

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.15/31.08.2022.Т.73.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**НОРМУРОДОВ ШАҲБОЗ УЛУҒБЕКОВИЧ**

**МЕТРОПОЛИТЕН ТОННЕЛЛАРИНИ ҚАЛҚОН УСУЛИ БИЛАН  
БАРПО ҚИЛИШДА ГРУНТ МАССИВИ ДЕФОРМАЦИЯСИ ВА ЕР  
СИРТИ ЧЎКИШИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

**05.09.02 – “Геотехника”**  
**(Кўприklar, транспорт тоннеллари ва метрополитенлар)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2023**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Нормуродов Шахбоз Улуғбекович**

Метрополитен тоннелларини қалқон усули билан барпо қилишда  
грунт массиви деформацияси ва ер сирти чўкишини тадқиқ қилиш..... 3

**Нормуродов Шахбоз Улуғбекович**

Исследование деформации грунтового массива и оседания земной  
поверхности при проходке тоннелей метрополитена щитовым  
способом..... 21

**Normurodov Shakhboz Ulugbekovich**

Investigation of the deformation of the soil mass and the subsidence of the  
Earth's surface during the tunneling of the subway by the shield  
method..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

**Список опубликованных работ**

**List of published works..... 43**

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ХУЗУРИДАГИ ИЛМЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.15/31.08.2022.Т.73.04 РАҚАМЛИ ИЛМЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**НОРМУРОДОВ ШАҲБОЗ УЛУҒБЕКОВИЧ**

**МЕТРОПОЛИТЕН ТОННЕЛЛАРИНИ ҚАЛҚОН УСУЛИ БИЛАН  
БАРПО ҚИЛИШДА ГРУНТ МАССИВИ ДЕФОРМАЦИЯСИ ВА ЕР  
СИРТИ ЧЎКИШИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

**05.09.02 – “Геотехника”**  
**(Кўприklar, транспорт тоннеллари ва метрополитенлар)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2023**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттэстация комиссиясида B2020.3.PhD/T1874 рақами билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент давлат транспорт университетидида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Миралимов Мирзохид Хамитович**  
техника фанлари доктори, доцент

**Расмий оппонентлар:**

**Юлдашев Шарафитдин Сайфитдинович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Ахмедов Шерзод Баходирович**  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Тошкент архитектура-қурилиш университети**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат транспорт университети ҳузуридаги DSc.15/31.08.2022.Т.73.04 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 йил «16» феврал соат 14:00 даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100167, Тошкент, Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: [rektorat@tstu.uz](mailto:rektorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат транспорт университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (**087** рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100167, Тошкент, Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй. Тел.: (99871) 299-05-66.

Диссертация автореферати 2023 йил «**06**» **02** куни тарқатилди.  
(2023 йил «**06**» **02** даги **01** рақамли реестр баённомаси).



**А.И. Адилходжаев**  
Илмий даражалар берувчи  
Илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**У.З. Шермухамедов**  
Илмий даражалар берувчи  
Илмий кенгаш илмий котиби,  
т.ф.д., профессор

**А.А. Ишанходжаев**  
Илмий даражалар берувчи Илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
т.ф.д., профессор



## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертация аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда тоннел қопламасининг янги принципиал ечимларидан фойдаланиб замонавий транспорт тоннелларини қуриш, уларни мустаҳкамлик ва чидамлилиққа ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш ҳамда уларга илғор лойиҳалаш технологиялари ва техник воситаларни қўлланиши масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган давлатларда, хусусан АҚШ, Швейцария, Жанубий Корея, Россия, Хитой тоннеллар, кўприклар, йўллар ва бошқа транспорт иншоотларининг чидамлилиги ва мустаҳкамлиги замонавий илғор лойиҳалаш технологиялари ва техник воситаларни қўллаш билан таъминланади. Бу борада, жумладан ушбу йўналишда транспорт тоннеллари ва метрополитен қопламаларининг конструктив ечимларини ривожланишига ҳамда уларни турлича деформацион хусусиятларга эга грунт массивларида ишлашнинг тўғри баҳоланишига алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда транспорт тоннеллари ва метрополитен конструкцияларининг ҳажмий режалаш ечимларини такомиллаштирилишига, хусусан турли хил юкланиш ва таъсирлар остида грунт массивлари билан ўзаро таъсирининг ҳақиқий хусусиятлари ҳамда ўзига хос томонларини ҳисобга олувчи иншоотларни ҳисоблаш назариялари ва услубларига алоҳида эътибор қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, ёпиқ усулда қурилувчи метрополитен юриш тоннеллари сунъий бўшлиғи атрофидаги грунт массивининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини аниқлаш масалаларини ечишнинг янги сонли моделлаштириш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланмоқда. Шу билан бирга, грунт мустаҳкамлигини ошириш, ташқи таъсирлар остида юриш тоннелларини қуришда ер юзасини деформацияланиши ва вертикал йўналишларда кўчиш жараёнларини самарали баҳолаш услубларини ишлаб чиқиш масалалари мазкур соҳадаги энг муҳим долзарб вазифалардан ҳисобланмоқда.

Республикамизда йўл-транспорт қурилишини ривожланишига, турли таъсирлар остида қуриладиган ер ости объектлари мустаҳкамлигини таъминлаш тизимларини яратиш ва такомиллаштиришга ёрдам берадиган янги технологияларни яратиш бўйича тадқиқотлар ўтказиш ва уларни амалда қўллаш бўйича кенг кўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. чораларини амалга оширилишига алоҳида эътибор қаратилади. 2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан «Тошкент шаҳар жамоат транспорти тизимини такомиллаштириш ва унинг инфратузилмасини ривожлантириш»<sup>1</sup> бўйича вазифалари белгиланган.. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, хусусан, турли юкланишлар остида метрополитен тоннеллари кучланиш-деформацияланиш ҳолатини ҳисоблаш усулларини тадқиқод қилиш ва такомиллаштириш, жумладан тоннел қазиш механизациялашган машиналари (ТҚММ) орқали

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармони.

қалқон усилида қазишни атрофдаги грунтга кўрсатадиган таъсирини таҳлил қилиш масалалари муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2020 йил 29 октябрдаги “Илм-фанни 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида” ги ПФ-6097-сонли Фармони, 2020 йил 30 июлдаги “Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги ПҚ-4794-сонли Қарори ва 2018 йил 27 апрелдаги “Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги ПҚ-3682-сонли Қарори, 2019 йил 29 октябрда эълон қилинган “Илм-фан ва илмий фаолият тўғрисида” ги ЎРҚ-576-сонли Ўзбекистон Республикаси Қонунида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларга мослиги.** Диссертация иши бўйича тадқиқотлар республика фан ва технологиялари ривожланишининг IV «Математика, механика, иншоотлар сейсмодинамикаси ва информатика» ва XIV «Сейсмология, сейсмик хавфсизлик ва бино ва иншоотлар қурилиши» устувор йўналишларига мос келади.

**Муаммони ўрганганлик даражаси.** Дунё миқёсида грунт массиви деформацияларини ва ер сирти чўкишларини турли физик жараёнлар ва ходисаларни математик ва механик моделлаштириш йўли билан ҳисоблаш услубларини ишлаб чиқилиши каби масалаларни ҳал қилишда бир қатор таниқли хорижий олимлар катта ҳисса кўшганлар, жумладан Т. Asakura, R.D. Borchardt, С.Н. Dowding, G. Lanzano, Т. Matsunaga, С. Chang, Н. Basarir, D. Lee, В.П. Волков, Б.П. Бодров, Б.Ф. Матери, О.Е. Бугаев, С.Н. Беркин, А.Н. Динник, Г.Н. Савин, В.Л. Федоров, Н.И. Безухов, О.В. Лужин, И.Я. Дорман, Н.Н. Шапошников, Н.Н. Фотиева, Н.С. Буличев, Л.В. Маковский, Е.Н. Курбацкий, Ш.М. Айталиев, Ж.К. Масанов<sup>2</sup> ва бошқа олимларнинг илмий изланишлари бағишланган.

Грунт муҳити билан ўзаро таъсирни ҳисобга олган ҳолда ер ости иншоотлари, тоннел қопламаларини деформацияланиш жараёнларини аниқлаш бўйича аналитик ва сонли ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқишда Ўзбекистоннинг таниқли олимларининг илмий ишлари бағишланган.

---

<sup>2</sup>Диссертация мавзуси бўйича халқаро илмий тадқиқотлар шарҳи куйидаги манбалар асосида амалга оширилди: Л.В. Маковский Исследование оса док поверхности земли при строительстве двух параллельных круговых тоннелей мелкого заложения щитовым методом. / Л.В. Маковский, В.Т. Динь // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2017. – № 3 (81), с. 21–23; Lanzano, G. Tunnels under seismic loading: a review of damage case histories and. protection methods. / G. Lanzano, E. Bilotta, G. Russo // Strategy for Reduction of. the Seismic Risk (Fabbrocino & Santucci de Magistris eds.). - 2008. - p. 65-74.; Asakura T., Tsukada K., Matsunaga T., Matsuoka S., Yashiro K., Shiba Y., Oya T. Damage to mountain tunnels by earthquake and its mechanism / T. Asakura, K. Tsukada, T. Matsunaga, S. Matsuoka, K. Yashiro, Y. Shiba, T. Oya // Proceedings of JSCE (Japan Society of Civil Engineers) 659. – 2000. – p. 27-38. ва бошқалар.

Булардан: Т.Р. Рашидов, А.А. Ишанходжаев, Я.Н. Мубараков, Г.Х. Хожметов, М.М. Мирсаидов, Т.К. Абдуллаев, К.С. Султанов, К.Ж. Саямова, Ҳ. Сагдиев, Ш. Юлдашев, М.Х. Миралимов.

Аммо, бир қанча бажарилган тадқиқод ишларида тоннел иншоотлари мавжуд бўлган грунт массивидаги жараёнларни аниқлаш бўйича муҳандислик амалиёти талабларига жавоб берувчи маълум масала ва муаммоларни ечими топилмаган. Бундан ташқари, ТҚММ ёрдамида метрополитен юриш тоннелларини қуришда бир қатор физик жараёнларни, ҳамда грунт массиви деформациялари билан ер сирти чўкишларини тушуниш ва таҳлил қилиш учун илмий изланишлар етарли даражада бажарилмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент Давлат транспорт университетининг илмий тадқиқот ишлари режасига мувофиқ «Ўзбекистон Республикаси регионал шароитларида транспорт иншоотларининг янги конструктив ечимларини, ҳисоблаш усулларини яратиш ва жорий этиш» лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқот мақсади.** Саёз жойлашган метрополитен юриш тоннеллари атрофидаги грунт массиви деформацияларини ҳамда ер сирти чўкишларини ўрганувчи усулларни ишлаб чиқиш ва уларни қурилиш объекти ҳақиқий муҳандис-геологик шароитларини ҳисобга олган ҳолда тадқиқ қилишдан иборат.

**Тадқиқот вазифалари:**

тақдим этилувчи мавзу бўйича аввалги тадқиқод ишларини, шунингдек ер ости иншоотлари атрофидаги грунт массиви деформацияларини ва ер сирти чўкиши мониторинги натижаларини таҳлил қилиш;

Тошкент шаҳар меторополитени юриш тоннелларини ТҚММ ёрдамида қуриш жараёнида ҳудуднинг муҳандис-геологик шароитларини таҳлил қилиш;

ТҚММ ёрдамида юриш тоннелларини қуриш жараёнида қазилувчи жойга таъсир этувчи босимни баҳолаш усулларини таҳлил қилиш;

ТҚММ ёрдамида юриш тоннелларини қуриш жараёнида ер сирти чўкишларини ва атрофдаги грунтнинг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини аниқловчи геомеханик моделини ишлаб чиқиш;

грунт массиви билан ўзаро таъсирда бўлган юриш тоннеллари қопламаларининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини аниқловчи ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқот объекти.** Тоннел қазилуш механизациялашган машиналари (ТҚММ) ёрдамида қуриладиган икки параллел ўзаро таъсир этувчи юриш тоннеллари.

**Тадқиқот предмети.** Метрополитеннинг юриш тоннеллари элементлари, “қоплама-грунт массиви” тизимининг физик-механик хусусиятлари ва ўзаро таъсир жараёнлари, мураккаб муҳандис-геологик шароитларда юриш тоннелларини ТҚММ ёрдамида қуришда вужудга келувчи ер сиртининг

вертикал чўкишларини аниқлаш усулларини ишлаб чиқиш учун мўлжалланган математик моделларни ривожлантириш ва сонли усуллардан фойдаланган ҳолда амалда жорий этиш.

