chiqilayotgan vaqt mobaynida ana shu uchastkaga qadar etib kelib ulgurmaydi deb hisoblab, echimni faqat soha chegarasidan ma'lum masofada ko'rib chiqish;

- chegarada so'ndiruvchi elementlar o'rnatish, ya'ni harakatlanishga yuqori qarshilik ko'rsatadigan berilgan sohani belgilash;

- to'liqlar so'ndirilishini ta'minlab beradigan maxsus chekli (chegaraviy) sharoitlarni berish, bunday shartlar *standart qovushqoq chegara* deb nom olgan.

Boshqa tarafdin, agar asosan yer osti konstruksiyasining deformasiyalanishi o'rganilayotgan bo'lsa, u holda hisoblashlar o'tkazish uchun mo'ljallangan nisbatan qulay modellar bilan cheklanish mumkin. Xususan, bundaylarga yer osti inshootlarining seysmodinamik nazariyasining o'zaro ta'sirlashuv modellarini oid deb olish mumkin. Agar gruntning yer osti inshooti bilan o'zaro ta'sirlashib tezlashishi yoki siljishi ma'lum bo'lsa (zilzilalar akselerogrammasi yoki seysmogrammasi), u holda dinamik masalalarni echish asosida inshootning ichki dinamik tavsiflarini aniqlash mumkin bo'ladi.

Tegishli chekli va boshlang'ich sharoitlarga ega bo'lgan asosiy dinamik tenglamalarni [66, 132] yozib olamiz:

$$\begin{aligned} A\vec{\sigma} + \vec{J} &= 0 \\ \vec{\varepsilon} &= A^T \vec{U} \\ \vec{\sigma} &= D\vec{\varepsilon} \end{aligned} \quad (3.36)$$

bu erda Dalamber tamoyiliga binoan $\vec{J} = -\rho \frac{\partial^2 \vec{U}}{\partial t^2}$ (3.37)

C_u konturidagi kinematik chegaraviy shartlar

$$\vec{U} = \vec{U}_u \quad (3.38)$$

Avvaldan soha chegarasida etarlicha uzoq masofada

$$\begin{cases} x \rightarrow \pm\infty \\ y \rightarrow \pm\infty \\ z \rightarrow \infty \end{cases}, \vec{U}_u = 0$$

ekanligini belgilab olamiz. C_σ konturidagi chegaraviy kuchlar

$$A_c \vec{\sigma} = \vec{P}_\sigma \quad (3.39)$$

Avvaldan agar soha chegarasi yuzasida tashqi kuchlar mavjud bo'lmasa, shu yuzada $\vec{P}_\sigma = 0$ deb belgilab olamiz, aks holda $\vec{P}_\sigma \neq 0$.

Bu erda $\vec{U}_u, \vec{P}_\sigma$ - C_u konturidagi berilgan siljishlar vektori va berilgan kuchlar vektori - C_σ , A_c - yo'naltiruvchi kosinuslar matritsasi.

Boshlang'ich shartlar

$$\vec{U}_{(t=0)} = \vec{U}_0, \quad \dot{\vec{U}}_{(t=0)} = \dot{\vec{U}}_0 \quad (3.40)$$

Avvaldan quyidagilarni belgilab olamiz: $t = 0$, $\begin{cases} \vec{U}_0 = 0 \\ \dot{\vec{U}}_0 = 0 \end{cases}$

shunda $ADA^T \vec{U} = \rho \frac{\partial^2 \vec{U}}{\partial t^2}$ yoki

$$\begin{aligned} (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u &= \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \\ (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + P_y &= \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \\ (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w + P_z &= \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \\ \nabla &= \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \\ \nabla^2 &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \lambda = \frac{\nu E}{(1 - 2\nu)(1 + \nu)} \\ \mu &= \frac{E}{2(1 + \nu)} - \text{Ляме доимийлари} \end{aligned} \quad (3.41)$$

Chegaraviy va boshlang'ich shartlarga (3.38-3.40) ega bo'lgan tenglamalar (3.36-3.37) elastiklik dinamik nazariyasi masalasining siljishlardagi to'liq to'g'ridan-to'g'ri qo'yilishini tashkil etadi. Endi (3.36) tizimidan Bolsman – Volterr nasllik nazariyasiga muvofiq Guk qonunining uchinchi tenglamasini yozib olamiz [36, 37, 38]:

$$\vec{\sigma} = D(1 - R^*) \vec{\varepsilon} \quad (3.42)$$

R^* — Вольтернинг интеграллик оператори интегральный оператор

$$\begin{aligned} R^* f(t) &= \int_0^t R(t - \tau) f(\tau) d\tau \\ R(t - \tau) &= \bar{\varepsilon} e^{-\beta(t-\tau)} (t - \tau)^{\alpha-1}, \quad 0 < \alpha < 1 \end{aligned}$$

Masalaning kontinual modelidan diskret modeliga o'tish uchun Ostrogradskiy-Gamiltonning variatsion tamoyilidan foydalanamiz [36].

R makonda Ω hajmni egallagan va $C = C_u + C_\sigma$ yuza bilan cheklangan ma'lum qovushqoq-elastik jism berilgan bo'lsin deylik. Bu holda C_u yuzada kinematik chegaraviy shartlar berilgan bo'lib, C_σ ga quyidagi yuklamalar tizimi $f = (f_x, f_y, f_z)$ ta'sir ko'rsatadi deylik.

$\vec{U}(x, y, z, t) = [u(x, y, z, t) \ v(x, y, z, t) \ w(x, y, z, t)]^T$ ko'rinishidagi siljishlar vektor-funksiyasi prof. F. B. Badalov tomonidan quyidagi ko'rinishda taklif qilingan tizim to'liq energiyasi funksionaliga minimum etkazib beradi [36] deb hisoblaymiz:

$$I = \int_{t_1}^{t_2} (\Pi - T + \bar{A}) dt = \int_{t_1}^{t_2} \iiint_{\Omega} F(u, v, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial v}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial x}, \frac{\partial w}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z}) dx dy dz dt \quad (3.43)$$

ushbu cheklanishlar bo'lganida

$$\vec{U} \Big|_{C_u} = \vec{U}_u(x, y, z, t), \vec{U} \Big|_{t=0} = \vec{U}_1(x, y, z), \vec{U} \Big|_{t=0} = \vec{U}_2(x, y, z) \quad (3.44)$$

bunda $\vec{U}_u = \vec{U}_u(x, y, z, t), \vec{U}_1(x, y, z), \vec{U}_2(x, y, z) - C_u$ chegarasida $t = 0$ b'lganida

$$T = \frac{1}{2} \iiint_{\Omega} \rho \left(\left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \right) dx dy dz,$$

$$\bar{A} = \iiint_{\Omega} (f_x u + f_y v + f_z w) dx dy dz, \quad \Pi = \iiint_{\Omega} \bar{\Pi} dx dy dz$$

Bu erda qovushqoq-elastik potensialni kiritish bilan $\Pi = \Pi_y - \Pi_\sigma$ Lagranj funksionali potensial ko'rinishga ega bo'ladi. Π_y, Π_σ — akademik Yu. V. Rabotnov tomonidan kiritilgan elastik va qovushqoq potensialdir. Ana shunda [36] ga muvofiq, (3.36-3.42) ni hisobga olgan holda potensial energiya uchun ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{1}{2} [(2\mu\varepsilon_x^2 + \lambda\Delta\varepsilon_x) + (2\mu\varepsilon_y^2 + \lambda\Delta\varepsilon_y) + (2\mu\varepsilon_z^2 + \lambda\Delta\varepsilon_z) + \\ & - \mu(\gamma_{yz}^2 + \gamma_{zz}^2 + \gamma_{xy}^2)] - [(2\mu\varepsilon_x^* \varepsilon_x + \lambda\Delta^* \varepsilon_x) + (2\mu\varepsilon_y^* \varepsilon_y + \lambda\Delta^* \varepsilon_y) + \\ & + (2\mu\varepsilon_z^* \varepsilon_z + \lambda\Delta^* \varepsilon_z) + \mu(\gamma_{yz}^* \gamma_{yz} + \gamma_{zz}^* \gamma_{zz} + \gamma_{xy}^* \gamma_{xy})] \end{aligned}$$

$$\text{bunda } \varepsilon_x^* = \int_0^t R(t-\tau) \varepsilon_x(\tau) d\tau, \dots, \gamma_{yz}^* = \int_0^t R(t-\tau) \gamma_{yz}(\tau) d\tau, \Delta^* = \int_0^t R(t-\tau) \Delta(\tau) d\tau$$

Yuqorida keltirilgan chegaraviy va boshlang'ich shartlarga ega (3.43) asosidagi funksionalning stasionarligi sharti masalaning to'g'ridan-to'g'ri qo'yilishiga

ekvivalent ko‘rinish oladi [36, 37]. Isbot tariqasida prof. F. B. Badalov ifodasiga ko‘ra uch o‘lchamli holat uchun F funksiyasining yaqqol ko‘rinishini keltiramiz [36]:

$$F = \mu \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right) + \frac{\lambda}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \frac{\mu}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) -$$

$$- 2\mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} R^* \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} R^* \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} R^* \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) R^* \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) -$$

$$- \mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) R^* \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \frac{\rho}{2} \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right) + f_x u + f_y v + f_z w$$

Shunda Eyler-Puasson tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{\partial F}{\partial u} - \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial F}{\partial u_t} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial u_x} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial u_y} - \frac{\partial}{\partial z} \frac{\partial F}{\partial u_z} = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial v} - \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial F}{\partial v_t} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial v_x} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial v_y} - \frac{\partial}{\partial z} \frac{\partial F}{\partial v_z} = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial w} - \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial F}{\partial w_t} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial w_x} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial w_y} - \frac{\partial}{\partial z} \frac{\partial F}{\partial w_z} = 0$$

Bu esa masalaning to‘g‘ridan-to‘g‘ri qo‘yilishini beradi. Aynan shu masalaning to‘g‘ridan-to‘g‘ri va variasion qo‘yilganligining ekvivalentligini isbotidir. Endi, kontinual tizimdagi uning tugunli qiymatlari orqali siljishlarni aniqlash uchun bazisli funksiyalardan foydalanib, chekli elementlar usulining dinamik qo‘yilishdagi quyidagi tenglamalar tizimini olishimiz mumkin bo‘ladi [37, 108]:

$$M\ddot{\vec{Z}}(t) + K(1 - R^*)\vec{Z}(t) = \vec{P}(t) \quad (3.45)$$

bu erda, $R^*\vec{Z}(t) = \int_0^t R(t - \tau)\vec{Z}(\tau)d\tau$ va M, K - chekli-elementli tizimning massalari va bikirlik matritsasi, $\vec{Z}(t), \vec{P}(t)$ - tugunlar va tashqi kuchlarning siljish vektorlari.

Qo‘yilgan kuchlarga bog‘liq ravishda, seysmik tebranishlarni ko‘rib chiqishda tugun kuchlari vektori har xil bo‘lishi mumkin bo‘lsa, masalan, $\vec{P}(t) = M\ddot{\vec{Z}}(t)_{IP}$, agar vibrasion garmonik yuklamalar ko‘rib chiqilayotganida, u holda $\vec{P}(t) = p_0 \sin \theta t$, bunda $\ddot{\vec{Z}}(t)_{IP}$ - gruntning zilziladagi akselerogrammasi ko‘rinishidagi ma‘lum tezlanishi, p_0, θ - tashqi garmonik yuklamaning amplitudali qiymati va chastotasi.

Tizim tebranishlari yer osti inshootlarining ma‘lum seysmodinamik nazariyasi nuqtai nazaridan ko‘rib chiqilganida, chekli-elementli tizimning harakatlanishiga doir dinamik tenglamalar o‘zgacha ko‘rinishga ega bo‘ladi. Bu erda grunt va inshoot o‘rtasidagi nisbiy siljishlar mavjudligi hisobga olinadi. O‘zaro ta’sirlashuvchi kuchlar yuzaga keladi va yer osti inshooti ana shu kuchlar ta’sirida harakatda bo‘ladi. Shunda, yer osti inshootlarining harakatlanish tenglamasi, G_1 jism uchun chekli-

elementli shaklda, hisoblashlardan kelib chiqib nisbiy koordinatalarda quyidagi ko‘rinishda yozib olinishi mumkin:

$$M\ddot{\vec{Z}}(t) + K(1 - R^*)\dot{\vec{Z}}(t) + K\vec{Z}(t) = \vec{P}(t) \quad (3.46)$$

bu erda $\vec{K}$ - inshootning grunt bilan o‘zaro ta’sirlashish matritsasi, $\vec{Z}(t), \dot{\vec{Z}}(t)$ - yer osti inshootining nisbiy siljishlari va tezlanishlari vektori.

Tashqi dempferlash hisobga olingan holatda tenglama quyidagi ko‘rinishda yozib olinishi mumkin:

$$M\ddot{\vec{Z}}(t) + K(1 - R^*)\dot{\vec{Z}}(t) + C\dot{\vec{Z}}(t) + K\vec{Z}(t) = \vec{P}(t)$$

bu erda S – dempferlash diagonal matritsasi, o‘z ichiga tashqi dempferlash koeffitsientlarini (so‘nish modullarini – χ (soniya)) oladi. $\varepsilon = 0$ ni va (3.45-3.46) tenglamalarining o‘ng qismini nolga tenglashtirib, hamda tashqi kuchlar yo‘q deb faraz qilish bilan, tizimning erkin chiziqli tebranishlar tenglamasiga kelamiz. Echim quyidagi ko‘rinishga ega deb faraz qilish bilan yoziladi:

$$\vec{Z} = \vec{\delta} \cdot \cos(\omega t)$$

[70] ilmiy ish orqali, ana shu yuqorida keltirilgan matritsali tenglamalar quyidagi shart bajarilgan holatida echimiga ega ekanligini ko‘rsatish mumkin:

$$(K - \omega^2 M)\vec{\delta} = 0 \quad (3.47)$$

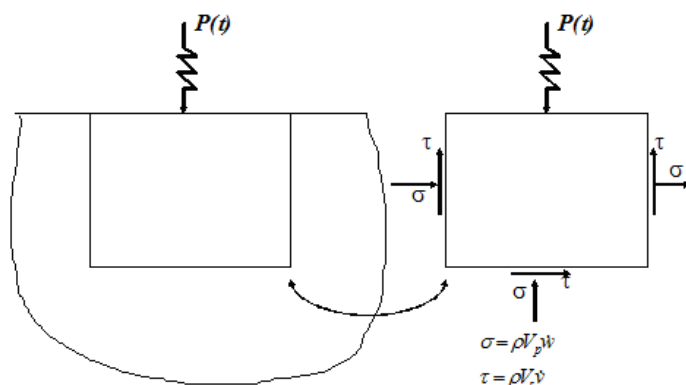
bu erda $\omega^2, \vec{\delta}$ - tizim tebranishlari chastotalari va shakllari vektori. Ularning xususiy qiymatlari muammosini (3.47) (chastotalarni, undan so‘ng xususiy tebranishlari shaklini) hal qilish uchun Yakob usulini qo‘llash mumktn [44]. Ana shunda erosti inshootlari zilzilabardoshliligining spektral nazariyasiga binoan [69;, 132] tizimning xususiy tebranishlari k-chi shakli i-chi massasiga mos keladigan seysmik kuchlarni aniqlash mumkin bo‘ladi:

$$\vec{S}_{ik} = AK_1K_2K_\psi\vec{Q}_i\beta_k(t)\eta_{ik} \quad (3.48)$$

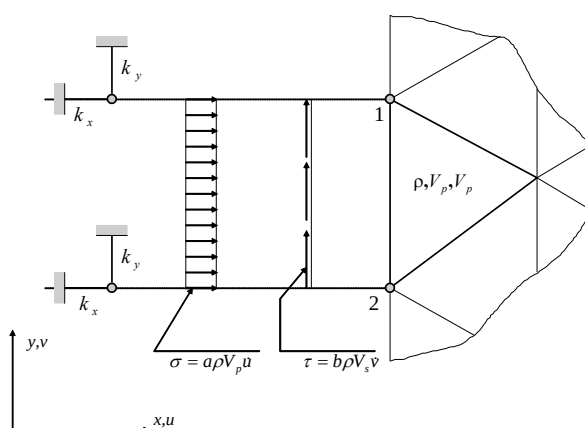
bu erda A - qurilish maydoni hisobiy seysmikligini inobatga olish koeffitsienti, $K_1=0,25$ – qoplamaning yo‘l qo‘yiladigan shikastlanishlarini hisobga olish koeffitsienti, K_2 – tonnellar konstruktiv echimlarini hisobga olish koeffitsienti (ma’lumotlar mavjud bo‘lmagan hollarda birga teng deb olinadi), K_ψ – konstruksiyaning dissipativ tavsiflarini hisobga olish koeffitsienti (ma’lumotlar mavjud bo‘lmagan hollarda birga teng deb olinadi), $\beta_k(t), \eta_{ik}$ - dinamik koeffitsient, tizimning xususiy tebranishlari k-chi shakliga muvofiq keladi hamda tizim tebranishlari k-chi shakliga va yuklamaning joylashish o‘rniga bog‘liq bo‘lgan koeffitsient.

Endi yarim sathdagi cheksiz (yassi masala) misolida standart qovushqoq chegara olinishini ko‘rsatamiz. Bunda ma’lum bir chekli soha tanlab olinadi (3.14-rasm).

Tanlab olingan sohaga harakatga qarshilik ko'rsatadigan ikki xil kuch qo'yiladi [159, 160]. Bu kuchlar 3.15-rasmda ko'rsatilgan tarzda chekli-elementli modelga qo'yiladi.



3.14-Rasm. Ajratilgan yarim sathdagi cheksiz soha



3.15-Rasm. Qarshilik kuchlarining amal qilish sxemasi (k_x, k_y – chegaraviy (chekli) nuqtalarning shartli birkirliklari)

To'liqlarning hamda standart qovushqoq chegarani hisobga olgan holda, gruntlar elastik muhitida tarqalishi to'g'risidagi masalani echishda, chekli sohalarda $\varepsilon = 0$ ni hisobga olish bilan cheklanish mumkin, chunki to'liqin tarqalish sharti asosan elastik to'liqlarning cheksiz muhit chegarasida yutilishi uchun ko'proq to'g'ri keladi [159]. 3.15-rasmda keltirilgan a, b koeffitsientlari ko'pincha 1.0...1.2 ga teng deb olinib, raqamlar yordamida o'tkazilgan tajribadan aniqlanadilar, ammo [159, 160] ilmiy ishlaridako'ra a, b koeffitsientlarini hisoblab topish mumkin bo'lgan bog'liqliklar keltirilgan. σ, τ lar uchun mo'ljallangan ifodalarda quyidagilar mavjuddir: ρ – muhit zichligi; V_p, V_s – mos ravishda, muhitda bo'ylama va ko'ndalang to'liqlarning tarqalish tezliklari quyidagi formulalar bo'yicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} V_s &= \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad G = \frac{E}{2(1+\mu)} \\ V_p &= \frac{V_s}{s}, \quad s = \sqrt{\frac{1-2\mu}{2(1-\mu)}} \end{aligned} \quad (3.49)$$

μ – Puasson koeffitsienti, E – muhitning elastik moduli.

k_x, k_y bikrlilari, unga reaksiyalar x, y yo'nalishlarida qo'yiladigan tugunning mos ravishda c, d koeffitsientlariga ko'paytirilgan bikrligiga teng deb olinadi (ular bikrlilik matritsasining diagonal elementlariga muvofiq keladi), ya'ni

$$k_x = cK_{ii}, k_y = dK_{jj}. \quad (3.50)$$

Bu bikrliliklar konstruksiyani qayd etish uchun hisoblashga kiritilib, c, d koeffitsientlari chegarada urilib qaytgan to'liqlar bo'lmaydigan holat qilib olinadi. [160] ilmiy ishda 90% to'liqlar $c=0,2$ va $d=0,2$ bo'lganida so'ndirilgani aniqlandi.

Avvalgi bayon etishlar natijasida ikki xil qo'shimcha kuchni aniqlash mumkin

$$\begin{aligned} \sigma &= a\rho V_p \dot{u} \\ \tau &= b\rho V_s \dot{v} \end{aligned} \quad \text{yoki} \quad \begin{Bmatrix} \sigma \\ \tau \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a\rho V_p & 0 \\ 0 & b\rho V_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{Bmatrix} \quad (3.51)$$

Umumiy holda ular konstruksiyaga ixtiyoriy yo'nalishda qo'yilishi mumkin. Koordinatalarning global tizimdagi zo'riqlishlarni aniqlab beradigan nisbatlarni belgilab olamiz. O'zgartirish formulalaridan foydalanib, quyidagicha yozib olish mumkin (3.16-rasm):

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma \cos \alpha - \tau \sin \alpha \\ \sigma_y &= \sigma \sin \alpha + \tau \cos \alpha \end{aligned} \quad \text{yoki} \quad \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma \\ \tau \end{Bmatrix} \quad (3.52)$$

(3.51) ni (3.52) ga qo'yishdan keyin quyidagilarni yozib olamiz:

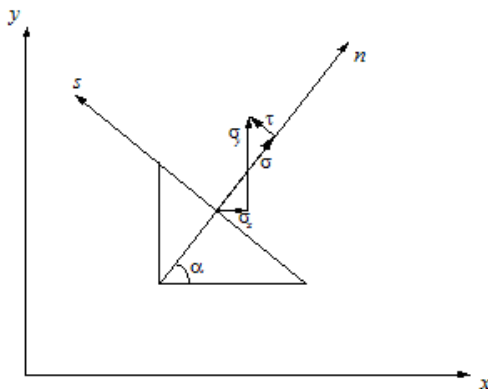
$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a\rho V_p & 0 \\ 0 & b\rho V_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{Bmatrix} \quad (3.53)$$

Endi koordinatalarning mahalliy (lokal) tizimdagi tezliklar vektorini koordinatalarning global tizimdagi tezliklar vektori orqali ifodalash mumkin:

$$\begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U} \\ \dot{V} \end{Bmatrix} \quad (3.54)$$

(3.54) ni (3.53) ga qo'yish bilan quyidagilarni olamiz:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a\rho V_p & 0 \\ 0 & b\rho V_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U} \\ \dot{V} \end{Bmatrix} \quad (3.55)$$



3.16-Rasm. Qarshilik kuchlarini koordinatalarning global tizimdagi yo'nalishlari bo'yicha taqsimlash

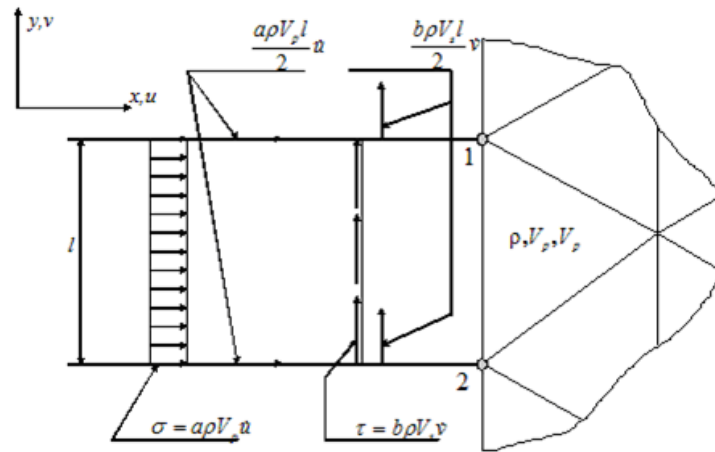
Ushbu nisbatni chegaraviy kuchlanishlarni tugundagi kuchlanishlarga keltirish bilan bog'liq taniqli formulaga qo'yish bilan [70], shuningdek (3.26) formulasini e'tiborga va $\begin{Bmatrix} U \\ V \end{Bmatrix} = \frac{\partial \vec{Z}}{\partial \vec{a}} = [N] \frac{\partial \vec{Z}}{\partial \vec{a}}$ ekanligini hisobga olib, Su konturda quyidagilarni olamiz (3.17-rasm):

$$\begin{aligned} \bar{P}_C &= \int [N]^T \{g\} dS = \int [N]^T \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{Bmatrix} dC = \\ &= \int [N]^T \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a\rho V_p & 0 \\ 0 & b\rho V_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} [N] dC \frac{\partial \vec{Z}}{\partial \vec{a}} = \Gamma \vec{Z} \end{aligned} \quad (3.56)$$

Gorizontal yoki vertikal chegara uchun G matritsasi diagonal matritsadan iborat bo'lib uning diagonal elementlarida erkinlik darajalariga muvofiq kelgan, ular orqali standart qovushqoq chegara o'tgan qarshilik ko'effitsientlari turadi. Bu ko'effitsientlar taqsimlangan tashqi yuklamadan tushadigan tugun kuchlari aniqlanadigan xuddi o'sha tamoyil bo'yicha topiladi. Uchburchak chekli elementlardan foydalanilgan holat uchun, tugun qarshilik kuchlariga keltirish sxemasi 3.17-rasmda ko'rsatilgan.

Tugunga to'g'ri keladigan chegaraviy bikrliklarni (3.50) formula bo'yicha diagonal matritsaga birlashtirish mumkin:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} cK_{ii} & 0 \\ 0 & dK_{jj} \end{bmatrix} \quad (3.57)$$



3.17-Rasm. Taqsimlangan qarshilik kuchlarining S_u chegarada tugunli kuchlarga keltirilishi

Qarshilik kuchlari uchun standart qovushqoq qo'yilgan chegara bo'ylab jamlab borib, quyidagicha yozib olish mumkin:

$$\Gamma \vec{Z} = \sum \Gamma \vec{Z}$$

Fazodagi holat uchun bu matritsalar xuddi shu tartibda chiqariladilar. Shunda yuqorida aytib o'tilganlarni hisobga olib, (3.45) tenglama boshqacha ko'rinishga ega bo'ladi:

$$M\ddot{\vec{Z}}(t) + K(1 - R^*)\vec{Z}(t) = \bar{P}(t) - \Gamma\vec{Z}(t) \quad (3.58)$$

Olingan (3.45, 3.46, 3.58) tenglamalar integro-differensial tenglamalar tizimi (IDT) bo‘lib keladilar. $\bar{\varepsilon}^* = 0$ bo‘lgan holida ular differensial tenglamalar tizimiga aylanadilar. Ushbu tenglamalarni echish uchun to‘g‘ridan-to‘g‘ri odimma-odim integrasiyalash θ -Vilson uslubini qo‘llaymiz. [44, 91] larga muvofiq $t + \theta\Delta t$ vaqt momenti uchun tezlanish va yuklama vektorini o‘zgartirish nazarda tutilib, siljish, tezliklar va tezlanishlar vektorlari quyidagi ko‘rinishda yozib olinadi:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{t+\theta\Delta t} &= \bar{Z}_t + \theta\Delta t \bar{\dot{Z}}_t + \frac{\theta^2 \Delta t^2}{6} (\bar{\ddot{Z}}_{t+\theta\Delta t} + 2\bar{\ddot{Z}}_t), \quad \bar{\dot{Z}}_{t+\theta\Delta t} = \bar{\dot{Z}}_t + \frac{\theta\Delta t}{2} (\bar{\ddot{Z}}_{t+\theta\Delta t} + \bar{\ddot{Z}}_t), \\ \bar{\ddot{Z}}_{t+\theta\Delta t} &= \frac{6}{\theta^2 \Delta t^2} (\bar{Z}_{t+\theta\Delta t} - \bar{Z}_t) - \frac{6}{\theta\Delta t} \bar{\dot{Z}}_t - 2\bar{\ddot{Z}}_t\end{aligned}$$

Usulning shak-shubhasiz turg‘unligi $\theta \geq 1.37$ bo‘lganida ta‘minlanadi. $\bar{Z}_{t+\theta\Delta t}$ ni izlab topish uchun harakat tenglamalarining (3.58) matritsali tizimini $t + \theta\Delta t$ vaqt momenti uchun yozib olamiz:

$$M\bar{\ddot{Z}}_{t+\theta\Delta t} + K(\bar{Z}_{t+\theta\Delta t} - \int_0^{t+\theta\Delta t} R(t_{t+\theta\Delta t} - \tau)\bar{Z}(\tau)d\tau) = \bar{P}_{t+\theta\Delta t} - \Gamma\bar{\dot{Z}}_{t+\theta\Delta t} \quad (3.59)$$

[20] da Rjanisym-Koltunovning zaif-sinulyar yadro integrali uchun taklif etilgan o‘zgartirishdan foydalanib, quyidagicha yozamiz:

$$\bar{\varepsilon} \int_0^{t+\theta\Delta t} e^{-\beta(t_{t+\theta\Delta t} - \tau)} (t_{t+\theta\Delta t} - \tau)^{\alpha-1} \bar{Z}(\tau) d\tau = \frac{\theta\bar{\varepsilon}}{\alpha} \left(\frac{\Delta t^\alpha}{2} \bar{Z}_{i+1} + \sum_{k=1}^{i+1} B_k e^{-\beta t_k} \bar{Z}_{i+1-k} \right) \quad (3.60)$$

$$\text{zade} \quad \bar{Z}_{t+\theta\Delta t} = \bar{Z}_{i+1}, B_k = \frac{\Delta t^\alpha}{2} ((k+1)^\alpha + (k-1)^\alpha), k=1, j, B_{j+1} = \frac{\Delta t^\alpha}{2} ((j+1)^\alpha + j^\alpha)$$

Boshlang'ich hisoblashlar					
1	$[K]$ bikrlilik, $[M]$ va Γ massalar matritsalarini shakllantiriladi				
2	Boshlang'ich qiymatlar beriladi $\bar{Z}_0, \bar{\dot{Z}}_0, \bar{\ddot{Z}}_0$				
3	Vaqt odimi Δt tanlab olinib, integrallash doimiylari hisoblab topiladi (odatda, $\theta = 1.37$)				
	$a_0 = \frac{6}{(\theta\Delta t)^2}$	$a_1 = \frac{3}{\theta\Delta t}$	$a_2 = 2a_1$	$a_3 = \frac{\theta\Delta t}{2}$	$a_4 = \frac{a_0}{\theta}$
	$a_5 = \frac{-a_2}{\theta}$	$a_6 = 1 - \frac{3}{\theta}$	$a_7 = \frac{\Delta t}{2}$	$a_8 = \frac{\Delta t^2}{6}$	
4	Samarali bikrlilik matritsasi K_9 shakllantiriladi $K_9 = K(1 - \frac{\theta\varepsilon}{\alpha} \frac{\Delta t^\alpha}{2}) + a_0 M + a_1 \Gamma$				
5	K_9 matritsasi uchburchak ko'rinishga keltiriladi $K_9 = LDL^T$				
B. Har bir vaqt odimi uchun					
1	$t + \theta\Delta t$ vaqt uchun samarali yuklama vektori hisoblab topiladi				

	$\bar{P}_{\ominus,i+1} = \bar{P}_i + \theta(\bar{P}_{i+1} - \bar{P}_i) + M(a_0\bar{Z}_i + a_2\bar{Z}_i + 2\bar{Z}_i) +$ $+ \Gamma(a_1\bar{Z}_i + 2\bar{Z}_i + a_32\bar{Z}_i) + \frac{\theta\varepsilon}{\alpha} K \sum_{k=1}^{i+1} B_k e^{-\beta t_k} \bar{Z}_{i+1-k}$
2	$t + \theta\Delta t$ vaqtdagi siljishlar topiladi $LDL^T \bar{Z}_{i+1} = \bar{P}_{\ominus,i+1}.$
3.	$t + \theta\Delta t$ vaqtdagi siljishlar, tezliklar va tezlanishlar hisoblab topiladi $\bar{Z}_{i+1} = a_4(\bar{Z}_{i+1} - \bar{Z}_i) + a_5\bar{Z}_i + a_6\bar{Z}_i$ $\bar{Z}_{i+1} = \bar{Z}_i + a_7(\bar{Z}_{i+1} + \bar{Z}_i)$ $\bar{Z}_{i+1} = \bar{Z}_i + \Delta t\bar{Z}_i + a_8(\bar{Z}_{i+1} + 2\bar{Z}_i)$

3.18-Rasm. Integro-differensial tenglamalar zaif-singulyar tizimlarini hal qilish uchun

Vilsonning θ -uslubi asosidagi algoritmi

Yakuniy tenglamalar tizimi (3.59) tenglamaga quyidagi ko‘rinishdagi (3.60) bog‘liqlikka qo‘yish bilan olinadi:

$$K_{\ominus}\bar{Z}_{i+1} = \bar{P}_{\ominus,i+1} \quad (3.61)$$

Harakat tenglamasini echish algoritmi 3.18-rasmda keltirilgan.

III-bob bo‘yicha xulosalar

1. Tonnel qoplamalarini sterjenli modeliga ko‘ra grunt bilan o‘zaro ta’sirlashishini hisobga olgan holda hisoblash usuli quyidagilar uchun takomillashtirildi:

ixtiyoriy berilgan ta’sir turiga ixtiyoriy ko‘rinishdagi konstruksiyalar uchun;

har xil chuqurliklarda joylashgan monolit va yig‘ma konstruksiyalar uchun;

ixtiyoriy ko‘rinishdagi, shu jumladan monolit va yig‘ma konstruksiyalar uchun, qoplama elementlarining geometrik va fizik parametrlari o‘zgarishlarini hisobga olgan holda;

gruntlar massivining "qoplama–gruntlar massivi" tizimida ro‘y beradigan turli jarayonlar tufayli kelib chiqqan siljish va deformasiyalanishlarini hisobga olish;

tonnel qoplamalarining konstruksiyaviy elementlari va uning atrofidagi gruntlar muhiti uchun kuchlangan va deformasiyalangan holatlarni tahlil qilishning sonli usullari ishlab chiqildi.

2. Tonnel sun‘iy inshootining gruntlar massivi boshlang‘ich kuchlanishlari maydonidan o‘tishini modellashtiruvchi yangi hisoblash usuli va algoritmi ishlab chiqildi;

3. Tonnel qoplamalarining dinamik va seysmik hisobini amalga oshirish maqsadida, tonnellar konstruksiyalari o‘zaro deformasiyalanuvchanlik xossalarini hisobga olishda sonli tahlilning yangi takomillashtirilgan usuli ishlab chiqildi;

4. Prof. F. B. Badalov tomonidan taklif qilingan integral va integro-differensial tenglamalarning zaif-singulyar xususiyatlarini inobatga olish va Vilsonning θ -usullari asosida masalaning diskret modellarini bayon etgan oddiy zaif-singulyar integro-differensial tenglamalar tizimini echish uchun hisoblash algoritmi ishlab chiqildi.

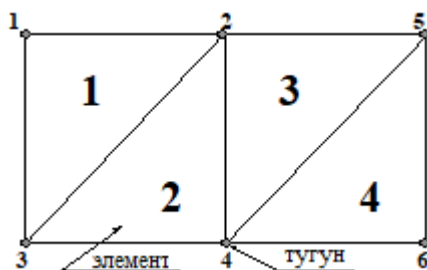
IV-BOB. HISOBLASH USULLARINI AVTOMATLASHTIRISH

4.1. Masalalar echimi uchun axborot tayyorlash

Tonnel konstruksiyalari masalalarini avtomatlashtirilgan diskretlashtirilgan tizimda echish uchun biz quyidagilardan foydalandik [78, 103, 104, 105, 106, 107, 108; s.51-54, 109, 110, 111, 113]:

- 1) ma'lumotlarni redaktor yordamida grafik tarzda kiritish;
- 2) konstruksiyani topologiya usuli yordamida elementlarga ajratish.

