

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 3, 2026 vol. 3

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 3, ISSUE 3

SEPTEMBER, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 3 SEPTEMBER, 2026

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Numerical analysis of tunnel lining for a metro station

A.I. Karshiboev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

This paper presents a practical method for analyzing the deformation behavior of metro tunnel linings located in various soil types. The method is based on the finite element approach and employs a two-dimensional elasticity model to study the interaction between the tunnel structure and the surrounding ground. To accurately simulate stresses and deformations in the system, a combination of bar (truss) elements and isoparametric finite elements is applied. The computation process is automated using Excel-based software integrated with TurboPascal programs. The proposed model enables a detailed evaluation of the tunnel lining performance under static loads, including soil pressure and the self-weight of the structure. Comparison with analytical results confirms the reliability of the method and its applicability to the design and safety assessment of urban metro tunnel structures.

Keywords:

tunnel, strength, calculation methods, finite elements, construction

Metro bekati tunnel qoplamasini hisoblashning sonli usuli

Qarshiboyev A.I.¹

¹Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya:

Ushbu maqolada turli xil grunt turlarida joylashgan metro tunnel qoplamalarining deformatsiyalanish xususiyatlarini tahlil qilishning amaliy usuli keltirilgan. Usul chekli elementlar yondashuviga asoslangan bo'lib, tunnel inshooti va uning atrofidagi grunt o'rtasidagi o'zaro ta'siri o'rganish uchun ikki o'lchovli elastiklik modelidan foydalanadi. Tizimdagi kuchlanish va deformatsiyalarni aniq simulyatsiya qilish maqsadida sterjen va izoparametrik chekli elementlarning kombinatsiyasi qo'llanilgan. Hisoblash jarayoni TurboPascal dasturlari bilan integratsiyalashgan Excel asosidagi dasturiy ta'minot yordamida avtomatlashtirilgan. Taklif etilayotgan model tunnel qoplamasining statik yuklar, jumladan grunt bosimi va konstruksiyaning xususiy og'irligi ta'sirida ish faoliyatini batafsil baholash imkonini beradi. Analitik natijalar bilan taqqoslash usulning ishonchlilikini va uni shahar metrosi tonnallari konstruksiyalarini loyihalash hamda xavfsizlik darajasini aniqlashdagi qo'llanilish imkoniyatini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar:

tunnel qoplamasi, metro stansiyasi, chekli elementlar usuli, kuchlanish-deformatsiya tahlili

1. Kirish

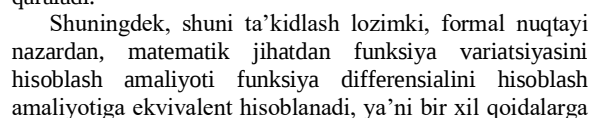
Hozirgi kunda metropoliten infratuzilmasi qurilishini rivojlantirish zamonaviy megapolislarda transport muammolarini hal etishning eng samarali vositasi hisoblanadi. Xususan, metro tunnel qoplamalari uchun yangi konstruktiv yechimlarni ishlab chiqish hamda ularning konstruktiv mustahkamligini hisoblash usullarini takomillashtirish ushbu sohada yetakchi o'rinlarni egallaydi. Rivojlangan mamlakatlarda, jumladan aqsh, shveytsariya, janubiy koreya, rossiya, xitoy va o'zbekiston respublikasida transport inshootlarining mustahkamligi ilg'or zamonaviy loyihalash texnologiyalari va texnik vositalarni qo'llash orqali ta'minlanadi. Shu yo'nalishda sayoz metro tunnel qoplamalari uchun muqobil konstruktiv yechimlarni ishlab chiqish hamda ularning har xil turdagi gruntlar bilan o'zaro ta'sirini modellashtirishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Xoy tekisligida joylashgan, ikki o'lchovli ω sohasi bilan ifodalanuvchi va C_0' hamda C_0'' chegaralari bilan chegaralangan jismni ko'rib chiqamiz. Ushbu soha C_0' va C_1' konturlari bilan o'ralgan ikkita bo'shliqdan iborat. Mazkur konturlar ichida aylana halqalar (temirbeton konstruksiyalar) joylashgan bo'lib, ular tekis sohaning qolgan qismidan farqli fizik xususiyatlarga ega. O'z navbatida, ushbu qolgan qism ham turli fizik tavsiflarga ega bo'lgan muhitlardan (har xil turdagi gruntlardan) tashkil topgan bo'lishi mumkin.