**Тадқиқот усуллари.** Кўриб чиқиладиган тизимларнинг математик моделини яратишни, уларнинг сонли таҳлилини, асосий қоидаларини, шунингдек қурилиш механикасининг замонавий усулларини ўз ичига олади.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

саёз жойлашган ёпиқ усулда қурилувчи метрополитен юриш тоннеллари атрофидаги грунт массивининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини аниқлаш ва ер сирти чўкишини тадқиқ қилувчи ҳисоблаш усули тоннел сунъий бўшлиғини ҳосил қилиш жараёнида массивдаги дастлабки кучланишларни мавжуд кучланишлардан ечиб олиниши асосида такомиллаштирилган;

илк марта маълум ҳажмдаги грунтни қазиб олиш ҳисобига массив мувозанати бузилишидан ва “сунъий бўшлиқ-қоплама-грунт массиви” тизимида юзага келувчи эластик ёки ноэластик зоналарда кўчиш, деформация, кучланишлар ва ер сирти чўкиши кўрсаткичларининг боғлиқлигини ифодаловчи математик модел ишлаб чиқилган;

илк марта қалқонли тоннел қазилуш механизациялашган машинасидан тоннелнинг сунъий бўшлиғи қазиладиган жойига юбориладиган босим деворларга таъсир этувчи турли интервалда бўлган тенг тақсимланган ички юк орқали ер сиртиининг чўкишини ифодаловчи математик модел ва ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган;

чекли элементлар усулини қўллаш орқали саёз жойлашган ёпиқ усулда қурилувчи айлана шаклидаги метрополитен параллел юриш тоннеллари қурилиш босқичларини қопламалардаги кучланишларнинг тақсимланишига таъсири илмий асосланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

қалқонли тоннел қазилуш механизациялашган машинасининг грунт билан юклаш босимини грунт массиви зоналаридаги кучланиш-деформацияланиш ҳолатига таъсирини ўрганиш учун ҳисоблаш модели ишлаб чиқилган;

турли чуқурликда жойлашган Тошкент метрополитенининг Туркистон ва Юнусобод бекатлари орасидаги тоннел сунъий бўшлиқлари атрофидаги грунт массивининг вертикал чўкишлари ва бузилиш (ноустивор) зоналарини аниқлаш имкониятини берувчи компьютер дастурлари яратилган;

диссертация ишида ишлаб чиқилган усуллар ёрдамида юриш тоннеллари атрофидаги ер сиртида ҳосил бўлувчи чўкишларни олди олиниши учун тегишли ишлаб чиқариш ташкилотларига натижалар тақдим этилди. Ушбу натижалар ва қалқонли ТҚММ Herrenknecht комплекси учун грунт билан юклаш босиминининг реал қийматини тавсия қилиниши орқали Тошкент шаҳри геологик шароитларида саёз жойлашган метрополитен юриш тоннеллари қурилишида ҳар 1 метр учун 12 637 856 сўм миқдорида иқтисодий самарадорликка эришилиши ва эксплуатация даврида қутилиши мумкин бўлган авариявий ҳолатларни ҳам олдини олиш имконияти илмий асосланган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот ишлари натижаларининг ишончлилиги масаланинг аниқ ва тўғри қўйилиши ҳамда метрополитен тоннеллари конструкцияларини турли хил юкланиш ва таъсирлар остида грунт массивлари билан ўзаро таъсирининг ҳақиқий хусусиятлари ва ўзига хос томонларини ҳисобга олувчи иншоотларни ҳисоблаш назариялари ва услубларига мос келганлиги билан асосланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот ишлари натижаларининг илмий аҳамияти математик моделлар ва назарий ҳисоблашларни амалга ошириш, ҳамда ёпиқ усулда қурилувчи метрополитен юриш тоннеллари сунъий бўшлиғи атрофидаги грунт массивининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини аниқлаш масалаларини ечиш имконини берувчи сонли моделлаштиришнинг янги ҳисоблаш усули ва алгоритмларини ишлаб чиқиш ва фойдаланиш самарадорлигини асослаш билан изоҳланади.

Тадқиқот иши натижаларининг амалий аҳамияти метрополитен тоннелларини қалқон усули билан барпо қилишда грунт массиви деформацияси ва ер сирти чўкишларини аниқланиши ҳамда уларни таъсирини инобатга олган ҳолда тегишли тавсиялар берилиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларини жорий қилиш.** Метрополитен тоннелларини қалқон усули билан барпо қилишда грунт массиви деформацияси ва ер сирти чўкишини тадқиқ қилиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

67-Кўприкқурилиш отряди қурилиш ҳудуди (Юнусобод метро қурилиши)даги маҳсус механизациялашган тоннел қазилма машинасининг иш жараёни давомида диссертациясида ишлаб чиқилган ҳисоблаш алгоритмлари ва усуллари синовдан ўтказилган ва тадқиқ этилган ҳамда амалий иш таҳлилларини ишлаб чиқаришга жорий этиш ишлари амалга оширилган (“Ўзбекистон темир йўллари” АЖ 2022 йил 11 октябрдаги 01/3524-22-сон маълумотномаси) Натижада параллел тоннел ўқлари орасидаги масофа  $L=4R_0$  бўлганида, бир-бирига таъсир этувчи зонадаги кучланишларнинг миқдори кескин тарзда деярли 30 % камайишига имкон берди.

Ушбу натижалар ва қалқонли ТҚММ Herrenknecht комплекси учун грунт билан юклаш босиминининг реал қийматини тавсия қилиниши орқали Тошкент шаҳри геологик шароитларида саёз жойлашган метрополитен юриш тоннелари қуришлишида ҳар 1 метр узунликда (2,97 метр чуқурлик ва 25,5 метр кенглик) 12 637 856 сўм миқдорида иқтисодий самарадорликка эришилиши ва эксплуатация давридаги мумкин бўлган авариявий ҳолатларни олдини олиш имконияти яратилган.;

**Тадқиқот натижаларини апробацияси.** Тадқиқот натижалари 8 та илмий-амалий конференциялар, шу жумладан 4 та халқаро (шулардан 1 таси SCOPUS базасида) ва 4 та республика миқёсидаги илмий-амалий конференцияларда муҳокама қилинган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 20 та илмий иш чоп этилган. Шу жумладан 9 та мақола Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган

илмий журналларда, шундан 5 та мақола маҳаллий ва 4 та мақола хорижий илмий журналларда чоп этилган. Шунингдек, Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлиги томонидан ЭХМ дастури учун 3 та гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 130 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертациянинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Муаммонинг замонавий ҳолати”** деб номланган биринчи бобида Тошкент шаҳрида метрополитен қурилиши ривожланишининг асосий йўналишлари, тоннел қазилар механизациялашган машиналари ёрдамида юриш тоннелларини қуриш, тоннел атрофи грунтнинг деформацияланиши ва ер сирти чўкишларини қуриш жараёнига таъсири ва тоннелларни қуриш билан боғлиқ деформацион жараёнларнинг муаммолари таҳлил қилинган.

Ҳозирги вақтда Тошкент шаҳрида учта ер ости: Чилонзор, Ўзбекистон ва Юнусобод метро йўллари эксплуатация қилинмоқда. Ўтган беш йилда ичида Юнусобод йўлининг Шахристон бекатидан Туркистон бекатигача қисми давом эттирилди, Ўзбекистон метро йўли Дўстлик бекатида ҳалқа йўли участкаси билан туташтирилди, Сергели метро шохобчаси эса Чилонзор йўлига қўшилди. Мураккаб муҳандис-геологик ва гидрогеологик қурилиш шароитларни ҳисобга олиб Юнусобод метро йўлининг Шахристон ва Туркистон бекатлари орасидаги участкасида тоннеллар ёпиқ усулда ТҚММ ёрдамида қурилди.

Иншоотларни қуриш нарҳини камайтириш нуқтаи назаридан, устиворликни таъминлаш саёз жойлашган йўналишларда бўлиши мумкин (тоннелларни жойлашиш чуқурлиги 6-20 метр). Аммо қурилиш амалиётида ер юзасида улкан чўкишларга, йўл, муҳандислик коммуникациялари, ер усти бино ва иншоотларини ортиқча деформацияланишларига олиб келадиган ва лойиҳалаш босқичида ҳал қилиниши зарур бўлган муаммоларга тўқнашилади.

Бугунги кунга келиб, муҳандислик амалиётида тоннел қопламаларини лойиҳалашда анча содда тақрибий юкланишларга ҳисоблашларнинг муҳандис усуллари қўлланади. Ҳисоблаш усуллари асосий камчилиги – уларнинг қопламани атрофдаги грунт массиви билан ҳақиқий ўзаро таъсир шарт-шароитларини тўлиқ ҳисобга олинмаганида. Демак, бундай ёндашувда тоннел

қопламаси билан атрофдаги грунт массивининг ўзаро таъсир механизми асоссиз бўлиб қолаверади.

Барпо этилаётган сунъий бўшлиқ атрофидаги массивнинг кучланш-деформацияланиш ҳолати (КДХ)ни ўзгариши, ҳамда у билан боғлиқ кўчишлар майдонини ҳосил бўлиши массивга жуда катта таъсир кўрсатиши мумкин, бу майдоннинг таъсири кўчиш мулдасини ҳосил қилиб, ер юзасига қадар етиб бориши мумкин. Шубҳасиз, ер сиртидаги кўчишларнинг миқдори бевосита сунъий бўшлиқ билан массивдаги деформацион кўзғатишлар даражасига боғлиқ. Улар аниқлагандан сўнг, ер сиртидаги кўчишлар миқдорини ҳам баҳолашимиз мумкин бўлади.

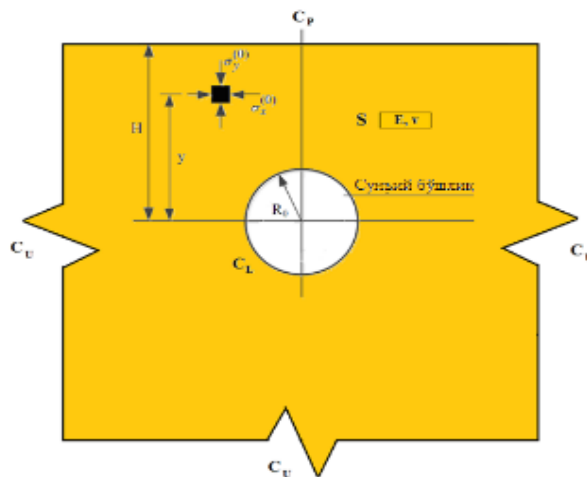
Бундай массивларни кучланш-деформацияланиш ҳолатни математик моделлаштириш кўпинча “грунт массиви-ер ости иншооти” геомеханик тизими ишининг сифатли ва сонли тўғри тасвирини ифодалай оладиган ягона воситадир.

Диссертациянинг **“Тоннел атрофи грунт массивининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини сонли моделлаштириш”** деб номланган иккинчи бобида дастлабки кучланишларни ечиб олиш моделининг киритилиши ва масаланинг қўйилиши орқали чекли элемент моделининг ҳисоблаш усули ва алгоритми ишлаб чиқиш, шунингдек массивнинг кучланганлик ҳолати ва айлана шаклидаги тоннел атрофи бўйича тақсимланиши, ҳамда юриш тоннели сунъий бўшлиғи устиворлиги ва ер сирти вертикал чўкишларини тадқиқ қилиш ишлари келтирилган.

Тоннеллар атрофидаги кучланиш-деформацияланиш ҳолатини текширилиши ер ости иншоотлари механикасининг асосий масалаларидан бири ҳисобланади. Массивдан маълум ҳажмдаги грунтни чиқариб юбориш билан боғлиқ сунъий бўшлиқни қазиш ишлари ундаги мавжуд мувозанатни бузилишига ва кучланишларнинг дастлабки майдонини ўзгаришига олиб келади. Грунт массивида жойлашган сунъий бўшлиқлар атрофидаги кучланишларни эластик ёки ноэластик тақсимланишига оид масалани ечиш жараёнида сунъий бўшлиқ атрофидаги кучланиш ва кўчишларни аниқлашдаги анча катта хатолардан халос бўлишга имкон берувчи ҳисоблаш схемасидан фойдаланиш зарур.

И. В. Родин таклиф этган ҳисоблаш схемаси суперпозиция (устма-уст жойланиш) усулини қўллашга асосланади. Бунда дастлаб бузилмаган грунт массивининг тоннел қазилмасдан аввалги дастлабки (бошланғич) кучланишлар таъсири остидаги кучланиш-деформацияланиш ҳолати (КДХ) аниқланади, қазиш ишлари бажарилгандан сўнг сунъий бўшлиқ контуридаги кучланишларни “ечиб олинган” дан кейинги ҳолати қайта кўрилади. Кучланиш ва деформацияларнинг дастлабки ва қўшимча қийматларининг йиғиндиси масала ечимини беради (1-расм).





1-расм. Тоннел сунъий бўшлиғи атрофида кучланиш-деформацияланиш ҳолатини аниқлаш схемаси

Грунт соҳаси  $S$  даги тўлиқ кучланишларнинг изланаётган компонентлари, икки қўшилувчининг йиғиндиси кўринишида тасвирланади:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_x^{(0)} + \sigma_x^{(1)}; \\ \sigma_y &= \sigma_y^{(0)} + \sigma_y^{(1)}; \\ \tau_{xy} &= \tau_{xy}^{(0)} + \tau_{xy}^{(1)},\end{aligned}\quad (1)$$

бу ерда  $\sigma_x^{(0)}, \sigma_y^{(0)}, \tau_{xy}^{(0)}$  – сунъий бўшлиқ ҳосил қилгунга қадар бузилмаган массивдаги дастлабки (бошланғич) кучланишлар;  $\sigma_x^{(1)}, \sigma_y^{(1)}, \tau_{xy}^{(1)}$  – сунъий бўшлиқ ҳосил қилиш натижасида ечиб олинган кучланишлар орқали вужудга келган қўшимча кучланишлар.

Кўйилган масалани ечиш учун муҳандислик механикаси ҳисоблашлар амалиётида энг кўп фойдаланиладиган чекли элементлар усулидан фойдаланамиз. Моделлаштириш жараёнида:

1. Берилган соҳа фаразий чизиклар ёки тугунлар билан бир қанча чекли элементларга бўлинади.

2. Чекли элементлар тугунлар нуқталарининг чекли сонида ўзаро туташтирилган деб ҳисобланади.

3. Ҳар бир чекли элемент учун, унинг ичидаги изланаётган тавсифни (масалан, кўчишлар) нуқталарининг тавсифлари орқали бир маъноли қилиб белгиловчи базис функция берилади. Базис функциялар учун, бу кўчишлар чекли элемент чегарасида интерполяцияловчи нисбатлар ёрдамида аниқланади:

$$\vec{U}^{(e)} = \sum_{i=1}^n N_i^{(e)}(x, y) \cdot \vec{Z}_i \quad \vec{U}^{(e)} \text{ ёки матрица шаклида } \vec{U}^{(e)} = N^{(e)} \vec{Z} \quad (2)$$

бу ерда  $N_i^{(e)}(x, y)$  – элемент шаклининг базис функциялари,  $i, \dots, n$  – базис функциялар узелларининг умумий сони, яъни моделлаштирилаётган тизим тугунларининг умумий сони.

Натижада умумий тугунли кўчишлар векторига нисбатан чекли-элементли тенгламаларнинг қуйидаги руҳсат этилган тизимига эга бўламиз:

$$K\vec{Z} = \vec{P} + \vec{P}_\sigma \quad (3)$$

бу ерда  $K$  - тизимнинг бикирлик матрицаси,  $\vec{P}$  - тизимга таъсир қилувчи ташқи кучлар вектори,  $\vec{P}_\sigma$  -  $C_p$  ва  $C_L$  контурларга қўйилувчи статик чегаравий кучлар вектори.