Konstruksiya elementlarga bo'linganidan so'ng butun axborotni kompyuter diskiga yozib olamiz. So'ng bikrlilik matritsasini saqlab qo'yamiz va zarur bo'lsa, bikrlilik matritsasining o'lchamini kichraytirish maqsadida hisobiy sxema tugunlarini qayta raqamlaymiz. Matritsa tasmasi enida har bir element bir necha tugunga va har bir tugun o'z raqamiga ega. Maksimal va minimal raqam orasidagi farq qo'shilgan tugun erkinliklari darajalari sonini birga ko'paytirsak, bu mazkur element uchun tasma enini beradi, ya'ni $M = (N_{\max} - N_{\min} + 1) \cdot S$ (4.1-rasm).



4.1-Rasm. Bikrlilik matritsasi tasmasi enini aniqlash sxemasi

So'ngra birinchi elementda minimal tugunni topamiz va shundan keyin navbatma-navbat element tugunlari raqamlaridan minimal tugun raqamini ayirib tashlaymiz va shunday qilib olingan natijaga birni qo'shamiz, ya'ni, masalan № 1 element uchun:

$$1 - 1 + 1 = 1 \quad - 1 \text{ ustun balandligi } 1 \text{ ga teng}$$

$$3 - 1 + 1 = 3 \quad - 3 \text{ ustun balandligi } 3 \text{ ga teng}$$

$$2 - 1 + 1 = 2 \quad - 2 \text{ ustun balandligi } 2 \text{ ga teng}$$

Buni qolgan elementlar, masalan № 2 element uchun takrorlaymiz:

$$2 - 2 + 1 = 1 \quad - 2 \text{ ustun balandligi } 1 \text{ ga teng}$$

$$3 - 2 + 1 = 2 \quad - 3 \text{ ustun balandligi } 2 \text{ ga teng}$$

$$4 - 2 + 1 = 3 \quad - 4 \text{ ustun balandligi } \text{№} 3 \text{ element uchun } 3 \text{ ga teng}$$

$$2 - 2 + 1 = 1 \quad - 2 \text{ ustun balandligi } 1 \text{ ga teng}$$

$$4 - 2 + 1 = 3 \quad - 4 \text{ ustun balandligi } 3 \text{ ga teng}$$

$$5 - 2 + 1 = 4 \quad - 4 \text{ ustun balandligi } \text{№} 4 \text{ element uchun } 4 \text{ ga teng}$$

$$5 - 4 + 1 = 2 \quad - 5 \text{ ustun balandligi } 1 \text{ ga teng}$$

$$4 - 4 + 1 = 1 \quad - 4 \text{ ustun balandligi } 1 \text{ ga teng}$$

$$6 - 4 + 1 = 3 \quad - 6 \text{ ustun balandligi } 3 \text{ ga teng}$$

Shundan keyin har bir tugun uchun maksimal balandlik qiymatlarini aniqlaymiz:

Tugun raqami	Balandligi
1	
2	2
3	3
4	3
5	4
6	3

Bundan barcha balandliklar orasida maksimal qiymat 4 ga teng ekanligi kelib chiqadi. Bu sonni tugun erkinlik darajalari soniga ko'paytirish bilan tasmaning berilgan eniga ega bo'lamiz. Dasturlarimizda bir o'lchamli ko'rinishdagi saqlash usuli qo'llanib [44], bu erda bikrlilik matritsasining ustunlari navbatma-navbat (oldinma-ketin) saqlanadi va har bir ustun diagonal elementdan boshlanib, yuqori nol bo'lmagan element bilan tugallanadi.

Tasmaning optimal darajaga yaqin enini olish uchun quyidagi usullardan foydalanildi: birinchisi – bu tugunlarni navbatma-navbat konstruksiyaning bir chekkasidan boshqa uzun tarafiga qadar raqamlab chiqish. Masalan, grafik redaktorda tugunlarni bo'lish va raqamlash natijasida 4.2-rasmda keltirilgan sxemaga ega bo'lindi.

1	2	11	16	21	51	56	61	66
4	3	12	17	22	52	57	62	67
8	5	13	18	23	53	58	63	68
5	7	14	19	24	54	59	64	69
10	9	15	20	25	55	60	65	70
27	28	29	30	36	71	72	73	74
32	31	38	43	47	75	76	83	87
34	33	40	44	45	78	80	84	88
36	35	41	46	48	77	81	85	89
38	37	42	49	50	79	82	86	90

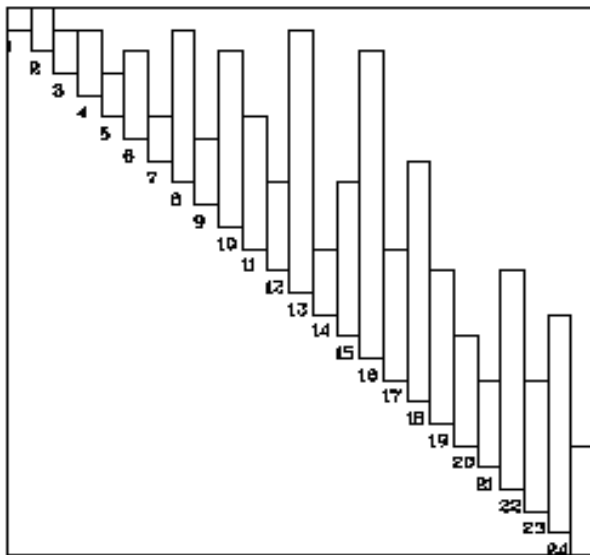
4.2-Rasm. Tugunlarni boshlang'ich raqamlash

Qayta raqamlash amaliyotidan so'ng optimal raqamlash jarayoniga ega bo'lamiz (4.3-rasm).

1	11	21	31	41	51	61	71	81
2	12	22	32	42	52	62	72	82
3	13	23	33	43	53	63	73	83
4	14	24	34	44	54	64	74	84
5	15	25	35	45	55	65	75	85
6	16	26	36	46	56	66	76	86
7	17	27	37	47	57	67	77	87
8	18	28	38	48	58	68	78	88
9	19	29	39	49	59	69	79	89
10	20	30	40	50	60	70	80	90

4.3-Rasm. Qayta raqamlash usulidan foydalanilganidan so'ng tugunlarni raqamlash

Ikkinchi usulda dastlab bikrlilik matritsasi har bir ustunining balandligi hisoblab topiladi. Bunda har bir ustun balandligi chekli elementlar aloqalari matritsasiga ega bo'lgan holda hisoblab aniqlanadi. Agar uzunligi kamida ikki birlikka farq qiladigan qo'shni ustunlar o'rinlari almashtirilsa, tasma eni kamayib boradi (4.4-rasm). Bundan ma'lumki, agar aloqa (bog'liqlik) matritsasi o'rinlar almashtirilsa, masalan, 12-chini 13-chi tugun bilan, yoki 13-chi tugunni esa 12-chi tugun bilan almashtirilsa, u holda, ayonki, tasma eni kichrayadi [44].



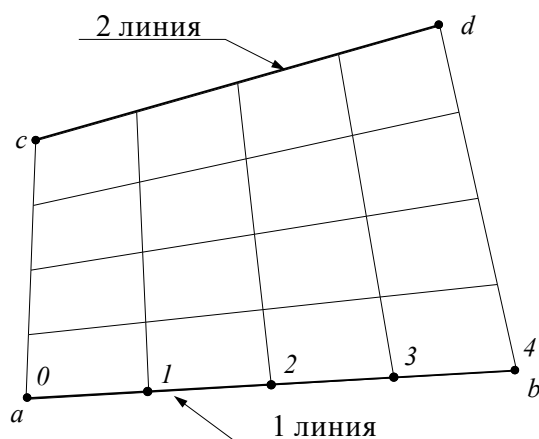
4.4-Rasm. Bikrlilik matritsasining tuzilmasi

Ishlab chiqilgan dasturlarda global bikrlilik matritsasini saqlash uchun quyidagilardan foydalanildi: faktorlashtirish LDL^T uslubi, Xoleskiy va Gauss usullari [44, 86, 118]. Grafik redaktor bir necha modulga ega bo'lib, ulardan har biri alohida amaliyotda tashkil qilingan:

A. Grafik kursorning kompyuter ekrani bo'ylab erkin harakatlanishini ta'minlaydigan modul. Bunda ekranning grafik maydoni tasavvurdagi real sohadan iborat bo'ladi. Ana shu amaliyotni ishlab chiqishda ekranga chiqarilayotgan tasvirning qulay nazorat qilinishini tashkil etish kerak bo'ladi [78, 103-111];

B. Foydalanuvchi tomonidan beriladigan sohani elementlarga ajratish (bo'lish) moduli. Modul mashinali grafika va hisoblash geometriyasi vositalaridan foydalanib egri chiziqni berilgan miqdordagi qismlarga ajratish uslubi qo'llaydi. Bu holda ikki chiziq (siniq, egri) berilib, ular teng sonli qismlarga bo'linadilar. Shundan keyin ana shu chiziqlardagi tegishli nuqtalarni o'zaro birlashtirib turgan to'g'ri chiziqlar chizilib, ular ham avvaldan belgilangan miqdorli qismlarga ajratiladi. Masalan, 4.5-rasmdan ko'rinib turibdiki, agar $[ab]$ kesim 4 ta teng qismga bo'linsa, unda ana shu kesimdagi i -nchi nuqta koordinatalarini quyidagi formulaga ko'ra hisoblab topish mumkin bo'ladi:

$$x_i = x_a \left(1 - \frac{i}{n}\right) + x_b \frac{i}{n}, \quad y_i = y_a \left(1 - \frac{i}{n}\right) + y_b \frac{i}{n} \quad \text{bunda } i \in \{0, 1, 2, 3, 4\}, a \quad n = 4$$



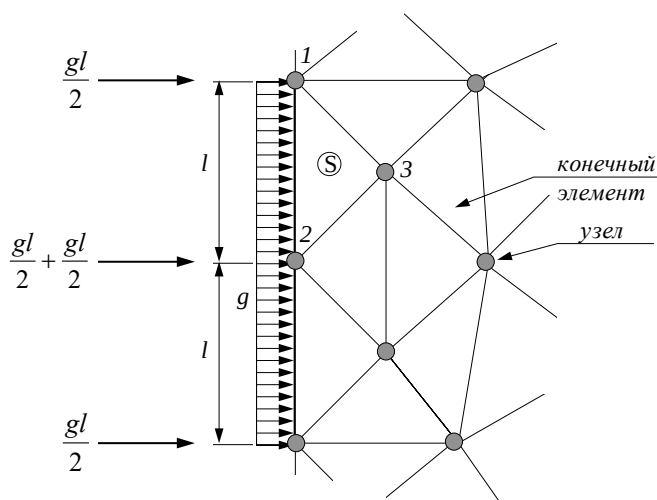
4.5-Rasm. Sohani elementlarga ajratish sxemasi

Bu yerda har bir element uchun berilgan algoritm bo'yicha uning tugunlari koordinatalari aniqlanadi. Bir xil koordinatali tugunlar bir xil raqamlanadi;

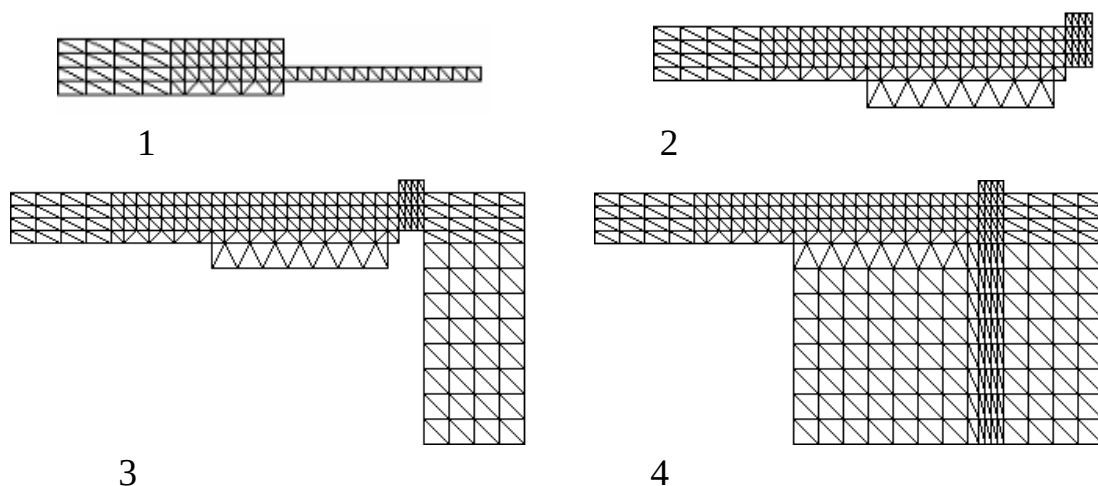
S. Masala uchun chegaraviy shartlarni berish moduli. Modul foydalanuvchi tomonidan ko'rsatilgan hisobiy sxema tugunlarini avtomatlashtirish tarzida mustahkamlaydi;

D. Tashqi ta'sirlarni berish moduli. Modul konturli, jamlangan va hajmiy kuchlarni beradi. Konturli kuchlarni berish uchun u bo'ylab yuklama ta'sir qiladigan to'g'ri chiziqli chiziladi. Maxsus dastur chekli elementlar qirralarining berilgan to'g'ri chiziqqa tegib turish hollarini tekshirish uchun barcha chekli elementlarni saralab chiqadi va shunday holat aniqlanganida, 4.6-rasmda ko'rsatilgani kabi, tugun kuchlari qo'yib chiqiladi [103, 104, 105, 106, 107, 108];

E. To'ring har bir fragmenti uchun materialning fizik tavsiflari uning yordamida beriladigan modul. Inshootni chekli elementlarga ajratish jarayonining asosiy bosqichlarini namoyish etamiz (4.7-rasm). Rasmdan ko'rinib turibdiki, murakkab konstruksiya elementlarga bosqichma-bosqich ajratilib, bunda chekli elementlarni o'zaro to'g'ri birlashtirish asosiy masala bo'lib keladi [106, 107, 108, 109, 110, 111, 120].



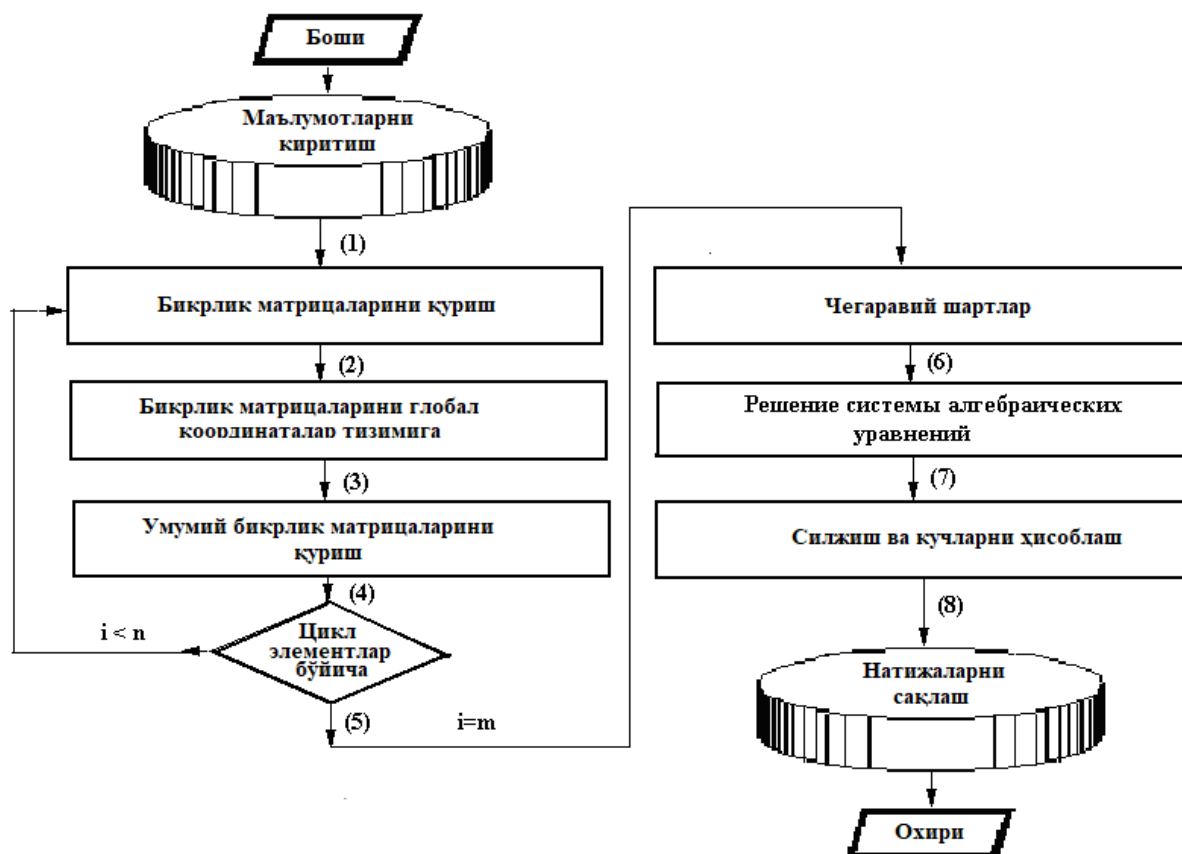
4.6-Rasm. Konturdagi kuchlanishlarni tugun yuklamalariga keltirish sxemasi



4.7-Rasm. Inshootni chekli elementlarga ajratish bosqichlari

4.2. Ishlab chiqilgan hisoblash usullariini asoslash

Har bir dasturiy paket blok-sxemasining umumiy o'zak ko'rinishi (turi) 4.8-rasmda keltirilgan bo'lib, biroq hal qilinayotgan masalalar jihatlariga ko'ra ular yuklanish sxemasining tegishli shartlari (statik, kvazistatik va dinamik (seysmik)) bilan to'ldiriladilar. Shunday qilib, ana shu 8 ta blok uchun yozilgan dastur barcha qo'yilgan masalalar uchun asos sifatida qo'llanilishi mumkin [78, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113]. Bu konstruktsiya chekli-elementli model to'g'risidagi muayyan umumiy axborotni talab qiladi (4.8-rasm).



4.8-Rasm. Umumiy modul tarzidagi blok-sxema

1 blokda konstruksiya haqidagi dastlabki (boshlang'ich) axborot beriladi. Ma'lumotlar topologiyasi alohida massivga kiritilib, bunda har bir elementga tegishli tavsiflarga ega bo'lgan raqam beriladi: 1) geometrik - tugun koordinatalari va ularning o'zaro aloqalari; 2) fizik - har bir element uchun materiallarning xossalarini ko'rsatadi, $E, F, I, \nu, \rho, \gamma, c, \varphi$; 3) Statik va kinematik chegaraviy shartlar alohida beriladi. Har bir tugun uchun uning raqami beriladi: i -chi tugunning sathdagi x, y koordinatali yoki x, y, z koordinatali fazodagi holati. Muayyan masala xossalari va xususiyatlariga bog'liq ravishda konstruksiyani approksimasiyalash chekli elementlarning quyidagi turlari yordamida bajarilishi mumkin: cho'zilish-siqilish va egilish yassi sterjenli element, yassi uchburchak va izoparametrik elementlar va fazodagi cho'zilish-siqilish va egilishning uchburchak chekli elementi.

2 blokda geometrik va fizik axborot asosida koordinatalarning lokal tizimida chekli element bilan bog'langan bikrlilik matritsasi quriladi.

3 blokda geometrik axborot asosida har bir element uchun yo'naltiruvchi kosinuslar matritsalarini qurilib, koordinatalarning lokal tizimidan global tizimga o'tkazish amalga oshiriladi.

4 blokda topologik axborotga muvofiq ravishda elementlar uchun reaksiya matritsalarini bloklari reaksiyalar (bikrlilik) umumiy matritsasiga qo'yiladi. Reaksiyalarning to'liq matritsasi qurilganidan keyin 1 blokda berilgan chegaraviy shartlar 6 blokdan foydalangan holda hisobga olinadi. Tugun komponentlari kodlari chegaraviy shartlar uchun ikki xil qiymat olishi mumkin: 0 va 1. Qiymat 0 ga teng bo'lganida, ushbu erkinlik darajasiga hech qanday cheklovlar qo'yilmaydi, qiymat 1 ga teng bo'lganida esa, ko'rsatilgan erkinlik darajasi yo'nalishida kinematik nolinchil siljishlar beriladi.

7 blokda tonnel qoplamasining diskret konstruksiyasi uchun algebrak tenglamalar tizimi echilsa, 8 blokda esa tenglamalar tizimidan topilgan deformasiyalar orqali siljishlar bo'yicha elementlardagi kuchlar va kuchlanishlar hisoblab aniqlanadi. Shundan so'ng natijalar jadval shaklida, yoki epyuralari tushirilgan holda grafik ko'rinishida chiqarib beriladi.

5 blokda tizim uchun bikrlilik matritsasi shakllanishida elementlarning tugashini tekshirish amalga oshiriladi. Geometrik va fizik nochiziqlilikni hisobga olgan holda tizimni hisoblashda 3 va 8 bloklarga 3-bobning 3.1 paragraf algoritmidagi keltirilgan bandlarni bajaradigan alohida blok-dasturlar qo'shib qo'yiladi. Mor-Kulon chegaraviy holatlari bo'yicha hisoblashda 3, 4, va 8 bloklarga shartlar qo'shib qo'yilib, unda chegaraviy holat va 3-bobdagi 3.2-paragrafda berilgan nochiziqli tenglamalarni echish shartlari hisobga olinadi. Dinamik masalani hal qilishda barcha 1-8 bloklar qisman 3-bobdagi 3.3-paragrafda keltirilgan algoritmlar bilan to'ldiriladi.

4.3. Tadqiqot ob'ektini hisoblashda SHEHM uchun tizim

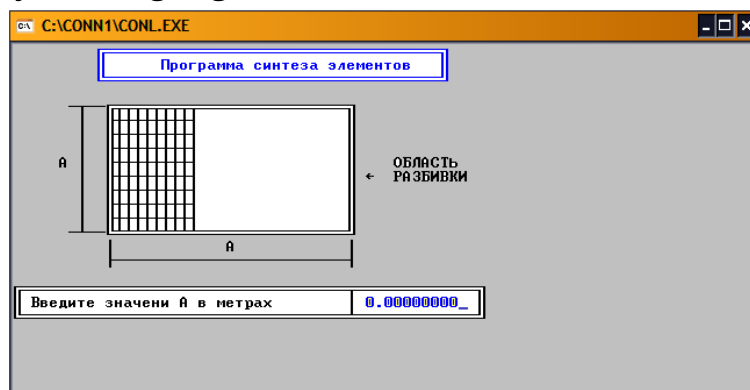
Tonnel inshootlarini hisoblash uchun mo'ljallangan dialog tizimi bir necha turlardan iborat:

1) gruntning statik va kvazistatik ta'sirlardagi itarmasini hisobga olgan va olmagan holda hisoblash tizimi. U o'z ichiga grunt bilan o'zaro ta'sirlashadigan sterjenli tizimlarni hisoblash usulini oladi;

2) statik va kvazistatik ta'sirlarda Mor-Kulon chegaraviy holatini hisobga olgan holda yassi soha uchun elastik va nochiziqli hisoblashlar tizimi;

3) dinamik va seysmik ta'sirlarda konstruksiyalarni hisoblash tizimi. Boshlang'ich ma'lumotlar kiritilishi ikki xil – jadval yoki grafik tarzidagi rejimlarda kiritilishi mumkin. Hisob-kitobning chiqariladigan natijalari ham jadval va grafik ko'rinishlarida aks ettirilishi mumkin (4.9 - 4.12-rasmlar).

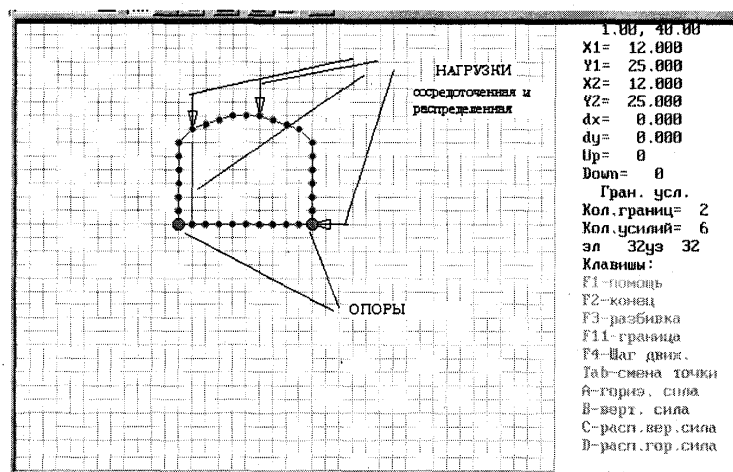
Dialog tizimdagi barcha kirish-chiqish ma'lumotlart rus (kiril alfaviti) tilida amalga oshiriladi. Shunda har bir asosiy dastur turli funksiyalar bajaradigan 10 tadan 20 tagacha dasturiy moduliga ega.



4.9-Rasm. Hisoblash tizimining umumiy ko'rinishi

Справка о функциональных клавишах	
F1	— Помощь
F2	— Конец работы и выход
F3	— Разбивка на элементы
F4	— Шаг движения курсора
Tab	— Смена начальной точки
ESC	— Начать новую задачу
Усилия	
Клавиша [A]	— горизонтальное усилие
Клавиша [B]	— вертикальное усилие
Клавиша [C]	— распределенное вертикальное усилие
Клавиша [D]	— распределенное горизонтальное усилие
Граничные условия	
Клавиша [F11]	
Буква [B]	— перемещения разрешены
Буква [Z]	— перемещения запрещены
Буква [S]	— шарнир
Клавиши:	
F1	— помощь
F2	— конец
F3	— разбивка
F11	— граница
F4	— шаг движ.
Tab	— смена точки
A	— гориз. сила
B	— верт. сила
C	— расп. вер. сила
D	— расп. гор. сила

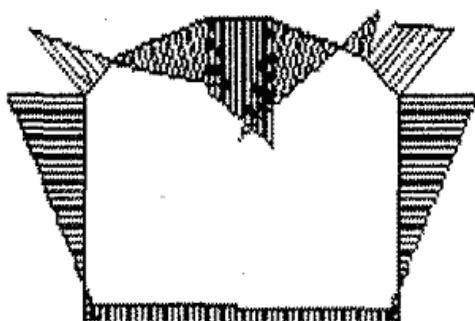
4.10-Rasm. Tizimning funksional menyusi



4.11-Rasm. Konstruksiyani grafik redaktor yordamida ajratish (parchalash)

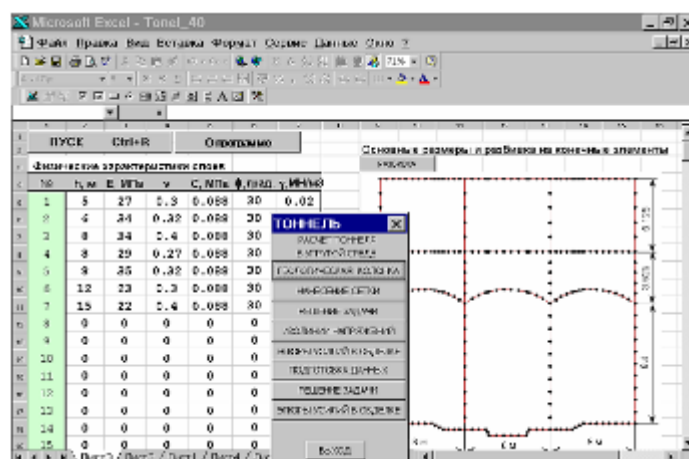
Моментдар эпюраси, МПа·м³

Силжишлар эпюраси, м



4.12-Rasm. Hisob-kitob natijalari (namoyish etish uchun bajarilgan)

“Qoplama-grunt massivi” tizimini hisoblash uchun konstruksiya elementlari o‘lchamlari, amal qilayotgan yuklamalar va muhandislik-geologik izlanishlar ma’lumotlari, konstruksiya joylashgan va 25 qatlamga qadar etishi mumkin bo‘lgan grunt qalinligi kabilar dastlabki (boshlang‘ich) ma’lumot bo‘lib hisoblanadi (4.13-rasm).



4.13-Rasm. Masalani echish uchun dialogli darchaning umumiy ko‘rinishi

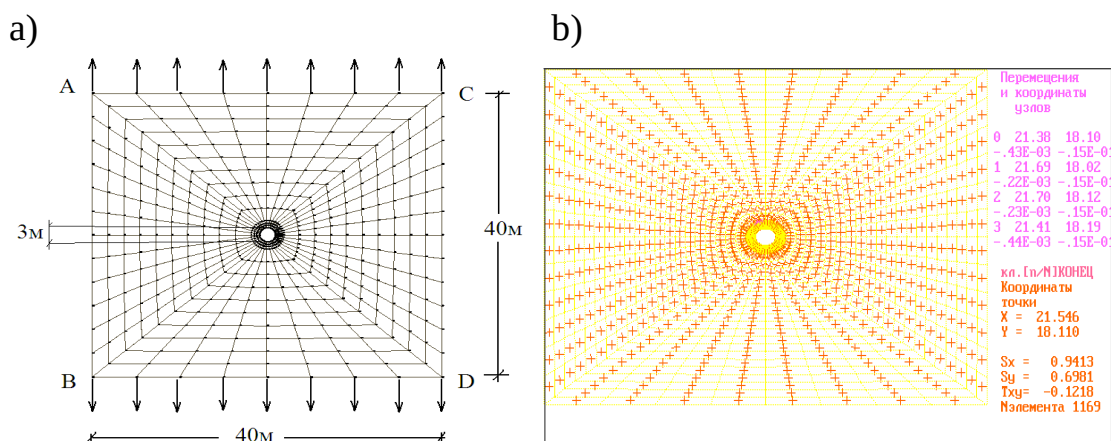
4.4. Ishlab chiqilgan usullar ishonchliligini baholash.

Modelli masalalarni yechish

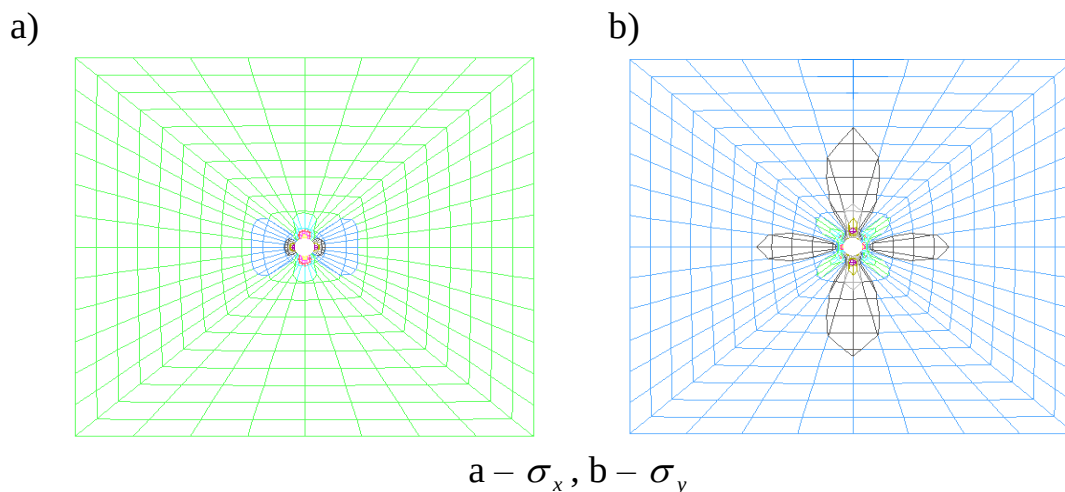
Tonnellarni hisoblashga doir ishlab chiqilgan usullar va algoritmlar samaradorligini, shuningdek ular ishonchliligini aniqlash maqsadida [78, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113]. qiyosiy hisoblash masalalari bajarilgan. Shu bilan birga olingan natijalar boshqa mualliflar natijalari, bilan, masalan, Metrogiprotans usullari va [49, 51] da keltirilgan N. S. Bulıchevning yer osti inshootlarining mexanikasi amaliyotida ishlatiladigan «RK2» va «POLIFEM» dasturlari bo'yicha olingan natijalar bilan solishtirildi. Hisob-kitoblar ishlab chiqilgan usullar va hisoblash dasturlarining turli tashqi ta'sirlarda tunnel konstruksiyalari kuchlanganlik-deformasiyalanganlik holatini baholash bo'yicha bundan keyin ham amalga oshirish uchun etarli darajada qoniqarli aniqlikka ega ekanligini ko'rsatdi.

A. Kirsh masalasini yechish.

Yumaloq tirqishli, $R=1\text{MPa}$ bosim ostidagi, fizik tavsiflari (xarakteristikalari) $E=50\text{MPa}$, $\nu=0,33$ bo'lgan yassi ABCD sohaning cho'zilishiga oid masalani ko'rib chiqamiz (4.14, a-rasm). Soha materiali gruntli muhit. Yuklanish jarayonini modellashtirish uchun izoparametrik chekli elementlar qo'llandi.



4.14-Rasm. Yumaloq tirqishli soha uchun (a) asosiy kuchlanishlarning vektor maydoni bo'yicha hisoblash natijalari (b)



4.15-Rasm. Maksimal zo'riqishlar izoxromalari

σ_x va σ_y kuchlanishlar vektori maydoni bo'yicha olingan natijalar qurilgan bo'lib, ular amalda [70] ilmiy ishda keltirilgan echimlarga (qoniqarli aniqlik bilan) va analitik echimga [141] ancha yaqin keladilar. 4.14-4.15-rasmlarda asosiy kuchlanishlar vektori maydoni va tirqish bo'ylab σ_x va σ_y kuchlanishlarning maksimal qiymatlari izoxromalari keltirilgan. 4.1-jadvalda olingan maksimal kuchlanishlar qiymatlari boshqa echimlar bilan qiyoslagan holda berilgan.