^a <https://orcid.org/0000-0003-2755-2609>





ko'ra bajariladi. Buning natijasida δW uchun quyidagi ko'rinishdagi ifodani olish mumkin:

$$\delta W = \delta(\vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon}) = \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} + \vec{\varepsilon}^T D \delta \vec{\varepsilon} \quad (11)$$

Bu yerda $\delta \varepsilon$ - deformatsiyalar vektorining variatsiyasi. Ko'paytma skalyar bo'ladi, demak:

$$\vec{\varepsilon}^T D \delta \vec{\varepsilon} = (\vec{\varepsilon}^T D \delta \vec{\varepsilon})^T = \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} \quad (12)$$

Keyingi (2.11) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\delta W = \delta(\vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon}) = \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} + \vec{\varepsilon}^T D \delta \vec{\varepsilon} = 2 \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} \quad (13)$$

Shunday qilib, jismning deformatsiyalanish potensial energiyasining o'zgarishi quyidagicha ifodalanadi:

$$\delta \Pi = \int_{\Omega} \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} d\Omega \quad (14)$$

Tashqi kuchlar ishining o'zgarishi, ko'chish maydoni o'zgaruvchan mustaqil funksiya ekanligini hisobga olgan holda, nisbatning oddiy variatsiyalash yo'li bilan topiladi:

$$\delta A = - \int_{\Omega} \delta \vec{U}^T \vec{P} d\Omega - \int_{C_0'} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma} dC_0' - \int_{C_1} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma 1} dC_1 \quad (15)$$

Bu yerda $\delta \vec{U}$ - siljish vektorining variatsiyasi.

Endi (14) va (15) ifodalarni potensial energiya o'zgarishi (10) formulasiga qo'yaylik. Shunda ko'chishlar vektorining haqiqiy o'zgarishlari tizimning to'liq energiya funksionaliga statsionar qiymat berishini ko'ramiz:

$$\delta \Pi = \int_{\Omega} \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} d\Omega - \int_{\Omega} \delta \vec{U}^T \vec{P} d\Omega - \int_{C_0'} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma} dC_0' - \int_{C_1} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma 1} dC_1 = 0 \quad (16)$$

Ω , sohasida diskret modelni olish uchun $\{N_m(x, y)\}$ bo'lakli uzluksiz bazis funksiyalar tizimini va butun soha uchun Z_m tugunli ko'chishlarni kiritamiz [8]. Bu bazis funksiyalar shunday tanlanadiki, ular chegarasidagi masalaning kinematik chegaraviy shartlarini o'z-o'zidan qanoatlantiradi:

$$\vec{U} = \sum_{m=1}^M N_m(x, y) \cdot \vec{Z}_m \quad \text{yoki matritsali ko'rinishda}$$

$$\vec{U} = N \vec{Z}$$

$$N = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & \dots & 0 & N_m \\ 0 & N_1 & 0 & \dots & N_m & 0 \end{bmatrix}, \quad \vec{Z} = [Z_1 \dots Z_m] \quad (17)$$

Bu yerda $m=1, \dots, M$ - bazis funksiyalar tugunlarining umumiy soni, ya'ni modellastiriladigan tizimning jami tugun soni hisoblanadi [58]. Modellastirish vaqtida:

1. Berilgan soha aniq chiziqlar yoki nuqtalar yordamida ma'lum miqdordagi chekli elementlarga ajratiladi.
2. Chekli elementlar cheklangan miqdordagi tugun nuqtalarida o'zaro bog'langan deb qaraladi.
3. Har bir chekli element uchun uning tugunlari xususiyatlari orqali element ichidagi qidirilayotgan tasnifni (masalan, ko'chishlarni) aniq belgilaydigan funksiya beriladi.

