(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 4
2026

**UO‘K:** 622.841

10.70769/3030-3214.SRT.4.4.2026.5

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

# KON LAHIMLARINI MUSTAHKAMLASHNING NAZARIY VA AMALIY YONDASHUVLARI: XALQARO TAJRIBA VA QIYOSIY-TAHLILIY BAHOLASH



***Toshtemirov Umarali Tulqin o‘g‘li***
*Olmaliq davlat texnika instituti “Konchilik ishi” kafedrasi dotsenti, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), Olmaliq, O‘zbekiston*
*E-mail: toshtemirov.u@odti.uz*
*ORCID ID: 0000-0002-0057-4149*
*Science ID: FSN-0425-0014*

***Annotatsiya.*** *Mazkur maqolada yer osti kon lahimlarining turg‘unligini ta’minlash va ularni mustahkamlash bo‘yicha shakllangan xalqaro ilmiy maktablarning nazariy yondashuvlari, hisoblash usullari hamda zamonaviy texnologik yechimlari qiyosiy-tanqidiy jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqotning asosiy maqsadi turli kon-geologik va geomexanik sharoitlarda qo‘llaniladigan mustahkamlash tizimlarining afzalliklari, cheklovlari va samaradorligini baholash hamda ularni O‘zbekistonning chuqur yer osti konlari sharoitiga moslashtirish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat. Tadqiqotda MDH va Markaziy Osiyo, Yevropa, Shimoliy Amerika, Janubiy Afrika hamda Avstraliya ilmiy maktablarining kon bosimi nazariyalari, massiv–mustahkamlagich o‘zaro ta’siri, deformatsiyaga moslashuvchan va energiya yutuvchi mustahkamlash konsepsiyalari qiyosiy o‘rganilgan. Guzaksoy va Pirmirob konlarining muhandislik-geologik ko‘rsatkichlari asosida tog‘ jinslari massivining kuchlanganlik-deformatsiyalanish holati tahlil qilinib, Pirmirob koni sharoitlari uchun RS2 va FLAC dasturiy komplekslarida bajarilgan sonli modellashtirish natijalari ko‘rib chiqilgan. Tahlil natijalari lahim shipi va tag qismida kuchlanishlar konsentratsiyasi hamda plastik deformatsiya zonalari shakllanishini ko‘rsatgan. Shuningdek, ankerli, romli, torkret-betonli, moslashuvchan va kombinatsiyalangan mustahkamlash tizimlarining ishlash mexanizmlari, yuk ko‘tarish qobiliyati va deformatsiyaga moslashuvchanligi baholangan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, murakkab geomexanik sharoitlarda mustahkamlash vositalarini tanlashda tog‘ jinslarining yoriqliligi, tabiiy kuchlanishlar, suvlanish darajasi va dinamik yuklamalarni kompleks hisobga olish zarurligi asoslangan. Olingan xulosalar kon lahimlarining turg‘unligini oshirish hamda mustahkamlash tizimlarini ilmiy asoslangan holda loyihalashda amaliy ahamiyatga ega.*

***Kalit so‘zlar:*** *kon lahimlari, tog‘ jinslari massivi, geomexanika, kon bosimi, lahim turg‘unligi, mustahkamlash tizimlari, ankerli mustahkamlash, energiya yutuvchi ankerlar, kuchlanganlik-deformatsiyalanish holati, sonli modellashtirish, RS2, FLAC, kombinatsiyalangan mustahkamlash.*

| Received: 03.11.2026 | Accepted: 17.11.2026 | Issue publication: 28.12.2026 |
|---|---|---|

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К КРЕПЛЕНИЮ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ И СРАВНИТЕЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

***Тоштемиров Умарали Тулкин угли***

*Доцент кафедры «Горное дело» Алмалыкского государственного технического института, доктор философии по техническим наукам (PhD), Алмалык, Узбекистан*