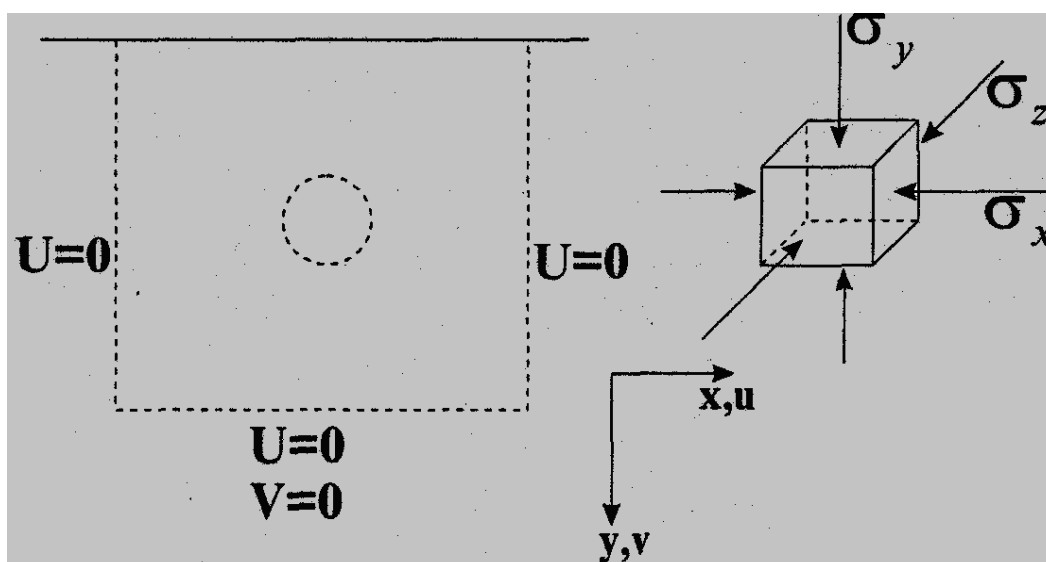
4.1-Jadval

Qiyosiy echimlar jadvali

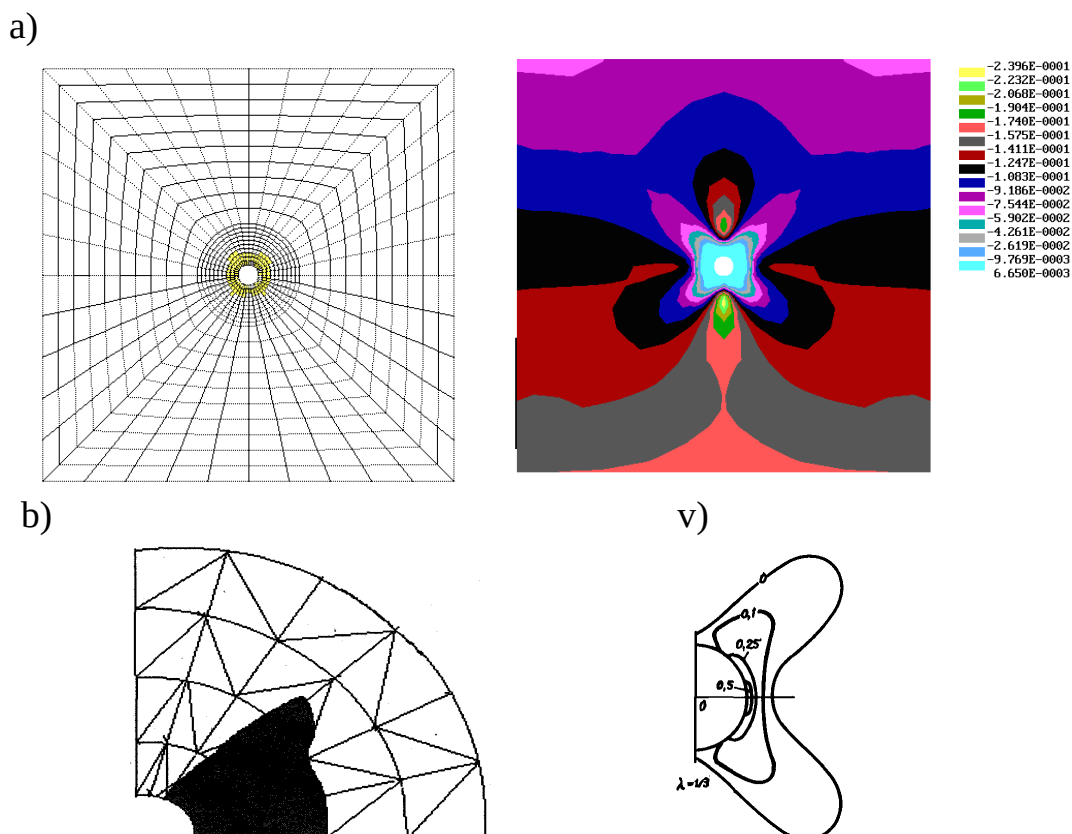
Tirqish yaqinidagi zo'riqishlar	Aniq yechim [141]	Zenkevichga binoan yechim [70.]	Muallif tomonidan Reshen tomonidan olingan echim
σ_x (MPa)	1,000	0,996	0,996
σ_y (MPa)	3,000	2,899	2,899

B. Yumaloq sun'iy bo'shliqning deformasiylanishi

Misol tariqasida quyidagi tavsiflarga ega bo'lgan chuqur joylashgan sun'iy bo'shliq uchun elastik bo'lmagan masala echilgan, bu erda: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $E = 50 \text{ MPa}$, $\nu = 0.33$, $S = 4.1 \cdot 10^{-2} \text{ MPa}$, $\varphi = 18^\circ$ (4.16-rasm). Hisob-kitob natijalari noelastiklikning chegaraviy hududlari, 4.17, a-rasmda ko'rsatilgani kabi, sun'iy bo'shliq chegarasidan grunt ichkarisiga tomon tarqalib borishini ko'rsatdi. Sun'iy bo'shliq chegarasida qo'shimcha kuchlardan yuzaga kelayotgan bosh kuchlanishlarning vektorli maydoni qurildi.



4.16-Rasm. Masala uchun sohasi sxemasi



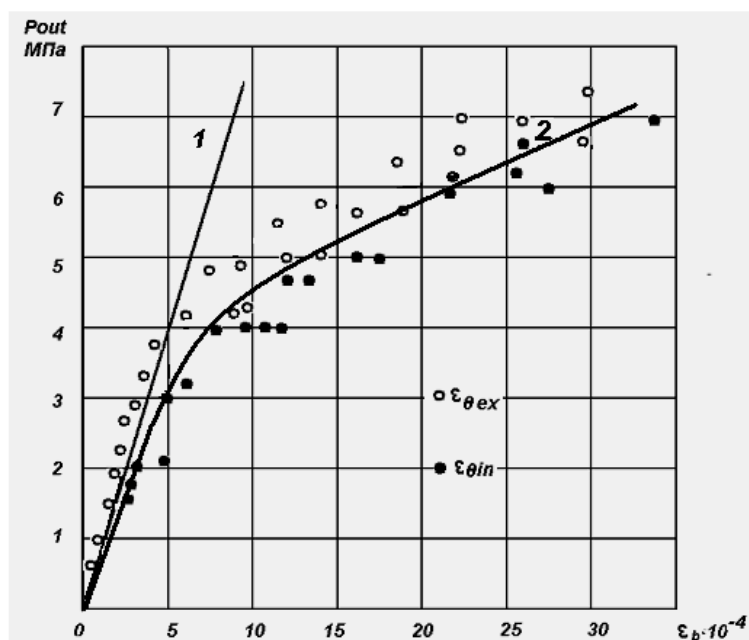
a – ishlab chiqilgan usulga ko‘ra, b - chekli elementlar usuliga ko‘ra, [46] ish muallifiga tegishli, v - [51] da keltirilgan usulga ko‘ra

4.17-Rasm. Chegaraviy muvozanat zonalarining tarqalishi

Bu yerda, qiyoslash maqsadida chekli elementlar (4.17, b-rasm, hisobiy sxemaning chorak qismi uchun) va N. S. Bulıchev usuliga ko‘ra olingan echimlar keltirilgan bo‘lib (4.17, v-rasm, hisobiy sxemaning yarmi uchun), shu sababli echimlar birxilligi aniq-ravshan kuzatiladi. Bundagi xatolik muayyan, aniq boshlang‘ich ma‘lumotlar uchun 5% (foizlarda) ni tashkil qiladi.

V. Beton qoplamasining modeli eksperimental sinovlari bilan o‘tkazilgan qiyosiy hisob-kitoblar.

M. Kvasnevskiy tomonidan beton konstruksiyalarining domkrat qurilmasi bilan hosil qilingan bir tekis tashqi yuklamalarga modeli sinovlari o‘tkazilgan [49]. Model tavsiflari (xarakteristikalar) quyidagicha: $R = 32,5$ sm – qoplama diametri, $t = 8$ sm – qoplama qalinligi. Hisob-kitoblar uchun 3.5, b-rasmdagi kabi (3-bobni qarang) noxiziqli diagrammani qabul qilamiz - $\sigma_{1,b} = 34,1 \text{ MPa}$, $\varepsilon_{1,b} = 0,00018$, $\sigma_{3,b} = 0,00015 \text{ MPa}$, $\varepsilon_{3,b} = 0,0001$, $E_b = 45185 \text{ MPa}$; $\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$;

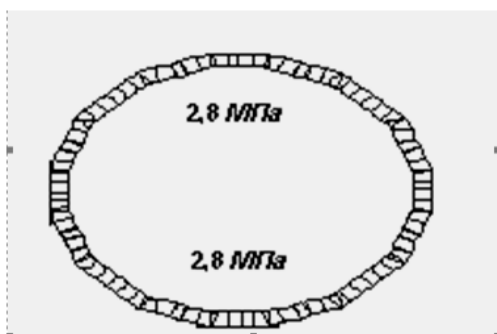


1-ichki konturdagi, [49] ga binoan olingan deformasiyalar, 2- ishlab chiqilgan dastur bo'yicha olingan ichki konturdagi deformasiyalar

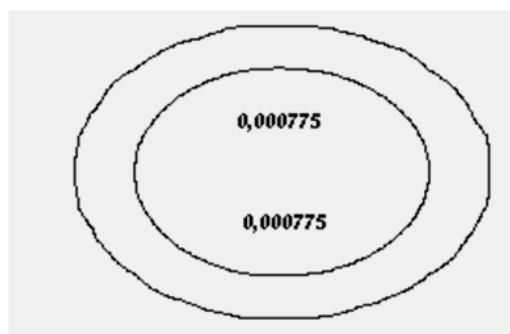
4.18-Rasm. Beton qoplamasining ichki ($\varepsilon_{\theta in}$) va tashqi ($\varepsilon_{\theta ex}$) konturlaridagi kesimlar deformasiyalari orasidagi bog'liqlik

4.18-rasmda qoplamaga tushadigan bir tekis tashqi yuklamalar o'sib borishi bilan qoplama ko'ndalang kesimining ichki va tashqi konturidagi tangensial deformasiyalarni o'lchash natijalari keltirilgan. Yuqorida nomi keltirilgan ilmiy ishda N. S. Bulıchev tomonidan «RK-2» dasturi bo'yicha hisob-kitoblar amalga oshirilgan va qoplama ichki konturidagi zo'riqishlar va deformasiyalar hisoblab topilgan. Olingan bog'liqlik ana shu rasmning o'zida keltirilgan. Ishlab chiqilgan dastur bo'yicha qiyosiy tahlilni amalga oshirish uchun qoplama materiali deformasiylanishining noxiziqliligini hisobga olgan holdagi bir tekis tashqi bosim uchun hisob bajarilgan. Bu erda olingan deformasiyalarning o'lchangan deformasiyalar bilan qoniqarli yaqinligi vniqlandi, ya'ni deyarli 85-90% darajadagi muvofiqligini ko'rish mumkin. 4.19-rasmda muallif tomonidan olingan normal kuch va deformasiyalarning qoplama ko'ndalang kesimlarida taqsimlanishi epyuralari keltirilgan.

a)



b)



4.19-Rasm. Hisoblash natijalari: a) bo'ylama kuchlar epyurasi, b) deformasiyalar epyurasi

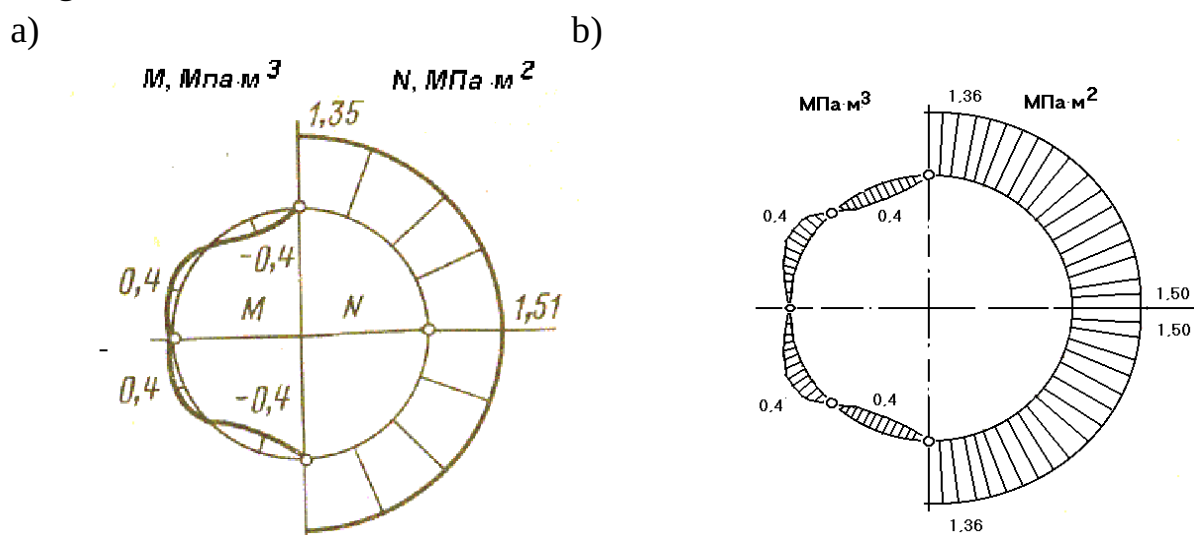
G. Tonnel yig'ma qoplamasining qiyosiy (solishtirma) hisobi

Yig'ma qoplama hisobi elementlar ulanishi xarakterini (ular sharnirliligini) hisobga olgan holda N. N. Bulыchev tomonidan taklif qilingan hisobiy sxemani qo'llagan holda Yu. E. Shamrin taqdim etgan «POLIFEM» dasturi bo'yicha amalga oshirilgan [51]. 4.20-rasmda 4m diametrli kommunikasiya tonneli to'rt blokli qoplamasi uchun 1MPa qiymatli yakka boshlang'ich zo'riqishlardan tushadigan ichki kuchlarning epyuralari ko'rsatilgan. Boshlang'ich ma'lumot:

$E_{os} / E_{sp} = 100$, $E_{os} = 29000 \text{ MPa}$, $\nu_{sp} = 0,35$, blok qalinligi 0,2m. Shu erning o'zida muallif tomonidan ishlab chiqilgan dastur bo'yicha olingan natijalar ham berilgan. Olingan natijalardan ichki kuchlar qiymatlarining o'zaro qoniqarli muvofiqligini ko'rish mumkin. Endi [39] ishda keltirilgan misolni ko'rib chiqamiz. Qobiq $R=30,12\text{m}$ radiusli sferasimon yuza bo'ylab tasvirlangan (4.21-rasm). Qobiq eni 30m, balandligi 4m va qalinligi 0.1m. Qobiq o'z yuzasida $q=0,5\text{t/m}^2$ ga teng yuklamani ko'taradi. Qobiq 4.22-rasmda ko'rsatilgan tarzda 346 elementli to'rlarda uchburchak elementlarga bo'lingan.

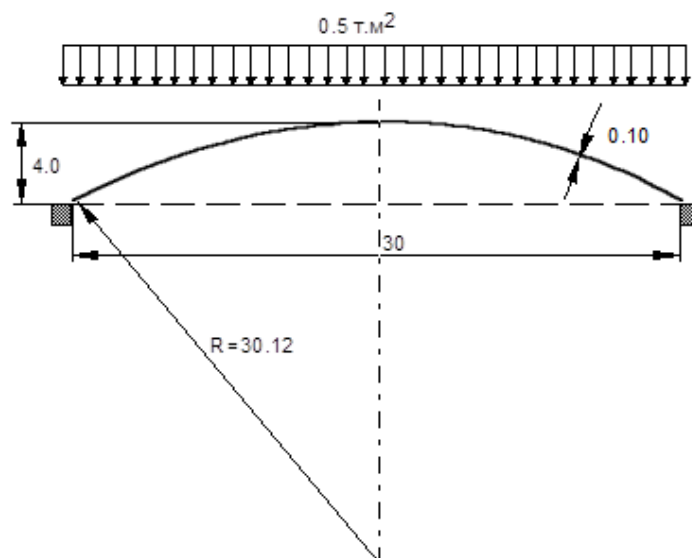
Shu bilan birga 696 ta elementli masala hal qilingan. 4.23-rasmda deformasiyalanish ko'rinishadigi hisoblash natijalari taqdim etilgan.

Ikkita to'rda (elementlarga bo'lingan) olingan natijalarning aniqligini radial eguvchi momentlar orqali baholash uchun echimlar olindi (4.24-rasm). Natijalar elementlar og'irlik markazida qshyilib, ular orqali o'tkazilgan chiziqli eguvchi momentlarning taqsimlanish manzarasini berib, bu aniq analitik echim bilan solishtirilgan [15].

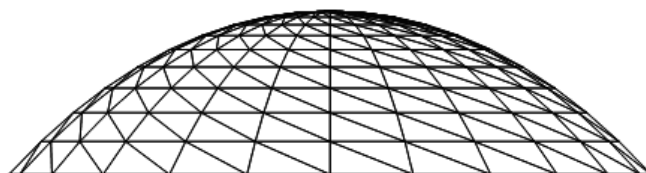
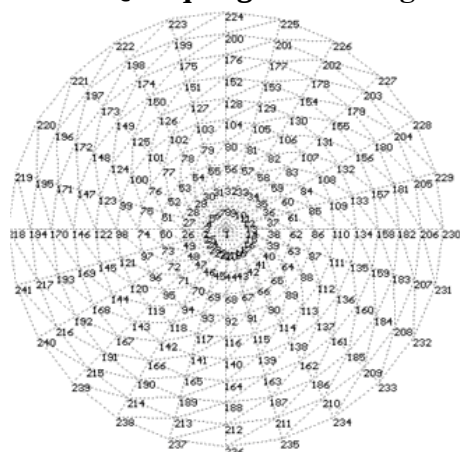


4.20-Rasm. Eguvchi momentlar va bo'ylama kuchlar epyuralari: a) Yu.E. Shamrin hamda b) muallif tomonidan olingan

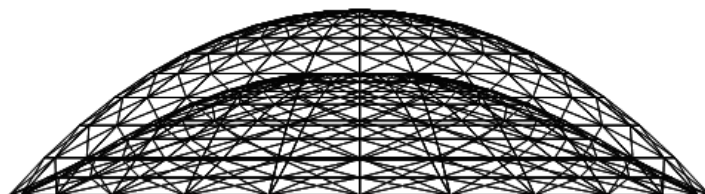
D. Tayanch halqali sferasimon gumbaz hisobi



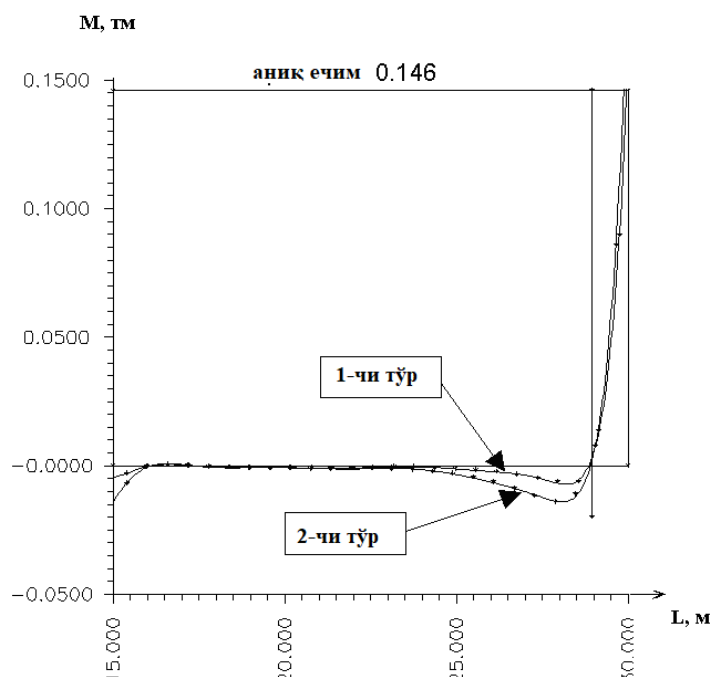
4.21-Rasm. Qobiqning ko'ndalang ko'rinishi



4.22-Rasm. 346 elementli to'qli qobiqning yuqoridan va yon tarafidan ko'rinishi



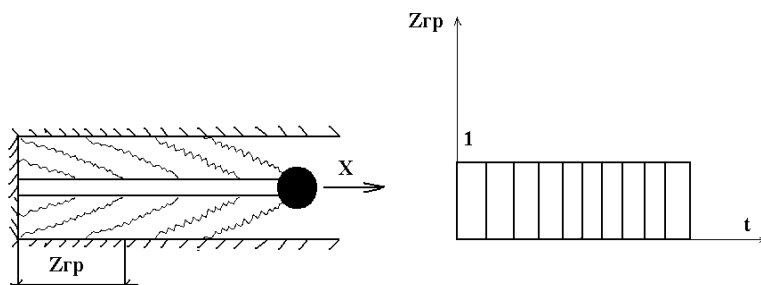
4.23-Rasm. Qobiqning deformasiyalanishi



4.24-Rasm. Ikki setkali qobiqdagi radial momentlar

E. Bir erkinlik darajasiga ega bo'lgan tizimning so'nmaydigan va so'nuvchan tebranishlari

Ushbu masalada bir erkinlik darajasiga ega bo'lgan tizimning majburiy tebranishlari ko'rib chiqiladi. Bu taqsimlangan elastik asosdagi vaznsiz, hamda nuqtali massaga ega bo'lgan to'sin (4.25-rasm).



4.25-Rasm. Bir erkinlik darajasiga ega bo'lgan tizim uchun asosning to'satdan siljishi

Qovushqoqlik xossasi mavjud bo'lmagan $\bar{\varepsilon} = 0$ 4.23-rasmda ko'rsatilgani kabi asosning to'satdan va undan so'ng turg'un qolgan siljish holati uchun hisob-kitoblarni bajaramiz. Hisoblarni o'lchamsiz kattaliklardagi yakka boshlang'ich ma'lumotlar uchun amalga oshiramiz. Hisoblash uchun oddiy bir o'lchamli sharnirli, o'ng uchidagi massasi bo'lgan sterjen olinadi, bunda boshlang'ich sharoitlar

$Z_0 = 0, \dot{Z}_0 = 0$. Bunda mazkur tizim $Z = Z_{cm}(1 - \cos \omega t)$ amplituda va $\frac{2\pi}{\omega}$ davr bilan

garmonik tebranishlar sodir etib, bunda $Z_{cm} = 0.375$ [118]. 4.2, 4.3-jadvallarida turli integrallash odimlarida aniq echimli natijalarini qiyoslashlar keltirilgan [132]. Integrallash odimi tebranishlar amplitudasi va davrini aniqlashda olinishi kerak bo'lgan aniqlikka, shuningdek ko'rib chiqilayotgan vaqt intervali uzunligiga bog'liq bo'ladi. Shundan kelib chiqib, ko'rib chiqilayotgan tenglama odimini turli

qiymatlarda ko‘rib chiqilayotgan tenglamaning $\frac{\Delta t}{T}$ ning har xil nisbatlaridagi echimiga ega bo‘lib, turlicha deb olish mumkin. 4.2-jadvalda amplitudalar nisbati $Z_{\ddot{a}e\ddot{r}} / Z_{cm} = 2$ bo‘lgan hol uchun tenglama echimining aniqligi va turg‘unligiga berilgan bahoni ko‘rish mumkin. Ko‘rinib turibdiki, katta odimda aniq echimga muvofiq keladigan amplituda qiymatlari intervali ichidan joy olgan anchagina barqaror natija olinadi. Elementning o‘zaro ta’sirlashish qovushqoqligini hisobga olganda $\bar{\varepsilon} = 0,1$, $\alpha = 0,25$, $\beta = 0,15$ tizim so‘nayotgan tebranishlarni sodir etadi (4.26-rasm).

4.2-Jadval

Tebranishlar amplitudalari

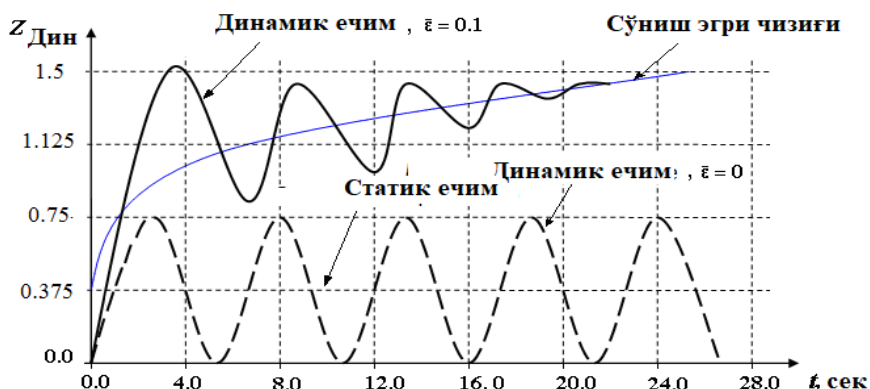
Parametr	Aniq echim	MKE bo‘yicha echim, qiymatlar quyidagicha bo‘lgan hol uchun		
		T/60	T/30	T/15
Maksimal Amplituda	0,75	0,74988	0,7364	0,71912
Davr	5,58	-	-	-

4.3-Jadval

Integrallash aniqligini baholash

$\Delta t / T$ Aniq echim	Integrasiyalash odimi quyidagicha bo‘lgandagi echim								
	T/2	T/8	T/16	T/24	T/32	T/40	T/48	T/56	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,5	2	1,42	1,9991	1,9992	1,9998	1,9999	2,0000	2,0000	2,0000
1,0	0	1,64	0,0435	0,0031	0,0006	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000
1,5	2	0,03	1,9030	1,9930	1	0,9986	1,9995	1,9998	1,9999
2,0	0	1,17	0,1702	0,0124	0,0025	0,0008	0,0003	0,0002	0,0001
2,5	2	1,81	1,7383	1,9806	1,9961	1,9987	1,9995	1,9997	1,9999
3,0	0	0,13	0,3693	0,0279	0,0054	0,0018	0,0007	0,0004	0,0002
3,5	2	0,91	1,5094	1,9715	1,9923	1,9975	1,9990	1,9995	1,9997
4,0	0	1,93	0,6226	0,2628	0,0101	0,0032	0,0013	0,0006	0,0003

Grafikdan ma'lumki, doimiy tashqi yuklama ta'sirida tebranishlar yoyiluvchanlik funksiyasi egri chizig'i yaqinida yuz berib, vaqt o'tishi bilan ana shu egri chiziq bo'ylab so'nadilar. Qayd etish lozimki, xuddi shunday echim prof. F. B. Badalov [38] tomonidan bir erkinlik darajasiga ega bo'lgan tizim uchun olingan edi.



4.26-Rasm. Dinamik amplituda qiymatlarining o'zgarishlari

IV-bob bo'yicha xulosalar

1. Taklif qilingan va mavjud tunnel konstruksiyalari ishini turli ta'sirlarda tahlil qilish uchun ishlab chiqilgan uslublar va avvalgi boblarda ko'rsatilgan hisoblash algoritmlari asosida dialog tizimi ishlab chiqildi. Hal qilinayotgan masalalar shartli ravishda kichik va katta masalalarga bo'linadi.

2. Kichik masalalarga erkinlik darajalari soni 1000 gacha, kattalarga esa – erkinlik darajalari 1000 dan ortiq bo'lgan masalalar kiradi. Kiritish, chiqarish modullari dasturlari va hisobiy uslublar uchun "QuickBASIC", "TurboPASCAL", "FORTRAN", "VisualBASIC" va "Delphi" algoritmik tillardan foydalanildi.

3. Tizim ochiq deb hisoblanadi, chunki barcha yuklanish modullari dasturlarning sharhlangan dastlabki matnlariga ega bo'lib, tizimning ayrim modullari ma'lumotlar fayllari bilan bog'liq, ya'ni boshqa modullarning kirish fayllari bo'lib keladilar. Barcha ma'lumotlar fayllari ASCII fayl kodlari ko'rinishidagi aniq-yaqqol formatga ega. Bular GRAPHER, SURFER, EXCEL, AutoCAD kabi amaliy dasturlar uchun ma'lumotlar fayllaridan foydalanish maqsadida qilingan.

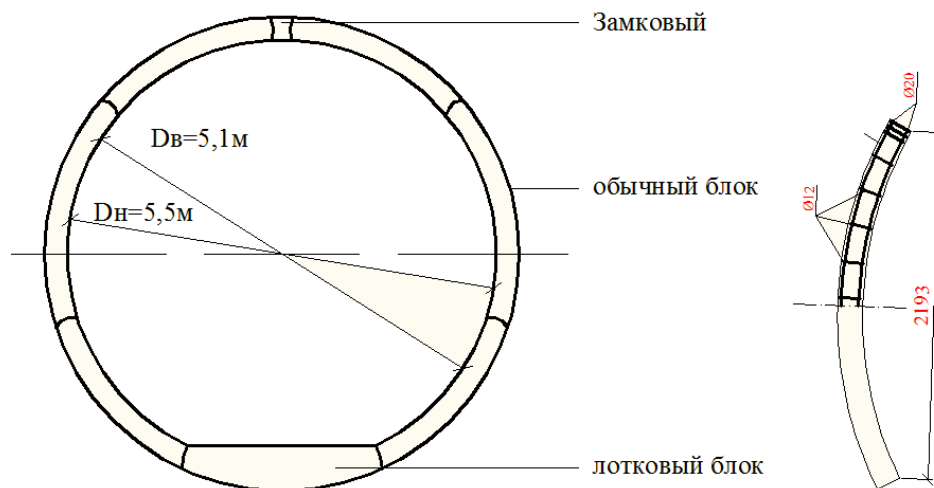
4. Ushbu bobda ishlab chiqilgan tizim tunnel inshootlarining kuchlanganlik-deformasiyalanganlik holatini aniqlash bilan bog'liq hisob-kitoblar va hisobiy tajribalarni o'tkazish uchun real imitasion dasturiy model bo'lib keladi. Tizimda tadqiq etilayotgan ob'ekt yoki tashqi ta'sirning fizik va geometrik tavsiflariga (xarakteristikalariga) qat'iy cheklovlar mavjud emas.

5. Ishlab chiqilgan usullar va algoritmlar ishonchliligi va samaradorligini baholash uchun sodda misollardan to aniq analitik va eksperimental echimlarga ega bo'lgan murakkab modelli nazorat misollariga qadar qiyosiy hisob-kitoblar amalga oshirilib, shuningdek «KREP» va «RK2» kabi boshqa dasturlardan foydalanish orqali olingan masalalar echishda qiyosiy hisob-kitoblar bajarilgan.

V- BOB METROPOLITEN TONNELLARI QOPLAMALARINING KUCHLANGANLIK-DEFORMASIYALANGANLIK HOLATI

5.1. Metropoliten yurish tonnelliari qoplamalarinig deformasiyalanishi

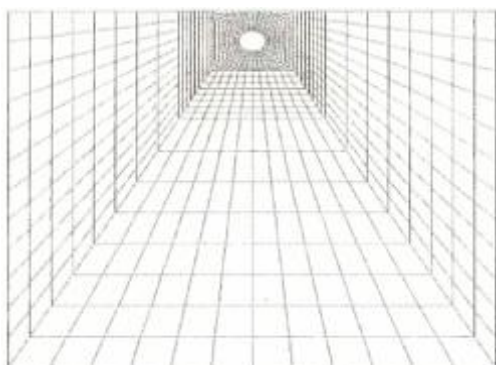
Temirbeton qoplamaning asosiy o'lchamlari 5.1-rasmda keltirilgan. Uloq bog'lanishlari bilan bo'ylama uloqlarning sharnirliligi tufayli (blok burchaklaridagi antilseysmik tugunlar, bunday qoplama tunnel o'qi bo'ylama yo'nalishda yuqori darajadagi bikirlikka ega [69]. Dastlab tunnelning sun'iy bo'shlig'i tiklanganidan keyingi, gruntidagi kuchlanganlik-deformasiyalanganlik holatining o'zgarishlarini ko'rib chiqamiz. Bu holda Toshkent shahrida yurish tonnellarini qurish paytida amalga oshirilgan sun'iy bo'shliq joylashishining uch xil real chuqurliklarini hisobga olamiz - $L=1D=5,5m$, $2D=11m$, $3D=16,5m$. Tunnel atrofini o'rab turgan grunt, cho'kindisimon tavsiflarga ega bo'lib, shu sababli quyidagi qiymatlarni ko'rib chiqamiz: $E=12MPa$, $\nu=0,3$, $\gamma=0,0198MN/m^3$, $\varphi=26^\circ$, $S_1=0,04MPa$, $S_2=0,112MPa$.



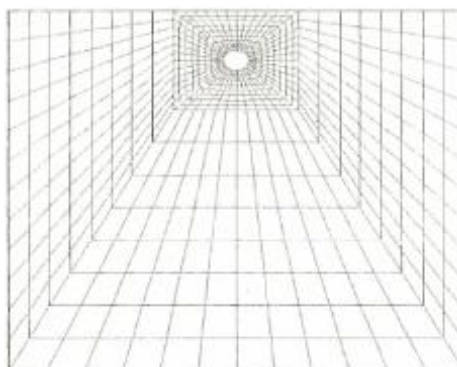
5.1-Rasm. Unifikatsiyalangan yig'ma temirbeton qoplama

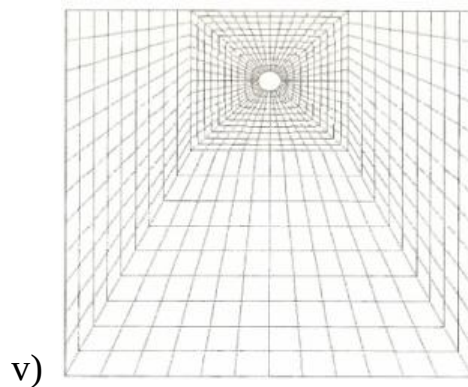
5.2-rasmda uch tipdagi to'r uchun mo'ljallangan hisobiy sxemalar keltirilgan. Amalga oshirilgan hisob-kitoblar tobora chuqurlashib borilgani sari ham elastik, ham elastik -plastik kuchlanishlar ortib borishini ko'rsatdi. Ammo bunda eng muhimi – tunnel atrofidagi tuzilishi buzilgan grunt jinslari zonalarida deyarli bir xil manzaraga ega bo'ldi.

a)



b)

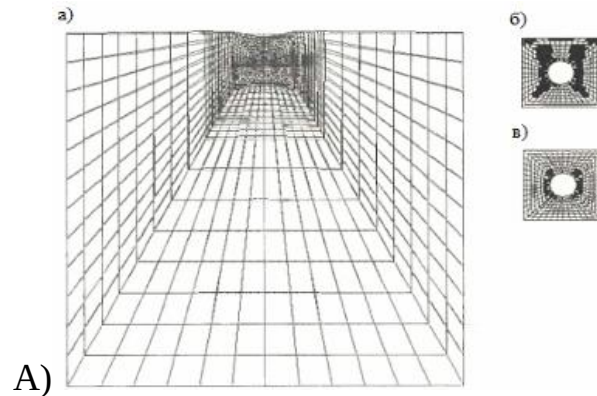




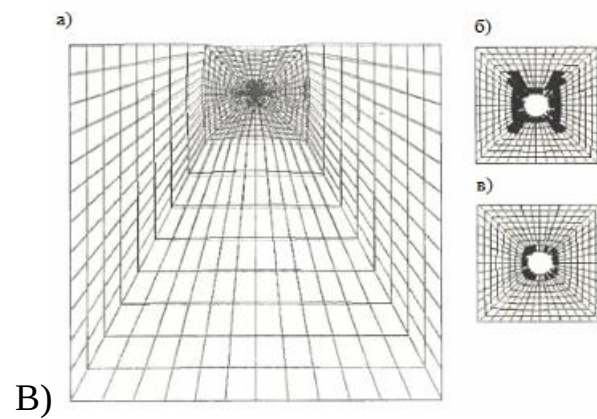
v)

a - $L=1D$, b - $L=2D$, v - $L=3D$,

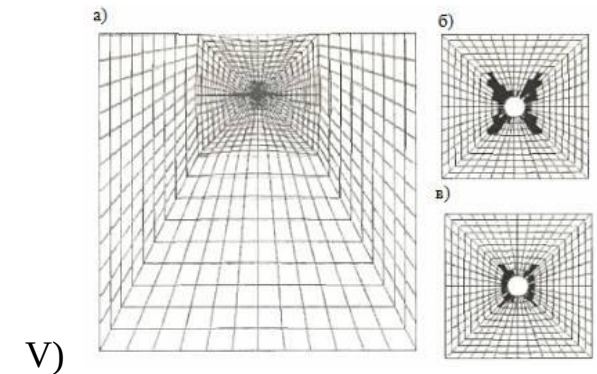
L - sun'iy bo'shliq chuqurligi, **D** – qoplamaning tashqi diametri
5.2-Rasm. Sun'iy bo'shliq chuqurligida sohaning hisobiy sxemasi



A)



B)



V)

A) $L=1D$, B) $L=2D$, V) $L=3D$

a - deformasiyalanish manzarasi, **b** - $S_1=0,04\text{MPa}$ da gruntning ehtimoliy emirilish zonalari,
v - $S_2=0,112\text{MPa}$ da gruntning ehtimoliy emirilish zonalari

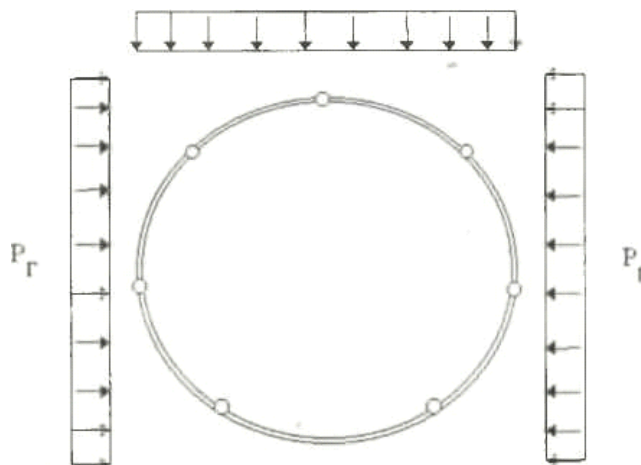
5.3-Rasm. Turli chuqurliklar bilan o'tkazilgan hisob-kitoblar natijalari

Bunda jinslarning ilashishlari ana shu shartni aniqlash uchun jiddiy ahamiyatga ega bo'lgan. 5.3-rasmda barcha sohalar uchun siljish epyuralari manzaralari va har qanday hisob-kitob variantlari uchun sun'iy bo'shliq atrofidagi plastik zonalar keltirilgan. 5.1-jadvalda soha kuchlanganlik-deformasiyalanganlik holati parametrlarini tavsiflab keluvchi, olingan asosiy qiymatlari berilgan. Olingan natijalardan tonnel ustida qubba (gumbaz) hosil bo'lish jarayonlari mavjudligi va tonnel qoplamalarining hisobini gruntning qubbaga ko'rsatadigan bosimini hisobga olgan holda bajarish kerakligi to'g'risida fikr yuritish mumkin. Bunda qubba bosimi shakli va o'lchamlari bir xil xarakterga ega (ularning kattalashuvi va kichrayishiga grunt tavsiflari ta'sir ko'rsatgan). Qoplamaning ushbu monografiyaning 3-bobida berilgan tenglamalar bo'yicha gruntning qubba bosimidan olingan yuklamalar ta'sirida ishlashini ko'rib chiqamiz. Qoplamaga yuklamani oldinma-ketin 5 bosqichda tushirib boramiz. Vertikal yuklama intensivligi – 0,1MPa, 0,2MPa, 0,3MPa, 0,31MPa, 0,4MPa, mos ravishda gorizonta1 yuklama intensivligi esa – 0,07MPa, 0,14MPa, 0,21MPa, 0,217MPa, 0,28MPa ga teng.