Ushbu bo'linishga muvofiq, potensial energiya va tashqi kuchlar ishi ifodalari tarkibidagi hajmiy va sirt bo'yicha integrallar chekli elementlar bo'yicha integrallar yig'indisiga teng bo'ladi. Shunga ko'ra, (2.16) integral munosabati quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\delta \Pi = \sum_{e=1}^{R_e} \left(\int_{\Omega_e} \delta \vec{\varepsilon}^T D \vec{\varepsilon} d\Omega_e - \int_{\Omega_e} \delta \vec{U}^T \vec{P} d\Omega_e \right) - \sum_{e=1}^{R_e} \int_{C_0'} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma} dC_0' - \sum_{e=1}^{R_e} \int_{C_1} \delta \vec{U}^T \vec{P}_{\sigma 1} dC_1 = 0 \quad (18)$$

Bu yerda R_e - chekli elementlarning umumiy soni, R_e^* - esa soha chegarasiga chiquvchi chekli elementlar soni hisoblanadi. Element doirasidagi asos funksiyalar uchun

ko'chish maydoni quyidagi interpolatsiya munosabatlari yordamida aniqlanadi:

$$\vec{U}^{(e)} = \sum_{i=1}^n N_i^{(e)}(x, y) \cdot \vec{Z}_i$$

$$\text{yoki matritsali ko'rinishda} \quad \vec{U}^{(e)} = N^{(e)} \vec{Z} \quad (19)$$

Element shaklining bazis funksiyalari, element tugunlari sonini anglatadi. (19) ifodani (18) ga qo'yib, ba'zi o'zgartirishlarni amalga oshirgach va umumiy yig'indini hisoblagach, natijada quyidagi ko'rinishdagi tenglamalar tizimini olamiz:

$$\delta \vec{Z}^T K \vec{Z} - \delta \vec{Z}^T \vec{P} - \delta \vec{Z}^T \vec{P}_{\sigma} - \delta \vec{Z}^T \vec{P}_{\sigma 1} = 0 \quad (20)$$

Bundan quyidagini olamiz:

$$K \vec{Z} - \vec{P} - \vec{P}_{\sigma} - \vec{P}_{\sigma 1} = 0 \quad (21)$$

Tugun ko'chishlarining umumiy vektoriga nisbatan chekli elementlar tenglamalar tizimining yechimini quyidagi usulda olamiz:

$$K \vec{Z} = \vec{P} + \vec{P}_{\sigma} + \vec{P}_{\sigma 1} \quad (22)$$

Bu yerda K - tizimning bikrlilik matritsasi, $\vec{P}_{\sigma}$ va $\vec{P}_{\sigma 1}$ - tizimning chegaraviy tugunlariga mos ravishda ta'sir qiluvchi tashqi yuklar vektorlari elementlarning umumiy Chekli elementlar usuli yordamida KDH ni tahlil qilish statik muvozanat shartlarini qanoatlantiradi va elastiklik xususiyatlari, bir jinsli emaslik hamda geometrik shakllarning o'zgarishi tufayli yuzaga keladigan kuchlanishlar o'zgarishini baholash imkonini beradi. Sohaning o'z og'irligi va uning chegaralaridagi tashqi kuchlardan kelib chiqqan holda har bir tugun nuqtasidagi kuchni aniqlash orqali, umumiy bikrlilik matritsasiga asoslangan qo'shma tenglamalar tizimini har bir tugun nuqtasining ko'chishiga nisbatan yechish mumkin bo'ladi.

Tonnel qoplamasi konstruksiyalari o'z massasi vaznidan, ustida joylashgan grunt qatlamlarining bosimidan, shuningdek grunt massasining gorizontaal va vertikal tashqi bosim ta'siridan deformatsiyalanadi.

Chekli elementlar usulining qoidasiga binoan tunnel konstruksiyasi bir qancha kichik elementlarga bo'linadi va ushbu elementlar bir-birlari bilan tugunli nuqtalarda birikadilar. Bunday metodologiya inshootni fizik diskretlash deyiladi. Hisoblash modelida kerakli darajada tunnel qoplamasi konstruksiyasi va atrofidagi bir jinsli bo'lmagan gruntlarning real xossalari e'tiborga olishi lozimdir.

Har bir element uchun (5) formulasini qo'llash va ularni bir-biri bilan bog'lash orqali (barcha elementlar bo'yicha), tunnel konstruksiyasi va grunt muhitidagi holatni tasvirlaydigan birinchi darajali tenglamalar tizimini olamiz va tugun nuqtalaridagi ko'chishlar orqali elementlar ichidagi deformatsiya va kuchlanish qiymatlarini aniqlaymiz.

Chekli elementlar usuli orqali "grunt - tunnel qoplamasi" tizimini kuchlanganlik-deformatsiyalanish holatini tekshirishda quyidagi tahlil tartibini keltiramiz [10]:

1) Konstruksiyani chekli elementlarga bo'lish orqali hisoblashning fizik modelini yaratish.