***Аннотация.*** *В статье проведён сравнительно-критический анализ теоретических подходов, расчётных методов и современных технологических решений, разработанных международными научными школами для обеспечения устойчивости и крепления подземных горных выработок. Основная цель исследования заключается в оценке преимуществ, ограничений и эффективности различных систем крепления в сложных горно-геологических и геомеханических условиях, а также в определении возможностей их адаптации к глубоким подземным рудникам Узбекистана. В работе рассмотрены теории горного давления, взаимодействие системы «массив–крепь», концепции деформационно-податливого и энергоabsorбирующего крепления, сформировавшиеся в научных школах стран СНГ и Центральной Азии, Европы, Северной Америки, Южной Африки и Австралии. На основе инженерно-геологических характеристик месторождений Гузаксай и Пирмироб проанализировано напряжённо-деформированное состояние массива горных пород, а также рассмотрены результаты численного моделирования в программных комплексах RS2 и FLAC для условий месторождения Пирмироб. Результаты анализа показали концентрацию напряжений в кровле и почве горных выработок и формирование зон пластических деформаций. Проведена сравнительная оценка механизмов работы, несущей способности и деформационной податливости анкерных, рамных, набрызг-бетонных, податливых и комбинированных систем крепления. Установлено, что при выборе крепи в сложных геомеханических условиях необходимо комплексно учитывать трещиноватость массива, естественные напряжения, обводнённость и динамические нагрузки. Полученные результаты имеют практическое значение для повышения устойчивости подземных горных выработок и научно обоснованного проектирования систем крепления.*

***Ключевые слова:*** *подземные горные выработки, массив горных пород, геомеханика, горное давление, устойчивость выработок, системы крепления, анкерная крепь, энергоabsorбирующие анкеры, напряжённо-деформированное состояние, численное моделирование, RS2, FLAC, комбинированное крепление.*

# THEORETICAL AND PRACTICAL APPROACHES TO UNDERGROUND MINE SUPPORT: INTERNATIONAL EXPERIENCE AND COMPARATIVE ANALYTICAL ASSESSMENT

***Toshtemirov Umarali Tulkin ugli***

*Associate Professor, Department of Mining, Almalyk State Technical Institute, Doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD), Almalyk, Uzbekistan*

***Abstract.*** *This article presents a comparative and critical analysis of theoretical approaches, computational methods, and modern technological solutions developed by international scientific schools to ensure the stability and support of underground mine workings. The primary objective of the study is to evaluate the advantages, limitations, and performance of different ground support systems under complex geological and geomechanical conditions and to assess their applicability to deep underground mines in Uzbekistan. The study examines mine pressure theories, rock mass–support interaction, deformation-compatible support concepts, and energy-absorbing reinforcement approaches developed by scientific schools in the CIS and Central Asia, Europe, North America, South Africa, and*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 4
2026

*Australia. Based on the engineering geological characteristics of the Guzaksoy and Pirmirob deposits, the stress–strain behavior of the surrounding rock mass is analyzed, together with numerical modeling results obtained using RS2 and FLAC software for the Pirmirob mine conditions. The analysis indicates stress concentrations in the roof and floor of underground excavations and the development of plastic deformation zones. A comparative assessment is conducted of the operating mechanisms, load-bearing capacity, and deformation compatibility of rock bolts, steel frames, shotcrete, yielding support, and combined reinforcement systems. The findings demonstrate that selecting appropriate support systems under challenging geomechanical conditions requires integrated consideration of rock mass fracturing, in situ stresses, groundwater conditions, and dynamic loading. The study provides practical insights into improving the stability of underground mine workings and supporting scientifically informed ground support design.*
***Keywords:*** *underground mine workings, rock mass, geomechanics, mine pressure, excavation stability, ground support systems, rock bolting, energy-absorbing rock bolts, stress–strain state, numerical modeling, RS2, FLAC, combined ground support.*

**Kirish.** Kon ishlari chuqurlashgani sari lahim atrofidagi tabiiy kuchlanishlar, deformatsiya va dinamik buzilish xavfi ortadi. Bunday sharoitda kon mustahkamlagichini faqat yuk ko‘tarish qobiliyatiga qarab tanlash yetarli emas; uning massiv deformatsiyasiga moslashishini ham hisobga olinishi kerak. Ushbu maqolada kon lahimlarini mustahkamlashga oid nazariy yondashuvlar va amaliy vositalar taqqoslanadi. Guzaksoy va Pirmirob konlariga oid ma’lumotlar asosida ushbu yondashuvlarning mahalliy sharoitlarda qo‘llanish imkoniyatlari muhokama qilinadi. Dunyo konchilik sanoatida foydali qazilma zaxiralarining yer yuzasiga yaqin va o‘rta chuqurlikdagi qismlari asosan o‘zlashtirilgani sababli kon ishlari tobora chuqurroq gorizontlarga ko‘chmoqda. Chuqurlik ortishi bilan massivdagi tabiiy kuchlanishlar kuchayadi, tog‘ jinslarining reologik xossalari va dinamik hodisalar kuchayib, kon lahimlarini uzoq muddat turg‘unlikni saqlash muammosi keskinlashadi. Jahon amaliyotida tayyorlov va kapital lahimlarni qayta mustahkamlash va ta’mirlashga ketadigan xarajatlar ba’zi konlarda umumiy kon-tayyorlov xarajatlarining 20–40% igacha yetishi qayd etilgan. Shu bois ham lahim turg‘unligini ilmiy asoslangan, resurstejamkor va xavfsiz usullar bilan ta’minlash ruda konlarining eng dolzarb yo‘nalishlaridan biridir.