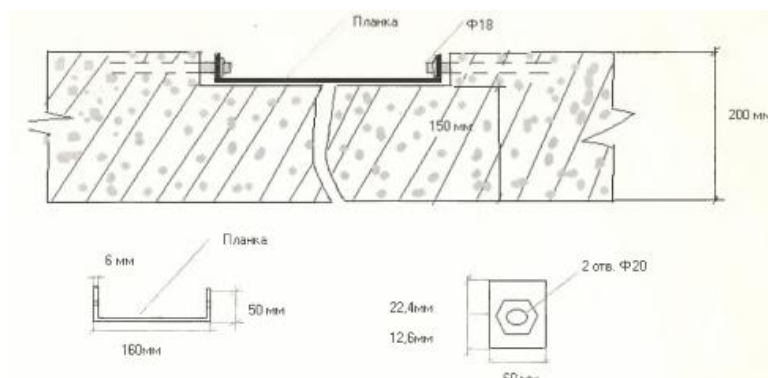
5.1-Jadval

Hisob-kitob natijalari

Чуқур- лиги	Силжишлар		Бузилган зоналар	
	$C_1=0.04\text{МПа}$	$C_2=0.081\text{МПа}$	$C_1=0.04\text{МПа}$	$C_2=0.081\text{МПа}$
L=5.5	15.5 мм	10.1 мм	5.5 м	1.4 м
L=11	26.3 мм	12.1 мм	5.8 м	1.7 м
L=16.5	28.8мм	12.4 мм	6.2 м	1.9 м



5.4-Rasm. Masalaning hisobiy sxemasi



5.5-Rasm. Tugunning parametrlari

Qoplama uchun quyidagilar qabul qilingan parametrlar: $E=3,33 \cdot 10^4 \text{ MPa}$, $\nu=0,25$, $k_y=8,52 \text{ MPa}$, $I=0,6667 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$, $F=0,2 \text{ m}^2$. Masalaning hisobiy sxemasi 5.4-rasmda keltirilgan. Tonnelsozlik tajribasidan kelib chiqib [49, 69], 5.5-rasmda ko'rsatilgan qoplama bloklarini ulash (birlashtirish) tuguni o'lchamlarini beramiz.

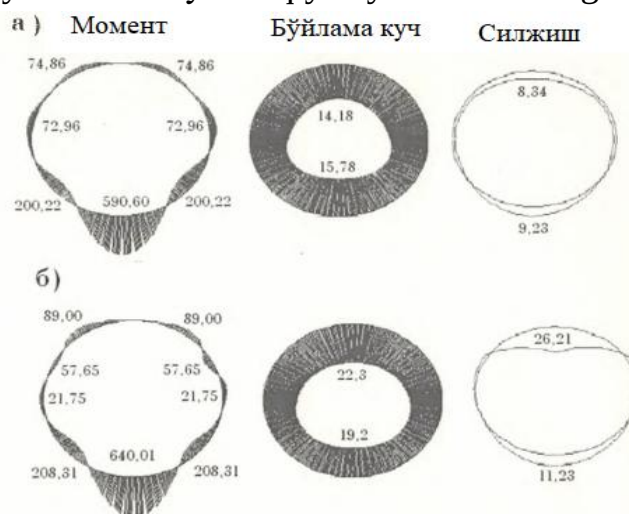
5.2-jadval

Hisob-kitob natijalari

Maksimal parametrlar	1-bosqich	2-bosqich	3-bosqich	4-bosqich	5-bosqich
Eguvchi moment, $\text{MPa} \cdot \text{m}^3$	$640.0 \cdot 10^{-5}$	$78.3 \cdot 10^{-4}$	$82.9 \cdot 10^{-4}$	$83.15 \cdot 10^{-4}$	$88.7 \cdot 10^{-4}$
Bo'yлама kuch $\text{MPa} \cdot \text{m}^2$	$22.3 \cdot 10^{-2}$	$50.8 \cdot 10^{-2}$	$78.4 \cdot 10^{-2}$	$81.27 \cdot 10^{-2}$	$100 \cdot 10^{-2}$
Siljish, m	$26.2 \cdot 10^{-4}$	$30.0 \cdot 10^{-4}$	$63.4 \cdot 10^{-4}$	$65.4 \cdot 10^{-4}$	$68.9 \cdot 10^{-4}$
Itarma burchagi, gradus	90	100	100	100	100
Itarma qiymati k_u , MPa	8.52	17.04	25.56	26.44	34.06

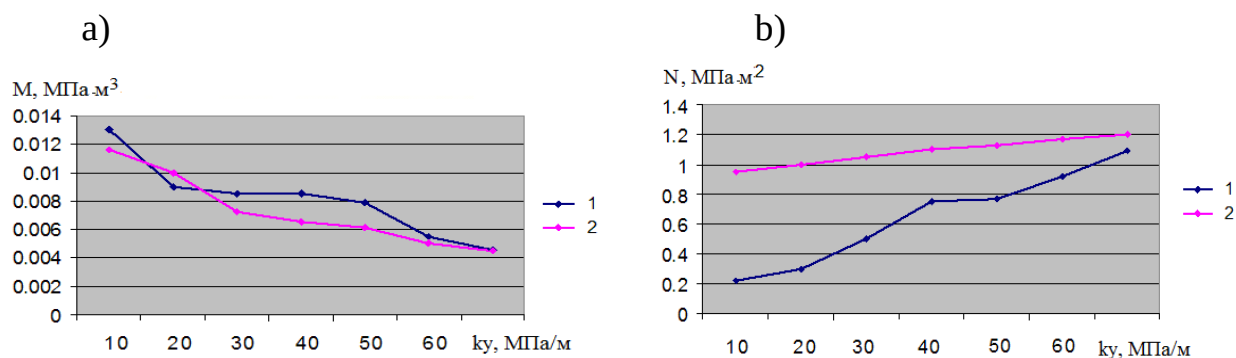
Konstruksiya hisobi jins otporini hisobga olgan va inshoot va grunt uchun otporsiz zonalarni aniqlash bilan amalga oshirildi. Hisoblash natijasida qoplamadagi siljishlar va ichki kuchlar aniqlanib, ularning epyuralari qurildi.

5.6-rasmda yuklanishning birinchi bosqichi uchun olingan natijalar va 5.2-jadvalda berilgan konstruksiya kuchlanganlik-deformasiyalanganlik holatining maksimal parametr qiymatlari bo'yicha qiyosiy tahlil keltirilgan.



a - itarmasiz zonalarni hisobga olmaganda, b -) itarma zonalarni hisobga olganda

5.6-Rasm. 1-chi yuklanish bosqichi uchun olingan natijalar



1 – faqat 5-bosqich uchun yuklanish, 2 – bir vaqtning o‘zida tashqi yuklama o‘sib borishi bilan barcha bosqichlar uchun yuklanish

5.7-Rasm. Eguvchi moment va bo‘ylama kuchlarning o‘zaro ta’sirlashish koeffitsientidan o‘zgarishi

Konstruksiya itarma bo‘lmagan zonalarini hisobga olgan holda hisoblash tonnel qoplamasining yashirin mustahkamlik zaxirasini aniqlab berdi, biroq yuklama kattalashishi bilan ichki kuchlar va siljishlar ham o‘sib bordi. 5.7-rasmda asosiy parametrlarning tashqi yuklamaning ortish qiymatiga hamda o‘zaro ta’sirlashish koeffitsientiga bog‘liq holda o‘zgarish grafiklari berilgan. Birinchi holda yuklama 0,4MPa ga teng va doimiy bo‘lsa, ikkinchisida o‘zaro ta’sirlashish koeffitsienti o‘sishi bilan birga monoton tarzda kattalashib bordi. Bunday tahlil sxemasi konstruksiya uchun kritik jihatni aniqlash imkonini berdi, ya’ni, agar maksimal eguvchi momentlar qoplama lotogi tomonidan qabul qilinsa, u holda hisoblashning 4-bosqichidan boshlab ular yonlama lotok usti elementlariga (bloklariga) o‘tkazildi.

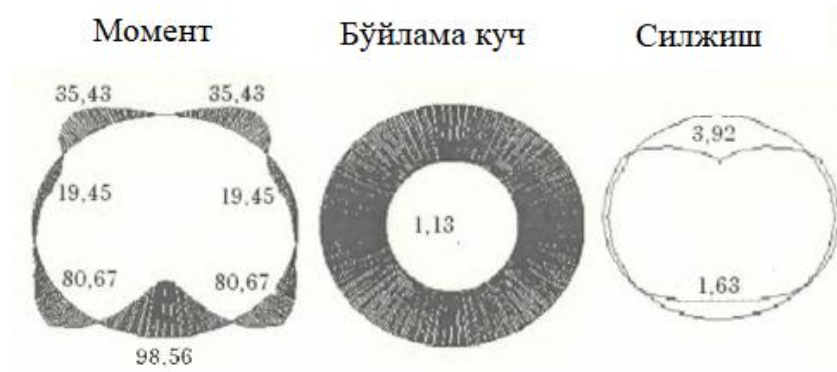
Parametrlarning o‘zgarish xarakterini rasmlardan ko‘rish mumkin. Seysmik yuklamalar cheksizlikka qo‘yilgan normal va urinma zo‘riqishlarning ekstremal qiymatlari ta’sirida yuzaga keladigan ekvivalent kvazistatik zo‘riqishlar bo‘yicha aniqlandi. Bu holda gruntning siljishlari avvaldan berilmadi. Seysmik yuklamalarga hisoblash maqsadida grunt jinsi zarralarining quyidagi tezliklarini shartli ravishda qabul qilamiz:

$$V_p = 971 \frac{M}{c}, \quad 1566 \frac{M}{c}, \quad V_s = 519 \frac{M}{c}, \quad 837 \frac{M}{c}.$$

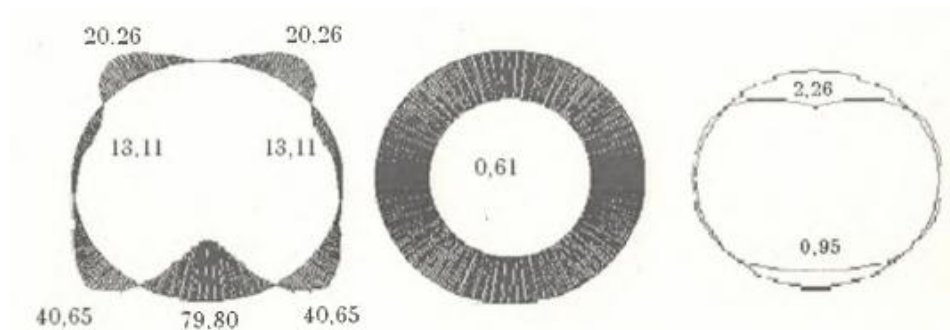
Qurilish tumanining hisobiy seysmiklik darajasi 9-ball deb olamiz. Bunda quyidagi parametrlar qabul qilingan: $A=0,4$, $K_1=0,25$, $T_0=0,5$ c, $\bar{Z}_r=0$. 5.8-rasmda qoplamadagi olingan ichki kuchlarning seysmik yuklama ta’siridan uzil-kesil qiymatlari keltirilgan. Bunda lotokdagi bukuvchi moment o‘z belgisini o‘zgartirdi. Bu holat tonnel qoplamasining quyi qismiga vertikal yo‘nalishdagi seysmik yuklama ta’sir ko‘rsatganligi va itarmasiz zona ikki tarafdin yuzaga kelganligi, itarmali zonada esa qoplamaning yon qismlari bo‘lib qolganligi bilan bog‘liq. Grunt tezliklarining ortishi qoplamadagi ichki kuchlar kattalashishiga olib keldi. Hisob-kitoblar qoplama materiali, betonning real ishi hisobga olinish samarasini aniqlab berdi. Zo‘riqishlar siquvchi bo‘lib chiqdi, blok seysmotuguni yordamida

mahkamlangan qismidagina cho‘zuvchi zo‘riqishlar paydo bo‘ldi. Yuklamani 3 barobar kattalashtirib (bunda aylana qoplama hisobidan aniqlab topilgan zo‘riqish qiymati olindi), xuddi shunday manzarani ko‘rish mumkin bo‘ldi.

a)



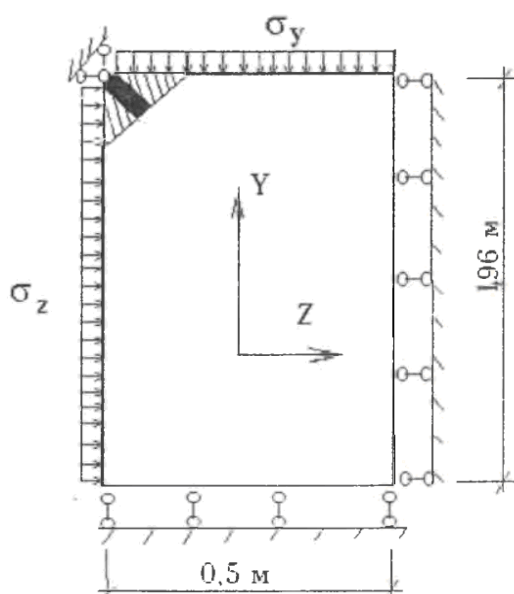
b)



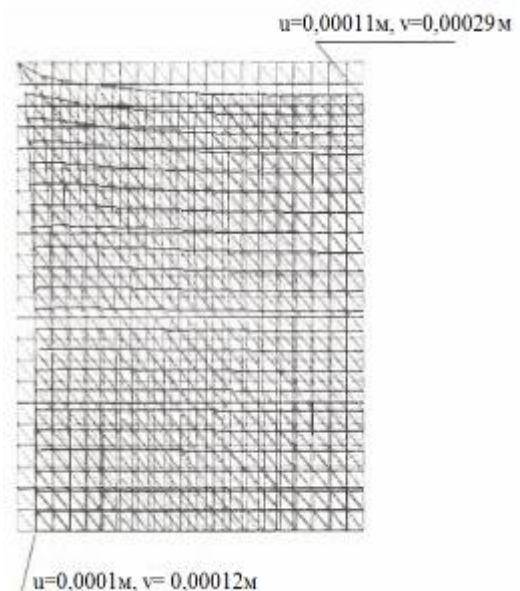
a - $V_p = 1566 \text{ m/c}$, $V_s = 837 \text{ m/c}$ uchun, b - $V_p = 971 \text{ m/c}$, $V_s = 519 \text{ m/c}$ uchun

5.7-Oasm. Seysmik yuklama uchun ichki kuchlar

a)

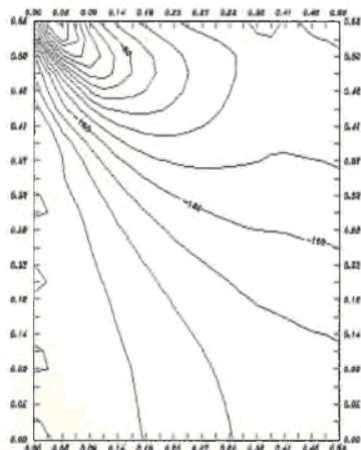


b)

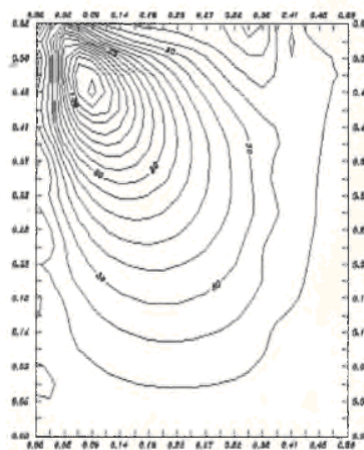


5.8-Rasm. Blokning deformasiyalanish hisobiy sxemasi va deformasiyalanishi

a)



b)

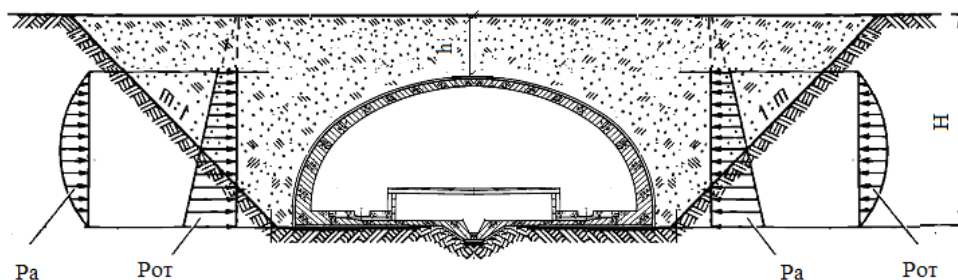


5.9-rasm. Qoplama blokidagi σ_x va σ_u kuchlanishlar izochiziqlari

Siljishlar u qadar katta bo‘lib chiqmadi. Metall plankadagi kuchlanish oquvchanlik chegarasidan kichik bo‘ldi, ya‘ni 100 MPa ga teng edi. 5.8-5.9-rasmlarda keltirilgan olingan natijalardan kelib chiqib, temirbeton blok asosan siquvchi zo‘riqlishlarni o‘ziga olishi, blokda armaturali sterjenlar va seymotugundagi metall planka etarli zaxira bilan ishlashi to‘g‘risida mulohaza yuritish mumkin. Ammo bu holda cho‘zuvchi kuchlanishlar faqat seymotugun yaqinida paydo bo‘ladilar. Qulay ishlash uchun, ya‘ni bu kabi kuchlanishni kamaytirishga ana shu zonadagi ko‘ndalang sterjenlar sonini ko‘paytirish yoki bloklarning ulanish qismida bloklardagi siquvchi kuchlanishlarni kamaytiradigan qo‘shimcha qistirmalar o‘rnatish bilan erishish mumkin.

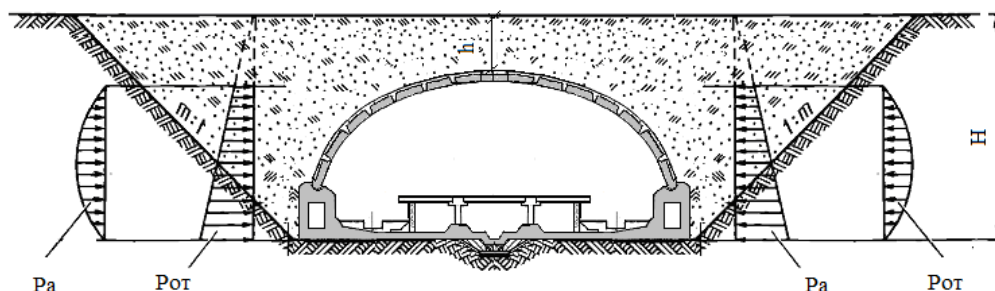
5.2. Bir gumbazli metropoliten stansiyalari hisobi

Stansiyaning temirbeton qoplamasi gumbazli rigeliga ega, o‘rta qismida qalinligi 40sm li bo‘lgan bir oraliqli ramadan iborat. Tag qismi qalinligi 90sm bo‘lgan gumbaz elastik asosdagi qo‘zg‘almas tayanchlarga tayanib, yassi lotok esa tortqich vazifasini bajaradi. Gumbazning platforma yuzasidan balandligi 625sm, stansiya oralig‘i esa 2050sm deb qabul qilinadi (5.10-rasm). Biroq yig‘ma temirbeton elementlardan tayyorlangan yangi bir gumbazli stansiyaga oid texnik echim bugungi kunda Toshkent metropoliteni loyihachilari tomonidan ham tasdiqlangan (5.11-rasm).



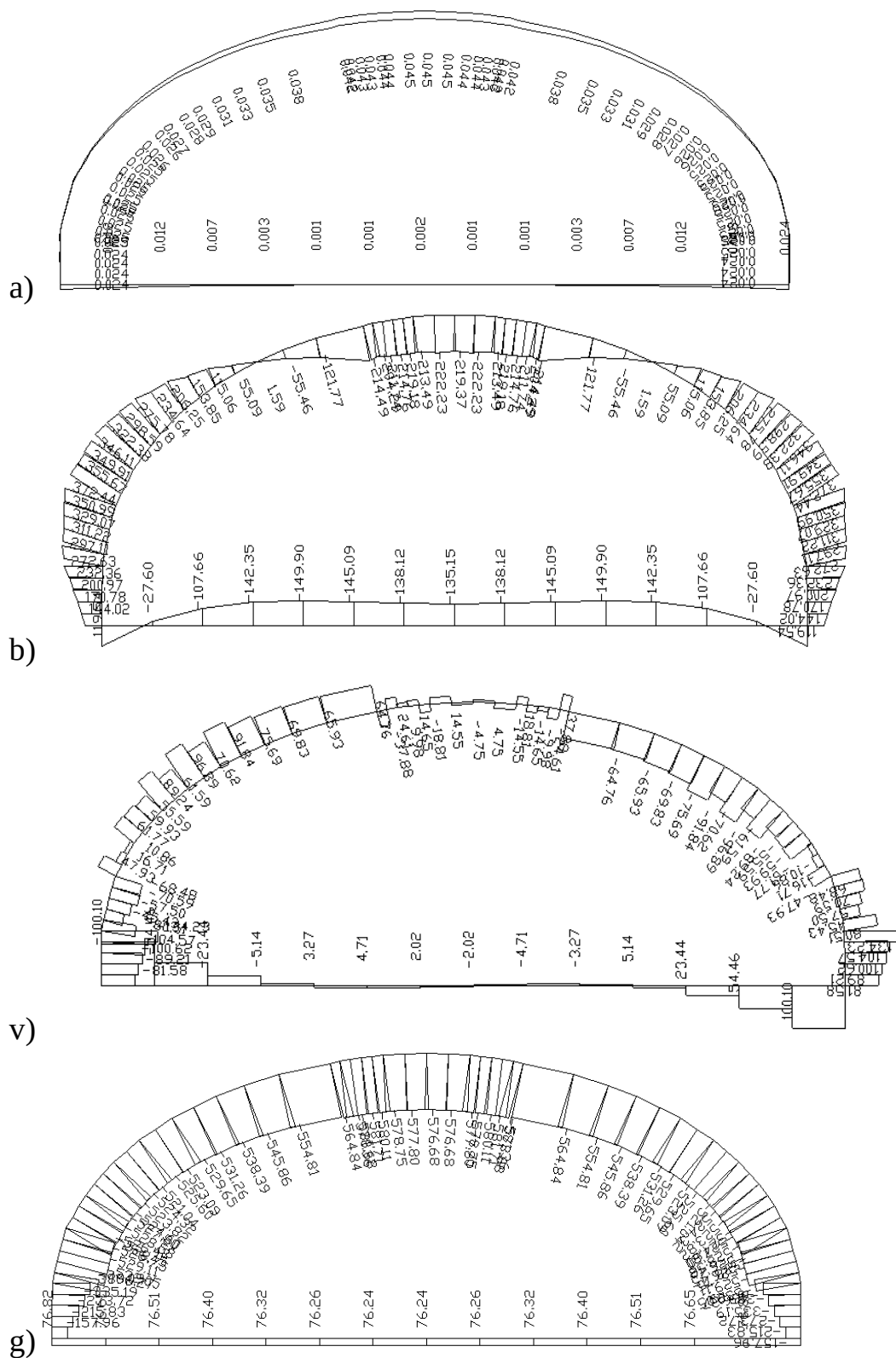
5.10-Rasm. Monolit temirbetonli ochiq usulda qurilgan mavjud bir gumbazli stansiya

Sizga ma'lumki, yer osti konstruksiyalari va inshootlarini loyihalash jarayoni uch bosqichdan iborat [139]. Birinchi bosqich – bu loyihani tuzish. Stansiya o'lchamlarini aniqlash uchun loyihalashtirish tajribasidan foydalanilib [122], uning asosiy o'lchamlari aniqlab olindi (5.11-rasm). Bunda stansiya ikki temirbeton element – eni 150sm va qalinligi 40sm bo'lgan gumbazdan, hamda balandligi 220sm va stansiyaning ko'ndalang yo'nalishida eni 150sm bo'lgan ichi bo'sh tayanch-taglikdan yig'iladi. Stansiya lotogi ham monolit, ham yig'ma bo'lishi mumkin bo'lib, gumbaz kesimining qalinligi esa 40sm ga teng. Gumbazning platforma yuzasidan ko'tarilib turishi 625sm bo'lsa, stansiya oradig'i 2050sm ga teng.



5.11-Rasm. Yig'ma temirbetonli ochiq usulda qurilgan yangi bir gumbazli stansiya

Stansiyaning qiyalikli xandaqda tiklashda faol bosimning boshlang'ich qiymati sifatida yo'l qoplamasi og'irligidan va qayta to'kilgan grunt qatlamidan tushadigan vertikal bosimni qabul qilishi mumkin. Ana shu konstruksiyalarni ushbu yuklarning statik ta'sirida ishlashini tahlil qilib chiqamiz. Bunda, hisoblashda quyidagilar hisobga olindi: $N=8,4\text{m}$, $h=1,3\text{m}$, $\delta=25\text{sm}$, $\gamma=0,019\text{MN/m}^3$, $\gamma_n=0,021\text{MN/m}^3$, $E_b=30,3 \cdot 10^3\text{MPa}$, $k_x=12,5\text{MPa}$, $k_u=50\text{MPa}$. Grunt yuzasida 0,1MPa ga teng bo'lgan, alohida taqsimlangan yuklama amal qiladi. Hisobiy sxemalar stansiyalarning muayyan o'lchamlari va sterjenli chekli-element modeliga ko'rsatilgan kuch ta'sirlaridan kelib chiqib qabul qilinadi. Tizim 79 ta tugun va 234 ta erkinlik darajasiga ega. Siljishlar va ichki kuchlar epyuralari ko'rinishida hisob-kitob natijalari 5.12-5.13-rasmlarda keltirilgan. Natijalar tahlilidan qoplamaning taklif qilingan konstruksiyasi mavjud konstruksiyaga qaraganda tashqi yuklamalarga yaxshiroq bardoshli ekanligi to'g'risida fikr yuritish mumkin. Bunda gumbazdagi maksimal siljishlar 10% ga, eguvchi moment, ko'ndalang va bo'y lama kuchlar deyarli 15% ga kamaygan.

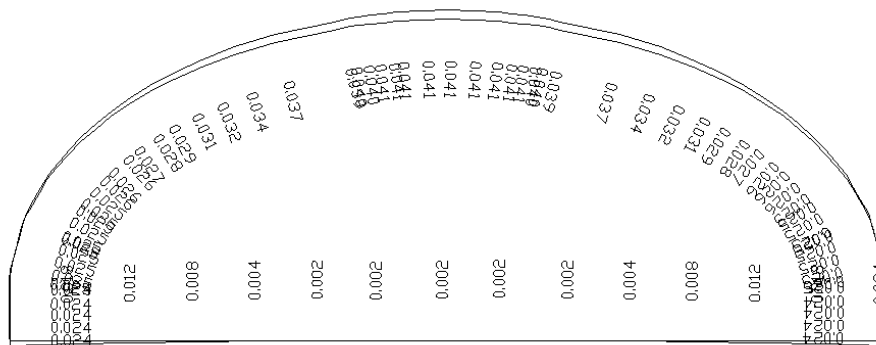


a – siljishlar, (m), b – eguvchi momentlar, ($\text{kN}\cdot\text{m}$), v – ko'ndalang kuchlar, (kN), g – bo'ylama kuchlar, (kN)

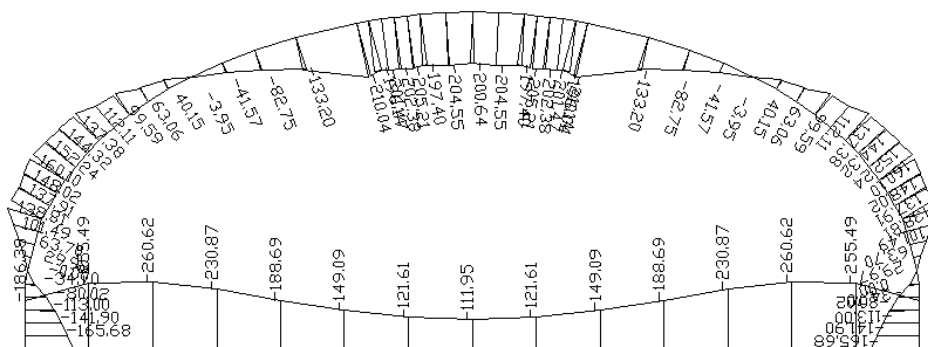
5.12-Rasm. Monolit qoplamadagi epyuralar

Taklif etilgan gumbazni tagligidagi tayanch bilan sharnirli ulash ana shu tugunda eguvchi momentni istisno etish bilan birga, bir vaqtning o'zida stansiyaning boshqa joylarida ham ana shu kuchlar qiymatlarini ham kichraytiradi.

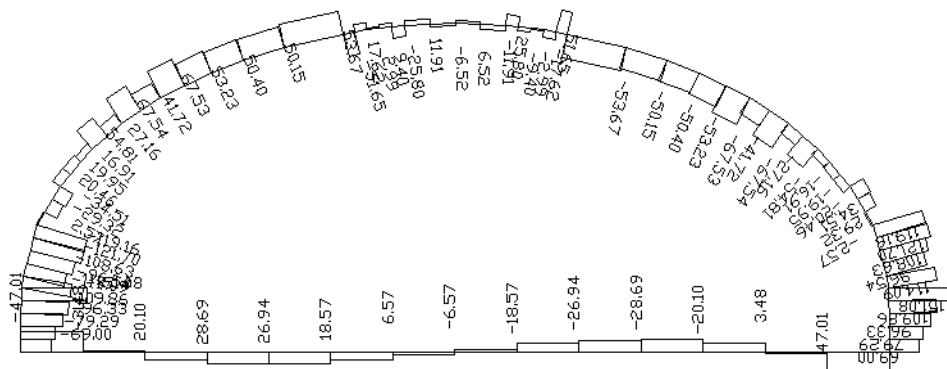
a)



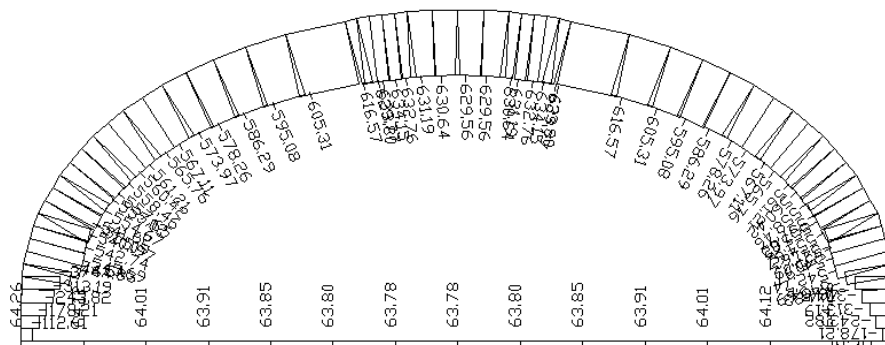
b)



v)



g)

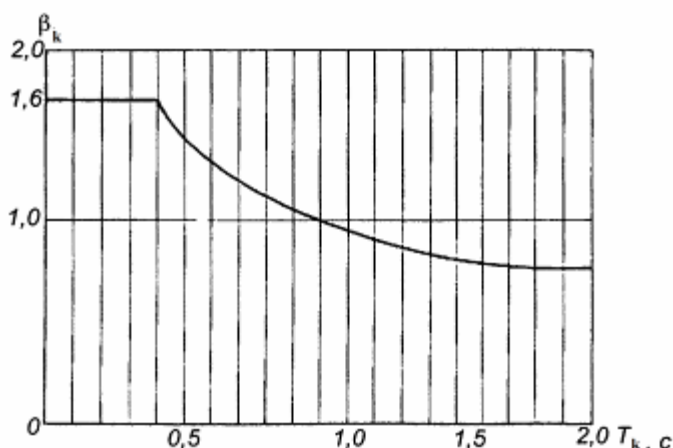


a – siljishlar, (m), b – eguvchi momentlar, (kN·m), v – ko'ndalang kuchlar, (kN), g – bo'ylama kuchlar, (kN)

5.13-Rasm. Yig'ma qoplamadagi epyuralar

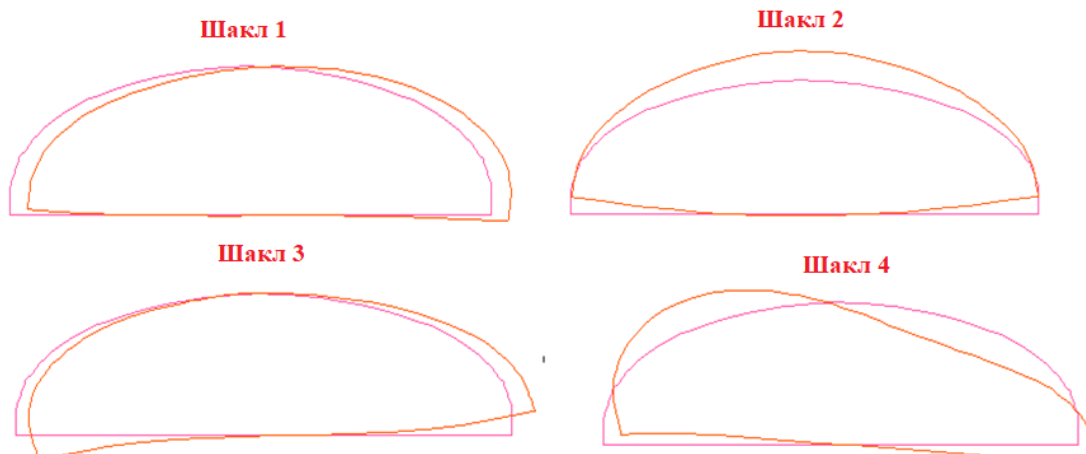
Quyida qurilish hududining 9-ballilik darajasida spektral uslubiga ko'ra (3.48) formulaga binoan seysmik tahlil hisoblari amalga oshirildi. Bunda quyidagi qiymatlar qabul qilindi: $A=0,4$, $K_1=0,25$, $K_2=1$, $K_\psi=1$ [69].