2) Elementlarning lokal bikrlilik va tashqi kuchlar vektorlari matritsalarini qurish.

3) Tizimning global bikrlilik va tashqi kuchlar vektorlari matritsalarini qurish.

4) Tonnel qoplamasi konstruksiyalari va grunt muhitidagi holatni tasvirlaydigan birinchi darajali tenglamalar tizimini yechish.

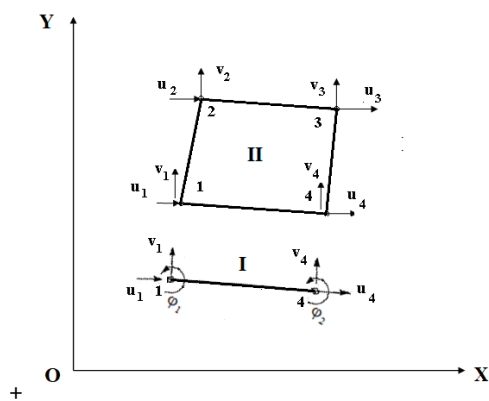
5) (5) formulalar bo'yicha elementlardagi kuchlanish va deformatsiyalarni aniqlash.



Mavjud “qoplama-grunt” tizimini modellashtirishda Y. Shmelter, M. Datsko, S. Dobrochinskiy, M. Vechoreklar tomonidan keltirilgan kombinatsiyalashgan (aralash konstruksiyalar) dan iborat chekli elementlar tizimi tushunchasini kiritamiz [8]. Bunda tunnel qoplamasini 2 ta tugunli sterjenli va grunt massivini 4 tugunli izoparametrik chekli elementlar bilan diskretlaymiz va kombinatsiyalashgan tizimda elementlar birlashishida (murakkab) tugunlar hosil bo‘lish prinsipini e‘tiborga olamiz, ya‘ni tunnel qoplamasi va grunt elementlarining bir koordinatada birlashishi 2 ta tugun orqali ifodalanadi (2-rasm) [7]. Bugungi kunda keng ishlatilayotgan LIRA, MIDAS Civil va ANSYS hamda boshqa bir qancha chekli elementlar usuliga asoslangan muhandislik hisob-kitoblari uchun kuchli dasturiy ta‘minot majmualarida ushbu prinsip shakllantirilgan [6]. Ixtiyoriy izoparametrik chekli elementni qurishning umumiy konsepsiyasiga binoan, biz ushbu turdagi elementlarning geometriyasiga mos keladigan tabiiy lokal koordinatalar tizimini hisobga olamiz va ularning bikrlilik matritsalarini [9] larda keltirilgan ma‘lum bo‘lgan ifodalardan aniqlaymiz. Masalan, sterjenli element uchun, uning bikrlilik matritsasini quyidagicha keltirish mumkin:

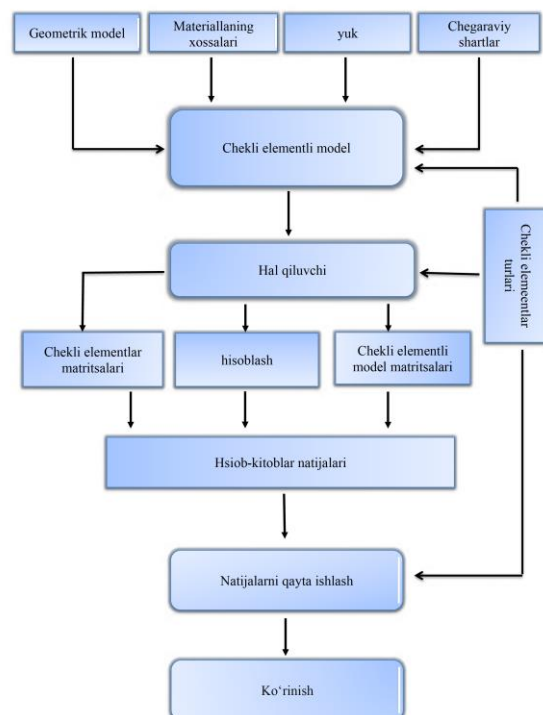
$$[k]^e = \begin{bmatrix} \frac{EF}{l} & 0 & 0 & -\frac{EF}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & 0 & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} \\ -\frac{EF}{l} & 0 & 0 & \frac{EF}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & 0 & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Bu yerda E - sterjen materialining elastiklik moduli, I , F - sterjen ko‘ndalang kesimining inersiya momenti va yuzasi, l - sterjenning uzunligi.