Грунт массивининг сунъий бўшлиғига доимий тоннел қопламасини (2-расм) ўрнатилишида (3) формуладаги ифода қуйидаги кўринишда ёзилади:

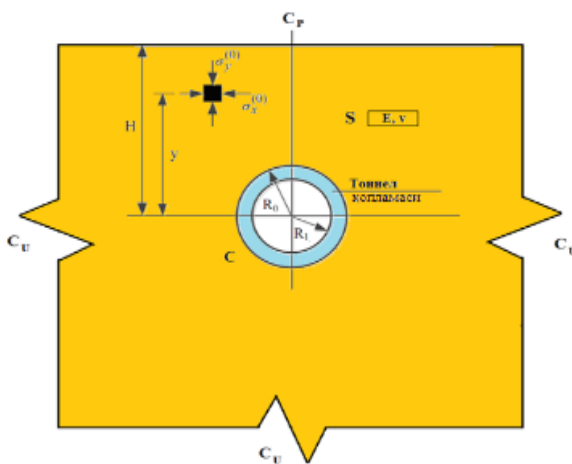
$$K\vec{Z} + \bar{K}\vec{Z} = \vec{P} + \vec{P}_\sigma \quad (4)$$

бу ерда  $\bar{K}$  - тизимдаги тоннел қопламасининг деформацион тавсифларини белгиловчи бикирлик матрицаси.

Чекли элементлар усули билан КДХини таҳлил қилиш статик мувозанат ҳолатининг шартларини бажариб ва эластик хусусиятларнинг бир хил эмаслиги ва геометрик шаклларнинг ўзгариши натижасида тизимда юзага келадиган деформация ва кучланишлар ўзгаришини баҳолашга имкон беради.

Ҳисоблаш натижалари кутбий ва декарт координата тизимларидаги кучланишлар ўртасидаги муносабатлар орқали ушбу ифодалардан олинади:

$$\left. \begin{matrix} \sigma_r \\ \sigma_\theta \end{matrix} \right\} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\theta, \quad \tau_{r\theta} = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\theta \quad (5)$$



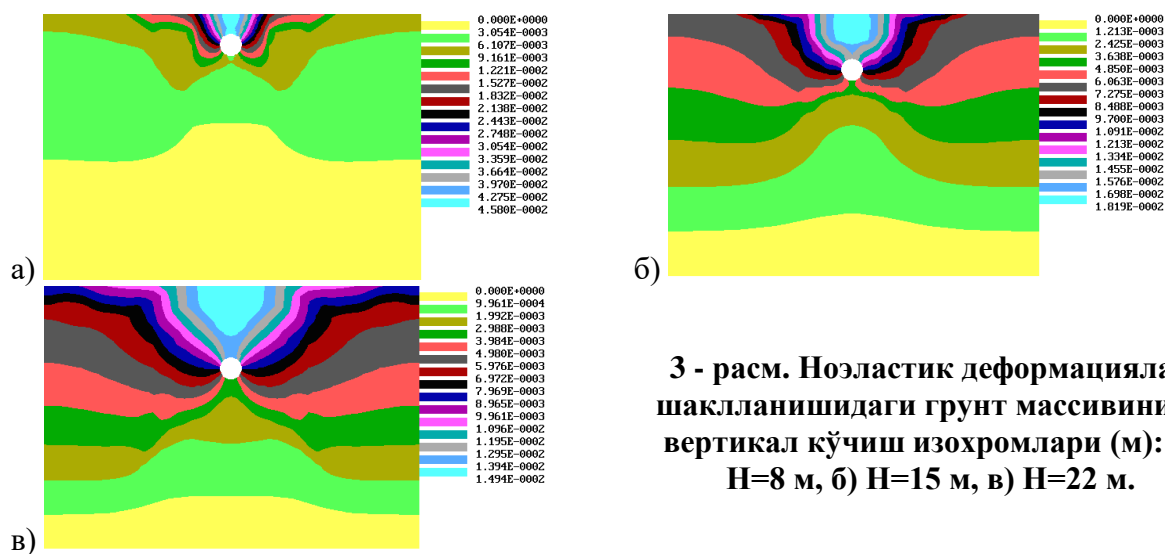
2-расм. КДХ ини аниқловчи ”қоплама-грунт” тизими схемаси

Ясси текислик тизимини физик моделлаштириш изопараметрик чекли элементлар томонидан амалга оширилади. Чекли элементлар усулини қўллаш орқали “сунъий бўшлиқ-қоплама-грунт массиви” чизиқли эластик ва ночизқли ноэластик тизимида юзага келувчи, кўчиш, деформация ва кучланишлар ўзгаришини баҳолаш бўйича сонли моделлаштиришнинг янги ҳисоблаш усули ва алгоритмлари ишлаб чиқилди. Грунт массивида сунъий бўшлиқ ҳосил

қилишда иккита майдон (зона) белгиланади ва ажратилади: (1) эластик – барқарор (устивор) ва (2) пластик – нобарқарор (ноустивор), унда мос равишда кучланишларнинг тақсимоти биринчиси Гук қонунига ва иккинчиси Мор-Кулоннинг мустаҳкамлик шартлари қонунига ( $\tau_{np} = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C$ ) бўйсунади. Грунт жинсларининг емирилиши сирпаниш (сурилиш) туфайли содир бўлади деб фараз қилсак, массивнинг турли бўлимлари жинслари учун сирпаниш қаршилигининг максимал қийматларини ва энг хавфли жойларидаги уринма кучланишларни билиш орқали мустаҳкамлик захираси  $\eta$  коэффицентлари аниқланади:  $\eta > 1$  бўлган зоналар грунт жинсининг маълум бир қийматида мустаҳкамлик захирасига эга эканлигини кўрсатади;  $\eta = 1$  нуқталарда чегаравий ҳолат содир бўлади ва  $\eta < 1$  га эга бўлган бўлган нуқталарда ноустивор майдонлар (зоналар) вужудга келади.

Таклиф этилган усул ва алгоритмларнинг аниқлик даражаси аналитик ечими бўлган ясси текисликдаги массивнинг кучланганлик ҳолатини ва айлана шаклидаги тоннел атрофида кучланишларнинг тақсимланиши бўйича модели масалаларни ечиш ва натижаларни солиштириш (таққослаш) орқали текширилди.

Яратилган усуллар орқали 8, 15 ва 22 метр чуқурликда жойлашган Туркистон ва Юнусобод бекатлари орасидаги тоннел сунъий бўшлиқлари атрофидаги грунт массивининг вертикал чўкишлари, бузилиш ноустивор зоналари аниқланди (3, 4-расмлар).

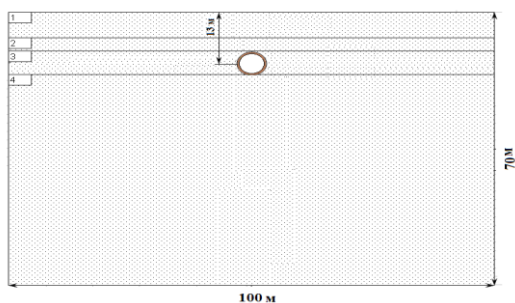


3 - расм. Ноэластик деформациялар шаклланишидаги грунт массивининг вертикал кўчиш изохромлари (м): а) Н=8 м, б) Н=15 м, в) Н=22 м.

Ҳисоблаш жараёнида атрофидаги грунт массивининг реал физик механик хоссаларидан фойдаланилди.

Олинган натижалар метрополитен юриш тоннеллари жойлашиш чуқурлигини ошиб боришида грунтдаги кучланишларнинг ўзгариши, сунъий бўшлиқ контури атрофидаги (яқинидаги) бузилиш ноэластик ва ноустивор деформацияланиш зоналарининг шаклланишидаги ўзига хос қонуниятларини очишга ва аниқлашга имкон берди.



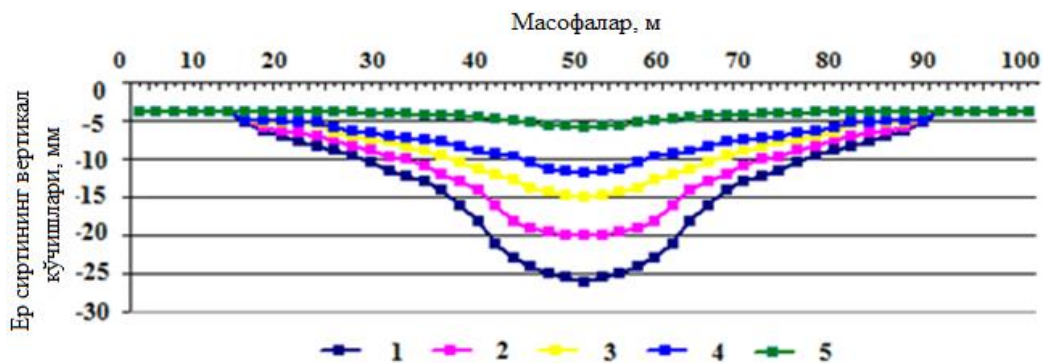


6-расм. Биталик тоннелга эга массивнинг ҳисобий соҳаси



7-расм. Ер сирти чўкишини юкланиш босими катталиги орасидаги боғланиш графиклари

Моделлаштириш натижалари бўйича ер сиртининг вертикал силжиши билан қазилаётган жой рўпара юзасини тўсиш (юклаш)нинг катталиги орасидаги боғланишлар аниқланди, 7 ва 8-расмда тоннел трассасининг кўсатилган участкасида ер юзи чўкишларини қазиладиган жойга таъсир этувчи босимнинг турли қийматларидаги график боғланишлари тасвирланган.

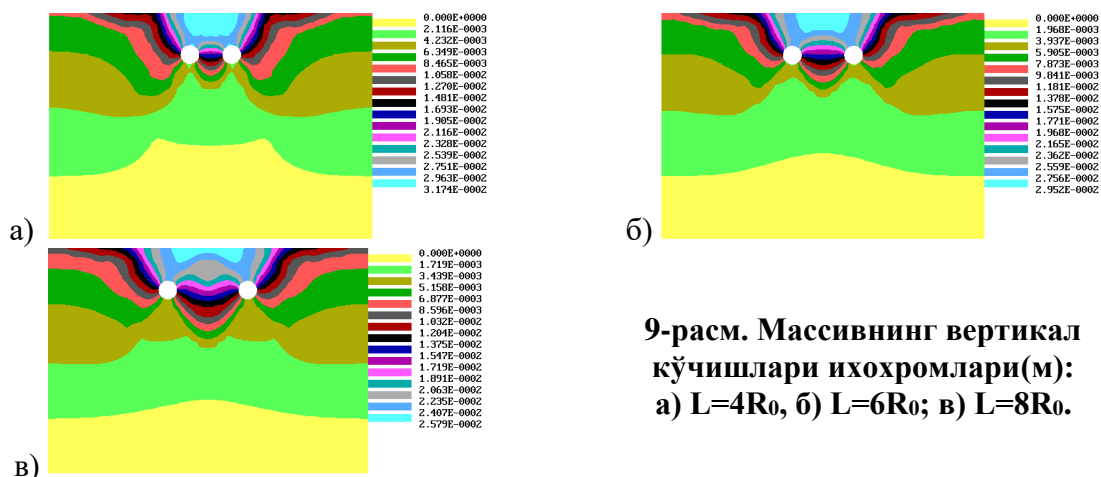


1 –  $q=0$  МПа, 2 –  $q=0,035$  МПа, 3 –  $q=0,076$  МПа, 4 –  $q=0,112$  МПа, 5 –  $q=0,230$  МПа

8-расм. Юкланиш босимининг катталигига кўра ер сирти чўкишларининг мудалари

График боғланишларга кўра кичик юкланишдан ( $0,076$  МПа) фойдаланишнинг ўзи ҳам қазиладиган жой сиртини барқарор сақланиб туришига имкон беради. Аммо, бунда сиртнинг вертикал силжишлари қиймати  $15$  мм ортиқ бўлди. Юкланишни оширишдан келиб чиқадиган энг катта самарага  $230$  кПа дан катта бўлмаган босимларда эришилиши кузатилди.

Кўп вариантли ҳисоблашларни амалга ошириш учун икки параллел тоннеллар орасидаги масофаларнинг учта қиймати олинди: а)  $L=4R_0$ , б)  $L=6R_0$ ; в)  $L=8R_0$ . Юриш тоннеларида қазилган ишларини олиб боришда тоннеллар орасидаги масофа ҳисобга олинган ер сиртини вертикал чўкиши изохромлари 9-расмда тасвирланган. Параллел тоннел ўқлари орасидаги масофа  $L=4R_0$  бўлганида, бир-бирига таъсир этувчи зонадаги кучланишларнинг миқдори кескин тарзда деярли  $30\%$  камайиши ва мавжуд кучланишларнинг концентрацияси тоннеллар марказидан  $1,5R_0$  узоқликдаги масофадан бошлаб уйғунлашиши аниқланди.



9-расм. Массивнинг вертикал кўчишлари ихромилари(м):  
 а)  $L=4R_0$ , б)  $L=6R_0$ ; в)  $L=8R_0$ .

Диссертациянинг “Тоннел қопламаларининг кучланиш-деформацияланиш ҳолати” деб номланган тўртинчи бобида тоннел қопламаларига таъсир қилувчи юкларни аниқлаш ва мустаҳкамликка ҳисоблаш, тоннел қопламаси кучланганлик ҳолатига тампонаж қатлами ва грунт массиви бикрликларининг таъсирини тадқиқ қилиш, босқичма-босқич қурилиш жараёнини ҳисобга олган ҳолда параллел жойлашган тоннеллар қопламаларини ҳисоблаш, ҳамда метрополитен тоннелларини қурилишида ер юзаси чўкишларини олдини олиш ва устиворлигини оширишда техник-иктисодий самарадорликни баҳолаш баён этилган.