Tizimning, tizim xususiy tebranishlarining $\beta_k(t)$ k-chi shakliga muvofiq keladigan dinamiklik koeffitsienti $\beta_k(t) = \frac{1}{\sqrt{T_k}}$ formula yoki [69] dagi grafik bo'yicha qoplamaning gruntidagi xususiy tebranishlari davrlari T_k ga bog'liq ravishda aniqlanadi (5.14-rasm).



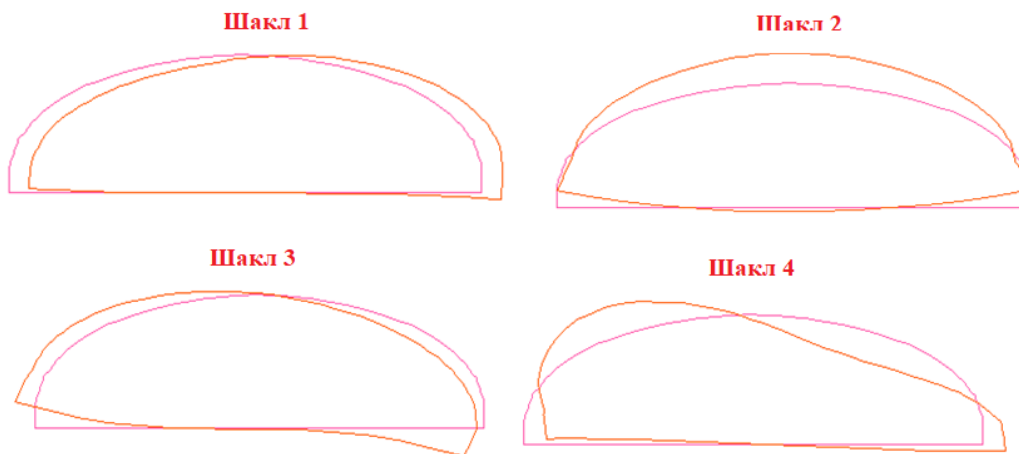
5.14-Rasm. Metropoliten tunnel konstruksiyalari uchun spektral egri chizig'i [69]

Aytish lozimki, ilk marotaba jahon amaliyotida ushbu spektral egri chizig'i bir necha yil davomida Toshkent metropoliteni muhandislik-seysmometrik stansiyasida yig'ilgan ma'lumotlar asosida tuzilgan [69]. Tizim tebranishlarining k-chi shakli va η_{ik} yuklamaning joylashish joyiga bog'liq bo'lgan koeffitsient o'z shakl vektorlari va umumlashtirilgan massalarni aniqlash hisobidan kelib chiqib hisoblab topiladi. Seysmik kuchlar har bir erkinlik darajasi bo'yicha olingan [132].



1 – $\omega_1=5,18$ rad/s, 2 – $\omega_2=15,34$ rad/s, 3 – $\omega_3=22, 14$ rad/s, 4 – $\omega_4=31,43$ rad/s

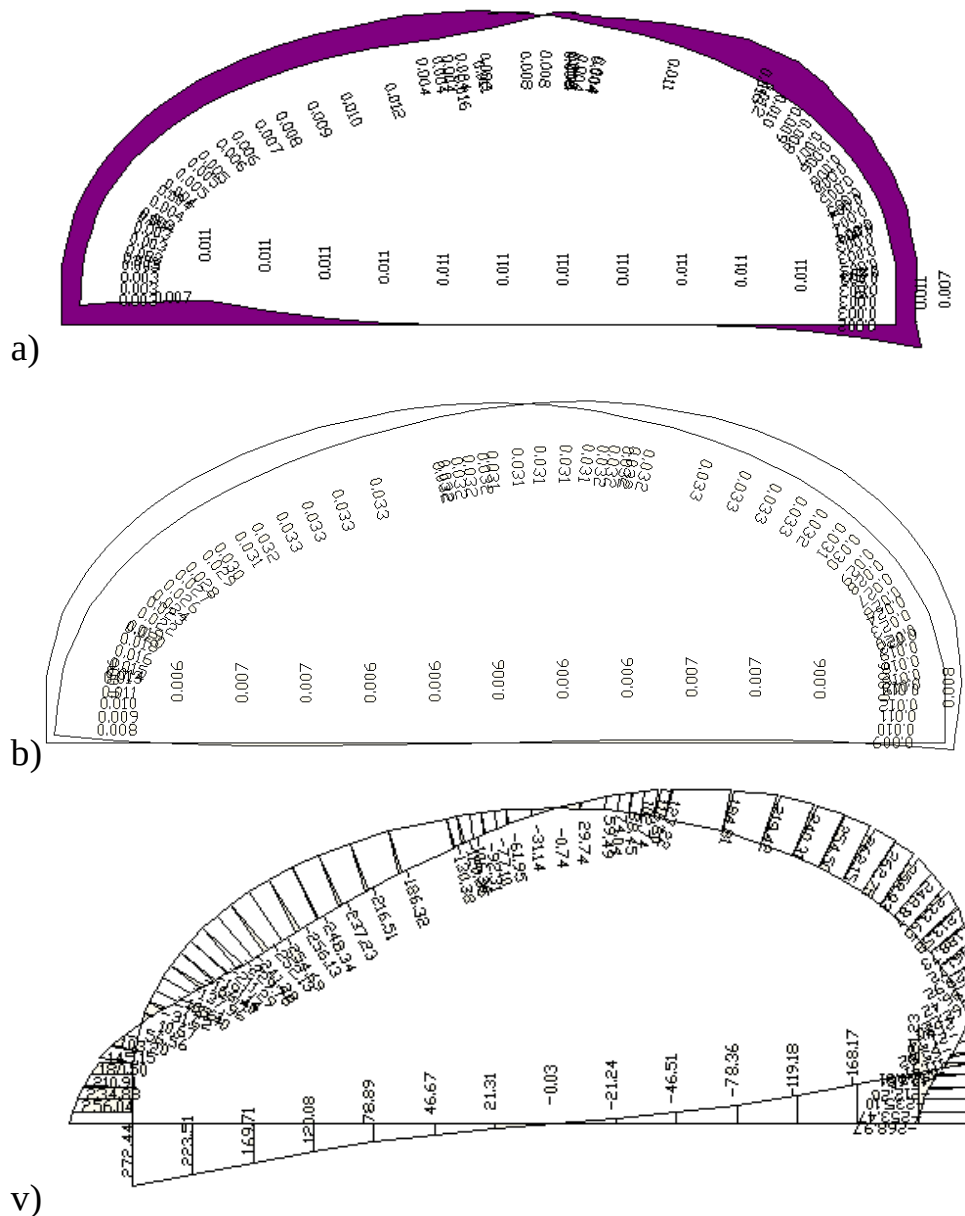
5.15-Rasm. Monolit konstruksiya uchun xususiy chastotalarida tebranishlar shakllari

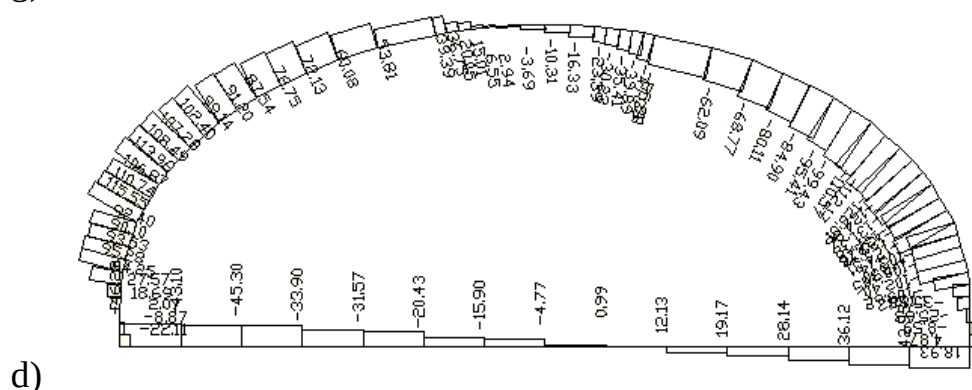
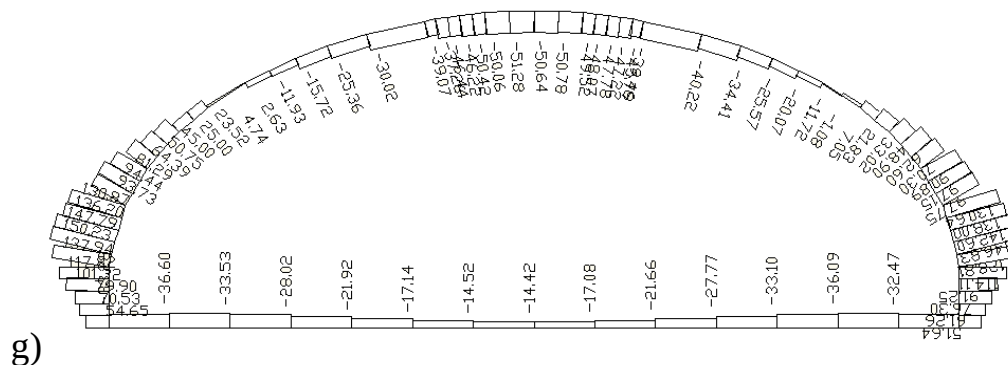


1 – $\omega_1=4,29$ rad/s, 2 - $\omega_2=6,71$ rad/s, 3 - $\omega_3=14,32$ rad/s, 4 – $\omega_4=23,69$ rad/s

5.16-Rasm. Yig'ma konstruksiya uchun xususiy chastotalarida tebranishlar shakllari

5.15-5.16-rasmlarda eng past 4-ta chastotalar uchun tebranish shakllari keltirilgan. Ikki stansiyalar uchun tebranish shakllari manzarasi o'zaro yaqin bo'lib, faqat ular chastotalar qiymatlari bo'yicha farq qiladi.

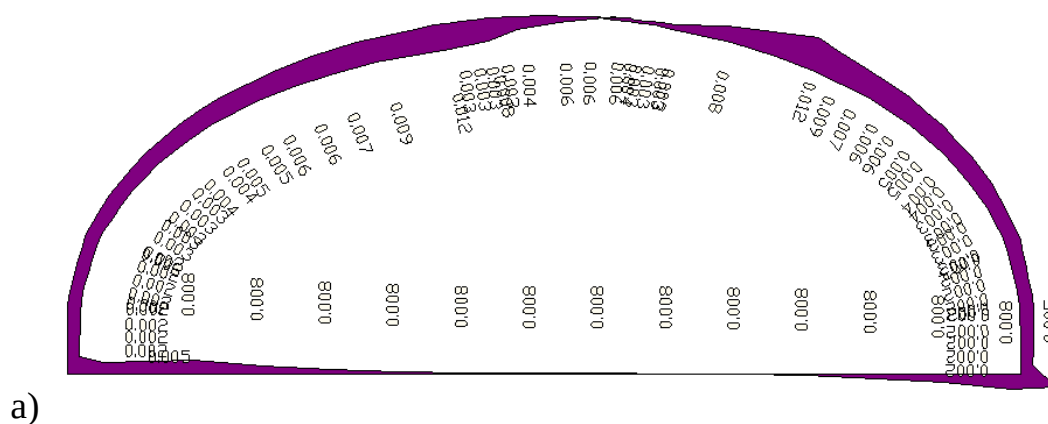


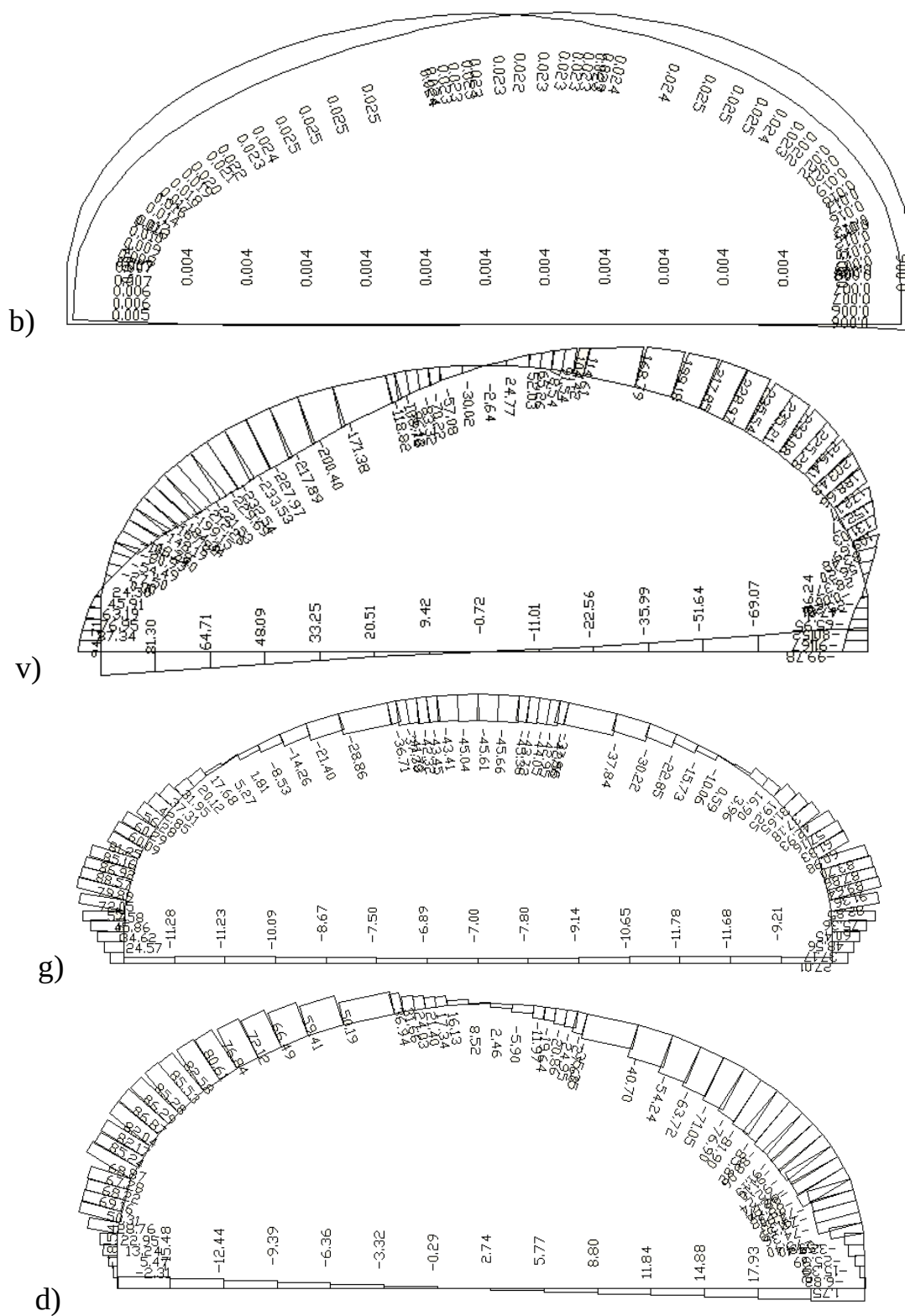


a - seysmik kuchlar, (MPa), b - seysmik siljishlar, (m), v - seysmik eguvchi momentlar, (kN·m), g – seysmik ko‘ndalang kuchlar, (kN), d - seysmik bo‘ylama kuchlar, (kN)

5.17-Rasm. Monolit qoplamaning 1- chi xususiy tebranishlari uchun epyuralar

Natijalar tahlilidan kelib chiqib, gorizontaal yo‘nalishdagi maksimal seysmik kuchlar tebranishlarning 1-chi shakliga, maksimal vertikal kuchlar esa 2-chi tebranishlar shakliga to‘g‘ri keladi deb aytish mumkin. Ammo sharnirli biriktirilgan yig‘ma qoplamada barcha tebranish shakllari uchun mavjud stansiyaga nisbatan 12-15% kichikroq ichki kuch tushadi. Yaqqolroq namoyish etish uchun 5.17-5.18-rasmlarda ikki stansiya kesimlarida tebranishlarning 1-chi shakli uchun hisob-kitob natijasida olingan seysmik kuchlar, siljishlar va ichki kuchlar keltirilgan.



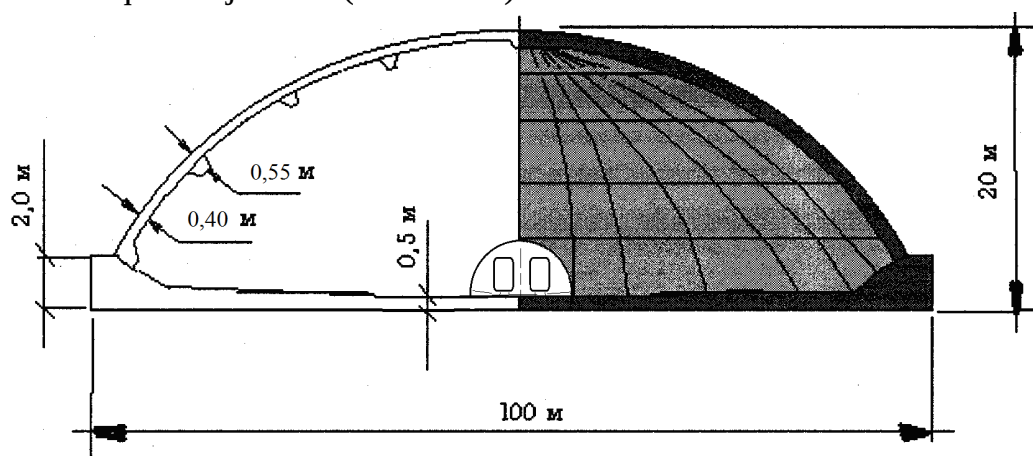


5.18-Rasm. Yig'ma qoplamaning 1- chi xususiy tebranishlari uchun epyuralar

Shunday qilib, sayoz chuqurlikda joylashgan ikki turli stansiyalar uchun amalga oshirilgan qiyosiy hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan bir gumbazli stansiya Toshkent shahri sharoitlari uchun eng maqbul variant bo'lib kelar ekan.

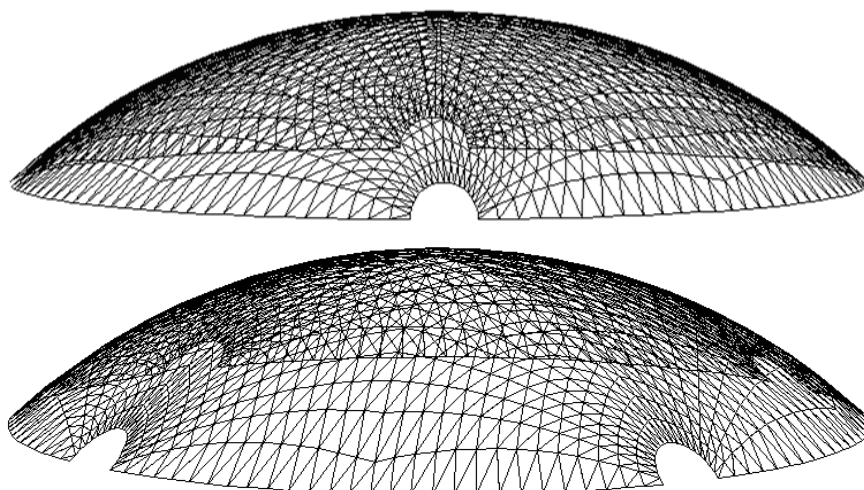
5.3. Yurish tonnelli kesishuv tugunlaridagi metropoliten stansiyasining hisobi

Metropoliten stansiyasini yurish tonnelli kesishuv tugunlarida bunyod etish uchun qo'llanadigan konstruktsiya ikki konstruktsiyaviy element: yupqa devorli qobiq va yassi lotok elementidan tashkil topadi. Gumbazli qoplamadan farqli ravishda lotoksimon element tayanch halqasi bilan birga qobiqning og'irlik va kengaytirish kuchini o'ziga oladigan baquvvat plitali konstruktsiyani hosil qiladi. Konstruktsiyaning gumbaz-qobiq qismi qalinligi 55sm va 40sm bo'lgan qobirg'ali plitalarning yig'ma elementlaridan qilib bajariladi (5.19-rasm).

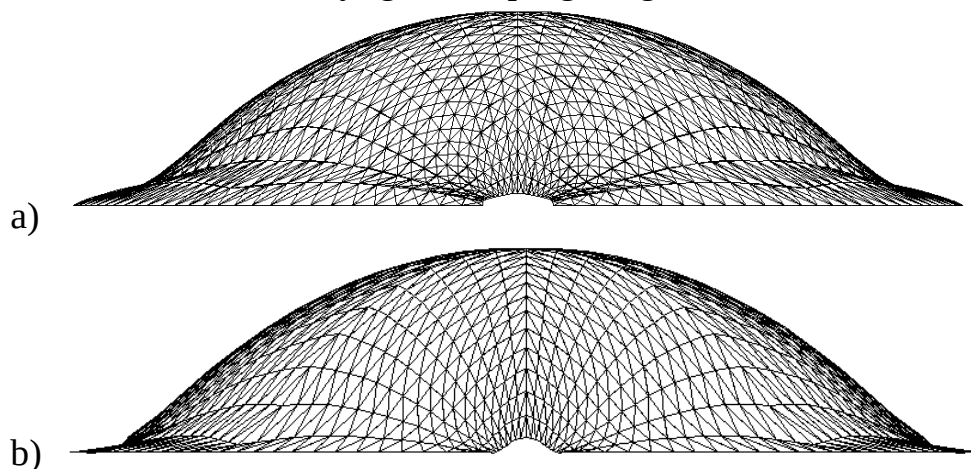


5.19-Rasm. Stansiyaning umumiy ko'rinishi

Lotok qismi yig'ma yoki yig'ma-monolit usulida bajarilishi mumkin. Yig'ma elementlar armatura uchlari orqali, qobiqli betonlash yo'li bilan birlashtirilib, buning oqibatida o'ta bikr va qo'zg'almas seysmik elastik belbog' hosil qiladi. Biroq gumbaz lotokka qo'zg'almas tarzda yoki sharnirli qilib tayanishi mumkin. Har ikki yo'nalishdan juft poezdlarni o'tkazish uchun gumbaz, rasmlarda ko'rsatilgani kabi, to'rt tarafidan kesikka ega bo'ladi. Konstruktsiyaning geometrik o'lchamlari ham shuningdek 5.19-rasmda berilgan. Bunda stansiya materiali temirbeton, uning elastiklik moduli 31500MPa, temirbeton konstruktsiyaning hajmiy og'irligi – 0,025MN/m³, gruntning hajmiy og'irligi - 0,018MN/m³, gruntning ichki ishqalanish burchagi – 26°. Stansiyaning fizik modellashirish uchun qobiqning har bir tugunida 5 tadan erkinlik darajasiga ega bo'lgan uchburchakli chekli elementdan foydalanamiz. Sayoz joylashgan tonnellar qurish tajribasidan [69, 122] kelib chiqib, konstruktsiya tagining grunt yuzasidan 20m ga teng bo'lgan real joylashish chuqurligini ko'rib chiqamiz. Konstruktsiyaning eng maqbul tarzda yuklanishini aniqlash maqsadida, grunt jinsi itarmasini stansiya gumbazining faqat quyi qismida $k_d=50\text{MPa/m}$ ga tenglab, o'zaro ta'sirlashish koeffitsienti bilan hisobga olamiz. Shuningdek gumbaz uch qismlari qo'zg'almas va sharnirli tayangan bo'lgan holdagi, uning ishlashini ko'rib chiqamiz. Konstruktsiyaga ta'sir qilayotgan yuklamalar konstruktsiyaning o'z og'irligidan va uning ustida yotgan grunt qatlamidan (vertikal va gorizont) paydo bo'ladi. Tizim 2995 ta elementga va 6606 ta erkinlik darajasiga ega. 5.20-rasmda gumbaz-qobiqning chekli-elementli sxemalari berilgan.



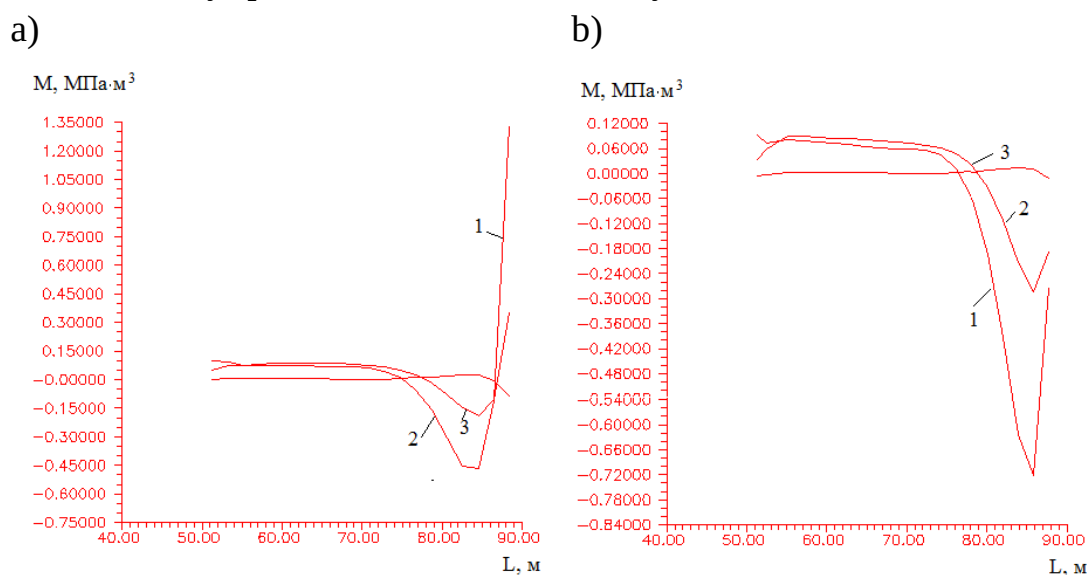
5.20-Rasm. Stansiya gumbaz-qobig'ining chekli-elementli sxemalari



a – qo'zg'almas tarzda tayangan, b – sharnirli tayangan

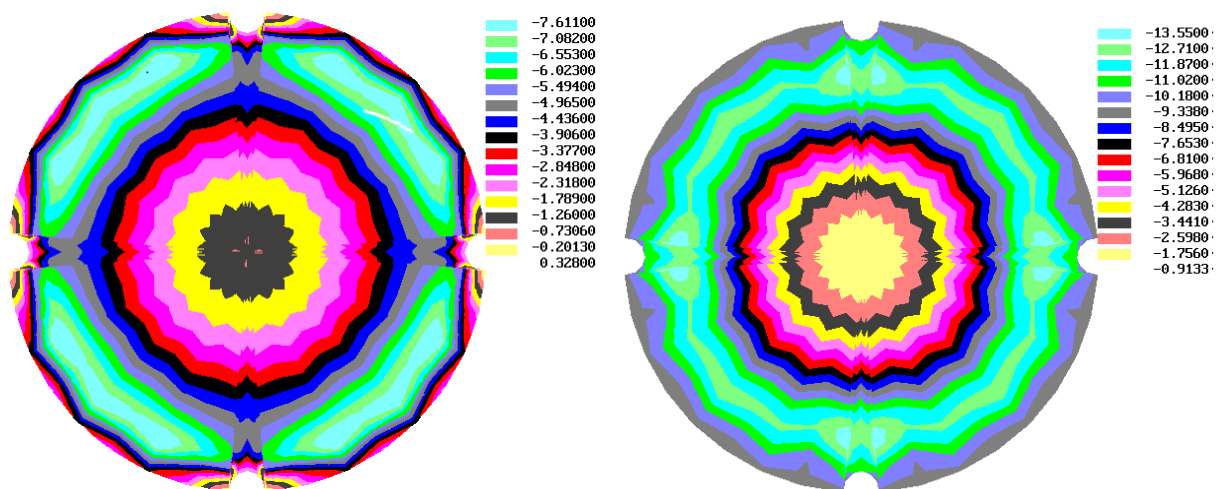
5.21-Rasm. Gumbaz-qobiqning g deformasiyalanishi

5.21-rasmda ikki chekli sharoitlar uchun gumbaz-qobiqning deformasiyalanish holatlari keltirilgan. Kuzatuv paytida umumiy o'xshashlikni ko'rish mumkin, ammo tayanish joylarida va kesiklar yaqinida ular turlicha deformasiyalanadi.

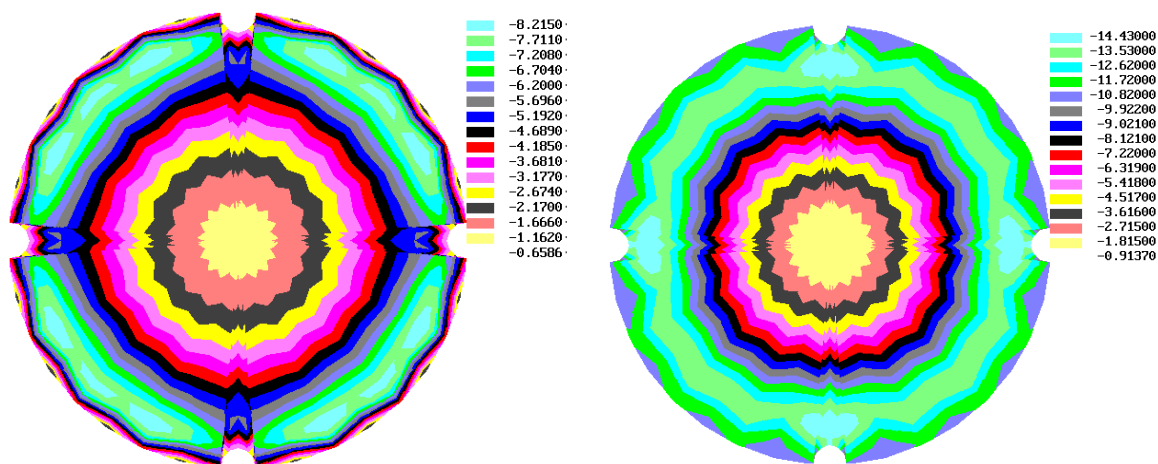


5.22-Rasm. Momentlarning chekkadan markazga tomon o'zgarib borishlari

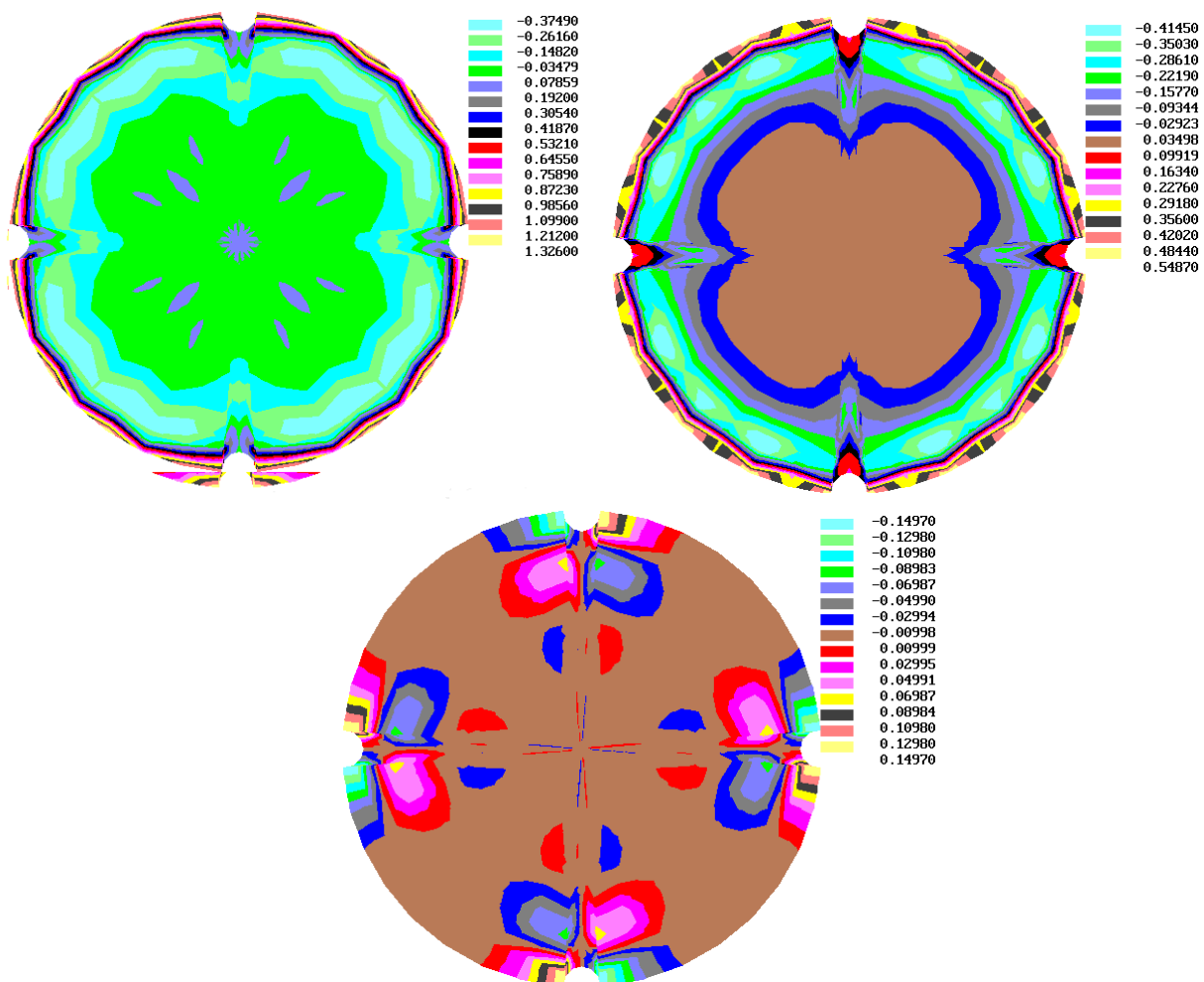
Bu erda maksimal eguvchi momentlar va bo'ylama kuchlar stansiya tubida, lotokning gumbaz bilan ulanish joyida bo'lishini ko'rish mumkin. Radial momentlar halqali momentlarga nisbatan kattaroq bo'ladilar. Keskin ko'tarilishdan so'ng, markazga yaqinlab kelar ekan, radial va halqali momentlar kichrayib boradi (5.22-rasm). Momentlar va zo'riqishlarning konstruksiyada bu kabi taqsimlanish tasnifi (5.23-5.26-rasmlar), stansiya gumbazli va lotokli elementi o'rta qismidagi ko'ndalang kesimlarning kichraytirilishi va ulanish joylarida ularning keskin kattalashuvini ko'zda tutadi. Elementlarning ulanish joylarida armatura sterjenlarini tanlashda radial va halqasimon yo'nalishlarning eguvchi momentlari belgilari o'zgarishlarini ham hisobga olish talab etiladi.