2-Rasm. Modellashtirishda ishlatiluvchi chekli elementlar: I – sterjenli element, II – izoparametrik yassi element

Ishlab chiqilgan tunnel konstruksiyalarini statik ta‘sirlar ostidagi real muhitdagi grunt bilan o‘zaro ta‘sirini e‘tiborga oluvchi usulning algoritmi 3-rasmda keltirilgan. Dasturlash paketida masalalar aniq algoritim-sxema orqali olib boriladi. Ushbu sxema o‘rnatilgan vazifalarni bajaradi va yuqorida keltirilgan ifodalarga mos tushadi. Tizimning differensial tenglamalari algebraik tenglamalar tizimiga almashtirilishi bilan ishlab chiqilgan algoritmlar asosida har bir alohida masala uchun hisoblash jarayonlari boshlab yuboriladi.



3- Rasm. Dasturlash paketidagi masalani yechish algoritmi

Ko‘rilayotgan masalalarda tashqi kuchlar chegaraviy shartlariga berilgan sohaning yuklangan yoki kuchdan ozod tugunlari kiradi. Kinematik shartlarga esa bog‘langan tugunlar kiradi. Yaratilgan paket yordamida hisoblash ishlarini bajarishda konstruksiyaning chekli elementli modelini kiritish uchun umumiy axborotni jamlash zarur bo‘ladi. Bu yerda tugun komponentlari kodlari chegaraviy shartlar uchun ikki xil qiymatni olishi mumkin, ya‘ni 0 va 1. Agar u shartlar 0 qiymatini olsa, u xolda bu tugunlar har qanday bog‘lanishlardan ozod bo‘ladilar, ammo agar 1 qiymatga ega bo‘lsa, unda ushbu tugunning belgilangan erkinlik darajasi bo‘yicha chegaraviy shartlar qo‘yiladi va bu yerda nolga teng bo‘lgan kinematik ko‘chish shartlari bajariladi. Dastur paketi “Excel-ilova” ko‘rinishida amalga oshirilgan, ya‘ni barcha hisoblash modullarini boshqarish Excel dasturidan bajariladi. Bunday tizimning tanlanishi quyidagi sabablar bilan izohlanadi:

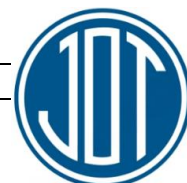
1. Chekli elementlarga ajratish, bikrlilik matritsasini qurish va chiziqli tenglamalar tizimini yechish dasturlari Microsoft Office muhitida Delfi tilida alohida bajariladigan fayllar ko‘rinishida ishlab chiqilgan. Excel dasturida o‘rnatilgan Visual Basic for Application (VBA) mavjud bo‘lib, u diskdagi fayllarni ishga tushirish buyruqlarini o‘z ichiga oladi. Shu sababli, masalani yechish jarayonini boshqarishning barcha bosqichlari ushbu dasturlarida amalga oshirildi.

2. Excel dasturi muhandislar uchun qulay bo‘lgan chizish va jadval ma‘lumotlarini kiritish funksiyalarini o‘z ichiga oladi;

3. Ko‘cha grafik va raqamli natijalar bevosita jadvalga kiritiladi.

4. Natijalarni chiqarish Excel dasturiga o‘rnatilgan funksiyalar yordamida amalga oshiriladi.

5. Hisoblash yakunlangach, jadvalda boshlang‘ich ma‘lumotlar va hisoblash natijalari haqidagi barcha axborot



mavjud bo'ladi, shu sababli Excel dasturi funksiyalarida hisobot tayyorlash ishlari bajaradi.

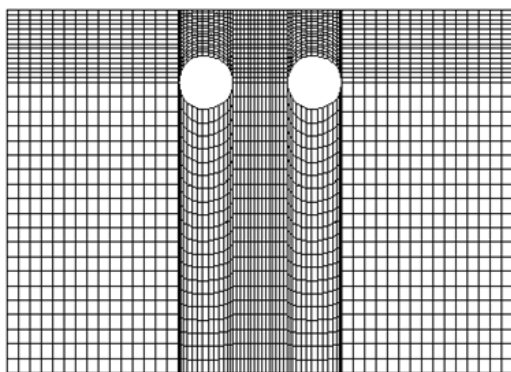
Ishlab chiqilgan dastur bo'yicha tonnellarini hisoblash quyidagi bandlardan iboratdir:

1. "Excel-ilova" bo'yicha fizik-mexanik ma'lumotlarni kiritish (4-rasm). Bunda kiritilgan ma'lumotlarning to'g'riligini tekshirish mumkin.