**Adabiyotlar tahlili va metodlar.** Ushbu maqola adabiyotlar sharhi va qiyosiy tahlilga asoslangan. Kon lahimlarining turg‘unligini ta’minlash muammosi geomexanikaning dolzarb masalalaridan biri sifatida XX asr davomida bir nechta mustaqil ilmiy maktablarning shakllanishiga olib keldi. Bu maktablar massivning mexanik xossalarini talqin qilish, mustahkamlashning vazifasini tushunish va loyihalash metodologiyasi bo‘yicha o‘zaro farqlanadi, biroq ularning barchasini birlashtiruvchi umumiy g‘oya mavjud: mustahkamlashning asosiy maqsadi — tog‘ jinslari massivining o‘z ichki mustahkamligini (o‘zini-o‘zi ko‘tarish qobiliyatini) safarbar etish va saqlashdir. Mustahkamlashga oid yondashuvlar massiv va mustahkamlagichning o‘zaro ta’siri, yuk ko‘tarish qobiliyati, deformatsiyaga moslashuvchanlik va energiya yutish xususiyatlari bo‘yicha solishtiriladi. Mahalliy konlarga oid keltirilgan ko‘rsatkichlar xalqaro adabiyotlarda tavsiflangan sharoitlar bilan taqqoslanadi. Mazkur sharhda keltirilgan ma’lumotlar yangi tajriba natijalari sifatida talqin qilinmaydi.

*Mustaqil davlatlar hamdo‘stligi (MDH) va Markaziy Osiyo ilmiy maktabi.* MDH maktabining rivojlanishi uch bosqich sifatida talqin etilishi mumkin:

1-bosqich. XX asr boshidagi empirik “bosim gumbazi” (yuklama) nazariyalari (Protodyakonov, Tsimbarevich), bunda mustahkamlagich oldindan belgilangan bo‘shashgan jins hajmining og‘irligini ko‘taradi;

2-bosqich. XX asr o‘rtalaridagi analitik kontinuum mexanikasi — massiv kuchlanish holati va “massiv–mustahkamlagich” o‘zaro ta'sirining elastik-plastik yechimlari (Ruppeneyt, Liberman), ular “yer osti inshootlari mexanikasi” faniga (Bulichev; Baklashov, Kartoziya) va fizik modellashtirishga (Kuznetsov) rasmiylashtirildi;

3-bosqich. chuqur konlar fenomenologiyasi,

avvalo Ye.I. Shemyakinning zonal dezintegratsiya kashfiyoti, bu klassik “yagona plastik zona” tasavvurini inkor etdi [1].

*Yevropa (Avstriya, Italiya, Skandinaviya) maktabi.* Yevropa maktabining markazida massiv-ning o‘zini-o‘zi ko‘taruvchi qobiliyatini faollashtirish g‘oyasi yotadi. L. Rabcewicz asos solgan Yangi Avstriya tunnel qurish usuli (NATM) torkret-beton va ankerlar yordamida massivga nazorat qilinadigan deformatsiyalanish imkonini berib, undagi kuchlanishlarni yengillatishga qaratilgan [2].

Yevropa maktabining yana bir muhim hissasi — C. Carranza-Torres va C. Fairhurst rivojlantirgan konvergensiya-konfaynment usulidir. Unda uch element — massiv reaksiya egri chizig‘i (GRC), mustahkamlagich tavsif chizig‘i (SCC) va bo‘ylama ko‘chish profili (LDP) — birlashtiriladi; muvozanat GRC va SCC kesishmasida yuzaga keladi, mustahkamlik zaxirasi esa FS = p_max/p_loyiha nisbati bilan baholanadi [3].