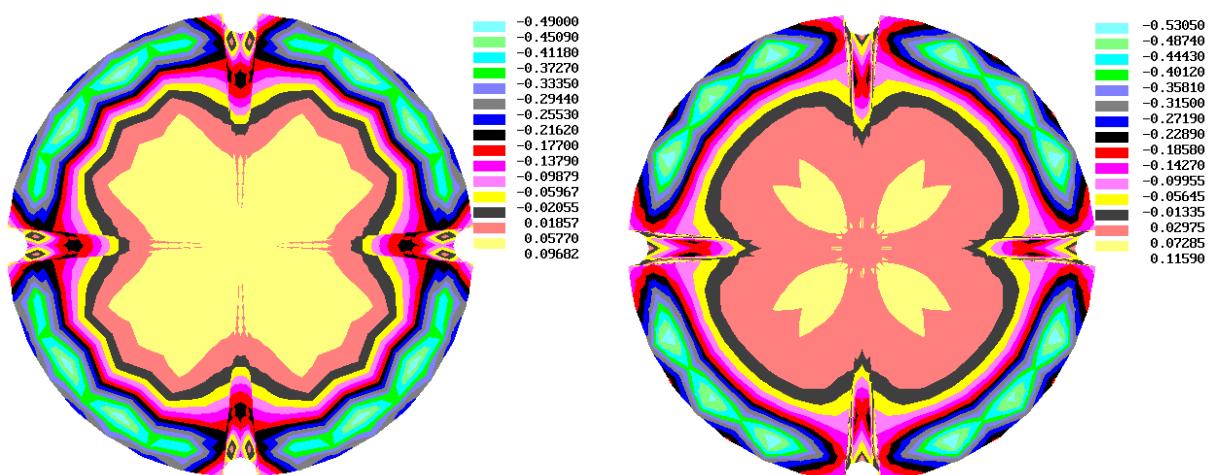
5.23-Rasm. Chekka qismlari qo'zg'almas qilib mahkamlangan sharoitda gumbazdagi asosiy zo'riqishlar σ_1 va σ_2 izoxromalari, (MPa)

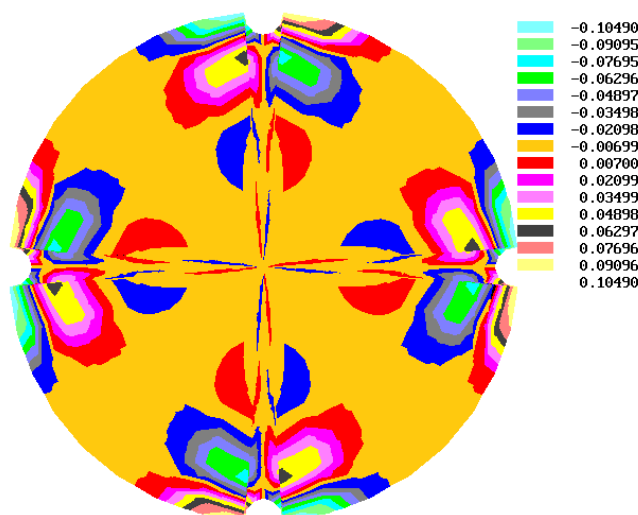


5.24-Rasm. Chekka qismlari sharnirli qilib mahkamlangan sharoitda gumbazdagi asosiy zo'riqishlar σ_1 va σ_2 izoxromalari, (MPa)



5.25-Rasm. Chekka qismlari qo‘zg‘almas qilib mahkamlangan sharoitda gumbazdagi M_x , M_u va M_{xu} momentlar izoxromalari, ($\text{MPa} \cdot \text{m}^3$)

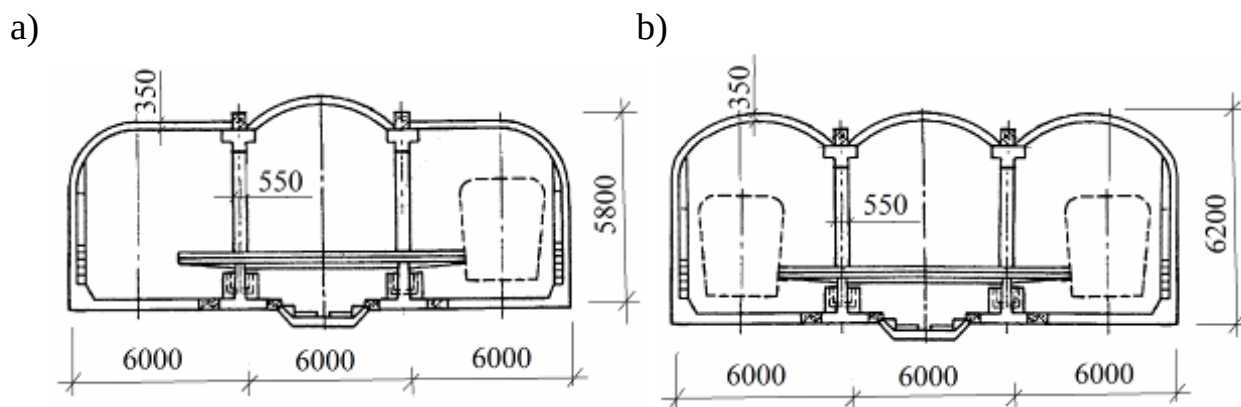




5.26-Rasm. Chekka qismlarini sharnirli mahkamlashda gumbazdagi M_x , M_u va M_{xu} momentlar izoxromalari, (MPa·m³)

5.4. Ustunli metropoliten stansiyalari hisobi

Taklif etilgan stansiyaning mavjud stansiyalardan asosan yon tonnelli bilan farq qiladigan yassi va gumbazsimon orayopmasi bo'lgan uch oraliqli ustunli stansiyalarni (5.27-rasm) ko'rib chiqamiz [69]. Taklif etilgan konstruksiyalarning ishlab chiqilgan usullarga muvofiq statik ishlashini aniqlash uchun eng nomaqbul yuklanish sharoiti uchun hisoblar bajaramiz. Bunda konstruksiyalar grunt bilan o'zaro ta'sirlashadigan sterjenli tizimdan iborat bo'ladilar. O'zaro ta'sirlashish koeffitsientlari $k_x=50\text{MPa/m}$, $k_y=21\text{MPa/m}$ ga teng bo'lib, ko'ndalang kesimi $0,3025\text{m}^2$ bo'lgan ustunlar faqat siqilishga ishlaydi deb hisoblanadi (ustunlar birligi butun uzunligiga taqsimlash bilan aniqlanadi, chunki ular tunnel uzunligi bo'ylab har 6m da joylashadilar). Tunnelning yon bloklari eni 1,48m va qalinligi 0,35m, hamda ichki va tashqi yuzasi bo'ylab zo'riqtirilmagan Ø18-III armatura bilan qoplangan, shuningdek yig'ma variantda bajarilgan. Lotokli plita qalinligi 0,4m bo'lgan, ichki va tashqi yuzasi bo'ylab zo'riqtirilmagan Ø25-III armatura bilan qoplangan yig'ma temirbetondan iborat.



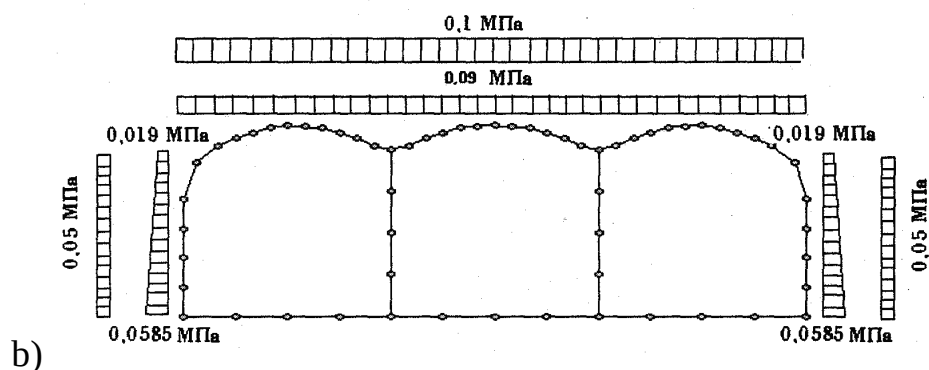
a – mavjud variant, b – taklif etilgan variant

5.27-Rasm. Ustunli qilib ishlangan stansiyalarning ko'ndalang kesimlari

Turli variantlar uchun ichki kuchlarning natijaviy epyuralari 5.29-5.31-rasmlarda keltirilgan. Olingan natijalardan stansiya yon tonnallari rigelli qismlarini gumbazsimon ko‘rinishga keltirish ana shu qismda eguvchi momentlarning ancha kichrayishiga olib kelishi, stansiyaning lotokli qismida esa ular kichik qiymatga kattalashgan deb xulosa chiqarish mumkin. Bo‘ylama kuchlarga kelsak, ular qiymatlari stansiya tonneli devorlari va uning yuqori gumbazsimon qismlarida kichrayish holatlari kuzatiladi. Egilish epyuralari asosan stansilarning yuqori qismlarida farq qiladi. Yon tonnellar egilishi kichrayishi hisobiga o‘rta tonnel tepa qismining egilishi kattalashdi.

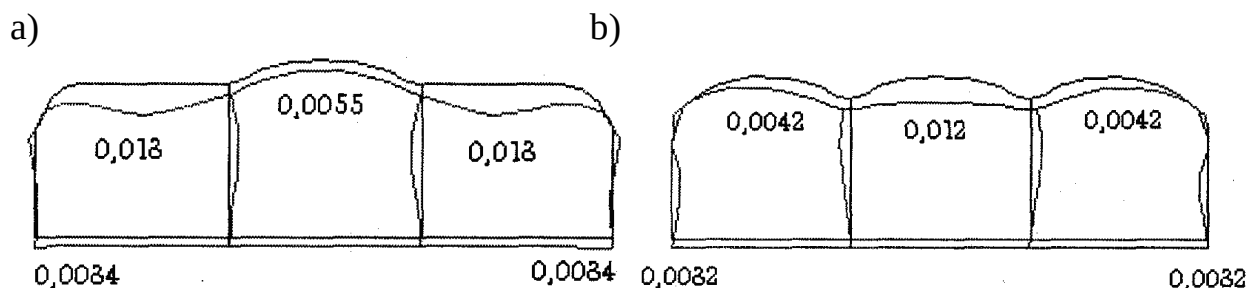
РАСЧЕТНАЯ СХЕМА КОНСТРУКЦИИ

вариант - 2



a) mavjud varianti, b) taklif etilgan variant

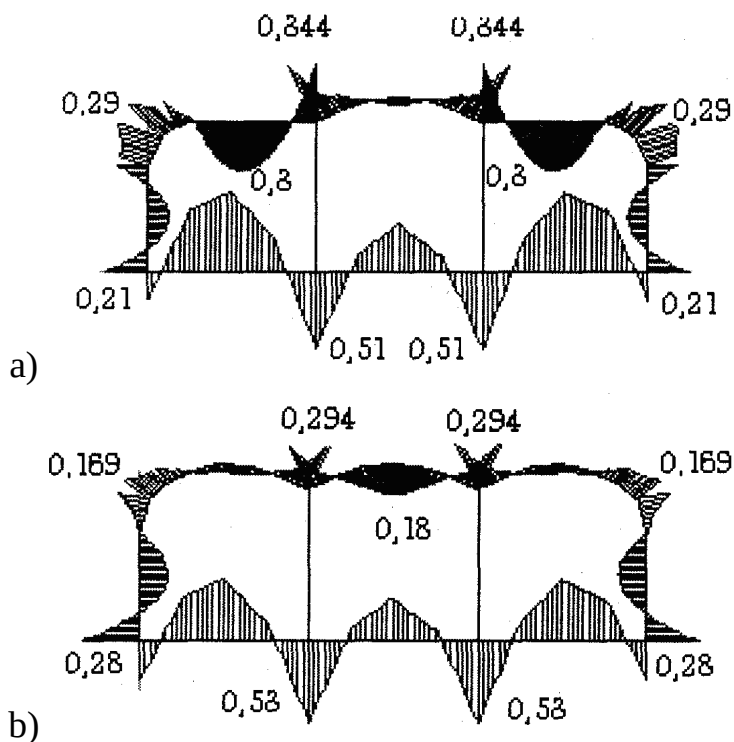
5.28-Rasm. Konstruksiyalarning yuklanish sxemalari



a) mavjud varianti, b) taklif etilgan variant

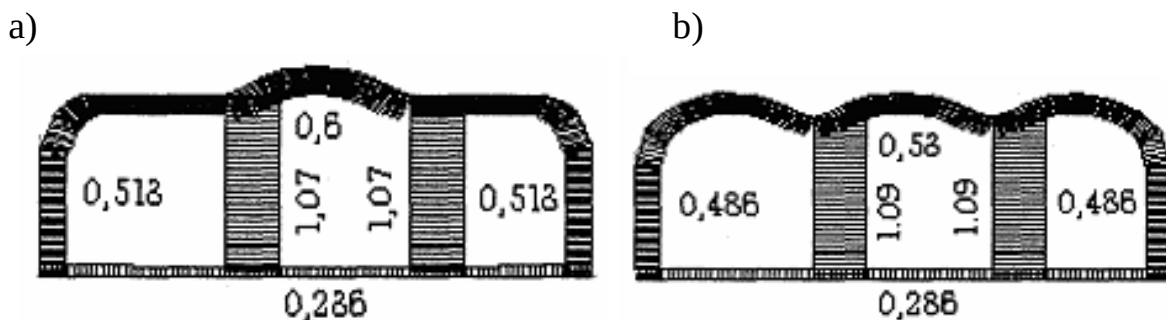
5.29-Rasm. Konstruksiyalardagi Egilish epyuralari, (m)

Hozirgi vaqtda taklif etilgan konstruksiya Toshkent metropolitenining loyihalashtirilayotgan yo'nalishida stansiya ishchi chizmalarini yaratishda ishlatilib kelmoqda.



a) mavjud variant, b) taklif etilayotgan variant

5.30-Rasm. Konstruksiyalardagi eguvchi momentlar epyuralari, (MPa·m³)



a) mavjud variant, b) taklif etilayotgan variant

5.31-Rasm. Konstruksiyalardagi bo'ylama kuchlar epyuralari, (MPa·m²)

5.5. Mavjud zilzilabardoshlik nazariyalari hisobiy modellari bo'yicha tonnellning seysmik mustahkamligini baholash

Yer osti inshootlariga, xususan tonnellarga ko'rsatiladigan seysmik ta'sirni baholash masalalari, o'ta dolzarb muammolardan biri bo'lib hisoblanadi. Shunga qaramay, so'nggi 35 yil davomida zilzilabardoshli qurilish nazariyasida jiddiy yutuqlarga erishildi [27, 29, 31, 42, 68, 69, 76, 121, 122].

Bu erda erosti inshootlarining zilzilabardoshliligi masalalarini tadqiq etish, ham nazariy, ham eksperimental usullar yordamida olib borilmoqda. Ammo bugungi kunda zilzila ro'y berganida bu kabi inshootlarini zilzilabardoshlikka hisoblashning yagona yondashuvi mavjud emas. Hozirga kelib yer osti inshootlari, xususan sayoz va chuqur joylashgan tonnellarning kuchlanganlik-deformasiyalanganlik holatini baholashga ko'maklashishi mumkin bo'lgan hisobiy sxemalar bo'yicha bir qancha nazariyalar ishlab chiqilgan:

Yer osti inshootlari zilzilabardoshliqining spektral nazariyasi.

Ushbu nazariyaga binoan inshootga ko'rsatiladigan inersion seysmik bosim inshootning o'z og'irligi va u bilan ta'sirlashayotgan gruntning muayyan qatlami og'irligidan kelib chiqib aniqlanadi. Bunda gruntdan tushadigan seysmik yuklar qurilish hududining seysmiklik darajasini hisobga olgan pasaytiruvchi koeffitsientga ko'paytirish bilan gruntning normativ bosimi orqali hisoblab topiladi [69]. Konstruksiya og'irligi tufayli yuzaga keladigan seysmik kuchlar esa me'yorlarda belgilab qo'yilgan hisoblashning spektral usuliga muvofiq aniqlanadi [88]. Ushbu nazariyaning ijobiy jihati shundaki, uzun to'lqinli seysmik ta'sirda yuklamani hisoblab topishning soddalashtirilgan sxemasi va inshoot o'zining dinamik tavsiflarini uning tebranishlar shakliga bog'liq ravishda hisobga olinishi taklif etiladi. Uning kamchiligi inshootga qo'yiladigan seysmik ta'sirlar statik tarzda qo'yiladi degan faraz bilan amalga oshirilishiga bog'liq.

Yer osti inshootlari zilzilabardoshliqining kvazistatik nazariyasi

Ushbu nazariyaga binoan seysmik to'lqinlar tonnellarning ko'ndalang kesimidan ancha ortiq bo'lgan katta uzunligi bilan farq qiladilar va buning oqibatida yer osti inshootlarini zilzilabardoshlikka hisoblash masalasi cheksizlikka qo'yilgan seysmik

to'liqlarga nisbatan kvazistatik masalalarni hal qilishdan iborat bo'lib qoladi [49]. Inshootlarga tushadigan yuklamalar tunnel atrofini o'rab turgan grunt jinslari massivining bikrlilik tavsiflari orqali aniqlanadi. Bu nazariyaning ijobiy jihati ham, birinchisidagi kabi, inshootga ko'rsatiladigan seysmik ta'sirni soddalashtirilgan hisoblab topish sxemasi hisoblanadi. Uning kamchiligi esa tunnel konstruksiyalari ixtiyoriy shakllari uchun hisobiy sxemalarni tarqatish imkoni yo'qligi va inshoot inersion xossalarning hisobga olinmasligidan iborat.

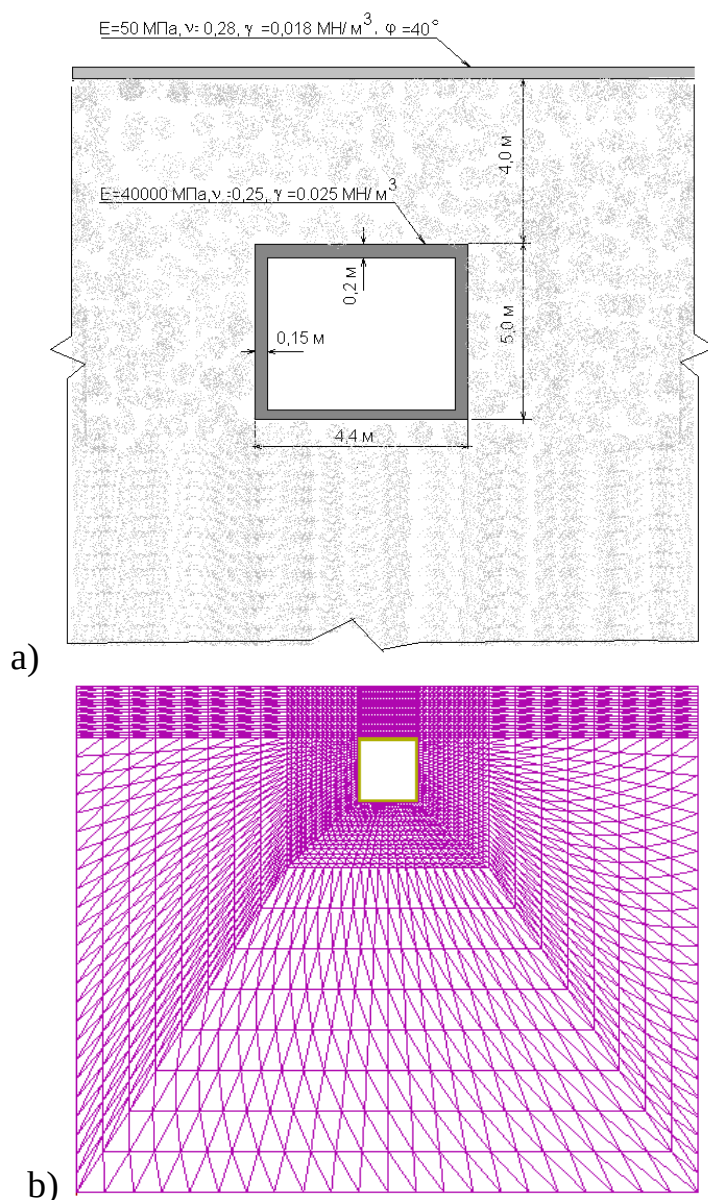
Yer osti inshootlarining dinamik zilzilabardoshligi nazariyasi

Ushbu nazariyaga binoan tunnel qoplamasi hisobi akademik T. R. Rashidov tomonidan ishlab chiqilgan yer osti inshootlarining seysmodinamik nazariyasi modeli [121, 122] va to'liqlik dinamika nazariyasiga [54, 77, 78, 108, 128] binoan amalga oshirilishi mumkin.

Birinci holda hisob-kitoblar to'g'ridan-to'g'ri dinamik hisoblash uslublariga asoslangan bo'lib, ular grunt bilan o'zaro ta'sirlashadigan qoplama elementlari tebranishlarini va tunnel inshooti tebranishlarining differensial tenglamalarni tuzishdan, ikkinchisida esa tunnel inshootlari hosil qilgan tuynuklardan ko'p sonli sinib o'tishlar va urilib qaytishlarni hisobga olgan elastik seysmik to'liqlar difraksiyasini hisobga olib tadqiq etishdan iborat bo'ladi. Dinamik nazariyaning dastlabki ikki nazariyaga nisbatan ustuvor jihati – hisob-kitoblarda gruntidagi va inshootdagi tebranishli stasionar va to'liqlik nostasionar jarayonlarning hisobga olinishi, hamda olinayotgan tashqi va ichki ta'sirlarning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi bilan bog'liq. Yer osti inshootlariga ko'rsatiladigan alohida seysmik ta'sirlar bo'yicha tegishli hujjatlar muallif tomonidan tahlil qilinib, o'rganilganida (3 mazkur monografiyaning 3-bobiga qarang) seysmik yuklamani hisoblash uchun mavjud asosiy bog'liqliklar ajratib ko'rsatilgan va seysmik hisob-kitob usuliti taklif etilgan.

Hisob-kitoblarni amalga oshirish uchun real tadqiqot ob'ekti sifatida 5.32, a-rasmda berilgan tunnelning yaxlit seksiyali qoplamasi olingan. Tunnel quruq lyossimon gruntlarda ochiq usulda quriladi. Bu erda, shuningdek inshoot va gruntning geometrik va fizik tavsiflari ham keltirilgan. Tunnelning mavjud bo'lgan muayyan gruntli soha uchun chekli-elementli sxemasi 5.32, b-rasmda berilgan. Chekli sohaga ega bo'lgan dinamik masalani hal qilishda hisobiy gruntli sohani tanlash muhim omillardan biri hisoblanadi.

Ana shu sohani topish uchun masofani sohaning chuqurligi va yon qismlari bo'ylab ham qoplamali, ham qoplamasiz tizimning o'z tebranishlari chastotalari asosiy tonini aniqlash bilan $L=4,4m$ ga teng bo'lgan qoplama uzunligiga barobar bo'lgan masofani asta-sekin uzaytira boriladi. Bunda hisobiy sxemada ssohaning yon va quyi qismlarini mahkamlab, yuqori qismini esa yuklamalardan xoli qilib qoldiramiz.

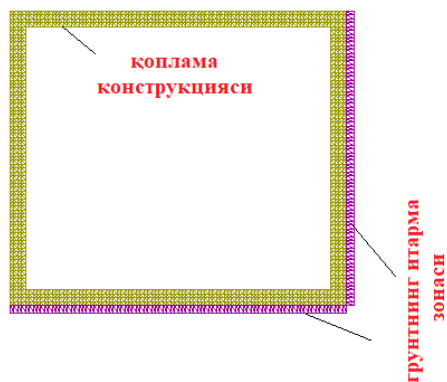


a – joylashishi va o'lchamlari, b - 4Lx4L o'lchamli chekli-elementli soha

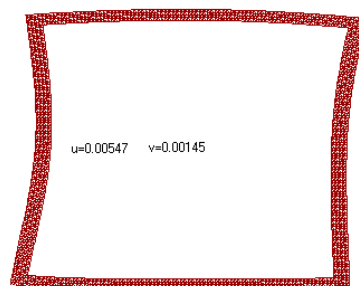
5.32-Rasm. Gruntgagi tunnel qoplamasi

Hisob-kitoblardan ma'lum bo'lishicha, muayyan masofadan keyin, 3,2L bilan ikki holat uchun chastotalar o'zaro mos keldi, ya'ni qoplama konstruksiyasining butun tizimdagi xususiy tebranishlari chastotasiga ko'rsatadigan ta'siri deyarli yo'qoldi. Hisobiy sohaning uzil-kesil o'lchami maqsadida zaxira bilan olinganida 4Lx4L o'lchamli kvadrat soha qabul qilindi. Sh. G. Napetvaridze, A. V. Ruxadze va N. S. Bulыchevning uzun to'lqinli kvazistatik nazariyasining yuklanish sxemalari bo'yicha hisoblashda [49, 69], grunt sharoitlaridan kelib chiqib, tunnel quyi va yon qismlarida gruntning itarma koeffitsienti 1,5 kPa/m ga teng deb olindi (5.33, a-rasm). Yer osti inshootlarini zilzilabardoshlik dinamik nazariyasiga ko'ra hisoblash uchun turli uzunlikka ega bo'lgan sinusoidal to'lqin ko'rinishidagi seysmik yuklama qabul qilindi: birinchi holda qisqa va davri $T=0,05$ soniyaga teng, ya'ni uni to'lqin uzunligi inshoot o'lchamlariga yaqin bo'lsa, ikkinchi holda u inshoot o'lchamlaridan ancha katta va uning davri $T=0,5$ soniyadir.

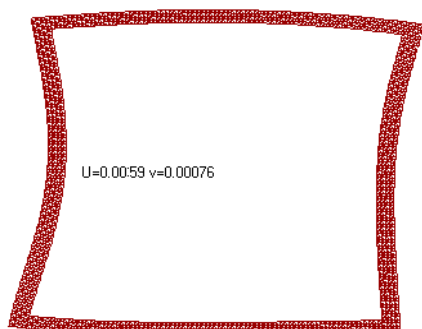
a)



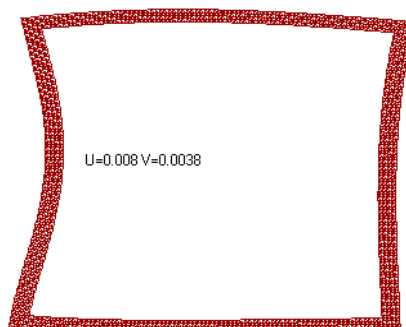
b)



v)



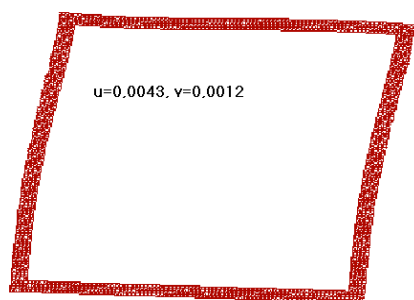
g)



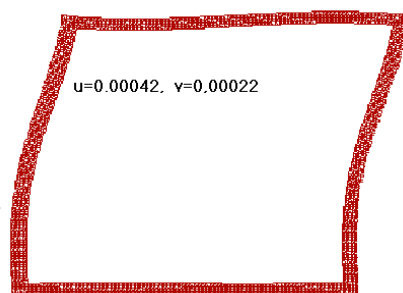
a - hisobiy sxema, yuklanishlar bog'liqliklari bo'yicha deformasiyalanish: b - Sh. G. Napetvaridze, v - A. V. Ruxadze, g - N. S. Bulıchev, u - maksimal gorizontaal siljishlar, (m), v - maksimal vertikal siljishlar, (m)

5.33-Rasm. Qoplama konstruksiyasi hisobiy sxemasi va deformasiyalanishi

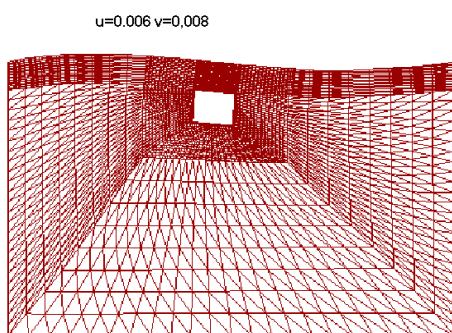
a)



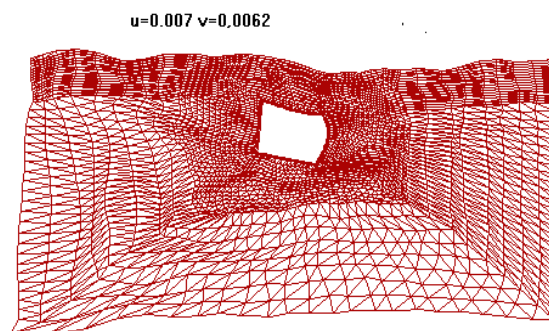
b)



v)

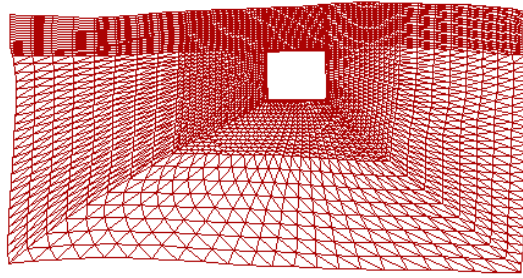


g)



d)

u=0.0055, v=0.0064



Yuklanish bog‘liqlari bo‘yicha deformasiyalanish: a – uzun to‘lqin ta’sirida seysmodinamik nazariyaga binoan, b – qisqa to‘lqin ta’sirida seysmodinamik nazariyaga binoan, v – grunt ni hisobga olgan holda spektral nazariyaga binoan, g – qisqa to‘lqin ta’sirida to‘lqinli dinamik nazariyasiga binoan, d - uzun to‘lqin ta’sirida to‘lqinli dinamik nazariyasiga binoan, u-maksimal gorizontal siljishlar, (m), v- maksimal vertikal siljishlar, (m)

5.34-Rasm. Qoplamaning grunt bilan birgalikdagi deformasiyalanishi

Barcha yuklanish sxemalarida seysmik yuklama gorizontal yo‘nalishda ta’sir ko‘rsatadi deb hisoblanadi va dinamik hisoblashlarda grunt tezlanishlari seysmik impuls ko‘rinishida $0,4M/c^2$ ga teng deb olinadi.

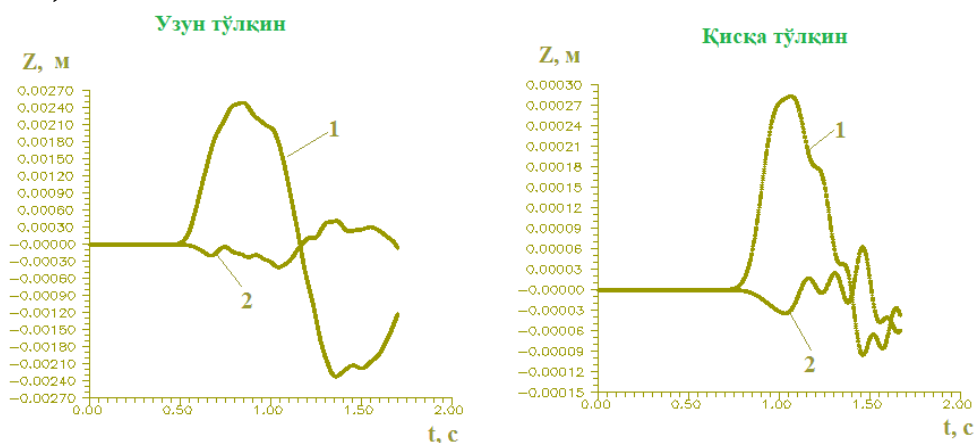
To‘lqinli dinamika nazariyasi sxemasi bo‘yicha hisoblashda sohaning yon va quyi qismlariga 3-bobda bayon etilgan to‘lqinlarning cheksizlikka tarqalish shartlari keltirib o‘tilgan. 5.33-rasmda konstruksiyaning elastik itarma xossasini hisobga olgan holdagi deformasiyalanishlari keltirilgan (bu erda ularning faqat maksimal qiymatlari bo‘yicha siljishlar berilgan).

Rasmlardan ma’lumki, maksimal siljishlar N. S. Bulıchev tomonidan taklif qilingan hisobiy formuladan foydalanishda olinar ekan. 5.34-rasmda, seysmodinamik nazariya, spektral nazariya va to‘lqinli dinamik nazariyasi bog‘liqliklari bo‘yicha «qoplama–gruntlar massivi» tizimidagi konstruksiyaning deformasiyalanishi keltirilgan. Spektral nazariya qoidalari asosida hisoblashda xususiy tebranishlar shakllarining 5 xil chastotasi aniqlanib, tegishli seysmik kuchlar hisoblab topilgan (mazkur dissertasiyaning 3-bobiga qarang). 5.35-rasmda seysmik to‘lqinlarning qisqa to‘lqinli va uzun to‘lqinli ta’sirida qoplama konstruksiyasi yuqori rigelli qismining vaqtga bog‘liq holda siljishlari keltirilgan. Ana shu grafiklardan kelib chiqib, konstruksiyadan va er yuzasidan urilib qaytgan to‘lqinlar vaqt o‘tishi bilan siljishlar manzarasini o‘ta buzib ko‘rsatishi to‘g‘risida fikr yuritish va bu erda, shuningdek to‘lqin frontini va to‘lqinning muayyan nuqtaga etib kelish vaqtini ko‘rish mumkin. Uzun to‘lqinlarda esa asosan konstruksiyaning barcha nuqtalari grunt bilan birga bir xil davrda siljib boradi, ya’ni to‘lqinli emas, balki tebranishli jarayon manzarasi kuzatiladi. Uzun to‘lqinlar ta’siri nuqtalarning gorizontal va vertikal bo‘yicha siljishlarini kattalashtiradilar.