GRUNT LAR N I N G F I Z I K - M E X A N I K X O S S A L A R I							Y U R I S H T O N N E L L A R I		
N	H, m	E, MPa	ν	C, MPa	ϕ	γ , MPa/m	CHUQURLI	H=	15,0
1	2	4,2	0,32	0,4	7	18,2	RADII	r=	2,68
2	4	10,7	0,32	2,4	12	17,1	MASOFA	L=	12,9
3	7	13,8	0,28	4,6	15	18,7			
4	20	16,5	0,28	11,2	17	19,4			
5	40	16,5	0,28	11,2	17	19,4			

4-Rasm. "Grunt - tunnel qoplamasi" tizimidagi hisoblash dasturining umumiy ko'rinishi (namunaviy)

2. "Chekli elementlar to'rini tuzish" bo'yicha diskdan "Tonl.exe" dasturi ishga tushadi - bu dastur berilgan sohani chekli elementlarga ajratishni bajaradi.



5-Rasm. Sohani chekli elementlarga ajratish

Bu dasturda hisoblash geometriyasi usullari qo'llaniladi, xususan egri chiziqni berilgan miqdordagi qismlarga bo'lish usuli keng foydalaniladi. Ushbu yondashuvning mohiyati quyidagicha: ikkita chiziq (siniq yoki egri chiziqlar) beriladi va ular teng miqdordagi qismlarga bo'linadi. So'ngra bu chiziqlardagi mos nuqtalarni birlashtiruvchi to'g'ri chiziqlar o'tkaziladi va ular ham berilgan miqdordagi qismlarga bo'linadi [22].

Tugunlar va elementlarni raqamlash, chegaraviy shartlarni hisobga olish, har bir chekli element uchun fizik xususiyatlarni aniqlash, o'z og'irligi va sirt kuchlaridan kelib chiqadigan yuklamani belgilash "Tonl_t.exe" dasturi orqali amalga oshiriladi. 2.5-rasmda konstruksiyaning chekli elementlarga bo'linishi tasvirlangan. Bu yerda turli fizik xususiyatlarga ega bo'lgan elementlar har xil ranglarda bo'yalishi mumkin.

1-jadval

Hisoblash usullarini solishtirma tahlili

Teshik chekkasidagi kuchlanishlar	M. Sekulovich usulidagi yechim	Zenkevich usulidagi yechim	Takomillashtirilgan usul bo'yicha olingan yechim
-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------	--

σ_x (MPa)	1,000	0,996	0,996
σ_y (MPa)	3,000	2,899	2,899

"Tonl_sorcord.exe" bu dasturi tizim matritsasining minimal kengligini ta'minlash uchun koordinatalarni qayta raqamlaydi. Bu jarayon shunday bajariladi: tugunlar konstruksiyaning uzun tomoni bo'ylab, bir chekkasidan boshqa chekkasigacha ketma-ketlikda raqamlanadi.

"Tonl_sort2.exe" dasturi global koordinatalar tizimidagi chekli elementlarni saralaydi. Bu jarayon bikrluk matritsasini tuzish va tenglamalar tizimini Gauss usuli bo'yicha yechishga tayyorlashni amalga oshiradi.

Dasturlar o'rtasidagi bog'lanish kiritilgan ma'lumotlar fayllari orqali amalga oshiriladi.

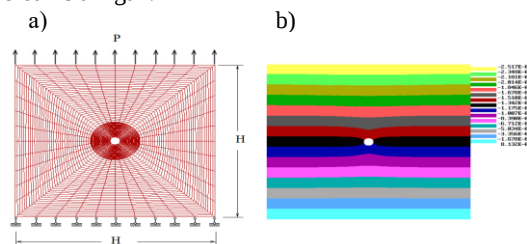
3. "Masalani yechish" bandi orqali tizim global bikrluk matritsasi tuziladi, chiziqli tenglamalar tizimi yechiladi va gruntidagi kuchlanishlar aniqlanadi.