Сунъий бўшлиқ контурининг кўчишини қазиладиган жойгача бўлган масофага боғланган ҳолда аниқлаш масаласига кўплаб илмий ишлар бағишланган эди, улар орасида Н.А. Давыдов ва М. Баудендистелларнинг ишларини алоҳида кўрсатиш мумкин. Масалан, М. Баудендистел кўлга киритган натижаларга асосланиб, проф. Н.С. Булычев  $\alpha^*$  қиймати ҳамда сунъий бўшлиқнинг қазиладиган жойгача бўлган нисбий масофа  $l_0 / R_0$  орасидаги ўзаро боғланишни корреляцион таҳлили натижасида экспоненциал боғланишдан фойдаланишни таклиф этган:

$$\alpha^* = 1 - f(x) = 0,64 \left( e^{-1,75 l_0 / R_0} \right) \quad (6)$$

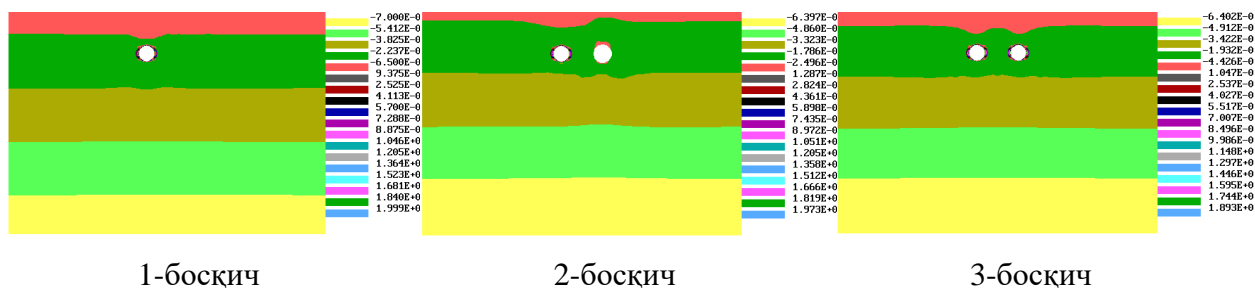
бу ерда  $l_0$  – қазиладиган жой юзасидан ҳисобий кесимгача бўлган масофа;  $R_0$  – сунъий бўшлиқ радиусига тенг бўлган тешик радиуси.

Бажариладиган масалаларда тоннел қопламаларига таъсир қилувчи юкларни дастлабки кучланишлар компоненталарини  $\alpha^*$  қийматга кўпайтириш орқали ҳисоблаб топилади. Сонли ҳисоблашларни амалга ошириш учун кўриб чиқиладиган участкада тоннелнинг жойлашиш чуқурлигини 7, 15, ва 20 м деб қабул қилинади.

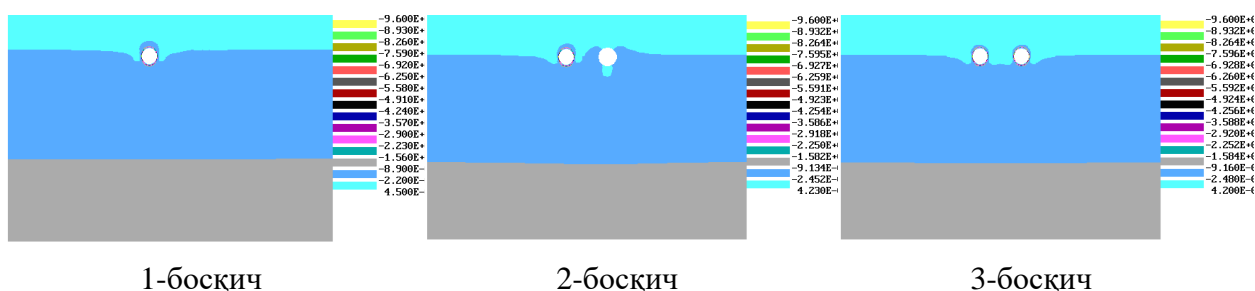
Саёз жойлашган параллел тоннеллар қопламасини ҳисоблаш ишлари мураккаблиги сабабли “қоплама-массив” тизимини деформацияланиши ўрганувчи ишлаб чиқилган услубдан фойдаланиш керак бўлди. Иккита параллел юриш тоннелларига қурилиш босқичма-босқич жараёнини таъсирини ҳамда қопламаларининг кучланганлик ҳолатини баҳолаш бўйича сонли ечимлар келтирилди. Метрополитен юриш тоннелларини қуришда



паралел тоннелларнинг бир-бирига таъсири, жумладан биринчи қурилган тоннел қопламасидаги кучланишларга (чап тоннел) кейинги қурилатган тоннелнинг (ўнг тоннел) сезиларли даражада таъсир қилиши аниқланди.



10-расм. Иншоот қурилишининг 1-3 босқичларида «тоннел - грунт массив» тизимидаги максимал кучланишлар изохромалари, МПа.



11-расм. Иншоот қурилишининг 1-3 босқичларида «тоннел - грунт массив» тизимидаги минимал кучланишлар изохромалари, МПа.

10, 11-расмларда келтирилган кучланишлар изохромлари ва эпюраларидан кўринадик, юриш тоннелларбни қуришда метрополитен чап тоннели қопламасида максимал сиқилувчи ва чўзилувчи кучланишларнинг қиймати ошади.

Яратилган сонли усуллар саёз жойлашган метрополитен юриш тоннелларини қуришда ҳосил бўладиган ер юзасини чўкиш қийматларини ва тоннел қазилуш механизациялашган машинаси томонидан грунтга берилувчи компенсацион босимнинг оптимал қийматларини олдиндан аниқлашда самарали ҳисобланади.

Ер ости метрополитени қурилиши оқибатида ер сиртида ҳосил бўлувчи чўкишлардан кўрилувчи иқтисодий зарар (ер устида жойлашган мавжуд йўл қопламаси ҳамда йўл иншоотлари бузилиши ва бошқалар) 1 метр узунлик ва 25,5 метр кенгликдаги участка учун ҳисобланганда унинг умумий қиймати (12.09.2022 йил ҳолатига)  $S_{\text{қайта тиклаш}} = 12637856$  сўм миқдорга тўғри келиши аниқланди (Тошкент метроси Юнусобод йўлининг иккинчи босқичи қурилиши Шаҳристон бекатидан Туркистон бекатигача бўлган қисмининг ПК 22+10,9 даги бўш грунтдан иборат кесим учун).

Ушбу келтирилган маълумотларга кўра диссертацияда ишлаб чиқилган усулни амалиётга татбиқ этилиши натижасида ер сиртида ҳосил бўлувчи чўкишлардан кўрилувчи иқтисодий зарарни олди олиниб, шу миқдорда иқтисодий самарадорликка эришилди.



Бу эришилган самарадорлик нафақат қурилиш жараёнидаги балки эксплуатация давридаги кузатилиши мумкин бўлган авариявий ҳолатларни олдини олиш имкониятини ҳам яратади.

## ХУЛОСА

1. Мазкур диссертация ишида метрополитен тоннелларини қалқон усули билан барпо қилишда грунт массиви деформацияси ва ер сирти чўкишини тадқиқ қилиш масалалари батафсил ёритилган. Ёпиқ усулда қурилувчи метрополитен юриш тоннеллари сунъий бўшлиғи атрофидаги грунт массивининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини аниқлаш масалаларини ечишнинг янги сонли моделлаштириш усули ишлаб чиқилди.

2. Чекли элементлар усулини қўллаш орқали “сунъий бўшлиқ-қоплама-грунт массиви” чизиқли эластик ва нозелистик тизимида юзага келувчи, кўчиш, деформация ва кучланишлар ўзгаришини баҳолаш бўйича сонли моделлаштиришнинг янги ҳисоблаш усули ва алгоритмлари ишлаб чиқилди. Олинган натижалар метрополитен юриш тоннеллари жойлашиш чуқурлигини оширишда грунтдаги кучланишларнинг ўзгариши, сунъий бўшлиқ контури атрофидаги (яқинидаги) бузилиш нозелистик ва ноустивор деформацияланиш зоналарининг шаклланишидаги ўзига хос қонуниятларини очишга ва аниқлашга имкон берди.

3. Тадқиқот давомида қалқонли ТҚММ комплексининг грунт билан юкланиш босимини грунт массиви зонасининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатига таъсирини ўрганиш учун ҳисоблаш модели ишлаб чиқилди. График боғланишларга кўра кичик босимли юкланишдан (0,076 МПа) фойдаланишнинг ўзи ҳам қазиладиган жой сиртини бир мунча барқарор сақлаиб туришига имкон яратади. Аммо, бунда сиртнинг вертикал силжишлари қиймати 15 мм ортиқ бўлди. Юкланиш босимини оширишдан келиб чиқувчи энг юқори самарага 230 кПа дан катта бўлмаган босимларда эришилди.

4. “Грунт массиви-параллел тоннеллар” тизимининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини ўзгариш қонуниятларини аниқлаш мақсадида кўп вариантли ҳисоблашлар амалга оширилди. Келтирилган график боғланишлардан тоннеллар орасидаги масофаларни тангенциал кучланишларга таъсири анча катта эканлиги, ҳамда тоннеллар орасидаги масофа ошган сари грунтдаги кучланиш камайиб бориши аниқланди. Параллел тоннел ўқлари орасидаги масофа  $L=4R_0$  бўлганида, бир-бирига таъсир этувчи зонадаги кучланишларнинг миқдори кескин тарзда деярли 30 % камайиши ва мавжуд кучланишларнинг концентрацияси тоннеллар марказидан  $1,5R_0$  узоқликдаги масофадан бошлаб уйғунлашиши аниқланди.

5. Тоннел қопламаси кучланганлик ҳолатига тампонаж қатлам ва грунт массиви бикирликларининг таъсирини ўрганишни таҳлил қилишда Тошкент метрополитенининг Шахристон ва Юнусобод бекатлари трассасида 7 метрдан 20 метргача чуқурликларда жойлашган тоннеллар кўриб чиқилди. Олинган натижалар асосида турли чуқурликларда жойлашган қопламанинг ички

контуридаги тангенциал кучланишлар эпюрасини чиқариш орқали грунт массивининг берилган умумий деформация модулларида тоннел қопламасининг гумбаз шипида ва тескари гумбазида максимал чўзилувчи кучланишлар ҳосил бўлиши, максимал сиқилувчи кучланишлар эса қопламанинг ён томонларида вужудга келиши аниқланди. Умумий ҳолда тоннелнинг жойлашиш чуқурлигини катталашини грунт массиви деформация модули қийматларини камайишига нисбатан тоннел қопламасидаги кучланишларнинг ошишига етарли даражада таъсир кўрсатиши аниқланди.

6. Иккита параллел юриш тоннелларига қурилиш босқичма-босқич жараёни таъсирини ҳамда қопламаларининг кучланганлик ҳолатини баҳолаш бўйича сонли ечимлар келтирилди. Қопламанинг ташқи контуридаги тангенциал кучланишларни миқдори тоннел гумбази қисми шипида максимал сиқилувчи кучланишлар вужудга келишини, тоннелнинг ён томонида эса улар чўзилувчи кучланишларга айланишини, иккинчи тоннел қопламаси ички контурида бунинг акси бўлишини кўрсатди. Метрополитен юриш тоннелларини қуришда параллел тоннелларнинг бир-бирига таъсири, жумладан биринчи қурилган тоннел қопламасидаги кучланишларга (чап тоннел) кейинги қурилатган тоннелнинг (ўнг тоннел) сезиларли даражада таъсир қилиши аниқланди.

7. Диссертация ишида ишлаб чиқилган усулни амалиётга татбиқ этилишида метрополитен бекатлари орасидаги юриш тоннеллари атрофидаги ер сиртида ҳосил бўлувчи чўкишларни олди олиниши учун тегишли ишлаб чиқариш ташкилотларига натижалар тақдим этилди, ушбу натижалар ва қалқонли ТҚММ Herrenknecht комплекси учун грунт билан юклаш босиминининг реал қийматини тавсия қилиниши орқали Тошкент шаҳри геологик шароитларида саёз жойлашган метрополитен юриш тоннелари қурилишида ҳар 1 метр учун 12 637 856 сўм миқдорида иқтисодий самарадорликка эришилиши ва эксплуатация давридаги авариявий ҳолатларни ҳам олдини олиш имконияти яритилиши аниқланди.

8. Илмий изланишлар натижасида ишлаб чиқилган “Эластик муҳитдаги метрополитен юриш тоннелларининг ҳисоби” (06.07.2022 йил, DGU 17382), “Тоннеллар атрофидаги грунт массивининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини ҳисоблаш” (30.07.2022 йил, DGU 17946), “Тоғ – грунт жинслари қаршиликларини ҳисобга олган ҳолда тоннел қопламаларини ҳисоблаш” (23.08.2022 йил, DGU 18205) ЭҲМ дастурлари метрополитен юриш тоннелларини лойиҳалаш ва қуриш жараёнларида ҳамда грунтнинг кучланиш – деформацияланиш ҳолатини олдиндан баҳолашда ишлатилади, бу эса қурилиш–монтаж ишларини олиб боришда қурилиш самарадорлигининг ошишига олиб келади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.15/31.08.2022.Т.73.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**НОРМУРОДОВ ШАХБОЗ УЛУГБЕКОВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВОГО МАССИВА И  
ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ  
МЕТРОПОЛИТЕНА ЩИТОВЫМ СПОСОБОМ**

**05.09.02 – “Геотехника”**

**(Мосты, транспортные тоннели и метрополитены)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2023**

Тема диссертации доктора философии по техническим наукам (PhD) зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2020.3.PhD/T1874.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного Совета ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Миралимов Мирзахид Хамитович**  
доктор технических наук, доцент

**Официальные оппоненты:**

**Юлдашев Шарафитдин Сайфитдинович**  
доктор технических наук, профессор

**Ахмедов Шерзод Баходирович**  
доктора философии (PhD) по техническим наукам,  
доцент

**Ведущая организация:**

**Ташкентский архитектурно-строительный университет**

Защита диссертации состоится «16» февраля 2023 г. в 14:00 часов на заседании разового Научного совета при Научного совета DSc.15/31.08.2022.T.73.04 при Ташкентском государственном транспортном университете. (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: [rektorat@tstu.uz](mailto:rektorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (регистрационный номер - 087). (Адрес: 100167, Ташкент ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66).

Автореферат диссертации разослан «06» 02 2023 года.  
(протокол реестра № 01 от «06» 02 2023 года).