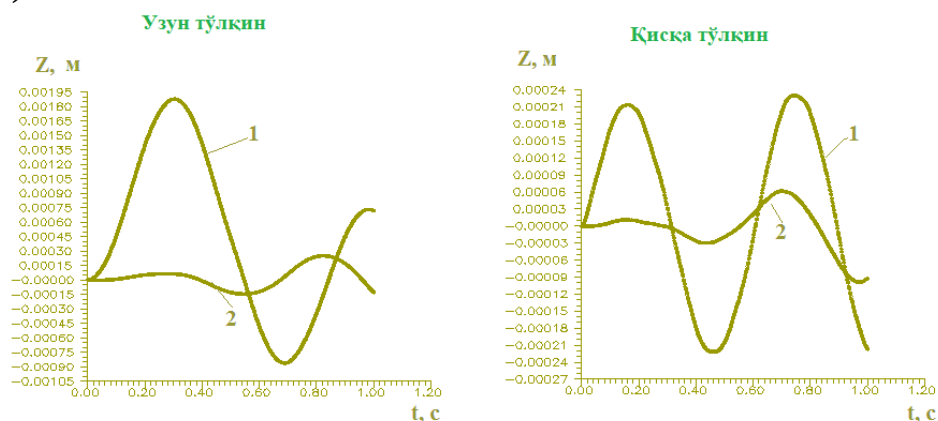
Rasmlardan spektral nazariya va to‘lqinlar difraksiyasining uzun to‘lqinli nazariyasi shunga o‘xshash sifatli natijalar berishini ko‘rish mumkin. Seysmodinamik nazariyada qisqa to‘lqinlar ta’siri tufayli siljishlar eng kichik, ya’ni minimal bo‘lib

chiqdi. To'liqlar dinamikasi usuli yordamida hisoblashda (to'liqlar difraksiyasi nazariyasi) deformasiyalanish manzarasi butkul boshqacha bo'lib chiqdi. Bu erda qisqa to'liqlarning, u inshoot o'lchamiga muvofiq bo'lgan holdagi harakatlanishi, difraksiyalanishini kuzatish mumkin. Shuningdek seysmodinamik nazariya va to'liqli dinamik nazariyasi (to'liqlar difraksiyasi nazariyasi) natijalarini o'rganish ma'lum darajada qiziqish paydo qiladi. Uzun to'liqlar mavjud bo'lganida bu nazariyalar yaqin natijalar berib, biroq to'liqlar uzunligi inshoot o'lchamiga yaqinlashishi bilan natijalar keskin o'zgaradi. Bu holat Ya. N. Mubarakov [112] kabi ko'plab olimlarning seysmodinamik nazariyasining uzun to'liqli jarayonlarda yaxshi ishlashi to'g'risidagi fikrini yana bir bor tasdiqlaydi. 5.36-rasmda kvazistatik nazariya, spektral nazariya, seysmodinamik nazariya va erosti inshootlarining to'liqli dinamika nazariyasiga ko'ra yuklanish sxemalari bo'yicha konstruksiyada aniqlangan bosh kuchlanishlarning izoxromalari berilgan.

a)



b)

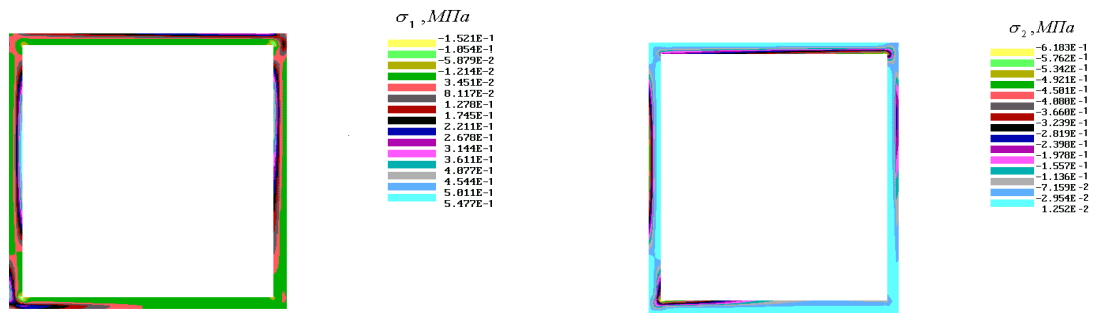


a - to'liqli dinamik nazariyasini hisobga olgan holda, b – yer osti inshootlarining seysmodinamik nazariyasini hisobga olgan holda,

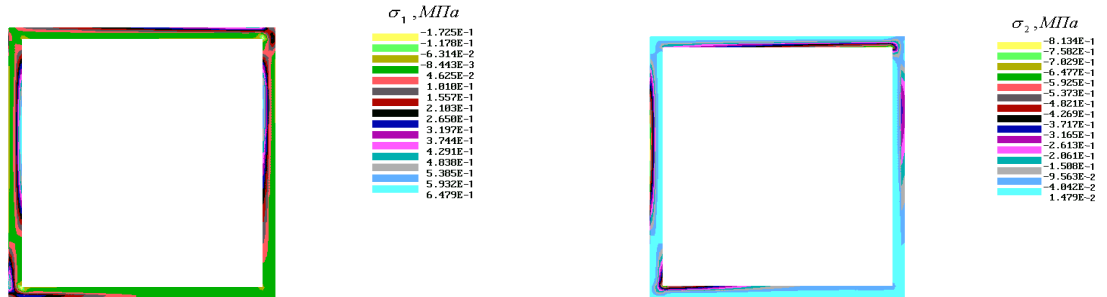
1-gorizonta siljishlar, 2 – vertika siljishlar

5.35-Rasm. Vaqt davomida siljishlarning o'zgarishi

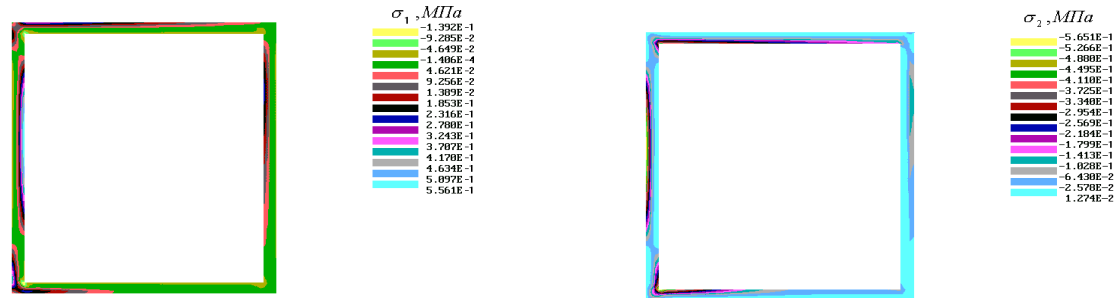
a)



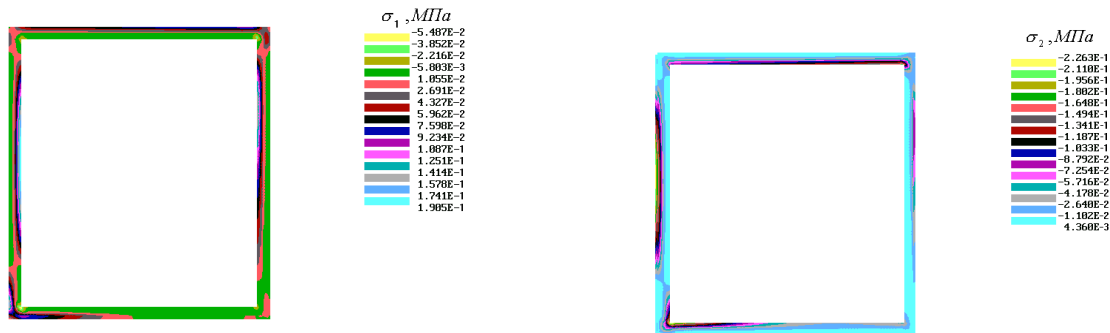
b)



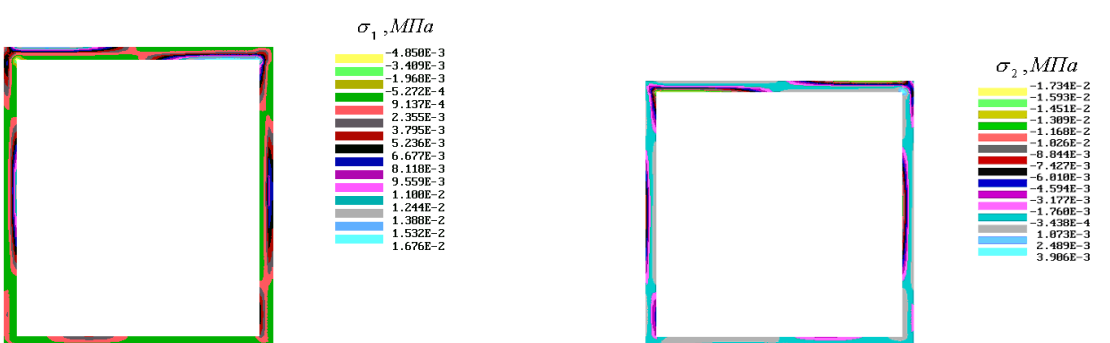
v)



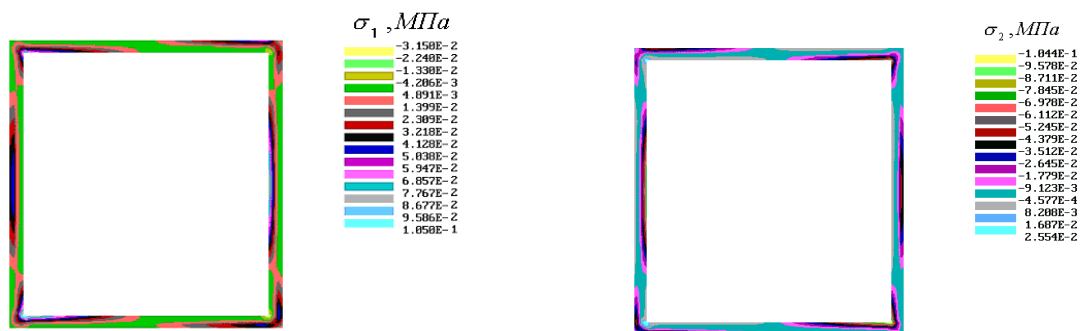
g)



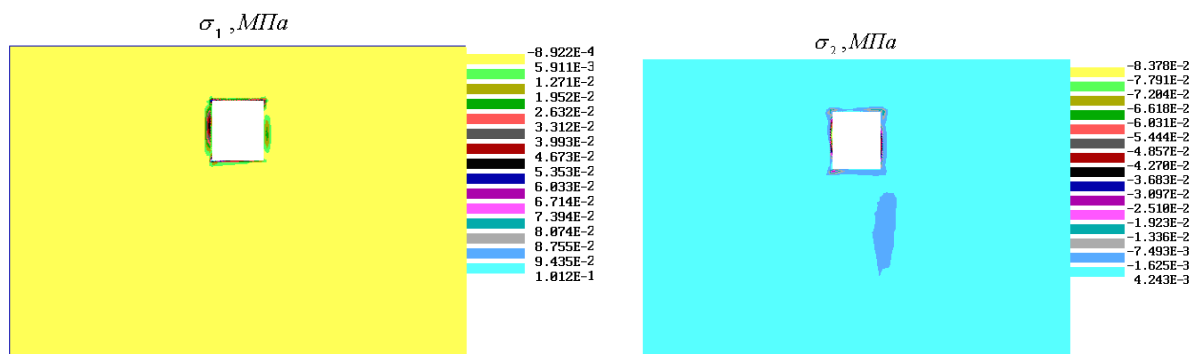
d)



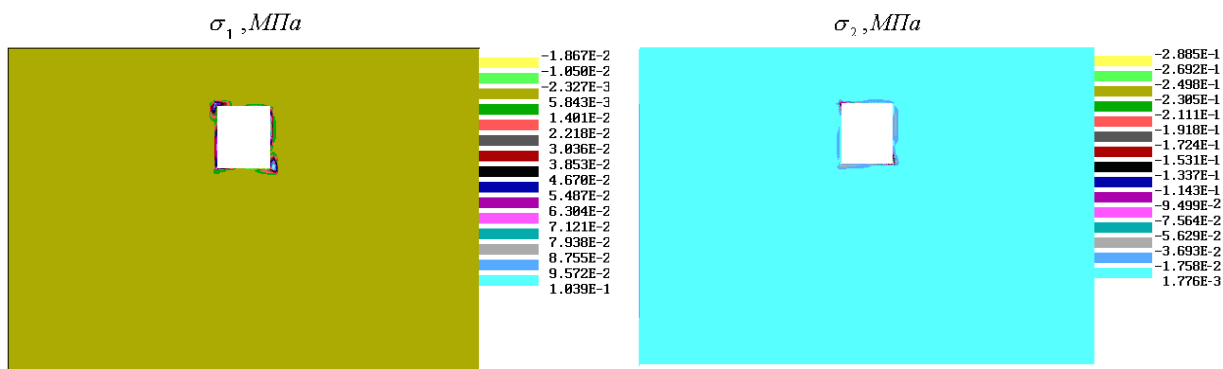
e)



j)



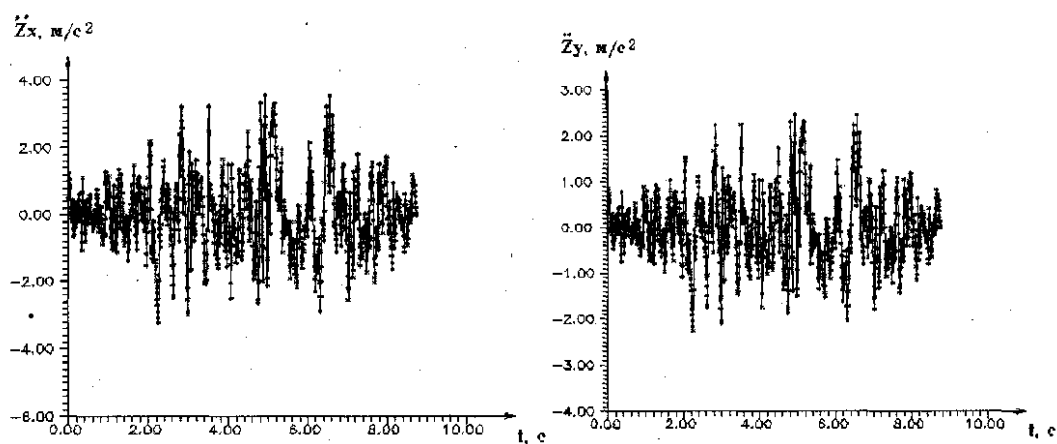
z)



Quyidagi yuklanish sxema va bog'liqliklarga ko'ra: a - A. V. Ruxadze, b - N. S. Bulıchev, v – gruntни hisobga olgan holda spektral nazariya bo'yicha, g - Sh. G. Napetvaridze, d – yer osti inshootlarining seysmodinamik nazariyasi (qisqa to'liqin), e – yer osti inshootlarining seysmodinamik nazariyasi (uzun to'liqin), j – yer osti inshootlarining to'liqinli dinamik nazariyasi (to'liqinlar difraksiyasi) (qisqa to'liqin), z – yer osti inshootlarining to'liqinli dinamik nazariyasi (to'liqinlar difraksiyasi) (uzun to'liqin)

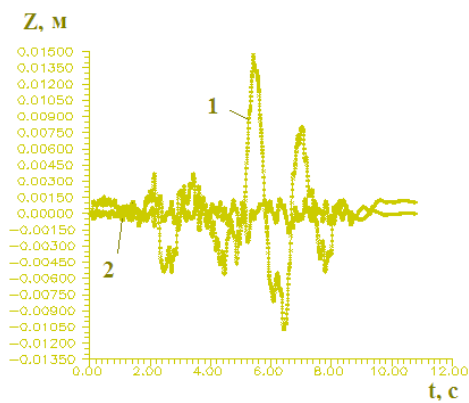
5.36-Rasm. Bosh kuchlanshlarning izoxromlari

Ushbu natijalar tahlilidan kelib chiqib, eng katta kuchlanishlar konstruktsiyani N. S. Bulıchev sxemasi bo'yicha va uzun to'liqin ta'sirida to'liqinli dinamika nazariyasida, hamda gruntни hisobga olgan holda spektral nazariyada olinadi deb aytilish mumkin.

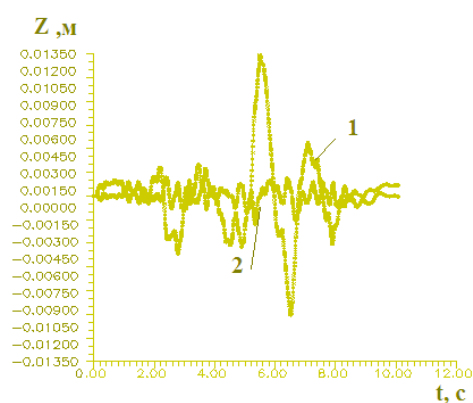


5.37-rasm. Gruntning gorizontaal va vertikal tezlashishlari (Gazli zilzilasiyning sintezlangan akselerogrammasi)

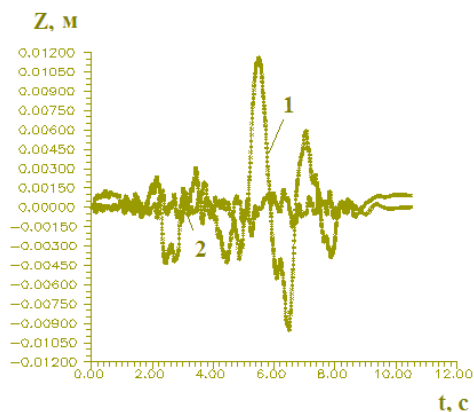
a)



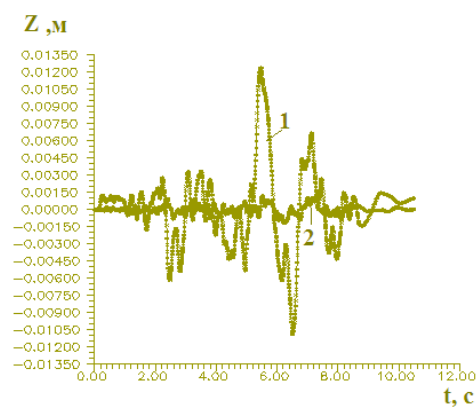
b)



v)



g)



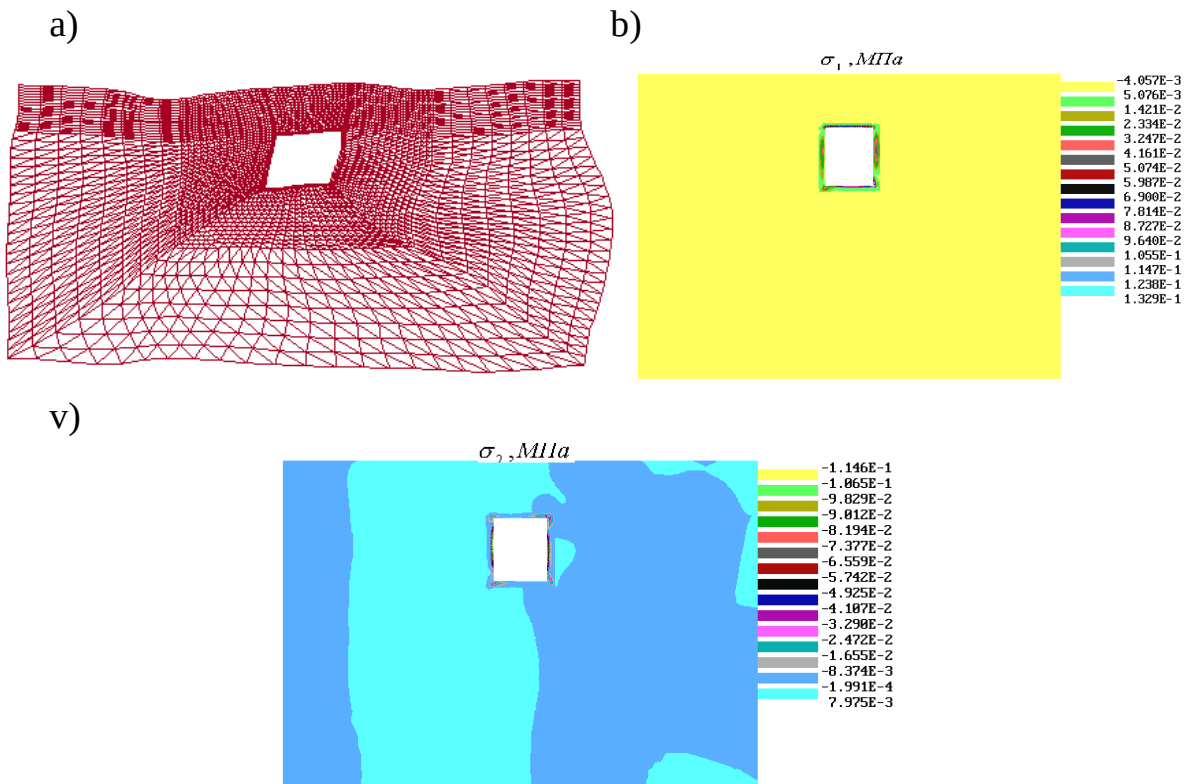
1-gorizontaal va 2-vertikal siljishlar: a – tunnelning gruntidagi yuqori qismi, b - tunnelning orayopmasi, v - gruntida devor yaqinida, g - tunnel devorida

5.38-Rasm. Tizimga zilzila akselerogrammasi ta'sir qilganidagi siljishlarning vaqt bo'yicha o'zgarishlari

Agar bosh kuchlanishlarning izoxromalari kuzatilsa, to'liqlik dinamika nazariyasi bo'yicha olingan natijalardan tashqari ana shu kuchlanishlarning tunnel konstruksiyasi bo'ylab shunga o'xshash taqsimlanishini ko'rish mumkin. Miqdor jihatidan ham barcha yuklanish sxemalari, maksimal qiymatlarni istisno etganda, shunga o'xshash natijalar berdilar. Devor, rigel va lotok qismlarining ulanish

joylarida kuchlanishlar konsentrasiyalarining, ayniqsa bosh kuchlanishlar σ_1 da kattalashish manzarasi kuzatiladi.

Endi, grafiklari 5.38-rasmda keltirilgan Gazli zilzilasiining akselerogrammasi ta'siri hisobini amalga oshiramiz [151]. Bu hisob-kitoblar tadqiqotlarimizga o'zgartirishlar kiritishga majbur qildi. Bu erda 5.38-5.39-rasmlarda maksimal siljish va kuchlanishlar konstruktsiya va grunt nuqtalarida $t=4,2$ cek vaqtga to'g'ri kelishini ko'rish mumkin. Zo'riqishlar konsentrasiyasi konstruktsiyada va uning atrofidagi grunt sohasida yuzaga kelishini ham kuzatish mumkin.



a - deformasiyalanish manzarasi, b – bosh kuchlanishlarning izoxromlari σ_1 ,
v - bosh kuchlanishlarning izoxromalari σ_2

5.39-Rasm. Zilzila akselerogrammasi ta'sirida zo'riqishlar izoxromlari

V-bob bo'yicha xulosalar

1. Taklif etilgan konstruktsiyalarni tunnelsozlik loyihalashtirish amaliyotida qo'llash maqsadida ularning deformativ xossalarini turli statik (kvazistatik) va dinamik (seysmik) yuklamalar ta'sirida baholash amalga oshirildi.

2. Ishlab chiqilgan dasturiy ta'minot asosida real tunnel inshootlarining mustahkamligi va zilzilabardoshliligi tadqiq etildi:

- metropoliten aylana tunnel qoplamasi uchun aniqlanishicha, tunnel ustida hosil bo'ladigan emirilish zonalari konstruktsiya joylashish chuqurligi ortishi bilan deyarli bir xil manzaraga ega ekan. Bunda grunt gumbazli bosimi shakli va o'lchamlari ham bir xil ko'rinishga egadir. Ularning kattalashish yoki kichrayishiga asosan grunt tavsiflari ta'sir ko'rsatadi;

- aniqlanishicha, seysmik ta'sirga qarshi tugunlari bo'lgan temirbeton bloklardan tayyorlangan aylana qoplama bloklar burchaklarida tonnel o'qiga nisbatan uzuna (bo'ylama) yo'nalishda, balki ko'ndalang yo'nalishda ham yuqori darajadagi bikrlikka ega ekanligi aniqlandi. Seysmik ta'sirga qarshi tugun tonnelning statik va dinamik yuklamalarga ta'siri tufayli yuzaga keladigan ko'ndalang deformasiyalanishida ham ishga tushishi aniqlandi;

- aniqlanishicha, tonnel konstruksiyasining atrofdagi grunt muhiti bilan ta'sirlashuvda, ular orasida yuzaga keladigan itarmasiz zonalar konstruksiyaga ta'sir qilayotgan kuchlar yo'nalishiga bog'liq bo'ladi. Gruntning konstruksiyaga ko'rsatadigan salbiy ta'sirini aniqlash maqsadida, hisob-kitoblarni itarma zonasini hisobga olgan holda bajarish kerak bo'ladi;

- gumbaz-qobiqning taklif etilayotgan konstruksiyasida, mahkamlanish sharoitlaridan qat'i nazar, ichki radial va halqasimon momentlar, shuningdek kuchlanishlar qiymati doim uning chekka qismlarida kattaroq bo'lishi aniqlandi. Bu stansiya gumbazli va lotokli elementi o'rta qismidagi ko'ndalang kesimlarni kichraytirish va ularning ulanish joylarida bu qiymatlarni kattalashtirish imkonini beradi.

- bir gumbazli va ustunli turdagi stansiya tonnellarining taklif etilgan konstruksiyalari mavjud prototip konstruksiyalarga nisbatan samarali ishlashlariga olib keldi. Gumbazli stansiyalarda devor va gumbaz elementlarida ichki kuchlar kamayishi yuz berdi. Tonnellarning ochiq usulda quriladigan yig'ma konstruksiyalarida yassi orayopmalarini gumbazli turiga almashtirish material tejallishiga olib kelib, shu bilan birga chiroyli me'moriy ko'rinish hosil qilishi mumkinligi aniqlandi.

3. Metropoliten yurish tonnelining yaxlit seksiyali qoplamasi hisobi misolida, yer osti inshootlari zilzilabardoshlilikining spektral, kvazistatik, seysmodinamik va to'liq dinamika nazariyasi bo'yicha yuklanish modellarini baholash amalga oshirildi.

4. Tonnelning Gazli zilzilasi sintezlangan akselerogrammasiga hisoblash, ham konstruksiyaning o'zida, ham uning atrofini o'rab turgan grunt sohasida kuchlanishlarning ehtimoliy jamlanish (konsentrasiyalanish) zonalarini mavjudligini ko'rsatdi. Akselerogramma tarkibidagi mavjud bo'lgan har xil davrli turli "cho'qqilar" qoplama konstruksiyasining grunt bilan murakkab ta'sirlashuviga olib keldi.

XULOSA

Monografiyada muammo qo'yilishi va olingan natijalar hamda echimlarning amalga oshirilishi tunnel inshootlari kabi mas'uliyatli obektlarni loyihalash va qurish amaliyotidan kelib chiqib belgilandi. Olingan natijalar katta xalq xo'jaligi ahamiyatiga ega bo'lgan ilmiy muammoning echimini o'zida aks ettiradi: tunnelsozlik sohasidagi ilmiy yo'nalishni, konstruksiyalarni yaratish va takomillashtirish hamda ularni hisoblashning zamonaviy usullarini ishlab chiqish orqali yanada rivojlantirish, shuningdek, o'tkazilgan tadqiqotlar natijalarini loyihalash va qurilish amaliyotiga joriy etishishlari bajarildi.

"Metropolitan tonnelli va qoplamalarining konstruktiv echimlari va hisoblash usullari" mavzusidagi bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar asosida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Muhandislik amaliyotida yer osti inshootlari konstruksiyalarini variantli loyihalash uslubi qo'llanib, bunda ishning birinchi bosqichi qoplama turini tanlashdan iborat bo'ladi. Shunga bog'liq tarzda, yuqorida aytib o'tilgan tamoyillar va talablarni hisobga olib, "Toshmetroloyiha" instituti bilan birga ishlagan holda, muallif tomonidan metropolitan stansiyalari va yurish tonnelli, ularning konstruksiyaviy tugunlari va elementlari echimlarini takomillashtirish va yangicha echimlarini olish bilan bog'liq muhandislik rasionalizatorlik yondashuvi taqdim etilgan.

2. Yuqorida ko'rsatilgan fikrlardan kelib chiqib, transport tonnelli va metropolitan qoplamasi uzal va elementlarining quyidagi konstruktiv echimlari takomillashtirildi va ishlab chiqildi:

- bir gumbazli metropolitan stansiyasi;
- ikki gumbazli metropolitan stansiyasi;
- ustunli metropolitan stansiyasi;
- yurish tonnelli kesishuv tugunlaridagi metropolitan stansiyasi;
- yig'ma elementli yurish tonnelli aylana qoplamasi.

3. Tunnel qoplamalarini sterjenli modeliga ko'ra grunt bilan o'zaro ta'sirlashishini hisobga olgan holda hisoblash usuli quyidagilar uchun takomillashtirildi:

- ixtiyoriy berilgan ta'sir turiga ixtiyoriy ko'rinishdagi konstruksiyalar uchun;
- har xil chuqurliklarda joylashgan monolit va yig'ma konstruksiyalar uchun;
- ixtiyoriy ko'rinishdagi, shu jumladan monolit va yig'ma konstruksiyalar uchun, qoplama elementlarining geometrik va fizik parametrlari o'zgarishlarini hisobga olgan holda;

gruntlar massivining "qoplama-gruntlar massivi" tizimida ro'y beradigan turli jarayonlar tufayli kelib chiqqan siljish va deformatsiyalanishlarini hisobga olish;

tunnel qoplamalarining konstruksiyaviy elementlari va uning atrofidagi gruntlar muhiti uchun kuchlangan va deformatsiyalangan holatlarni tahlil qilishning sonli usullari ishlab chiqildi.

4. Tunnel sun'iy inshootining gruntlar massivi boshlang'ich kuchlanishlari maydonidan o'tishini modellashtiruvchi yangi hisoblash usuli va algoritmi ishlab chiqildi;

5. Tunnel qoplamalarining dinamik va seysmik hisobini amalga oshirish maqsadida, tonnellar konstruksiyalari o'zaro deformasiyalanuvchanlik xossalarini hisobga olishda sonli tahlilning yangi takomillashtirilgan usuli ishlab chiqildi;

6. Prof. F. B. Badalov tomonidan taklif qilingan integral va integro-differensial tenglamalarning zaif-singulyar xususiyatlarini inobatga olish va Vilsonning θ -usullari asosida masalaning diskret modellarini bayon etgan oddiy zaif-singulyar integro-differensial tenglamalar tizimini echish uchun hisoblash algoritmi ishlab chiqildi.

7. Taklif qilingan va mavjud tunnel konstruksiyalari ishini turli ta'sirlarda tahlil qilish uchun ishlab chiqilgan uslublar va avvalgi boblarda ko'rsatilgan hisoblash algoritmlari asosida dialog tizimi ishlab chiqildi. Hal qilinayotgan masalalar shartli ravishda kichik va katta masalalarga bo'linadi.

8. Kichik masalalarga erkinlik darajalari soni 1000 gacha, kattalarga esa – erkinlik darajalari 1000 dan ortiq bo'lgan masalalar kiradi. Kiritish, chiqarish modullari dasturlari va hisobiy uslublar uchun "QuickBASIC", "TurboPASCAL", "FORTRAN", "VisualBASIC" va "Delphi" algoritmik tillardan foydalanildi.

9. Tizim ochiq deb hisoblanadi, chunki barcha yuklanish modullari dasturlarning sharhlangan dastlabki matnlariga ega bo'lib, tizimning ayrim modullari ma'lumotlar fayllari bilan bog'liq, ya'ni boshqa modullarning kirish fayllari bo'lib keladilar. Barcha ma'lumotlar fayllari ASCII fayl kodlari ko'rinishidagi aniq-yaqqol formatga ega. Bular GRAPHER, SURFER, EXCEL, AutoCAD kabi amaliy dasturlar uchun ma'lumotlar fayllaridan foydalanish maqsadida qilingan.

10. Ushbu bobda ishlab chiqilgan tizim tunnel inshootlarining kuchlanganlik-deformasiyalanganlik holatini aniqlash bilan bog'liq hisob-kitoblar va hisobiy tajribalarni o'tkazish uchun real imitasion dasturiy model bo'lib keladi. Tizimda tadqiq etilayotgan ob'ekt yoki tashqi ta'sirning fizik va geometrik tavsiflariga (xarakteristikalariga) qat'iy cheklovlar mavjud emas.

11. Ishlab chiqilgan usullar va algoritmlar ishonchliligi va samaradorligini baholash uchun sodda misollardan to aniq analitik va eksperimental echimlarga ega bo'lgan murakkab modelli nazorat misollariga qadar qiyosiy hisob-kitoblar amalga oshirilib, shuningdek «KREP» va «RK2» kabi boshqa dasturlardan foydalanish orqali olingan masalalar echishda qiyosiy hisob-kitoblar bajarilgan.

12. Taklif etilgan konstruksiyalarni tonnelsozlik loyihalashtirish amaliyotida qo'llash maqsadida ularning deformativ xossalarini turli statik (kvazistatik) va dinamik (seysmik) yuklamalar ta'sirida baholash amalga oshirildi.

13. Ishlab chiqilgan dasturiy ta'minot asosida real tunnel inshootlarining mustahkamligi va zilzilabardoshliligi tadqiq etildi:

- metropoliten aylana tonnel qoplamasi uchun aniqlanishicha, tonnel ustida hosil bo'ladigan emirilish zonalari konstruksiya joylashish chuqurligi ortishi bilan deyarli bir xil manzaraga ega ekan. Bunda grunt gumbazli bosimi shakli va o'lchamlari ham bir xil ko'rinishga egadir. Ularning kattalashish yoki kichrayishiga asosan grunt tavsiflari ta'sir ko'rsatadi;

- aniqlanishicha, seysmik ta'sirga qarshi tugunlari bo'lgan temirbeton bloklardan tayyorlangan aylana qoplama bloklar burchaklarida tonnel o'qiga nisbatan uzuna (bo'ylama) yo'nalishda, balki ko'ndalang yo'nalishda ham yuqori darajadagi bikrlikka ega ekanligi aniqlandi. Seysmik ta'sirga qarshi tugun tonnelning statik va dinamik yuklamalarga ta'siri tufayli yuzaga keladigan ko'ndalang deformasiyalanishida ham ishga tushishi aniqlandi;

- aniqlanishicha, tonnel konstruksiyasining atrofdagi grunt muhiti bilan ta'sirlashuvda, ular orasida yuzaga keladigan itarmasiz zonalar konstruksiyaga ta'sir qilayotgan kuchlar yo'nalishiga bog'liq bo'ladi. Gruntning konstruksiyaga ko'rsatadigan salbiy ta'sirini aniqlash maqsadida, hisob-kitoblarni itarma zonasini hisobga olgan holda bajarish kerak bo'ladi;

- gumbaz-qobiqning taklif etilayotgan konstruksiyasida, mahkamlanish sharoitlaridan qat'iy nazar, ichki radial va halqasimon momentlar, shuningdek kuchlanishlar qiymati doim uning chekka qismlarida kattaroq bo'lishi aniqlandi. Bu stansiya gumbazli va lotokli elementi o'rta qismidagi ko'ndalang kesimlarni kichraytirish va ularning ulanish joylarida bu qiymatlarni kattalashtirish imkonini beradi.

- bir gumbazli va ustunli turdagi stansiya tonnellarining taklif etilgan konstruksiyalari mavjud prototip konstruksiyalarga nisbatan samarali ishlashlariga olib keldi. Gumbazli stansiyalarda devor va gumbaz elementlarida ichki kuchlar kamayishi yuz berdi. Tonnellarning ochiq usulda quriladigan yig'ma konstruksiyalarida yassi orayopmalarini gumbazli turiga almashtirish material tejalishiga olib kelib, shu bilan birga chiroyli me'moriy ko'rinish hosil qilishi mumkinligi aniqlandi.

14. Metropoliten yurish tonnelining yaxlit seksiyali qoplamasi hisobi misolida, yer osti inshootlari zilzilabardoshlilikining spektral, kvazistatik, seysmodinamik va to'liq dinamika nazariyasi bo'yicha yuklanish modellarini baholash amalga oshirildi.