Bu usul mustahkamlagich qattiqligi va uni o‘rnatish vaqtining lahim deformatsiyasiga ta’sirini baholashga imkon beradi. Hisoblashda massivning xossalari hamda mustahkamlagichning yuklama ostidagi holati birgalikda ko‘rib chiqiladi.

*Shimoliy Amerika, Janubiy Afrika va Avstraliya maktabi.* Bu maktab qattiq jinsli chuqur konlarda mustahkamlashni loyihalashning empirik va energetik asoslariga katta hissa qo‘shgan. Z.T. Bieniawski (dastlab Janubiy Afrikada) RMR (Rock Mass Rating) geomexanik tasnifini yaratdi: alti parametr — jinsning bir o‘qli mustahkamligi (0–15 ball), RQD (3–20), yoriqlar oralig‘i (5–20), yoriqlar holati (0–30), yer osti suvi (0–15) va yo‘nalish tuzatmasi (0 dan −12 gacha) — bo‘yicha massiv 100 balli shkalada baholanadi va besh sinfga ajratiladi; har bir sinf uchun turg‘un turish vaqti belgilanadi (I sinf, RMR 81–100: 20 yil/15 m oraliq … V sinf, RMR < 20: 30 daqiqa/1 m oraliq) [4].

E. Hoek, P.K. Kaiser va W.F. Bawden qattiq jinsli konlarda mustahkamlashni loyihalashning yaxlit uslubiyotini ishlab chiqdilar [5].

Y. Potvin va J. Hadjigeorgiou (Avstraliya Geomexanika markazi) mustahkamlashni yutilishi lozim bo‘lgan energiya va mustahkamlagich ta'minlay oladigan energiya muvozanati sifatida ko‘radigan yondashuvni rivojlantirdilar; mustah-kamlashning uch funksiyasi — jihozlash, ushlab turish va yuzani saqlash — ajratilib, statik va dinamik (tog' zarbasiga chidamli) loyihalash farqlanadi. M. Cai va P.K. Kaiser tog' zarbasi sharoitida mustahkamlashni loyihalashning to‘rt mezonini — kuch, ko‘chish, energiya va moslashuvchanlik muvofiqligini — asosladilar. Ular kon zarbasining uch buzilish mexanizmini (massivning bo‘rtishi 5–10 %, o‘tish tezligi 3–10 m/s gacha, seysmik silkinish) tavsiflab, anker-larning energiya yutish qobiliyati ishqalanishli boltlarda ≈6 kJ dan po‘lat cho‘ziladigan boltlarda ≈50 kJ gacha o‘zgarishini, biroq amaliy qobiliyat ko‘pincha e’lon qilingan qiymatning yarmidan oshmasligini ko‘rsatdilar. Maktabning o‘ziga xos-ligi — mustahkamlashni energetik muvozanat sifatida ko‘rishi bo‘lib, bu kon zarbasi xavfi mavjud chuqur konlar uchun ayniqsa samaralidir. Ushbu yondashuvlarning asosiy g‘oyalari, vakillari va hisoblash vositalari 1-jadvalda jamlangan [6].

1-jadval

***Lahim turg‘unligi va mustahkamlash bo‘yicha jahon ilmiy maktablarining qiyosiy tavsifi***

| **Maktab** | **Asosiy g‘oya / yondashuv** | **Yetakchi vakillar** | **Asosiy vositalar** |
|---|---|---|---|
| MDH va Markaziy Osiyo | Kon bosimi nazariyasi; massiv–mustahkamlagich yagona tizim; reologiya va zonal dezintegratsiya | Protodyakonov, Tsimbarevich, Ruppeneyt, Baklashov, Bulichev, Shemyakin; Yerjanov | Analitik elastik-plastik yechim, ekvivalent material, yuklama |
| **Maktab** | **Asosiy g‘oya / yondashuv** | **Yetakchi vakillar** | **Asosiy vositalar** |
| Yevropa | Massivning o‘zini-o‘zi ko‘tarishini faollashtirish; nazorat qilinadigan deformatsiya | Rabcewicz, Kovári, Lunardi, Barton, C.C. Li, Barla | NATM, ADECO-RS, Q-tizimi, D-bolt, konvergensiya-konfaynment |
| Shimoliy Amerika, Janubiy Afrika va Avstraliya | Empirik tasnif + energetik (demand–capacity) dinamik loyihalash | Bieniawski, Hoek, Brown, Kaiser, Potvin, Hadjigeorgiou | RMR, Hoek–Brown/GSI, energiya yutuvchi dinamik mustahkamlash |