4. "Kuchlanish izoxromlari" bandi bo'yicha σ_x , σ_y , τ_{xy} kuchlanishlarining izochiziqlarini qurish zarur bo'lganda bajariladi.

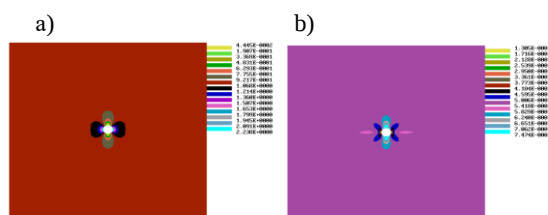
5. "Tunnel qoplamasidagi kuch epyuralari" bandi orqali eguvchi moment, ko'ndalang va normal kuchlar epyuralarini qurish ishlari amalga oshiriladi va hisoblash natijalari jadvali tuziladi.

Yassi sohada joylashgan aylana shaklidagi teshigi bo'lgan sohaning (plastina) $P=1$ MPa miqdoridagi yoyilgan yuklama ostidagi cho'zilish masalasini ko'rib chiqamiz (2.6-rasm, a).

Sohaning fizik xususiyatlari quyidagicha: $E=300000$ MPa, $\nu=0,35$, $H=40$ m, $D=2$ m. Soha materiali metall plastinkadan iborat. 2.6-2.7-rasmlarda bosh kuchlanishlarning vektor maydoni hamda chekli elementlar markazida hisoblangan maksimal σ_x va σ_y kuchlanish qiymatlari izoxromlari ko'rsatilgan. 1-jadvalda esa plastina bo'shlig'ining chekkasida olingan maksimal kuchlanishlar qiymatlari boshqa mavjud yechimlar bilan taqqoslangan holda keltirilgan.



6-Rasm. Aylani shaklidagi teshigi bo'lgan soha (a) va hisoblash natijalaridan olingan vertikal ko'chishlar maydoni (b)



7-Rasm. Maksimal kuchlanishlarning izoxromlari, MPa: a - σ_y kuchlanishi, b - σ_x kuchlanishi

3. Xulosa

Olingan natijalarning qiyosiy tahlili ishlab chiqilgan hisoblash usulining to'g'riligini ko'rsatadi va keyingi tadqiqotlarni o'tkazish imkonini beradi.

Maqolada qurilish mexanikasining zamonaviy usullariga asoslangan holda sayoz metro tunnel qoplamalari va ularni o'rab turgan har xil grunt turlari o'rtasidagi o'zaro ta'sirni hisobga oluvchi hisoblash metodi taklif etilgan.

Grunt yuklari ta'sirida konstruksiyalarda yuzaga keladigan deformatsiya va ichki kuchlanishlarni modellashirishning amaliy usullari hamda ularning sonli ifodalarini aniqlash mezonlari keltirilgan. Mazkur yondashuvda tuproq uzluksiz muhit mexanikasi - elastiklik qonuniyatlari asosida tavsiflanadi, tunnel konstruksiyasi esa atrofdagi muhit bilan birgalikda deformatsiyalanuvchi tekis tizim sifatida qaratiladi. Model har bir grunt qatlamining fizik xususiyatlarini hamda tunnel doimiy qoplamasining konstruktiv xarakteristikalarini hisobga oladi. "Grunt - qoplama" tizimini chekli elementlar usulida hisoblash varianti uchun tekis sohaning hisobiy sxemasi ishlab chiqilgan bo'lib, tunnel konstruksiyasi qalinligi 1,0 m va geometrik mustahkamlik sinfi I ga ega bo'lgan ixtiyoriy shakldagi tekis elementlar majmui sifatida modellangan.

Doimiy va vaqtinchalik yuklar ta'sirida konstruksiya kesimlaridagi ichki zo'riqlashlarni aniqlash uchun tahliliy tartib berilgan.

Hisoblash metodining ishonchliligini tekshirish maqsadida bir qator model masalalar yechilib, ularning natijalari aniq analitik yechimlar bilan solishtirildi. Bunda maydon materialining plastik xossalari shartli ravishda inkor etildi va faqat elastik sohada kuchlanishlar aniqlandi. Bosh kuchlanishlarning vektor izoxromalari chekli elementlar markazlarida qurildi. Olingan natijalar amaliy ma'lumotlarga yaqin bo'lib, bu ishlab chiqilgan metodning yuqori aniqlik darajasini tasdiqlaydi.