15. Tonnelning Gazli zilzilasi sintezlangan akselerogrammasiga hisoblash, ham konstruksiyaning o'zida, ham uning atrofini o'rab turgan grunt sohasida kuchlanishlarning ehtimoliy jamlanish (konsentrsiyalanish) zonalari mavjudligini ko'rsatdi. Akselerogramma tarkibidagi mavjud bo'lgan har xil davrli turli "cho'qqilar" qoplama konstruksiyasining grunt bilan murakkab ta'sirlashuviga olib keldi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1 Постановление Президента Республики Узбекистан от 21 октября 2016 года Н ПП-2638 "О мерах по дальнейшему развитию и повышению эффективности деятельности Ташкентского метрополитена"

2 Постановление Президента Республики Узбекистан от 7 ноября 2016 года Н ПП-2653 «О мерах по реализации проекта строительство второго этапа Юнусабадской линии Ташкентского метрополитена»

3 Ускорение работ по строительству линий метро Сергели и Юнусабад, наземной кольцевой линии метро вокруг столицы, применяемые технологии, итоги деятельности за 2017 год и планируемые задачи на 2018 год. Брифинг, Ташкент, 1.02. 2018, <http://stroyka.uz/publish/doc/text138824>

4 Фролов Ю.С. Опыт и перспективы развития транспортной инфраструктуры Испании (по материалам практической конференции). Ж-л «Метро и тоннели», №3. Москва, 2012, С.11-19

5 Безродный К. П., Лебедев М. О., Эгоров Г.Д. Строительство эскалаторных тоннелей Санкт-петербургского метрополитена. Ж-л «Метро и тоннели», №1. Москва, 2015, С.14-17

6 Быкова, Н.М. Протяженные транспортные сооружения на активных геоструктурах. Технология системного подхода / Н.М. Быкова. – Новосибирск: Наука, 2008. – 212 с.

7 Элисеев, С.В. Северо-Муйский тоннель и технологии системного подхода к управлению безопасности состояния сложных технических объектов // С.В. Элисеев, С.К. Каргаполцев, Н.М. Быкова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: ИрГУПС. – 2007. – № 4 (8). – С. 96-100.

8 Маковский Л.В., Чеботарев С.В. Инновационные конструктивно-технологические решения в транспортном тоннелестроении. Обзорная информация. Выпуск 1–2005, Федеральное дорожное агентство министерства транспорта Российской федерации, Москва, 2005,

9 Маковский Л.В., Кравченко В.В., Сула Н.А. Автодорожные и городские тоннели России. Учебное пособие, М.: МАДИ, 2016, -136 с.

10 Маковский Л.В. Подводное транспортное тоннелестроение на рубеже веков // Подземное пространство мира. - 1999. - № 5 - С. 11-15.

11 Петренко С.В., Федунес В.И. Итоги работы Международного тоннельного конгресса и 29-ой Генеральной ассамблеи МТА // Подземное пространство мира. 2001. № 3 - 4. С. 3-8.

12 Меркин В.Э., Маковский Л.В. Прогрессивный опыт и тенденции развития современного тоннелестроения. - М.: Информиздат. центр «ТИМР», 1997. - 192 с.

13 Абрамсон В.М., Закиров А.З., Муравин П.И. Автодорожный тоннел на трассе Краснопресненского проспекта от МКАД до проспекта Маршала Жукова // Метро и тоннели. - 2003. - № 3. - С. 22-25.

14 Панкина С.Ф. Трете внутригородское транспортное колсо в Москве // Транспортное стр-во. - 1998. - № 12. - С. 7-11.

15 Николский Б.В. Тоннели третего кольца - крупнейшие подземные сооружения Москвы // Метро и тоннели. - 2001. - № 2. - С. 2-5.

16 Климов Д.В. Кутузовская транспортная развязка // Подземное пространство мира. - 2000. - № 5-6. - С. 25-27.

17 Панкина С.Ф. Транспортные тоннели на площади Гагарина в Москве // Подземное пространство мира. - 2000. - № 4. - С. 8-30.

18 Черняков А.В. Опыт строительства обхода Лефортово по тоннельно-эстакадному варианту // Метро и тоннели. - 2003. - № 5. - С. 10-15.

19 Варшавский В.В. Особенности строительства транспортных тоннелей // Метро и тоннели. - 2001. - № 3. - С. 28-30.

20 Фролов Ю.С., Саламех А. Сборные железобетонные обделки при проходке тоннелей щитами // Подземное пространство мира. - 2001. - № 3. - С. 38-43.

21 Рахимов Р.З., Габидуллин М.Г., Смирнов Д.С. Производство блоков колес обделки для Казанского метрополитена // Подземное пространство мира. - 2001. - № 1 -2. - С. 18-24.

22 Шоабдурахимов Ш.Р. «Подземное чудо Ташкента», Главная редакция издательско-полиграфического концерна «Шарк», Ташкент, 1997

23 В строительство ташкентского метро вложат почти \$300 млн. [хтп://коммерсант.уз/неws/метро-300-млн](http://kommercant.uz/news/metro-300-mln)

24 Киреева В. И. Оценка сдвижений и деформаций горных пород при сооружении перегонных тоннелей большого диаметра тоннеле проходческими механизированными комплексами в сложных горно-геологических условиях. Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург – 2016, 189 с.

25 Абдусаттаров А. Напряженно-деформированное состояние цилиндрической оболочки, связанной с колсовой пластинкой и шпангоутом при повторном нагружении. ж-л. Проблемы механики, №5-6, Ташкент, 1995, с.79-81

26 Абдурашидов К. С. Колебания и сейсмостойкост промышленных сооружений. Ташкент, Фан, 1989, с.67

27 Абдуллаев Т. К. К вопросу сейсмодинамики подземных железобетонных обделок тоннелей (на примере Ташкентского метро). автореф. дисс. канд. техн. наук. Ташкент, 1978, с.21

28 Абиров Р. А. Метод СН ЭВМ А. А. Илюшина, задачи механики и сейсмостойкости сооружений (состояние и перспективы). Материалы межд. научн. конф. Прочност конструкций. Сейсמודинамика зданий и сооружений. 12-14 сентябр, Ташкент, 2016, с. 5-10

29 Абовский И.П., Андреев Н.П., Деруга А.П., Вариационные принципы теории упругости и теории оболочек. -М.:Наука, 1978, 287 с.

30 Амусин Б.З. Статический расчет конструкции станции метрополитена закрытого типа по стадиям ее сооружения методом начальных параметров. - Труды ВНИИШ, вып. 67,-Л. 1967, 142 с.

31 Айталиев Ш. М., Масанов Ж. К., Баймаханов И. Б. К расчету подземной конструкции в анизотропном массиве на длинноволновое сейсмическое воздействие. Изв. АН Рес. Каз. Сер. физ.-мат, 1984, №5, с. 42-45

32 Александровский С. В. М. Ползучест и усадка железобетонных конструкций. М.: Стройиздат+ 1976, 351 с.

33 Александров А. В., Потапов В. Д., Державин В. П. Сопротивление материалов. М.: В. Шк., 2003, с. 560.

34 Архангелский Н.Н., Джинчарадзе Д.И., Куриско А.С. Расчет тоннельных обделок.- М.: Трансжелдориздат, 1960, с. 408

35 Бабичев В.В., Дашков Э.А., Резников Р.А. Исследование на ЭВМ работы комбинированных систем с односторонними связями. В сб.: Вычислительная и организационная техника в строительстве и проектировании. - М.: Гипротранс, сер. 2, вып. 3, 1967

36 Бадалов Ф. Б. О вариационных принципах и методах в наследственной механике деформируемых тел. Узб. ж-л. Проблемы механики, №4, Ташкент, 1997, с.3-7

37 Бадалов Ф. Б., Ким Д. И., Шодмонов Г. Ш. Математические модели и методы решения инженерных задач на ЭВМ. Учебное пособие, Фан, Ташкент, 1991, с. 92

38 Бадалов Ф. Б., Ганиханов Ш. Ф. Вибрации наследственно-деформируемых элементов конструкций ЛА. Ташкент, ТашГАИ, 2002, с. 230

39 Безухов Н. И. Сборник задач по теории упругости и ластичности. М., 1957, с. 286

40 16.Бакиров П.О. Матричный метод расчета на ЭСВМ железобетонной замкнутой конструкции практического очертания в упругой среде. М.: ВИА, 1971, с. 128

41 Барбакадзе В. Ш., Мураками С. Расчет и проектирование строительных конструкций и сооружений в деформируемых средах. - М.: Стройиздат, 1989, с. 472

- 42 Баркан Д. Д., Рашидов Т.Р. Состояние и развитие динамики оснований, фундаментов и подземных сооружений в течение последних пяти лет. В кн. Свойства грунтов при вибросиях. Ташкент, Фан, 1975, с.3-23
- 43 Баклашов И.В., Тимофеев О.В. Конструкции и расчет крепей и обделок. М.: Недра, 1979, 263 с.
- 44 Бате К., Вилсон Э. Численные методы анализа и метод конечных элементов, М.: Стройиздат, 1982, 448 с.
- 45 Бернштейн М. С. Расчет конструкций с односторонними связями, М.: Стройиздат, 1947, с.92
- 46 Бреббиа К. и др. Методы граничных элементов. Пер. с англ. М.: Мир, 1987, с. 524
- 47 Бугаева, О. Э. Проектирование обделок транспортных тоннелей // О. Э. Бугаева – Л.: Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта, 1963. – 100 с.
- 48 Буриев Т. Разработка экономичных алгоритмов расчета упругопластических тел с учетом сжимаемости материалов. Материалы 7-ой международной конференции “ДОФПС”, 25-27 май, 1994, с.43
- 49 Булычев Н. С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах., М.: Недра, 1989, с.270
- 50 Булычев Н. С., Фотиева Н. Н. Отсценка устойчивости породы, окружающей горные выработки. Шахтное строительство, 1977, №3, с.15-21
- 51 Булычев Н. С. Механика подземных сооружений, М.,1994, с. 381
- 52 Вовкушевский А.В. О решении задач теории упругости с условиями трения на гранитсе. Изв. АН СССР. Мех-ка твердого тела, 1984, №4, с. 88-92.
- 53 Вовкушевский А.В. Постановка и решение контактной задачи теории упругости с трением при произвольном протсессе загрузки. В сб. Метод конечных элементов и расчет сооружений. Труды ЛПИ, Л., 1985, с. 9-13
- 54 Вовкушевский А.В., Дурнев В.А. Численная реализация некоторых способов решения задачи Синорини. В сб.: Метод конечных элементов и расчет сооружений. Труды ЛПИ, №405, Л., 1985, с. 14-19
- 55 Вовкушевский А.В., Дурнев В.А. Об устойчивости решения задачи теории упругости с условиями трения на границе. Изв. ВНИИГ, т. 171. Л. 1984, с 86-91.
- 56 Вопросы математического моделирования, расчета и повышение надёжности тоннельных сооружений. Под ред. Гарбера В.А. М: Транспорт,1981 г.
- 57 Галеркин Б.Г. Собрание сочинений, т.1, М., АН СССР, 1952, 392 с.

58 Гарбер В. А. Научные основы проектирования тоннельных конструкций с учетом технологии их сооружения. НИС "Тоннели и Метрополитены". АО "СНИИС", 1996, част 1, с. 169, част 2, с.220

59 Городеский А. С. К расчету тонкостенных ж.б. конструкций в неупругой стадии. Тр. НИИСК, 1965, вып.6, с. 86-93

60 Городеский А.С. и др. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций «ЛИРА_9.0». Книга 1. Основные теоретические и расчетные положения. – Киев: НИИАСС, 2002, 87 с.

61 Городеский А.С. Оптимальное привлечение внешней памяти ЭСВМ при решении линейных уравнений, В кн.: Сопротивление материалов и теория сооружений, вып. XIX. Киев: Будивелник, 1973, с. 116-118.

62 Гуров Д.Б., Ивашова Т.Ю., Решение систем линейных уравнений методом сопряженных градиентов. Рукопис деп. в ВИНТИ, 1.11.82, № 5375-82, М., 1982, с. 20

63 Гуров Д.Б. Автоматизированный расчет и проектирование обделок горных тоннелей, М., 1982. рукопис деп. в Калужском специализированном филиале по НТИ ВПТИтрансстроя, с. 53-82.

64 Гуров Д.Б., Совершенствование методов автоматизированного расчета и проектирования тоннельных обделок. В сб. Роль молодых ученых и специалистов в развитии научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте. Тезисы отраслевой научно-технической конференции, М.: ВНИИЖТ, 1984, с. 85

65 Давыдов С.С., Расчет и проектирование подземных конструкций. М.: Стройиздат, 1950, 376 с.

66 Дарков А В., Шапошников Н. Н. Строительная механика. М., В.Ш.1986, с.607

67 Даушвили А.П. Расчет тоннельных обделок в матричной форме. -М.: Транспорт, 1972, с.119

68 Дашевский М.А. Дифракция упругих волн на полости, подкрепленной консом жесткости // Строительная механика и расчет сооружений. 1967, №2, с.33-36

69 Дорман И. Я. Сейсмостойкость транспортных тоннелей. М.: Стройиздат, 2000, с. 307

70 Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975, с. 438

71 Золотев О.Н., Резников Р.А., Родинко О.Н. Система комплексной автоматизации расчетов подземных гидротехнических сооружений. В кн.: Актуальные проблемы расчетного обоснования сооружений гидроузлов. Сб. научн. тр. Гидропроекта им. С. Н. Жука. М., 1980, с. 99-110.

72 Зурабов Г. Г., Бугаева О.Э. Безнапорные гидротехнические туннели. Л.-М.: Госстройиздат, 1940, с. 442

73 Зурабов Г.Г., Бугаева О.Э. Гидротехнические туннели гидроэлектрических станций. М.: Госенергоиздат, 1962, с. 719

74 Иманалиев Т.Б. Перспективные тоннели//Вестник КГУСТА. Вып. 3 (22). – Бишкек: КГУСТА, 2008. – С. 78-83

75 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Махмуд А. Х. Моделирование распространение волны в грунте в конечно-элементных задачах. Узбекский ж-л «Проблемы механики», Ташкент, Фан, №6, 1994, с.44-45

76 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Махмуд А. Х. Исследование и разработка сейсмостойких конструкций станций метрополитенов из сборных элементов. Материалы 20 конф. професс. препода. состава, ТАДИ, Част 3, 1994, с.26

77 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Хапизов Д. Новые направления в проектировании подземных транспортных конструкций и сооружений. Труды Меж. н-техн. конф. "Проблемы развития автотранспорта и транзитных коммуникаций в центрально-азиатском регионе, 15-17 октября 1996, Ташкент, Том 1, с.99-102

78 Ишанходжаев А. А., Миралимов М.Х., Нуриддин Шераир. Нелинейная математическая модел протсесса загрузкиия подземных конструкций. // Сб. науч. тр. республ. науч. конф. "Актуальные проблемы механики контактного взаимодействия", Самарканд, 1997, - С.31-32

79 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Закиров О. З. Яшина А. Л., Махмуд А. Х. Сейсмостойкая станция метрополитена односводчатого типа. Решение .Патентное ведомство РУз, Ташкент, №77, от 15.06.93, с.3

80 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Закиров О. З., Мунир А. Г. Станция метрополитена колонного типа. Пред. патент., Ташкент, Патентное ведомство РУз, №3248, от 19.09.1995, с.3

81 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Закиров О. З., Журавлев В. И. Сейсмостойкая станция в узле пересечения линий метрополитена, Пред. патент, Ташкент, Патентное ведомство РУз, №4386 от 24 02.1997, с.3

82 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Закиров О. З., Жданов В. Н. Сейсмостойкая круговая обделка из сборных железобетонных элементов, Пред. патент, Ташкент, Патентное ведомство РУз, №4387 от 24 02.1997, с.3

83 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Зокиров О. З., Журавлев В. И. Станция метрополитена двухсводчатого типа. Пред. патент, Ташкент, Патентное ведомство РУз, №3838 от 21 07.1996, с.3

84 Иманалиев Т.Б. Перспективные тоннели//Вестник КГУСТА. Вып. 3 (22). – Бишкек: КГУСТА, 2008. с. 78-83

- 85 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Халилова Р. Х., И., Исроилов, И., Камалов К., Зокиров О. З., Журавлев В. И., Павлович Ю. Ю.. КМК 2.05.05-96. Тоннели железнодорожные и автодорожные, Ташкент, 1997, с.22
- 86 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Вычислительная программа расчета инженерных конструкций. Сборник трудов республиканской научно-технической конф. «Развитие автомоюилно-дорожного комплекса в Республике Узбекистан», 27-18 сентября Ташкент, 2001, част 3, с.31-32
- 87 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х., Соколов В. Н. и др. ШНК 2.05.03-12. Мосты и трубы. Госстрой РУз, 2012. Ташкент, с.466
- 88 Ишанходжаев А. А., Миралимов М. Х. и др. ШНК 2.01.20-16. Строительство в сейсмических раёнах. Госстрой РУз, Ташкент, 2016, с. 65
- 89 Кабулов В. К., Бабамуратов К. Ш. Расчет трехслойных оболочек на ЭВМ. Ташкент, 1970, с.162
- 90 Карсивадзе Г. Н. Сейсмостойкост дорожных искусственных сооружений. М.:Транспорт, 1974, с. 264
- 91 Клафф Р., Пензиен Ж. Динамика сооружений. Пер. с англ. М.: Стройиздат, 1979, с. 320
- 92 КМК 2.01.03-96. Строительство в сейсмических раёнах. Госстрой РУз, Ташкент, 1996, с.59
- 93 КМК. 2.05.04-97. Метрополитены. Госстрой РУз, Ташкент, 1997, с.85
- 94 Курбаский Э. Н.. Особенности расчетов на сейсмические воздействия. Ж-л «Дороги», 2012, с. 100-106
- 95 Компаниес С. А., Поправке А. К., Богородеский А. А. Проектирование тоннелей. М.: Транспорт, 1973, с.317
- 96 Красин Н. А. Проектирование и расчет балочного железобетонного пролетного строения под железнодорожную нагрузку // Метод. указ. курс. проект. Для студентов специальности «МиТТ», «Строительство железных дорог, пут и путевое хозяйство», ТашИИТ, 1994, с.40
- 97 Куликова Э.Ю. Подземная геоекология мегаполисов. – М: Издательство МГГУ, 2005. – 320 с
- 98 Мавлянов Т. Акрамов Б. Х. Исследование колебаний неоднородных оболочечных конструкций. Сб.н.тр. Прочност инженерных сооружений при сейсмических и импульсивных воздействиях. Ташкент, Фан, 1990, с. 17-26
- 99 Мамажанов Р.К., Низамутдинова Р. З. О проектировании железобетонных пролетных строений момтов с назначенным ресурсом // Межвуз. Сб. научн. Тр. ТашИИТ, 1991, Вып.221, с.8-11
- 100 Лебедева М.И., Анкудинова И.А. Экология: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002.

101 Меликулов А. Д., Тоштемиров У. Т. Современные технологии тоннелестроения на службе развития международных связей Узбекистана вдоль древнего великого шелкового пути. Материалы конференции “Перспективы развития строительных технологий”, ТГТУ, г. Ташкент, 2014, с.151-154

102 Металлические гофрированные конструкции. ЗАО «Гофростал» Компания промышленного холдинга «Опытный завод «ГИДРОМОНТАЖ» 143345, Московская област, Наро-Фоминский р-н, Пос. Селятино, территория завода «Гидромонтаж» Тел. (495) 720-46-63 Тел./Факс (495) 720-49-74 info@goffrostal.ru, www.goffrostal.ru www.goffrostal.ru

103 Миралимов М. Х. Численное моделирование нелинейного деформирования обделок транспортных тоннелей и метрополитена. // Журнал "Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций. Москва, 1999, №4, С10-16

104 Миралимов М.Х. Информационное моделирование упругопластического состояния выработок тоннелей на персональном компьютере. // Узбекский журнал. «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент: Фан, 2000, №5 - С.47-50 (05.00.00; №5)

105 Миралимов М. Х. Имитационная модел расчета строительных конструкций и сооружений. // Вопросы кибернетики. Ташкент, Выпуск 175, 2006, С.71-82

106 Miralimov M. X. Numerical simulation of deformation of engineering design interacting with soil. // Вопросы вычислительной и прикладной математики. Ташкент, Выпуск 118, 2007, С.85-97

107 Миралимов М. Х., Алменов Х., Болтаев И., Маджидов Н. Разработка пакета программ по расчету транспортных сооружений методом конечных элементов. // Вестник ТАДИ, Ташкент: ТИПСЕАД, 2013, №3-4, - С.56-61 (05.00.00; №15)

108 Миралимов М., Алменов Х, Хонкелдиев Д. Сеисмис стабилитй оф ундергроунд стaтион. Труды международной конференции «Проблемы механики и строительства транспортных сооружений» посвященной к 80-летию Ш. М. Айтилиева. 29-30 июн, Алмата, 2015, С. 51-54

109 Miralimov M., Zakirov D. B., Pirnazarov F. Finte-dimensional model of backfilled structures. Архитектура-курилиш фани ва давр. Республика илмий-амалий анжумани материаллари, 3-қисм, ТАСИ, Тошкент, 2017, С. 183-186

110 Миралимов М., Тохиров А., Каримов Ф. К вопросу о строительстве транспортных тоннелей с использованием технологий НАТМ. Архитектура-курилиш фани ва давр. Республика илмий-амалий анжумани материаллари, 3-қисм, ТАСИ, Тошкент, 2017, С. 56-57

- 111 М.Х.Миралимов, Аширматов И. О. Постановка задачи по расчету тоннелей с учетом взаимодействия сооружения с грунтом. // Материалы респуб. научно-практ. конф. «Ўзбекистонда геотехника муаммолари ва уларнинг замонавий эчимлари», ТАСИ, Ташкент, 2018, с.263-265
- 112 Мубараков Я. Н. Сейсמודинамика подземных сооружений типа оболочек. Фан, Ташкент, 1990, с. 211
- 113 Миралимов М. Х., Шераир Н. Современная геомеханическая модель расчета транспортных тоннелей. // ДАН РУз, Ташкент: Фан, 1998, №12, - С.23-25 (05.00.00; №9)
- 114 МШН 34-2004. Инструкция по учету сейсмических воздействий при проектировании горных транспортных тоннелей // Ишанходжаев А. А. Миралимов М. Х. НИИАД, ГАК «Узавтоюл», Ташкент, 2007, с.124
- 115 Напетваридзе Ш. Г. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений. М.: Госстройиздат, 1959, с. 216
- 116 Орлов С.А. Методы статического расчета сборных железобетонных обделок тоннелей. М.: Госстройиздат, 1961, с. 135
- 117 Патент № 2107770. Арочный засыпной мост, <http://www.findpatent.ru/patent/210/2107770.html>
- 118 Постнов В.А., Хархурим И.Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. Л. Судостроение, 1974, с. 344
- 119 Поляков С. В. Некоторые вопросы теории сейсмостойкости. Строительная механика и расчет сооружений, 1970, № 2, с. 27-32
- 120 Нормуродов Ш.У., М.Х.Миралимов. Расчет односводчатых станций метрополитена. // Материалы респуб. научн-практ. конф. «Ўзбекистонда геотехника муаммолари ва уларнинг замонавий эчимлари», ТАСИ, Ташкент, 2018, с.279-281
- 121 Рашидов Т. Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений, Фан, Ташкент, 1973, с. 138
- 122 Рашидов Т. Р., Ишанходжаев А. А. Сейсмостойкость тоннельных конструкций метрополитена мелкого заложения. Ташкент, Фан, 1994, с.133
- 123 Родин И.В. Снимаемая нагрузка и горное давление. В кн.: Исследования горного давления. М.: Госгортехиздат, 1960, с. 343-374
- 124 Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород. М.: Углетехиздат, 1954, с. 384
- 125 Руппенейт К.В, Матвиенко В.В., Песляк Ю.А. Расчет крепи шахтных стволов. М.: Изд. АН СССР, 1967, с.122
- 126 Руководство по автоматизированному расчету обделок подземных транспортных сооружений // Одобрено Главтранспроект. Москва, 1987, с.167

127 Салямова К. Д., Хусанов Б. Э. Нестационарная задача об исследовании напряженного состояния плоского сооружения при динамических нагрузках. Тезисы докладов. Республик науч. конф. Ташкент, в ИМ и СС АН РУз, 22-23 октябрь, 1997, с.68-69

128 Сафаров И. И, Марасулов А., Кожамуратова К. Распространение волны в плоских диссипативных средах. Труды межд-й конф. Прочност конструкций. Сейсמודинамика зданий и сооружений, 12-14 Сентябрь 2016, Ташкент, с.309-312

129 Секулович М. Метод конечных элементов. - М.:Стройиздат, 1993

130 Синисын А.П. Исследование слоистых покрытий с односторонними связями, В кн.: Вестник Военно-инженерной Академии им. В.В. Куйбышева, №63, М., 1952, с. 3-39.

131 Сливкер В.И. О расчете конструкций на упругом основании при односторонней связи с основанием. Строительная механика и расчет сооружений, 1967, №6, с. 18-19.

132 Смирнов А. Ф., Александров А. В., Лащеников Б. Я., Шапошников Н. Н. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. М.: Стройиздат, 1984, с. 409

133 Смирнов А. Ф., Александров А. В., Лащеников Б. Я., Шапошников Н. Н. Строительная механика. Стержневые системы. М.: Стройиздат, 1981, с. 512

134 Соловев Г.П., Шапошников Н.Н. Методические указания по расчету плоских стержневых систем методом перемещений с использованием ЭВМ "Наири". -М.: МИИТ, 1978, с. 36

135 Старчевская Л.Л. Решение контактной задачи "тоннелная обделка-грунт" с учетом давления окружающей среды, -Научные труды ВНИИ трансп. строит., вып.98, М., 1976, с.108-111.

136 Старчевская Л.Л. Решение задачи о плосконапряженном состоянии ортотропной полуплоскости под действием сосредоточенных внутренних сил. Научные труды ВНИИ трансп.строит, вып. 81, М., 1976, с. 73-81.

137 Султанов К. С. Упругопластическая модел деформирования структурно-неустойчивой грунтовой среды // Доклады АН РУз. 1997. №9. С.21-24.

138 Титаев В.А. Автоматизация расчёта строительных конструкций на примере ЛИРА-подобных программных комплексов: Учебное пособие. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2001, 161 с

139 Тоннели и метрополитены. / В.П. Волков, С.Н. Наумов, А.Н. Пирожкова, В.Г. Храпов, -М.: Транспорт, 1975, с. 552

140 Туйчиев Н. Д. Вероятностная отсенка надежности сложных сейсмостойких стержневых конструкций. Узб. ж - л. Проблемы механики, №4, Ташкент, 1992, с. 46-52

- 141 Укшебаев М.Т. и др. Основы расчета конструкций, технология и техника строительства. Алмата. «Бастау» баспасы, 2013, с. 348
- 142 Фотиева Н.Н. Расчет обделок тоннелей некругового поперечного сечения. М.: Стройиздат, 1974, с. 240 .
- 143 Хасанов А. З., Хасанов З. А., Усманходжаев И. И. Фундаменты на искусственных основаниях, укрепленные вертикальными армoeлементами (BAE) сейсмозащитной демпфирующей прослойкой. Труды межд-й конф. Прочност конструкций. Сейсmodинамика зданий и сооружений, 12-14 Сентябрь 2016, Ташкент, с. 205-208
- 144 Хожметов Г. Х., Рашидов Т. Р. Сейсмостойкост подземных трубопроводов. Ташкент, Фан, 1985, с. 152
- 145 Храпов В.Г., Шапошников Н.Н. Конструкция станции метрополитена. М.: МИИТ, 1970, с. 56
- 146 Христов С.Б. Применение метода итераций для расчета тоннелных обделок на ЭСВМ. Основания, фундаменты и механика грунтов, 1968, №5, с. 32-35
- 147 Хусанов Б. Э. Модели деформирования лессового грунта при увлажнении. Одноосное деформирование // Проблемы механики.Ташкент, 2004. № 5-6, с. 31-36.
- 148 Шапошников Н.Н. Расчет тоннелных обделок методом перемещений с использованием ЭСВМ, -М.: МИИТ, 1969, с. 58
- 149 Шапошников Н.Н., Тарабасов Н.Д., Петров В. Расчеты машиностроительных конструкций на прочност и жесткост, М.: Машиностроение, 1981, с. 333
- 150 Ширинкулов Т. Ш. Некоторые актуалные вопросы механики контактного взаимодействия. Сборник н. трудов "Актуалные проблемы механики контактного взаимодействия", Самарканд, 1997, с.3-15
- 151 Штейнберг В.В., Плетнев К.Т., Грайзер В.М. Акселерограммы колебаний грунта при разрушительном Газлийском землетрясении 17 мая 1976 г.// Сейсмостойкое строительство. М., 1977. №1. С.45-61.
- 152 Юлдашев Ш., Саидов С. М. Влияние уровня расположения железнодорожного полотна на распространении вибрации в грунтах. Материалы 7-ой меж-ной конференции «ДОФПС», 25-27 май, 1994, с.66
- 153 Юлдашев Т. Дифференциалные уравнения частиц земного стероида. Материалы респуб. научн. конф посвященной 90-летию академика Уразбаева М. Т., 1-2 октября, Ташкент, 1995, с. 224-225
- 154 Onouye B. and Kane K.. Statics and Strength of Materials for Architecture and Building Construction. 4-th edition, University of Washington, New Jersey, USA, 2016, p. 589

- 155 Finite Elements Design of concrete structures. Ed. G.A. Roamach, Thomas Telford, London. 2004. p. 299
- 156 Wang Z.Z., Zhang Z. Seismic damage classification and risk assessment of mountain tunnels with a validation for the 2008 Wenchuan earthquake. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 45, 2013, p. 45–55
- 157 Chaotic Dynamics and Control of Systems and Processes in Mechanics. Proceedings of the IUTAM Symposium held in Rome, June 2003, p. 459.
- 158 Rao S. S. The Finite Element Method in Engineering. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. University of Miami, Coral Gables, Florida, USA, 2011, p. 703
- 159 Lysmer F., Kuhlemeyer R. L. Finite dynamic model for infinite media // J. of Eng. Mech. Div. ASCE, vol.95, N. EMA, 1969, pp.859-877
- 160 Lysmer F., Richard F. E. Dynamic respons of footing to vertical loading // J. of Soil Mech. Div. ASCE, vol.92, N. SHL, 1966, pp.65-91
- 161 Seismic Design Aids for Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Structures. Taylor & Francis Group, London, 2010, p. 217
- 162 Daniel Suchora. "Hands on Applied Finite Element Analysis: Applications with ANSYS", AIAA Journal, Vol.54, No. 3, 2016, pp. 1150-1151.
- 163 Hartl H., Handel C. 3D finite element modeling of reinforced concrete structures//Graz Univ. of Technol. : Inst. Of Structural Concrete. - Austria, 2000.- pp.1-10.
- 164 Options for Tunnelling. - 1998. - P. 193-203.
- 165 Tunnels and Tunnelling. - 1995. - 27, № 10. - P. 39.
- 166 Tunnels and Tunnelling International. – 1999, № 9. - P. 7.
- 167 Tunnels and Metropolises. - Rotterdam: Balkema, 1998. - P. 727-731.
- 168 Lee D. Hsuehshan tunnel route selection and study / Deng-Hue Lee // nternational symposium on design, construction and operation of long tunnels, 2005. – Taipei, Taiwan. – r. 35-43.
169. Chang C. Geological and geotechnical overview of the Hsuehshan tunnel / Chi-Tso Chang, Ping-Cheng Hou, Chin-Shae Liu, Ting-Huai Hsiao // International symposium on design, construction and operation of long tunnels, 2005. – Taipei, Taiwan. – P. 45-49.
170. Kazunori N. Imaging ground conditions ahead of the tunnel face using the seismic reflective survey / Nishioka Kazunori, Murakami Koji, Yamamoto Takuji, Shirasagi Suguru, Aoki Kenji // International symposium on design, construction and operation of long tunnels, 2005 – P. 91-99.
- 171 Hou P. Geological exploration of the Hsuehshan tunnel – review and discussion / Ping-Cheng Hou, Ting-Huai Hsiao // International symposium on

design, construction and operation of long tunnels, 2005. – Taipei, Taiwan. – P. 105-112.

172 Kobayashi, M. A study of seismic displacement of cut and cover tunnel on longitudinal section / Masahiko Kobayashi, Yasumiki Yamamoto, Shogo Otake, Yousuke Inoue, Fukutaro Umebayashi // Proceedings of tunnel engineering, JSCE (5), 2009 – P. 263-268

173 Liu C. Geological model of Hsuehshan tunnel / Chin-Shae Liu // International symposium on design, construction and operation of long tunnels, 2005. – Taipei, Taiwan. – P. 67-72.

174 Lee D. Hsuehshan tunnel route selection and study / Deng-Hue Lee // International symposium on design, construction and operation of long tunnels, 2005. – Taipei, Taiwan. – P. 35-43

175 Basarir H. Engineering geological studies and tunnel support design at Sulakyurt dam site, Turkey / Hasan Basarir // Engineering geology. – 2006. – Volume 8, Issue 4. – P. 225-237.

176 Geniş M. Engineering geological appraisal of the rock masses and preliminary support design, Doeukhan Tunnel, Zonguldak, Turkey / M. Geniş, H. Basarir, A. Ozarslan, E. Bilir, E. Balaban // Engineering geology. – 2007. – Volume 92, Issues 1-2. – P. 14-26.

177. Kazunori N. Imaging ground conditions ahead of the tunnel face using the seismic reflective survey / Nishioka Kazunori, Murakami Koji, Yamamoto Takuji, Shirasagi Suguru, Aoki Kenji // International symposium on design, construction and operation of long tunnels, 2005 – P. 91-99.

178. Okazaki K. Geological information for the results of helicopter-borne survey and other tunnel records over the accretionary complex area / Kenji Okazaki, Yoshihiko Ito, Katsuhito Aoki, Masayuki Sakakibara, Minoru Okumura // International symposium on design, construction and operation of long tunnels, 2005. – Taipei, Taiwan. – P. 144-152

179. Hou, P. Geological exploration of the Hsuehshan tunnel – review and discussion / Ping-Cheng Hou, Ting-Huai Hsiao // International symposium on design, construction and operation of long tunnels, 2005. – Taipei, Taiwan. – P. 105-112.

180 High-Tech. Developments in Ground Engineering: XII ICSMFE. - Rio de Janeiro, 1999. - 38 p

181 Kontogianni V., Stiros S. Earthquakes and Seismic Faulting – Effects on Tunnels, Turkish Journal on Earth Sciences, Vol. 12, 2003, pp. 153-156.

182 https://studbooks.net/658234/turizm_perspektivy_razvitiye_transportnoy_infrastruktury_ishpanii

- 183 <https://glasnarod.ru/mir/133591-vtashkente-nachato-stroitelstvona-dzemnoj-kolczevoj-linii-metro>
- 184 https://news.rambler.ru/moscow_city/38276441-nadzemnuyu-koltsevuyu-liniyu-metro-v-tashkente-postroyat-k-2020-godu/
- 185 <https://finance.rambler.ru/economics/37366285-shavkat-mirzиеev-lichno-izuchil-detali-stroitelstva-metro-v-sergeli/>
- 186 <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/56/56252/>
- 187 <http://stud24.ru/construction/innovatsii-v-tonnelestroenii/352438-1089855-page2.html>
- 188 http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/534583/innovatsionnye_konstruktivno-tekhnologicheskie_resheniya_v_transportnom.pdf
- 189 <http://uzscience.uz/docs/news/%D0%BC%D1%87%D1%81%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8.pdf>
- 190 <http://uprava-mitino.ru/2089-kak-obdelyvayut-tonneli.html>
- 191 <https://docplayer.ru/30633406-Opyt-i-perspektivy-razvitiya-transportnoy-infrastruktury-ispanii-po-materialam-prakticheskoy-konferencii.html>
- 192 <http://www.ngpedia.ru/id239986p1.html>
- 193 <http://konf.x-pdf.ru/19ekonomika/263621-1-frolov-dtn-professor-spaniya-yavlyaetsya-odnoy-naibolee-ekonomicheskimi-razvitiem-stran-evrozoni-nastoyaschee-vremya-strana.php>
- 194 <https://www.gazeta.uz/ru/2017/10/28/ring/>