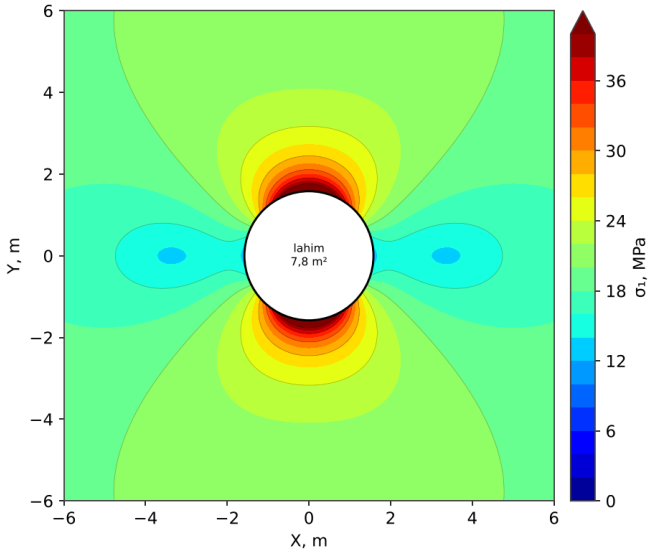
Ushbu 1-jadvaldagi yondashuvlar turli loyihalash vazifalariga xizmat qiladi. MDH va Markaziy Osiyo maktabida kon bosimi hamda massiv–mustahkamlagich tizimining mexanikasi, Yevropa maktabida massivning yuk ko‘tarish xususiyatini saqlash, Shimoliy Amerika, Janubiy Afrika va Avstraliya amaliyotida esa empirik tasnif va dinamik yuklamalar ustuvor o‘rin tutadi. Mahalliy konlarda ularni qo‘llash uchun yoriqlilik, tabiiy kuchlanishlar va lahim deformatsiyasiga oid o‘lchovlar zarur.

**Natijalar.** “Olmaliq kon-metallurgiya

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 4
2026

kombinati” AJ tarkibidagi Guzaksoy, Pirmirob, oltin rudali konlar oltin-kvarsli rudalanishiga mansub bo‘lib, rudali zonalar vulkanogen jinslarda, tektonik jihatdan murakkab va intensiv yoriqlangan massivda yotadi. Guzaksoy koni Au-Ag-Te rudalanishi bo‘lib, ruda 2000 m dan ortiq chuqurlikka cho‘zilgan. Hudud G‘arbiy Tyan-Shanning yuqori seysmik mintaqasida joylashgan, bu esa massivning dinamik ta’sirga moyilligini oshiradi. Shunday qilib, O‘zbekiston konlari geomexanik jihatdan yuqori kuchlanishli, bloklangan va seysmik faol toifaga kiradi — bu holat kon bosimi va mo‘rt buzilish xavfini kuchaytiradi. Guzaksoy konida o‘tkazilgan tadqiqot natijalari massivning kuchlanish-deformatsiya holatini batafsil tavsiflash imkonini berdi. Tog‘ jinslarining mustahkamlik koeffitsiyenti *f=8÷13* oralig‘ida o‘zgaradi; yoriqlilikni o‘rganish bo‘yicha o‘lchash ishlari amalga oshirildi hamda dastlabki kuchlanishlar bo‘yicha qiymatlar olingan. Bu natijalar massivda tektonik kelib chiqishli gorizontal kuchlanishlar mavjudligini va ular vertikal kuchlanishdan 1,3 baravar katta ekanini ko‘rsatdi. Pirmirob konida tog‘ jinslari asosan kvarsli, kvars-serisitli va kvars-karbonatli metasomatitlardan tashkil topgan. Bu yerda tog‘ jinslarining mustahkamlik koeffitsiyenti *f=8,53÷12,8*, zichligi 2,65÷2,75 t/m³, massivdagi gorizontal kuchlanishlar esa 1,5γH÷2,2γH ni tashkil etadi. Gidrogeologik sharoit yoriqlar bo‘ylab tomchilab suv kelishi bilan tavsiflanib, bu lahim atrofidagi jinslarning namlanishiga va ularning mustahkamligi pasayishiga olib keladi, ayniqsa loyli va serisitli jinslarda. Analitik baho faqat doiraviy kesim va bir jinsli muhit uchun o‘rinli bo‘lgani bois, real geometriya va murakkab sharoitlarni hisobga olish maqsadida massivning kuchlanish-deformatsiya holati sonli usullar — RS2 (chekli elementlar usuli) va FLAC (chekli farqlar usuli) dasturiy komplekslarida modellashtirildi. Modellashtirish Pirmirob koni parametrlari asosida bajarildi: ko‘ndalang kesim yuzasi 7,8 m², chuqurlik H≈400 m, γ=2,7 t/m³, yon bosim koeffitsiyenti K=1,8 [7].