**А.И. Адилходжаев**  
Председатель Научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
д.т.н., профессор

**У.З. Шермухамедов**  
Ученый секретарь Научного совета  
по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

**А.А. Ишанходжаев**  
Председатель научного семинара  
при Научном совете по присуждению  
учёных степеней, д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире особое значение придается вопросам строительства современных транспортных тоннелей с использованием новых принципиальных решений тоннельных обделок, совершенствования методов их расчета на прочность и долговечность, применения к ним передовых технологий проектирования и технических средств. В настоящее время долговечность и прочность тоннелей, мостов, дорог и других транспортных сооружений в развитых странах, в частности в США, Швейцарии, Южной Корее, России, Китае обеспечивается за счет использования современных передовых технологий проектирования и технических средств. В связи с этим особое внимание уделяется разработке конструктивных решений транспортных тоннелей и обделок в этом направлении, в том числе правильной оценке их эксплуатации в грунтовых массивах с различными деформационными характеристиками.

В мире проводятся научные исследования с особым вниманием к совершенствованию объемно-планировочных решений транспортных тоннелей и сооружений метрополитена, теорий и методов расчета конструкций, учитывающих реальные особенности и особенности их взаимодействия с грунтовыми массивами, особенно при различных нагрузках и воздействиях. В этом направлении, в том числе приоритетными являются исследования по новому методу численного моделирования для решения задач по определению напряженно-деформированного состояния массива грунта вокруг выработок перегонных тоннелей, строящихся закрытым способом работ. Вместе с тем повышения прочности грунта, деформации земной поверхности при строительстве перегонных тоннелей при внешних воздействиях и разработка методов эффективной оценки процессов в вертикальных направлениях считаются одной из важнейших актуальных задач в данной сфере.

В нашей республике уделяется особое внимание развитию дорожно-транспортного строительства, реализации мероприятий по совершенствованию и построению систем обеспечения прочности строящихся объектов подземных сооружений, находящихся под различными воздействиями. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы поставлены задачи, в том числе «Совершенствование системы общественного транспорта и развитие его инфраструктуры в городе Ташкенте и регионах»<sup>1</sup>. Для выполнения поставленных задач, в частности, важными вопросами являются исследование и совершенствование методики расчета НДС тоннелей метрополитена при различных нагружениях, а также анализ влияния щитовой проходки тоннелей специальными тоннелепроходческими механизированными машинами-комплексами (ТПМК) на деформирования окружающего грунта.

Представленное диссертационное исследование, в определенной мере,

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 г. № УП-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы»

способствует выполнению задач, изложенных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», а также Указ Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2020 года № ПФ-6097 "Об утверждении концепции развития науки до 2030 года", Постановления Президента Республики Узбекистан №ПП-4794 от 30 июля 2020г. «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан», №ПП-3682 от 27 апреля 2018 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», Законе Республики Узбекистан N ЗРУ-576 от 29 октября 2019 г. «О науке и научной деятельности» и других нормативно – правовых документах.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан – IV. «Математика, механика, сейсмодинамика сооружений и информатика» и XIV. «Сейсмология, сейсmobезопасность и строительство зданий и сооружений».

**Степень изученности проблемы.** В мировом масштабе к проблеме разработки методов расчета деформаций породного массива и оседание земной поверхности путем математического и механического моделирования различных физических процессов и явлений посвящены многочисленные исследования ряда известных зарубежных ученых, таких как: Т. Asakura, R.D. Borchardt, С.Н. Dowding, G. Lanzano, Т. Matsunaga, С. Chang, Н. Basarir, D. Lee, В.П. Волков, Б.П. Бодрова, Б.Ф. Матери, О.Е. Бугаева, С. Н. Беркина, А.Н. Динника, Г.Н. Савина, В.Л. Федорова, Н.И. Безухова, О.В. Лузина, И.Я. Дормана, Н.Н. Шапошникова, Н.Н. Фотиевой, Н.С. Булычева, Л.В. Маковского, Е.Н. Курбацкого, Ш.М. Айталиева, Ж.К. Масанова<sup>2</sup> и других ученых.

Вопросам разработки аналитических и численно-расчетных методов определения процессов деформирования подземных сооружений и обделок тоннелей с учетом взаимодействия с грунтовой средой посвящены работы ученых Узбекистана: Т.Р. Рашидова, А.А. Ишанхаджаева, Я.Н. Мубаракова, Г.Х. Хожметова, М.М. Мирсаидова, Т.К. Абдуллаева, К.С. Султанова, К.Ж. Салямовой, Х. Сагдиева, Ш. Юлдашева и М.Х. Миралимова.

Однако в ряде выполненных научно-исследовательских работах не найдены решения отдельных вопросов и задач, отвечающие требованиям

---

<sup>2</sup> Обзор международных научных исследований по теме диссертации был проведен на основе следующих источников: Л.В. Маковский Исследование осадок поверхности земли при строительстве двух параллельных круговых тоннелей мелкого заложения щитовым методом. / Л.В. Маковский, В.Т. Динь // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2017. – № 3 (81), с. 21–23; Lanzano, G. Tunnels under seismic loading: a review of damage case histories and. protection methods. / G. Lanzano, E. Bilotta, G. Russo // Strategy for Reduction of. the Seismic Risk (Fabbrocino & Santucci de Magistris eds.). - 2008. - p. 65-74.; Asakura T., Tsukada K., Matsunaga T., Matsuoka S., Yashiro K., Shiba Y., Oya T. Damage to mountain tunnels by earthquake and its mechanism / T. Asakura, K. Tsukada, T. Matsunaga, S. Matsuoka, K. Yashiro, Y. Shiba, T. Oya // Proceedings of JSCE (Japan Society of Civil Engineers) 659. – 2000. – p. 27-38. и др.

инженерной практики по определению различных процессов в грунтовом массиве, где имеются тоннельные сооружения. Кроме того, проведено недостаточные научные исследования для понимания и анализа ряда физических процессов при строительстве тоннелей с помощью ТПМК, а также деформаций грунтового массива и оседании земной поверхности.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими планам высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнялось в Ташкентском Государственном транспортном университете в соответствии с программой научно-технических исследований по тематике «Создание и внедрение новых конструктивных решений транспортных сооружений в региональных условиях Республики Узбекистан».

**Целью исследования.** Разработка методов изучения деформаций грунтового массива, а также оседаний земной поверхности вокруг перегонных тоннелей метрополитена мелкого заложения и их исследование с учетом реальных инженерно-геологических условий строительной площадки.

**Задачи исследования:**

обзор предыдущих исследований по заявленной тематике, а также результатов мониторинга деформаций породного массива в окрестности подземных сооружений и оседания земной поверхности;

анализ горно-геологических условий района при сооружении перегонных тоннелей метрополитена город Ташкента с помощью ТПМК;

анализ методик оценки давления на забой при сооружении перегонных тоннелей с помощью ТПМК;

разработка геомеханической модели прогноза вертикального и горизонтального перемещения поверхности земли при сооружении перегонных тоннелей с помощью ТПМК;

разработка методики расчета напряженно-деформационного состояния обделок перегонных тоннелей с учетом их взаимодействия с грунтовым массивом.

**Объектом исследования** являются сооружения двух параллельных взаимовлияющих перегонных тоннелей с использованием ТПМК.

**Предметом исследования.** Элементы перегонных тоннелей метрополитена, физико-механические свойства и процессы взаимодействия системы «обделка-грунтовой массив», развитие математических моделей и их реализация с использованием численных методов для разработки метода прогноза вертикальных перемещений поверхности земли при сооружении двух взаимовлияющих перегонных тоннелей ТПМК в сложных инженерно-геологических условиях.

**Методы исследования.** Включает построение математических моделей рассматриваемых систем, их численный анализ, основные правила, а также современные методы строительной механики.

**Научная новизна диссертационного исследования** заключается в следующем:



методика расчета по определению и исследованию напряженно-деформированного состояния массива грунта вокруг перегонных тоннелей метрополитена мелко заложения закрытого способа работ и осадок земной поверхности усовершенствована на основе снятия начальных напряжений в массиве из существующих напряжений в процессе образования выработки тоннеля;

впервые разработана математическая модель, выражающая зависимость показателей перемещений, деформаций, напряжений и осадок земной поверхности в системе «выработка-обделка-грунтовый массив» образующихся за счет нарушения равновесного состояния массива при выемке определенного объема грунта;

впервые на основе задания давление от механизированной щитовой тоннелепроходческой машины в призабойной зоне через равномерно распределенной внутренней нагрузкой, действующей на стены выработки тоннеля в разных интервалах разработана математическая модель и метод расчета для определения оседания земной поверхности;

в результате использования метода конечных элементов научно обоснованы влияние стадий строительства круглых параллельных перегонных тоннелей метрополитена мелко заложения закрытого способа работ на распределение напряжений в обделках.

**Практические результаты исследования** состоят в следующем:

разработана расчетная модель для исследования влияние давления пригруза забоя тоннелепроходческими механизированными комплексами на напряженно-деформированное состояние в зонах грунтового массива;

созданы компьютерные программы, позволяющие обнаруживать зоны вертикального оседания и деформации (неустойчивости) грунтового массива вокруг выработок тоннелей между станциями Туркестанская и Юнусабадская Ташкентского метрополитена, расположенных на разных глубинах;

определены вертикальные оседания грунтового массива и зоны разрушения (неустойчивости) вокруг выработок тоннелей между станциями Туркестанская и Юнусабадская Ташкентского метрополитена, расположенных на разных глубинах;

Результаты исследований, полученные в диссертации, были представлены в соответствующие производственные организации по предотвращению осадок земной поверхности вокруг перегонных тоннелей. Представленные для щитовой проходки по ТПМК Herrenknecht при строительстве перегонных тоннелей мелко заложения в геологических условиях города Ташкента рекомендации по заданию реальной величины давления пригруза забоя, позволяющие получают экономическую эффективность в размере 12 637 856 сум на 1 метр и предотвращать возможные аварийные ситуации в период эксплуатации научно обоснованы.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследований основана на точной и корректной постановке задачи и их

соответствии теориям и методикам расчета сооружений, учитывающим реальные характеристики и спецификации взаимодействия конструкций тоннелей метрополитена с грунтовыми массивами под различные нагрузки и воздействия.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость полученных результатов исследования подтверждается реализацией математических моделей и теоретических расчетов, а также разработкой новых методов расчета и алгоритмов численного моделирования, позволяющих решать задачи по определению напряженно-деформационного состояния грунтового массива вокруг выработок перегонных тоннелей, строящихся закрытым способом работ и обосновывается эффективностью их использования.

Практическая значимость результатов научно-исследовательских работ объясняется определением деформаций грунтового массива и осадок земной поверхности при строительстве перегонных тоннелей метрополитена щитовым способом, а также выдачей соответствующих рекомендаций с учетом их дальнейшего использования.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов по исследованию деформации грунтового массива и оседания земной поверхности при проходке тоннелей метрополитена щитовым способом:

Разработанные алгоритмы и методы прошли апробация в процессе работы тоннелепроходческого механизированного комплекса на участке строительства 67-го Мостоотряда (строительство Юнусабадской линии метрополитена). Анализированные данные практических работ внедрены в реальное производство (АО «Узбекистон темир йуллари» АО № 01/3524-22 от 11.10.2022). В результате расстояние между параллельными осями стержней составило  $L=4R_0$ , что позволило резко снизить величину напряжений в зоне, действующих друг на друга, почти на 30%.

Представленные рекомендации по заданию реальной величины давления пригруза забоя для щитовой проходки с помощью ТПМК Herrenknecht при строительстве перегонных тоннелей мелкого заложения в геологических условиях города Ташкента позволили получить экономическую эффективность в размере 12 637 856 сум на 1 метр, а также предотвратить возможные аварийные ситуации возникающих в период эксплуатации.

**Апробация результатов исследования.** Результаты диссертационного исследования обсуждались на 8 научно-практических конференциях, в том числе на 4 международных (1 из них на базе SCOPUS) и 4 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы всего 20 научных работ. В том числе 9 статей в научных журналах, рекомендованных к публикации основных научных результатов докторских диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, 5 статей опубликовано в отечественных и 4 статьи в зарубежных

научных журналах. Также Агентством по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан получено 3 сертификата для программ на ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 130 страницы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность диссертации, формулируются цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, изложено внедрение в практику результатов исследования, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Современное состояние вопроса»** рассмотрены основные направления развития городских линий метрополитена в г. Ташкенте, строительство перегонных тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами (ТПМК), Влияние процесса строительства тоннелей на деформации грунта вокруг тоннеля и осадки поверхности земли, проблемы определения деформационных процессов, связанных с проходкой тоннелей.

В настоящее время в городе Ташкенте находятся в эксплуатации три линии метро: Чиланзарская, Узбекистанская и Юнусабадская. Недавно получила продление Юнусабадская линия от станции "Шахристан" до станции "Туркистон", Узбекистанская линия на станции "Дустлик" состыковалась с участком кольцевой линии, Чиланзарская линия присоединилась к Сергелийской ветке. Учитывая сложные инженерно-геологические и гидрогеологические условия строительства на участке Юнусабадской линии метрополитена от станции "Шахристан" до станции "Туркистон" тоннели закрытого способа работ построены с применением тоннеле проходческого механизированного комплекса (ТПМК) с грунтопригрузом забоя.

В целях удешевления стоимости строительства объектов приоритет отдается линиям неглубокого заложения (с глубиной заложения тоннелей порядка 6-20 метров). Однако в практике строительства имеют место случаи существенных просадок земной поверхности и чрезмерной деформации грунтов, приводящих к повреждениям дорог, инженерных коммуникаций, наземных зданий и сооружений, которые необходимо решать еще на стадии проектирования.

На сегодняшний день в инженерной практике при проектировании тоннельных обделок применяют инженерные методы расчетов на гораздо более простые ориентировочные нагрузки. Основной недостаток расчетных методов заключается в том, что они не в полной мере учитывают условия реального взаимодействия обделок тоннелей с окружающим грунтовым

массивом. Поэтому при таком подходе механизмы взаимодействия обделки тоннеля с окружающим грунтовым массивом остается не всегда необоснованными.

Изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) массива, окружающего сооружаемую выработку, и образование связанного с ним поля смещений, оказывает весьма существенное влияние на массив, проявление которого может достигать земной поверхности с образованием мульды сдвижения. Очевидно, что величина сдвижения на земной поверхности будет определяться уровнем деформационных возмущений в массиве, непосредственно прилегающем к горной выработке. Найдя их, можно оценить и величины сдвижения на поверхности земли.

Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния таких массивов зачастую является единственным инструментом, способным дать адекватную качественную и количественную картину работы геомеханической системы «грунтовой массив – подземное сооружение».

Во второй главе **«Численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива вокруг перегонного тоннеля»** приведены: построение модели снимаемых напряжений и постановка задачи, методика и алгоритмы расчета конечно-элементной модели, начальное напряженное состояние массива, распределение напряжений вокруг круглого тоннеля, оценка устойчивости выработки перегонного тоннеля и вертикальных перемещений поверхности земли.

Исследование напряженно-деформированного состояния вокруг тоннельных выработок является одной из основных задач механики подземных сооружений. Проходка выработки, связанная с удалением некоторого объема грунта из массива, приводит к нарушению существовавшего в массиве равновесия и изменению начального поля напряжений. При решении задач об упругом распределении напряжений вокруг выработок, расположенных в грунтовом массиве, необходимо использовать расчетную схему, позволяющую избежать существенных ошибок при определении напряжений и смещений в окрестности выработки.

Расчетная схема предложенной И. В. Родиным заключается в применении метода суперпозиции (наложения). Здесь вначале определяется напряженно-деформированное состояние (НДС) нетронутого горного массива под действием сил начальных напряжений без выработки, а затем в нем после проведения выработки определяют дополнительное напряженно-деформированное состояние пород от "снятия" напряжений на ее контуре. При этом сумма начальных и дополнительных полей напряжений и деформаций дает решение задачи (рис. 1).

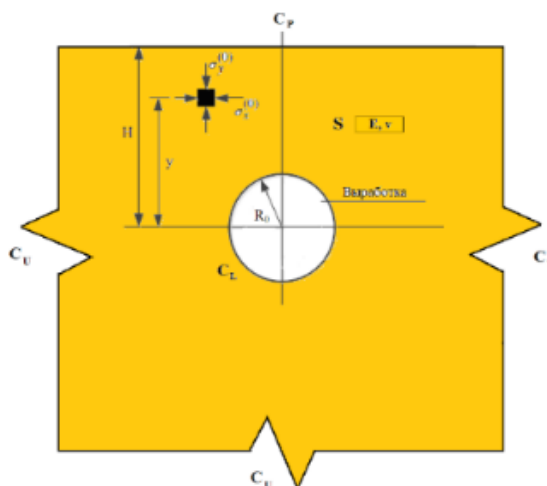


Рис. 1. Схема к определению НДС вокруг тоннельной выработки

Искомые компоненты полных напряжений в грунтовой области  $S$  могут быть представлены, как было указано выше, в виде суммы двух слагаемых:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_x^{(0)} + \sigma_x^{(1)}; \\ \sigma_y &= \sigma_y^{(0)} + \sigma_y^{(1)}; \\ \tau_{xy} &= \tau_{xy}^{(0)} + \tau_{xy}^{(1)},\end{aligned}\tag{1}$$

где  $\sigma_x^{(0)}, \sigma_y^{(0)}, \tau_{xy}^{(0)}$  - начальные напряжения, действовавшие в ненарушенном массиве до образования выработки;  $\sigma_x^{(1)}, \sigma_y^{(1)}, \tau_{xy}^{(1)}$  - дополнительные (снимаемые) напряжения, вызванные образованием выработки.

Для решения поставленной задачи будем использовать метод конечных элементов, который получил наибольшее применение в практике инженерных расчетов. При моделировании:

1. Заданная область делится воображаемыми линиями или точками на некоторое количество конечных элементов (рис.2, а).

2. Конечные элементы считаются соединенными между собой в конечном числе узловых точек.

3. Для каждого конечного элемента задается функция, однозначно определяющая искомую характеристику (например, перемещений) внутри элемента через характеристики его узлов. Эти перемещения для базисных функций в пределах конечного элемента определяются с помощью интерполирующих соотношений:

$$\vec{U}^{(e)} = \sum_{i=1}^n N_i^{(e)}(x, y) \cdot \vec{Z}_i \quad \text{или в матричном виде} \quad \vec{U}^{(e)} = N^{(e)} \vec{Z}\tag{2}$$

где  $N_i^{(e)}(x, y)$  - базисные функции формы элемента,  $i, \dots, n$  - общее число узлов базисных функций, т.е. общее число узлов моделируемой системы.

В результате имеем следующую получаем разрешающую систему конечно-элементных уравнений относительно общего вектора узловых перемещений:

$$K\vec{Z} = \vec{P} + \vec{P}_\sigma \quad (3)$$

где  $K$ - матрица жесткости системы,  $\vec{P}$ - вектор внешних сил, действующих на систему,  $\vec{P}_\sigma$  - вектор статических граничных сил, действующих на контурах  $C_p$  и  $C_L$ .

В случае приложения в грунтовой массив постоянную крепь - обделку тоннеля (рис. 2), то уравнения (3) относительно общего вектора узловых перемещений запишется в следующем виде:

$$K\vec{Z} + \bar{K}\vec{Z} = \vec{P} + \vec{P}_\sigma \quad (4)$$

где  $\bar{K}$ - матрица жесткости в системе, которая отражает деформационные характеристики тоннельной обделки.

Анализ напряженного состояния методом конечных элементов удовлетворяет условиям статического равновесия и позволяет оценить изменения напряжений, вызванные варьированием упругих свойств неоднородности и геометрических форм.

Результаты расчета получаются из следующих выражений через связь между напряжениями в полярной и декартовой системах координат:

$$\left. \begin{matrix} \sigma_r \\ \sigma_\theta \end{matrix} \right\} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\theta, \quad \tau_{r\theta} = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\theta \quad (5)$$

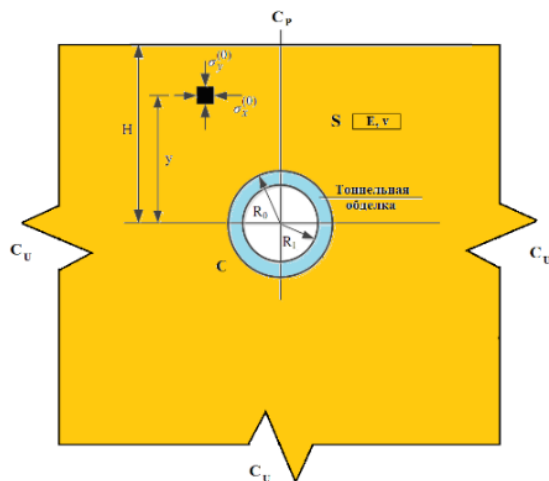


Рис.2. Схема к определению НДС системы «обделка-грунт»

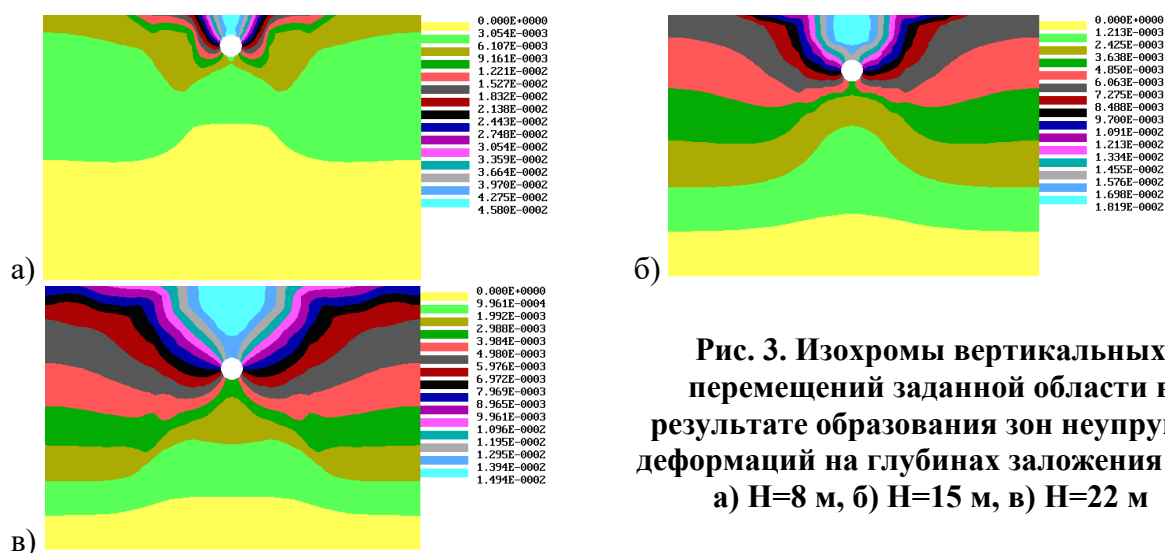
Разбивка грунтовой области осуществляется изопараметрическими конечными элементами. С использованием метода конечных элементов разработан новый метод численного моделирования и алгоритмы оценки изменений перемещений, деформаций, напряжений и осадок земной поверхности, происходящих в линейно-упругой и нелинейной неупругой системе «выработка-обделка-грунтовой массив». При раскрытии выработки в грунтовой массиве выделяются две зоны: упругая - устойчивая (1) и пластическая - неустойчивая (2), в которых распределение напряжений

подчиняется соответственно закону Гука и закону прочности по условию Кулона-Мора ( $\tau_{np} = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C$ ).

Разрушение пород происходит за счет сдвига, зная предельные значения сопротивления сдвигу для пород различных участков массива, определив действующие касательные напряжения по наиболее опасным площадкам в элементах сетки разбивки, можно найти для этих точек значения коэффициентов запаса прочности  $\eta$ : области с  $\eta > 1$  свидетельствуют о том, что порода обладает запасом прочности; при  $\eta = 1$  в точках имеет место предельное состояние и области с  $\eta < 1$  являются неустойчивыми.

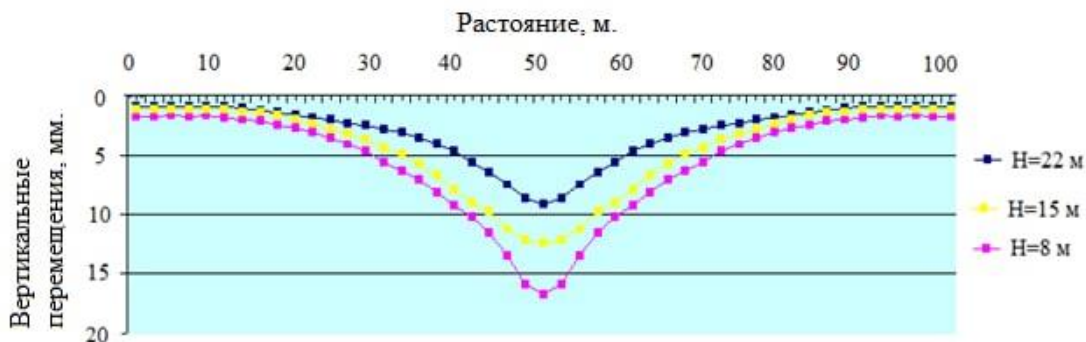
Степень точности предложенного метода и алгоритмов проверялись путем решения модельных задач о напряженном состоянии плоского массива с аналитическим решением и распределением напряжений вокруг круглого тоннеля и сопоставлением результатов.

По разработанным методикам определены вертикальные осадки и неустойчивых разрушенных зон грунтового массива вокруг выработки тоннеля между станциями Туркестанская и Юнусабадская, расположенных на глубинах 8, 15 и 22 метра (рис. 3, 4).



**Рис. 3. Изохромы вертикальных перемещений заданной области в результате образования зон неупругих деформаций на глубинах заложения (м): а) Н=8 м, б) Н=15 м, в) Н=22 м**

В процессе расчета использовались реальные физико-механические свойства окружающего грунтового массива.



**Рис. 4. Осадки поверхности земли при проходке перегонного тоннеля на глубинах: а) Н=8 м, б) Н=15 м, в) Н=22 м**



Полученные результаты позволили выявить и определить специфические закономерности изменения напряжений в грунте, образования контуров зон упругих и неупругих деформаций вокруг выработки с увеличением глубины заложения перегонных тоннелей.

В третьей главе «Деформации массива и осадки земной поверхности при сооружении перегонных тоннелей» рассмотрена технология проходки тоннелей с грунтопригрузом забоя, нагнетание растворов в заобделочное пространство, изучение влияния давления грунтопригруза на забой, на осадку земной поверхности и исследование зоны влияния двух параллельных перегонных тоннелей.

Далее для изучения влияния давления пригруза на забой на напряженно-деформированное состояние массива была разработана расчетная модель участка грунтового массива, вмещающего тоннель кругового очертания, закрепленный железобетонной обделкой, а в головной части – шитом ТПМК (рис. 5).

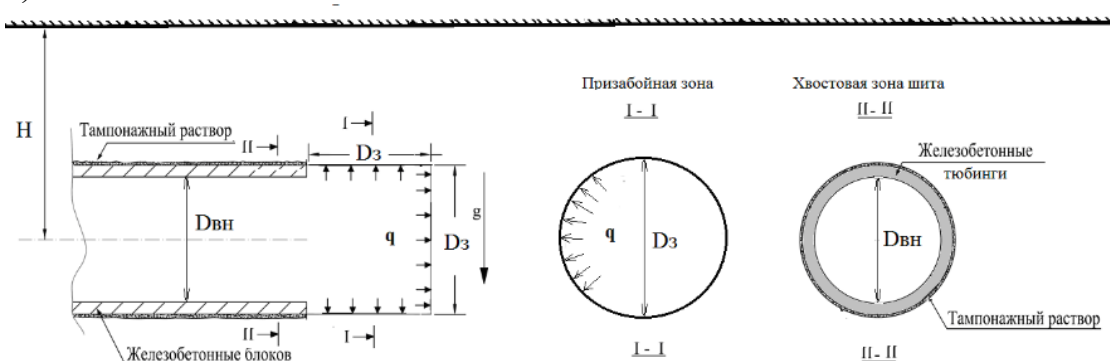


Рис. 5. Расчетная схема для модели учета давления пригруза на забой

При моделировании выбран участок тоннеля от станции Туркистанская на ПК 23+67, где располагается грунт: суглинок насыпной нарушенной структуры с максимальным значением на 6,5 м глубины от поверхности земли (рис. 6). При этом тоннель пересекает 4 слоя грунта.