Natijalarning qiyosiy tahlili shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan hisoblash usuli har xil grunt sharoitidagi sayoz aylana metro tunnel qoplamalarining kuchlanish-deformatsiya holatini o'rganishda samarali qo'llanilishi mumkin.

Foydalangan adabiyotlar / References

- [1] Z. Z. Wang and Z. Zhang, "Seismic damage classification and risk assessment of mountain tunnels with a validation," *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 45, 45–55 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2012.11.002>
- [2] Chaotic Dynamics and Control of Systems and Processes in Mechanics, Proc. IUTAM Symp., Rome, June 2003, p. 459.
- [3] M. Miralimov, Sh. Sh. Shojalilov, A. Karshiboev, and D. Usmanov, "Calculation method of reinforced concrete structures with account of nonlinear deformation of the material," *AIP Conf. Proc.* 3045, 030078 (2024). <https://doi.org/10.1063/5.0197797>
- [4] M. Kh. Miralimov, S. Normurodov, M. Akhmadjonov, and A. I. Karshiboev, "Numerical approach for structural analysis of Metro tunnel station," *E3S Web Conf.* (2021). [Scopus Author ID: 58578202800]
- [5] P. P. Oreste, "A numerical approach to the hyperstatic reaction method for the dimensioning of tunnel supports," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.* 22(2), 185–205 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.tust.2006.05.007>
- [6] Никольский Б.В. Тоннели третьего кольца - крупнейшие подземные сооружения Москвы // *Метро и тоннели*. - 2001. - № 2. - С. 2-5.
- [7] Климов Д.В. Кутузовская транспортная развязка // *Подземное пространство мира*. - 2000. - № 5-6. - С. 25-27.
- [8] Панкина С.Ф. Транспортные тоннели на площади Гагарина в Москве // *Подземное пространство мира*. - 2000. - № 4. - С. 8-30.
- [9] Варшавский В.В. Особенности строительства транспортных тоннелей // *Метро и тоннели*. - 2001. - № 3. - С. 28-30.
- [10] Фролов Ю.С., Саламех А. Сборные железобетонные обделки при проходке тоннелей щитами // *Подземное пространство мира*. - 2001. - № 3. - С. 38-43.

Mualliflar to'g'risida ma'lumot/ Information about the authors

Qarshiboyev
Abdullaziz Ixtiyor
o'g'li / Ikhtiyor
Karshiboev

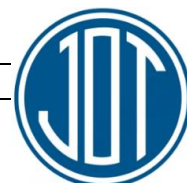
Toshkent davlat transport
universiteti "Avtomobil
yo'llarini qidiruv va
loyihalash" kafedrası katta
o'qituvchisi.

E-mail:

Laziz_22_92@mail.ru

[Tel.: +998994022032](tel:+998994022032)

<https://orcid.org/0000-0003-2755-2609>



K. Mustafaeva, Sh. Jumaev, A. Makhkamov, Sh. Suyunbaev

Research on the time norms for performing technological operations with multi-group trains at railway stations.....234

F. Khasanov

Study of the magnetocaloric effect in magnetic materials.....242

F. Khasanov

The magnetocaloric effect as a basis for energy-efficient magnetic refrigeration.....247

D. Safaeva, Sh. Tashmuhammedova, D. Zairov

IR spectroscopic study of the formation of functional groups on the surface of polymer materials for packaging under the influence of corona discharge.....251

A. Azimov

Improving the cold-start process in fourth-generation gas-cylinder vehicles operating on compressed natural gas fuel.....254

A. Beliy, Sh. Kadirova

Improvement of the method for assessing the need for electrochemical protection of reinforced concrete bridge piers259

A. Adylkhodjaev, I. Kadyrov, F. Abdukadyrov,

S. Niyazbekov, A. Babajanov, A. Kamalov

Effect of a binary micro-filler and polyfunctional admixture on the structure formation and properties of cement binders.....264

A. Karshiboev

Numerical analysis of tunnel lining for a metro station.....272

U. Berdiev, G. Kahhorova

Improving energy performance through the application of single-phase capacitor asynchronous electric motors in auxiliary circuits of electric rolling stock.....278

N. Sanaeva

Stress-strain state characteristics of closed reinforced concrete frames considering infill wall effects.....282