Sonli modellashtirish natijalari analitik baho bilan sifat jihatdan mos keldi: eng yuqori bosh kuchlanish σ₁ lahim shipi va tagida, eng katta to‘liq ko‘chish ham shu zonalarda kuzatildi; lahim atrofida noelastik (plastik) deformatsiya zonasi shakllandi.




***1-rasm. Lahim atrofida bosh kuchlanish σ₁ ning taqsimlanishi:***

*(RS2, chekli elementlar usuli; ekvivalent doiraviy kesim). Qizil zonalar — lahim shipi va tag qismidagi kuchlanish konsentratsiyasi.*

Murakkab kon-geologik sharoitlarda metall rom va yog‘och tirgaklarning ish holati lahim atrofidagi jinslarning deformatsiyasiga bog‘liq. Yuklama romning hisobiy imkoniyatidan oshsa, uning egilishi va lahim ko‘ndalang kesim yuzasining torayishi bilan kuzatilishi mumkin. Bu holat qayta mustahkamlash va ta’mirlashni talab qiladi. Biroq bunday kuzatuvlarni barcha ankerli tizimlarga tatbiq etib bo‘lmaydi: ankerning ishlash mexanizmi uning konstruksiyasi, mahkamlash usuli va o‘rnatish sifatiga bog‘liq.

**Muhokama.** Mustahkamlash vositalarini ishlash mexanizmiga ko‘ra passiv, faol, mos-lashuvchan va kombinatsiyalangan tizimlarga ajratish mumkin. Ular qat’iy ketma-ketlikda bir-birini almashtirmaydi; tanlov lahim joylashgan chuqurligi, kuchlanishlar, yoriqlilik va kutiladigan deformatsiyaga bog‘liq.

Faol mustahkamlash massivni ichkaridan mahkamlaydi va lahim atrofida yagona yuk ko‘taruvchi qatlam (gumbaz) hosil qiladi. Ankerlar biriktirish mexanizmiga ko‘ra uch sinfga ajratiladi:

- butun uzunlik bo‘ylab mexanik biriktirish (CMC — qotishma armatura),
- butun uzunlik bo‘ylab ishqalanish (CFC — Split Set, Swellex) va
- nuqtaviy biriktirish (DMFC — pona ankerlar

va deyarli barcha energiya yutuvchi ankerlar).

Ularning yuk ko‘tarish qobiliyati keng diapazonda o‘zgaradi: ishqalanishli ankerlar (Split $Set \approx 51-90$ kN, $Swellex \approx 121-130$ kN) katta deformatsiyaga yo‘l qo‘yadi, ammo qobiliyati past; mexanik va qotishma armatura ankerlari (≈160–205 kN) qattiq va yuqori qobiliyatli; troslar esa ≈ 500–1000 kN gacha yuk ko‘tarishi 2-jadvalda keltirilgan.

Ankerlar oralig‘i va uzunligi mustahkamlangan zonaning birgalikda ishlashini ta’minlashi kerak. Adabiyotlarda keltirilgan $S \leq \frac{L_a}{2}$ nisbatini qo‘llashda massiv tuzilishi va buzilish zonasining chuqurligi ham hisobga olinadi [8].

Torkret-beton lahim yuzasidagi mayda tog‘ jinsi bo‘laklarining ko‘chishini cheklaydi va boshqa mustahkamlash elementlari bilan birga ilashishini ta’minlaydi. Torkret-beton qalinligi lahim sharoiti va loyihaviy hisobga qarab belgilanadi.