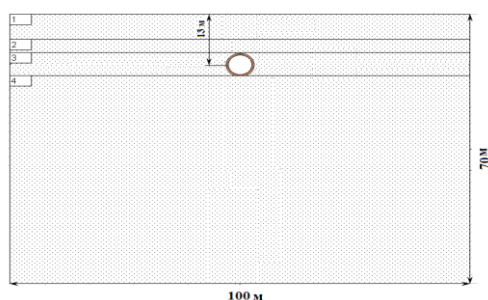


Рис. 6. Расчетная область с тоннелем

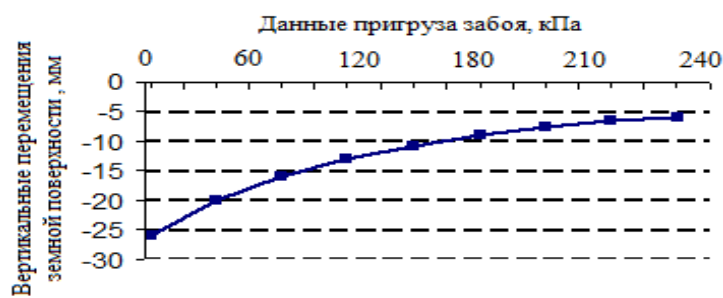
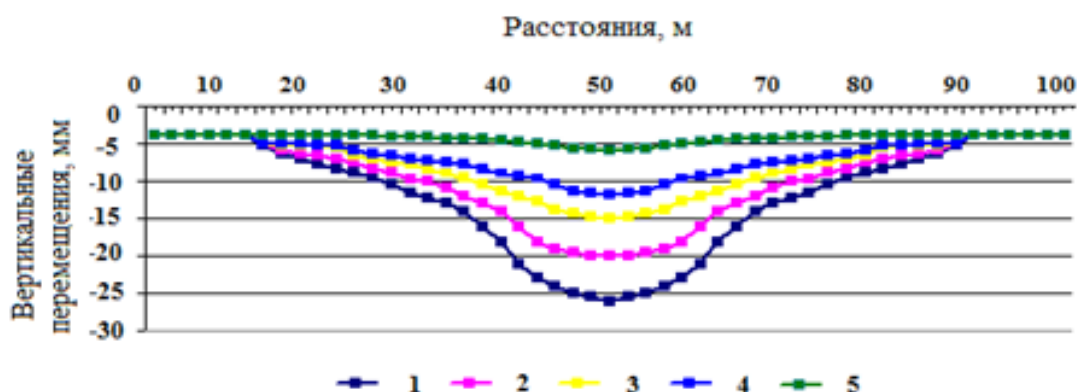


Рис. 7. Графики зависимости осадки поверхности земли от величины давления пригруза на забой

По результатам моделирования получены зависимости вертикального смещения земной поверхности от величины пригруза забоя, на рис. 7 и 8

представлены графические зависимости осадки земной поверхности по трассе тоннеля с различными значениями давления на забой.



1 –  $q=0$  МПа, 2 –  $q=0,035$  МПа, 3 –  $q=0,076$  МПа, 4 –  $q=0,112$  МПа, 5 –  $q=0,230$  МПа.

Рис. 8. Закономерности изменения осадки поверхности земли от величины давления в тоннеле

Согласно графическим зависимостям, применение даже незначительного пригруза (0,076 МПа) позволяет сохранить плоскость забоя в устойчивом состоянии. Однако, в этом случае вертикальные смещения этой плоскости будут весьма значительными - более 15 мм. Наибольший эффект от увеличения пригруза достигается при давлении до 230 кПа.

При проведении многовариантных расчетов принимались три значения расстояний между центрами двух параллельных тоннелей:  $L=12,9$  м.,  $L=18$  м. и  $L=24$  м. На рис. 9 приведены картина деформирования для расчетной области с учетом расстояния между тоннелями, где с увеличением расстояния стали уменьшаться значения вертикальных перемещений поверхности земли.

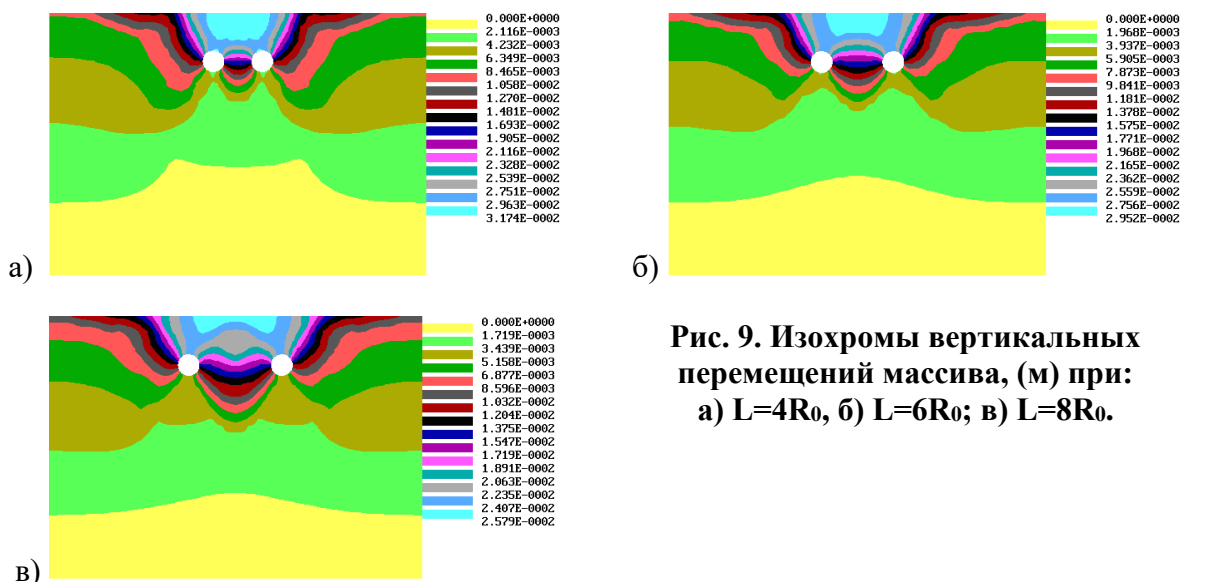


Рис. 9. Изохромные вертикальных перемещений массива, (м) при:  
а)  $L=4R_0$ , б)  $L=6R_0$ ; в)  $L=8R_0$ .

В четвертой главе «Напряженно-деформированное состояние обделок перегонных тоннелей, взаимодействующих с грунтом» выполнены определение нагрузок, действующих на крепи тоннелей, расчет на прочность, исследование влияния особенностей тампонажного слоя и грунтового массива на напряженное состояние обделок тоннелей. Расчет обделок параллельных

тоннелей производится с учетом пошагового процесса строительства, а также далее дана оценка технико-экономической эффективности при предотвращении осадок поверхности земли и повышению устойчивости грунта при строительстве тоннелей метрополитена.

Исследованиям, связанным с нахождением смещений контура выработки в зависимости от расстояния до забоя, посвящено большое количество работ, среди которых можно выделить труды Н.А. Давыдовой и М. Баудендистела (Baudendistel). Так, основываясь на результатах М. Баудендистела, проф. Н.С. Булычев в результате корреляционного анализа соотношения между значениями  $\alpha^*$  и относительным расстоянием  $l_0 / R_0$  до забоя выработки предложил использовать экспоненциальную зависимость:

$$\alpha^* = 1 - f(x) = 0,64 \left( e^{-1,75 l_0 / R_0} \right) \quad (6)$$

где,  $l_0$  – расстояние от плоскости забоя до расчетного сечения;  $R_0$  – радиус отверстия, равный радиусу выработки.

Расчеты обделок тоннелей мелкого заложения являются сложными и необходимо применять разработанную методику из условия совместности деформирования и перемещений системы «обделка – грунтовый массив». В связи с этим ниже рассмотрен пример расчета двух параллельных перегонных тоннелей метрополитена с учетом влияния последовательности их сооружения и оценена напряженное состояние обделок.

При строительстве перегонных тоннелей было установлено, что параллельные тоннели взаимодействуют друг с другом, где на напряжения в обделке первого построенного тоннеля (левый тоннель) существенное влияние оказывает следующий строящийся тоннель (правый тоннель).

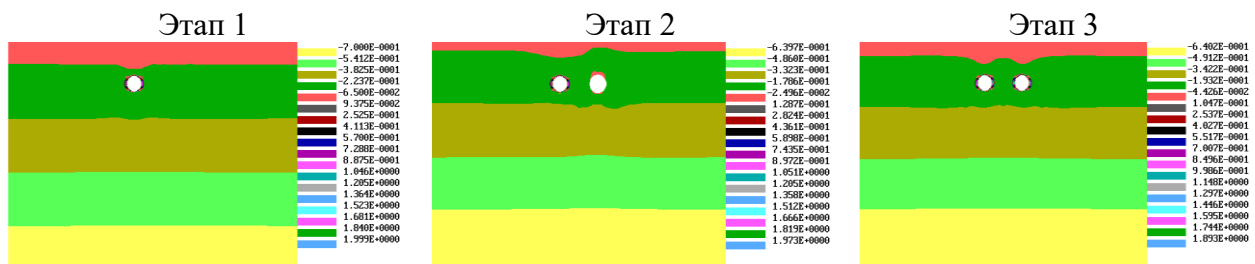


Рис. 10. Изохромы максимальных напряжений в системе «тоннель-грунтовый массив» на 1-3 этапах возведения конструкции, МПа.

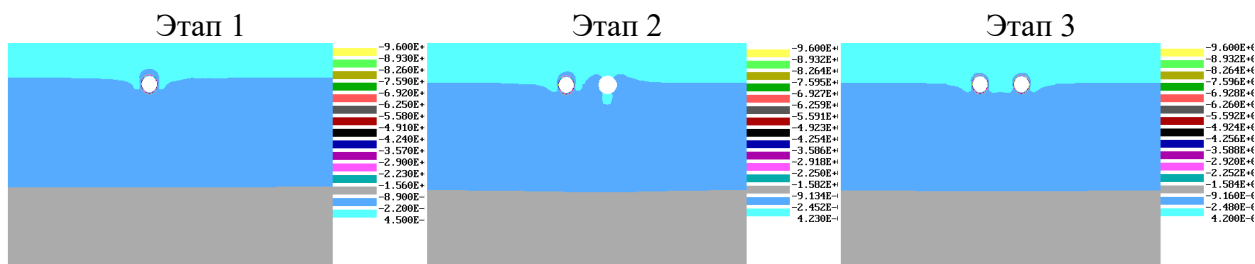


Рис. 11. Изохромы минимальных напряжений в системе «тоннель-грунтовый массив» на 1-3 этапах возведения конструкции, МПа.

Как видно из эпюр напряжений, представленных на рис.10, 11 проходка перегонных тоннелей приводит к увеличению максимальных сжимающих и растягивающих напряжений в обделке левого тоннеля метрополитена.

Разработанные численные методы эффективны для предварительного определения значений осадок грунта, вызванных строительством перегонных тоннелей метрополитена мелкого заложения и оптимальных значений компенсирующего давления, оказываемое на грунт с помощью тоннелепроходческого механизированного комплекса.

Вычисленная на участок длиной 1 метр и шириной 25,5 метр (на дату 12.09.2022 г) суммарная величина экономического ущерба от просадок поверхности земли в связи со строительством подземного метрополитена (повреждения существующего дорожного покрытия и расположенных на ней дорожных сооружений и т.д.) получилась равной сумме  $S_{\text{восст}} = 12637856$  сум (разрез трассы на ПК 22+10,9 при строительстве второго этапа Юнусабадской линии Ташкентского метрополитена от станции Шахристанская до станции Туркестанская, в состав которой входит слабый грунт).

В результате реализации разработанного в диссертации метода согласно вышеприведенным данным в этом объеме было достигнута экономическая эффективность по предотвращению экономического ущерба от образовавшихся на поверхности земли просадок.

Достигнутая эффективность может наблюдаться не только при строительстве, но и во время эксплуатации, что позволяет предотвратить возможные аварийные ситуации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе подробно освещены вопросы исследований деформации грунтового массива и оседания земной поверхности при проходке тоннелей метрополитена щитовым способом. Разработан новый метод численного моделирования для решения задач определения напряженно-деформированного состояния массива грунта вокруг выработка перегонных тоннелей, строящихся закрытым способом работ.

2. С использованием метода конечных элементов разработан новый метод численного моделирования и алгоритмы оценки изменений перемещений, деформаций, напряжений и осадок земной поверхности, происходящих в линейно-упругой и нелинейной, неупругой системе «выработка – обделка - грунтовой массив». Полученные результаты позволили выявить и определить специфические закономерности изменения напряжений грунта, образования неупругих и неустойчивых зон деформирования вокруг контура выработки при увеличении глубины заложения перегонных тоннелей на забой.

3. Далее для изучения влияния давления пригруза на забой щитового ТПМК на напряженно-деформированное состояние массива была разработана расчетная модель. Согласно полученным графическим зависимостям, применение даже незначительного пригруза (0,076 МПа) позволяет сохранить

плоскость забоя в устойчивом состоянии. Однако, в этом случае вертикальные смещения этой плоскости будут весьма значительными - более 15 мм. Наибольший эффект от увеличения пригруза достигается при давлении до 230 кПа.

4. С целью определения закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния системы «грунтовый массив-параллельные тоннели» проведены многовариантные расчеты. Из представленных графических зависимостей обнаружены, что расстояния между тоннелями особенно существенны на тангенциальные напряжения, однако напряжения в грунте снижается с увеличением расстояния. При  $L=4R_0$  установлено, что в зоне влияния тоннелей напряжения резко снижаются почти на 30%, и далее концентрация напряжений стабилизируется при  $1,5R$  измеряемой от центров тоннелей.