2-jadval

***Mustahkamlagich elementlarini tanlash va dala sharoitida tekshirish mezonlari***

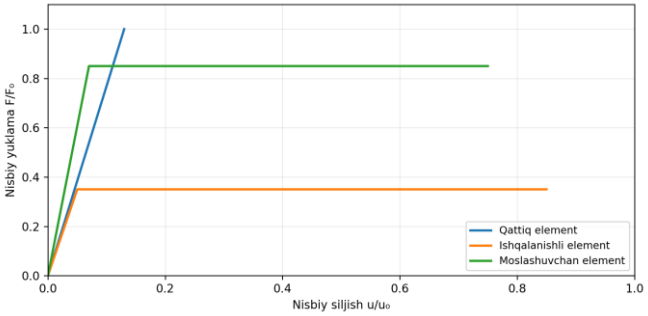
| Element | Ishlash mexanizmi | Qo‘llash masalasi | Tekshiriladigan omil |
|---|---|---|---|
| Split Set va Swellex | Ishqalanish va jins bilan kontakt | Yoriqli massivni biriktirish | Quduq diametri, kontakt, sug‘urish sinovi |
| Mexanik anker | Mahalliy tayanch va tortish | Tayanch nuqtasining ishonchliligi | Mahkamlash zonasi, oldindan tortish |
| Qorishma yoki smola bilan mahkamlangan anker | Yukni mahkamlash muhiti orqali uzatish | Qatlamlarni birgalikda ishlatish | Quduq tozaligi, qorishma to‘lishi, qotish |
| Tros | Chuqurroq qatlam bilan bog‘lash | Buzilish zonasi chuqurligi | Uzunlik, in’eksiya sifati, kontakt |
| Energiya yutuvchi anker | Nazoratli siljish yoki po‘lat cho‘zilishi | Katta deformatsiya va dinamik talab | Sinovdagi kuch–siljish egri chizig‘i |
| Siljuvchan rom | Bo‘g‘imlarda siljish orqali moslashish | Kontur deformatsiyasi | Bo‘g‘im yig‘ilishi va siljish imkoniyati |

Moslashuvchan va energiya yutuvchi mustahkamlash yuqori kuchlanishli, katta deformatsiyali va dinamik sharoitlar uchun ishlab chiqilgan. U ikki mexanizm asosida ishlaydi: nazorat qilinadigan siljish — konus yoki sterjen oldindan belgilangan yuklamada qotishma yoki muftadan sirpanib o‘tadi (konusli bolt, Garford, Roofex, He/CRLD); po‘latning cho‘zilishi — sterjen o‘zining butun uzunligi bo‘ylab plastik cho‘ziladi (D-bolt). Metall romlar orasida siljuvchan bo‘g‘imli moslashuvchan ramalar segmentlarning o‘zaro sirpanishi hisobiga o‘zining maksimal qobiliyatining 45–55 % iga teng qarshilik ko‘rsatadi [9].

Energiya yutish kuch–siljish egri chizig‘i ostidagi yuza orqali izohlanadi:

$$E = \int_{\square}^{\square} F(u)du \quad (1)$$

Bir elementning kJ dagi sig‘imini butun tizimning kJ/m² dagi ko‘rsatkichi bilan tenglashtirib bo‘lmaydi, bunda ankerlar zichligi va metal to‘rning o‘zaro ishlashi hisobga olinadi. Qattiq, ishqalanishli va energiya yutuvchi ankerlarning yuklama–ko‘chish tavsiflari 2-rasmda ko‘rsatilgan.




***2-rasm. Anker turlarining shartli yuklama–siljish tavsiflari.***

Kombinatsiyalangan mustahkamlash rama, torkret-beton, anker, tros va in'eksiyani birgalikda qo‘llab, har bir elementning ustunligidan foydalanadi va yuklamani ular o‘rtasida qayta taqsimlaydi. Murakkab (yumshoq, yoriqli, siqiluvchan) sharoitda alohida element yetarli bo‘lmaydi, chunki buzilish zonasi ko‘pincha anker uzunligidan chuqurroq bo‘ladi. Zamonaviy tadqiqotlar ko‘rsatadiki, in'eksiya avval tog‘ jinsini “mustahkamlab”, uning birikuvini oshiradi, ankerlar va troslar faol mustahkam halqa hosil qiladi, torkret-beton va metall to‘r esa yuzani saqlaydi; natijada kombinatsiyalangan tizim lahimni qayta mustahkamlash zaruratini sezilarli darajada kamaytiradi.

Bunda elementlar o‘rtasida qattiqlik va energiya yutish qobiliyatining muvofiqligi hal qiluvchi talab hisoblanadi — haddan ortiq qattiq element yuklamani zaifroqga o‘tkazib, birinchi bo‘lib buziladi. Mustahkamlash evolyutsiyasining eng yangi tarmog‘i — korroziyaga chidamli kompozit materiallardir. Bazalt-plastik (BFRP) ankerlar po‘latdan yuqori cho‘zilish mustahkamligiga (≈1000–1500 MPa) ega bo‘lib, og‘irligi po‘latning chorak qismini tashkil etadi va zanglamaydi, biroq bikrligi po‘latning uchdan biriga teng; tola bilan armirlangan torkret-beton (FRS) esa metall to‘r o‘rnini bosib, yoriqlardan

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 4, № 4
2026

keyingi yuklamani (mustahkamlik emas, qayishqoqlik/energiya hisobiga ≈280–450 J) qabul qiladi. Bu materiallar namli va agressiv kon suvlari sharoitida, hamda keyinchalik qazib o‘tiladigan ankerlarda ayniqsa foydalidir. Ushbu materiallarni tanlashda korroziya muhiti, bikrlik va talab etiladigan deformatsiya birgalikda baholanadi.

**Xulosa.** Ko‘rib chiqilgan adabiyotlarda lahim turg‘unligi kon bosimi, massivning deformatsiyasi va mustahkamlagichning ish xususiyatlari o‘rtasidagi bog‘liqlik orqali tushuntiriladi. Empirik va analitik usullar dastlabki loyihalashga xizmat qiladi, ammo murakkab yoriqli va yuqori kuchlanishli massivlarda ularni kon kuzatuvlari hamda sonli hisoblash bilan to‘ldirish zarur. Guzaksoy va Pirmirob konlari bo‘yicha keltirilgan ma’lumotlar kon mustahkamlagichini tanlashda gorizontal kuchlanishlar, yoriqlilik va suv ta’sirini hisobga olish kerakligini ko‘rsatadi. Faol, moslashuvchan va kombinatsiyalangan tizimlar shu omillarga qarab baholanishi lozim.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

[1] Hoek, E., & Wood, D. F. (1987). Support in underground hard rock mines. In J. Udd (Ed.), Underground support systems (CIM Special Volume 35).
[2] Rabcewicz, L. V. (1964–1965). The New Austrian Tunnelling Method. Water Power, November 1964, 453–457; December 1964, 511–515; January 1965, 19–24.
[3] Carranza-Torres, C., & Fairhurst, C. (2000). Application of the convergence-confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek–Brown failure criterion. Tunnelling and Underground Space Technology, 15(2), 187–213.
[4] Bieniawski, Z. T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. The Civil Engineer in South Africa, 15(12), 335–344.
[5] Hoek, E., Kaiser, P. K., & Bawden, W. F. (1995). Support of underground excavations in hard rock. A. A. Balkema.
[6] Potvin, Y., & Hadjigeorgiou, J. (2020). Ground support for underground mines. Australian Centre for Geomechanics.
[7] Toshtemirov, U. T., Qosimov, M. O., Yormatov, O. S., & Bo‘riyev, F. M. (2026). Kon lahimlarining suvlanganligini aniqlash va uning turg‘unligiga ta’sirini baholash. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3), 189–194. https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.34
[8] Li, C. C. (2010). A new energy-absorbing bolt for rock support in high stress rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 47(3), 396–404.
[9] Omonullayev, A. F., Mahmadaminov, K. M., & Toshtemirov, U. T. (2026). Ankerlardan foydalangan holda yer osti konlarini mustahkamlash uchun Harford dinamik boltidan foydalanish. Academicus Journal of Research, 1(2), 13–20. https://researchiapress.com/index.php/4/article/view/36

**Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article**

Toshtemirov, U. T. (2026). Kon lahimlarini mustahkamlashning nazariy va amaliy yondashuvlari: Xalqaro tajriba va qiyosiy-tahliliy baholash. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(4). https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.4.2026.5