5. При анализе и исследовании влияния тампонажного слоя и грунтового массива на прочность тоннельной обделки на глубинах от 7 до 20 метров рассматривался участок трассы, расположенной на между станциями Шахристанская и Юнусабадская Ташкентского метрополитена. На основании полученных результатов при заданных модулях общей деформации грунтового массива путем построения касательных напряжений во внутреннем контуре обделки, расположенного на разной глубине определено, что максимальные растягивающие напряжения генерируются в верхнем и обратном своде обделки тоннеля, а максимальные сжимающие напряжения - по бокам обделки. В целом установлено, что увеличение глубины тоннеля оказывает достаточное влияние на рост напряжений в обделке по сравнению с уменьшением значений модуля деформации грунтового массива.

6. Представлены численные решения задачи оценки влияния этапности строительства на напряженные состояния обделок двух параллельных перегонных тоннелей. Величина тангенциальных напряжений на внешнем контуре первой обделки показали, что максимальные сжимающие напряжения возникают в кровле, по бокам переходят в напряжения растяжения, а во внутреннем контуре второй тоннельной обделки наблюдается обратное. При строительстве перегонных тоннелей было установлено, что параллельные тоннели взаимодействуют друг с другом, на напряжения в обделке первого построенного тоннеля (левый тоннель) существенное влияние оказывает следующий строящийся тоннель (правый тоннель).

7. Полученные в диссертации, результаты были представлены в соответствующие производственные организации для рассмотрения по предотвращению осадок земной поверхности и грунта вокруг перегонных тоннелей. Представленные рекомендации по заданию реальной величины давления пригруза забоя для щитовой проходки с помощью ТПМК Herrenknecht при строительстве перегонных тоннелей мелкого заложения в геологических условиях города Ташкента позволяют получить экономическую эффективность в размере 12 637 856 сум на 1 метр, а также предотвратить возможные аварийные ситуации возникающих в период эксплуатации.

8. В результате научных исследований разработанные программы на ЭВМ: «Расчет перегонных тоннелей метрополитена в упругой среде» (DGU №17382, 07.06.2022г.), «Расчет напряженно-деформированного состояния грунтового массива в окрестности тоннелей» (DGU №17946, 30.07.2022г.), «Расчет тоннельных обделок с учетом отпора породы» (DGU №18205, 23.08.2022г) применяются в процессе проектирования и строительства перегонных тоннелей метрополитена, а также при предварительной оценке напряженно-деформационного состояния грунта. Всё это приводит к повышению эффективности строительства при проведении строительно-монтажных работ.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.15/31.08.2022.T.73.04 ON AWARDING  
SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TRANSPORT  
UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY**

**NORMURODOV SHAKHBOZ ULUGBEKOVICH**

**INVESTIGATION OF THE DEFORMATION OF THE SOIL MASS AND  
THE SUBSIDENCE OF THE EARTH'S SURFACE DURING THE  
TUNNELING OF THE SUBWAY BY THE SHIELD METHOD**

**05.09.02 – “Geotechnics”  
(Bridges, transport tunnels and subways)**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2023**



The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2020.3.PhD/T1874.

The dissertation has been prepared at the Tashkent state transport university.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) and on the website of "ZiyoNet" Information and educational portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific supervisor:** **Miralimov Mirzakhid Khamitovich**  
doctor of technical sciences, docent

**Official opponents:** **Yuldashov Sharafitdin Saifitdinovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Akhmedov Sherzod Bakhodirovich**  
doctor of philosophy (PhD) on technical sciences, docent

**Leading organization:** **Tashkent University of Architecture and Construction**

The defense will be take place on «16» february 2023 at 14:00 o'clock at the meeting of of one time Scientific Council at the Scientific Council DSc.15/31.08.2022.T.73.04 at Tashkent state transport university. Address: 1, Temiryo'Ichilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-00-01, fax: (99871) 293-57-54, e-mail: [rektorat@tstu.uz](mailto:rektorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz).

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Centre of the Tashkent state transport university (Registered number №. 087). (Address: 1, Temiryo'Ichilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan, 1. Phone: (+99871) 299-05-66)

Abstract of the dissertation was distributed on « 06 » 02 2023 year.  
(mailingrecort №. 01 on « 06 » 02 2023 year.).



**A.I. Adilkhodjayev**  
Chairman of Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, professor

**U.Z. Shermukhamedov**  
Scientific secretary of the Scientific Council  
for the awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, professor

**A.A. Ishankhodjayev**  
Chairman of the scientific seminar of the Scientific Council  
for the awarding of scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, professor



## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The purpose of the study.** Development of methods for studying deformations of the soil massif, as well as subsidence of the Earth's surface around the underground tunnels of shallow laying and their study taking into account the real engineering and geological conditions of the construction site.

### **Tasks of the research:**

Analysis of previous research works on the presented topic, as well as soil massif deformations around underground structures and the results of monitoring of ground subsidence;

Analyzing the engineering-geological conditions of the area during the construction of Tashkent metropolitan walking tunnels with the help of Tunneling Mechanized Machines (TMM);

Analyzing the methods of evaluating the pressure affecting the excavated area during the construction of walking tunnels using a TMM;

Development of a geomechanical model that determines surface subsidence and the stress-deformation state of the surrounding ground during the construction of walking tunnels using a TMM;

Development of a method for calculating the stress-strain state of the lining of distillation tunnels, taking into account their interaction with the soil massif.

**The object of the research work.** Two parallel interacting walking tunnels constructed using Tunneling Mechanized Machines (TMM).

**The scientific novelty of the research work** is as follows:

the calculation method for determining and studying the stress-strain state of the soil mass around the underground tunnels of the shallow laying of the closed method of work and the sediment of the earth's surface has been improved based on the removal of initial stresses in the array from existing stresses during the formation of the tunnel;

a mathematical model has been developed that expresses the dependence of the indicators of displacements, deformations, stresses and sedimentation of the Earth's surface in the "production-lining-soil array" system formed due to the disturbance of the equilibrium state of the array when excavating a certain volume of soil;

based on the assignment of pressure from a mechanized shield tunneling machine in the bottom hole zone through a uniformly distributed internal load acting on the walls of the tunnel workings at different intervals, a mathematical model and calculation method for determining the subsidence of the Earth's surface have been developed;

as a result of the use of the finite element method, the influence of the stages of construction of circular parallel distillation tunnels of the subway of shallow laying of a closed method of work on the distribution of stresses in the lining is scientifically substantiated.

**Subject of research.** The elements of metropolitan walking tunnels, the physical-mechanical properties and interaction processes of the "cover-soil massif" system, the development of mathematical models and the use of numerical methods for the development of methods for determining the vertical subsidence of the earth's

surface that occur during the construction of walking tunnels in complex engineering-geological conditions with the help of TMC implementation in practice.

**Research methods.** Includes the creation of a mathematical model of the considered systems, their numerical analysis, basic rules, as well as modern methods of construction mechanics.

**Implementation of research results.** Based on the obtained scientific results on the study of the deformation of the soil massif and the subsidence of the Earth's surface during the tunneling of the subway by the shield method:

the developed algorithms and methods were tested during the operation of the tunnel-tunneling mechanized complex at the construction site of the 67th Bridge Detachment (construction of the Yunusabad metro line), the analyzed data of practical work were introduced into real production (JSC “O‘zbekiston Temir Yo‘llari” No. 01/3524-22 dated 11.10.2022);

The developed methods and the results obtained were submitted to the relevant production organizations for consideration on the prevention of soil deformations around the distillation tunnels and subsidence of the Earth's surface, the presented recommendations on setting the actual value of the bottom loading pressure for shield sinking with the help of TMC Herrenknecht during the construction of shallow-laid distillation tunnels in the geological conditions of the city of Tashkent allowed to obtain economic efficiency in the amount of 12,637,856 soums per 1 meter, as well as to prevent possible emergencies arising during operation.

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 130 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Miralimov M.Kh., Normurodov Sh.U. Construction features of transport tunnels in the mountain areas of Uzbekistan // Журнал “Вестник ТашИИТ”-Ташкент, № 3, 2019 г. 26-35ст. (05.00.00;№11).

2. Miralimov M.Kh., Normurodov Sh.U., The engineering decisions for mitigation of damages in landslide hazardous regions of Uzbekistan // Журнал “Вестник ТашИИТ”-Ташкент, № 1, 2020 г. 8-14ст. (05.00.00;№11).

3. Нормуродов Ш.У. Тоннеларни куриш билан боғлиқ деформацион жараёнларни аниқлаш масалалари // “Academic Research in Educational Sciences (ARES), 2022, 3(10), 447–460б. (№12 Index Copernicus, №14 ReasearchBib, IF=5.7).

4. Normurodov Sh.U. Stress-strain state of metro tunnel construction under seismic impacts // Web of Scientist: International Scientific Research Journal (WoS) ISSN: 2776-0979, Volume 3, Issue 10, Oct. 2022, 713–721pp. (№14 ReasearchBib, №23 Scientific Journal Impact Factor, IF=7.565).

5. Normurodov Sh.U., Miralimov M.Kh., Tayirov Sh.Sh. Calculation technique for typical circular tunnel linings with taking into account the interaction of the structure with the ground // Galaxy international interdisciplinary research journal (GIIRJ) Vol. 9, Issue 6, June (2021), 362–368pp. (№23 Scientific Journal Impact Factor, IF=7.718).

6. Normurodov Sh.U. Assessment of the state of tension of the walking tunnel, taking into account the change in the depth and steepness of the laying of the soil array // “International Engineering Journal For Research & Development” E-ISSN: 2349-0721, Volume 7, Issue 5, Oct. 2022, 12–21pp. (№12 Index Copernicus, №15 Directory of Research Journals Indexing, №23 Scientific Journal Impact Factor, IF=7.169).

7. Normurodov Sh.U. The influence of the tunnel construction process on the deformation of the soil around the tunnel and precipitation of the earth's surface // Galaxy international interdisciplinary research journal (GIIRJ), Vol. 10, Issue 10, June (2022), 494–500pp. (№23 Scientific Journal Impact Factor, IF=7.718).

8. Нормуродов Ш.У., Миралимов М.Х. Напряженно-деформированное состояние конструкции перегонного тоннеля метрополитена при сейсмических воздействиях // Путевой Навигатор №53(79) декабрь 2022 26-30ст. ISSN: 2541-9986, Подписной индекс: ПН335, Включен в Перечень ВАК РФ Индексируется в РИНЦ (eLIBRARY.RU)

9. Миралимов М.Х., Нормуродов Ш.У. Методике численного моделирования колебаний системы «сооружение – грунтовый массив-здание» при действия динамической поездной нагрузка // Журнал “Вестник ТерДУ”-Ташкент, № 3, 2020 г. 27-30ст.

10. M. Miralimov, Sh. Normurodov, M. Akhmadjonov, A. Karshiboev

Numerical approach for structural analysis of Metro tunnel station // II International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering CONMECHYDRO 2021, Road construction, building structures and materials, E3S Web of Conferences 264p., Tashkent, Uzbekistan, April 1-3, 2021y. (№3 Scopus)

### **И бўлим (II часть; Part)**

11. Нормуродов Ш.У., Миралимов М.Х., Аъзамов Н.Ф. Эластик мухитдаги метрополитен перегон тоннелларининг ҳисоби // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве Юстиции Республики Узбекистан, № DGU 17382, г. Ташкент, 06.07.2022 г.

12. Нормуродов Ш.У., Миралимов М.Х. Расчет напряженно-деформированного состояния грунтового массива в окрестности тоннелей // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве Юстиции Республики Узбекистан, № DGU 17946, г. Ташкент, 30.07.2022 г.

13. Нормуродов Ш.У., Миралимов М.Х. Расчет тоннельных обделок с учетом отпора породы // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве Юстиции Республики Узбекистан, № DGU 18205, г. Ташкент, 23.08.2022 г.

14. Миралимов М.Х., Нормуродов Ш.У. Расчет тоннельной обделки при сейсмических воздействиях // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития устойчивой архитектуры и градостроительства и их инновационные решения», Том -II, - Самарканд, СамГАСИ, (протокол № 9 от 17.09.2020), 102-105 ст.

15. Miralimov M.Kh., Normurodov Sh.U. Investigation of way embankment stability on movement of high speed trains // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте инновационные технологии в строительстве, Ташкент-2020, 72-74 ст.

16. Миралимов М.Х., Нормуродов Ш.У. Сравнительный анализ решений плоских задач теории упругости численными методами // «Actual problems of modern science and innovation in the central asian region» proceedings of the international conference 26 September, 2020 y, Jizzakh, Uzbekistan, 189-192p.

17. Миралимов М.Х., Нормуродов Ш.У., Аминов Х.Б. Расчет транспортного тоннеля на сейсмическую нагрузку // «Actual issues and solutions of development of economic sectors of the republic of uzbekistan in modern conditions» Proceedings of the international conference 29-30 January, 2021 y. Jizzakh, Uzbekistan, 286-291p.

18. Миралимов М.Х., Нормуродов Ш.У. Расчет односводчатых станций метрополитена // Международный научно-образовательный электронный

журнал «ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ» Выпуск №22(том 6)  
январь, 2022. 335-338ст.

19. Normurodov Sh.U., Qo‘ldoshev R.O‘.Metropoliten stansiyalari va yer osti inshootlari qurilishida geodezik qurilmalarningning ahamiyati // «Ta’limda raqamli texnologiyalarni tadbiq etishning zamonaviy tendensiyalari va rivojlanish omillari» mavzusida o‘tkazilgan Respublika onlayn ilmiy amaliy konferensiyasi 27-Yanvar 2022 y.-T. 15-18 b.

20. Miralimov M.X., Normurodov Sh.U., Urozov X.O‘ Bir izli metropoliten tunnel qoplamasi hisobi // “Yosh ilmiy tadqiqotchi” 1 xalqaro ilmiy-amaliy anjumani maqolalar to‘plami, 1-2 aprel 2022 y.-Toshkent, 9-12 b.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий-техник журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлари ўзаро мувофиқлаштирилди.

---

Қоғоз бичими 60x84-1/16. Ризограф босма усули Times гарнитураси  
Шартли босма табағи: 3 б.т. Адади: 60 нусха. Буюртма № 43-6/2022  
Нашрга рухсат этилди: 04.02.2023 й.

Тошкент давлат транспорт университети босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100167, Тошкент ш., Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй.



