

**“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI” MILLIY
TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.10.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI

HIDOYATOV ABDULLO ZOXYDJON O‘G‘LI

**TARKIBIDA GIPS BO‘LGAN LOYLI GRUNTLARDAN QURILGAN
GIDROTEXNIK INSHOOTLAR MUSTAHKAMLIGIGA GIPSNING
TA‘SIRI (Sardoba suv ombori misolida)**

05.09.06-“Gidrotexnika va melioratsiya qurilishi”

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

UO‘K: 627.8.624.21.691.21.624.131.3

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

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

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

Hidoyatov Abdullo Zoxidjon o‘g‘li

Tarkibida gips bo‘lgan loyli gruntlardan qurilgan gidrotexnik inshootlar mustahkamligiga gipsning ta‘siri (Sardoba suv ombori misolida)..... 3

Хидоятов Абдулло Зоҳиджон угли

Влияние гипса на прочность гидротехнических сооружений, построенных из глинистых грунтов, содержащих гипс (на примере Сардобинского водохранилища)..... 23

Khidoyatov Abdullo Zohidjon o‘g‘li

Influence of gypsum on the strength of hydraulic structures built from gypsum-containing clay soils (A case study of the Sardoba Reservoir)..... 45

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ

List of published works..... 49

**“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI” MILLIY
TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR
BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.10.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI

HIDOYATOV ABDULLO ZOXYDJON O‘G‘LI

**TARKIBIDA GIPS BO‘LGAN LOYLI GRUNTLARDAN QURILGAN
GIDROTEXNIK INSHOOTLAR MUSTAHKAMLIGIGA GIPSNING
TA‘SIRI (Sardoba suv ombori misolida)**

05.09.06-“Gidrotexnika va melioratsiya qurilishi”

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy Attestatsiya Komissiyasida B2025.3.PhD/T6044 raqami bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent arxitektura-qurilish universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus va ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tstu.uz) va «ZiyoNet» axborot-ta’lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Nazarov Komil Igamberdiyevich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Yangiev Asror Abduxamidovich
texnika fanlari doktori, professor

Usmonxo‘jayev Ilxom Inamovich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Qarshi davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/30.12.2019.T.10.02 raqamli Ilmiy kengashning 2026 yil «___» _____soat ___ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100000, Toshkent sh., Qori Niyoziy ko‘chasi, 39-uy tel: (+99871) 237-2267, faks: (99871) 237-54379; e-mail: admin@tiame.uz.)

Dissertatsiya bilan “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (___ raqam bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100000, Toshkent sh., Qori Niyoziy ko‘chasi, 39-uy tel: (+99871) 237-2267, faks: (99871) 237-54379; e-mail: admin@tiame.uz.)

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil «___» _____ kuni tarqatildi.

(2026 yil «___» _____ dagi ___ raqamli reyestr bayonnomasi).

M.X.Xamidov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash raisi, q.x.f.d., professor

F.A. Gapparov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash ilmiy kotibi, t.f.d., professor

M.R. Bakiev

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar
raisi, t.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda 35 mingdan ortiq to‘g‘onlar mavjud bo‘lib, ularning 82,9 foizini gruntli to‘g‘onlar tashkil etib, ushbu turdagi inshootlar iqtisodiy jihatdan samarali, qurilish texnologiyasi jihatidan moslashuvchan va ekspluatatsiya xarajatlari nisbatan past bo‘lgani sababli keng tarqalgan. Dunyo miqyosida gruntli to‘g‘onlar konstruktiv xususiyatlari hamda foydalaniladigan materiallarning tabiiy tarkibiga sezgirligi tufayli avariya holatlariga eng ko‘p duch keladigan inshootlar tarkibida eruvchan minerallar — gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) mavjud bo‘lgan gruntlar suv bilan o‘zaro ta’sirga kirishganda ularning fizik va mexanik xususiyatlari sezilarli darajada o‘zgarishi, bunday gruntlar asosida qurilgan gidrotexnika inshootlarining barqarorligi va mustahkamligi kamayadi, deformatsion siljishlar yuzaga keladi hamda suv ta’sirida yemirilish xavfi ortishi natijasida gipsli gruntlarning suv osti sharoitidagi xatti-harakatini chuqur o‘rganish gidrotexnika inshootlarining ishonchliligini ta’minlash uchun muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahondagi to‘g‘onlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ularning aksariyatida buzilishlar aynan gruntli inshootlarda sodir bo‘lgan. Avariya sabablarining 77,2 foizi gruntli to‘g‘onlarga to‘g‘ri keladi, ularning asosiy qismi loyiha va qurilish bosqichlaridagi xatolar hamda poydevor gruntlarining barqaror emasligi bilan izohlanadi. Shu bois, gruntli to‘g‘onlarning, ayniqsa tarkibida eruvchan minerallar — gips va tuzlar mavjud bo‘lgan gruntlarning suv ta’sirida yuvilishida mustahkamlik va filtratsiyaga oid muammolarni o‘rganish bugungi kunda dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda gidrotexnika inshootlarining mustahkamligi va barqarorligini oshirish, ularning ekspluatatsiya davridagi xavfsizligini ta’minlash bo‘yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. O‘zbekistonning ko‘plab hududlarida, jumladan, Mirzacho‘l, Qizilqum va Sirdaryo vodiysi zonasida tarkibida gips miqdori yuqori bo‘lgan gruntlar uchraydi. Ushbu gruntlarning suv bilan o‘zaro ta’sirida fizik-mexanik xususiyatlarining o‘zgarishi gidrotexnika inshootlari barqarorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. “2022–2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan «Suv resurslarini boshqarish tizimini tubdan isloh qilish va suvni iqtisod qilish bo‘yicha alohida davlat dasturini amalga oshirish»¹ vazifalari belgilangan. Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan tarkibida gips bo‘lgan gruntlarning filtratsiya qurilmalarini takomillashtirish va mustahkamlik xossalarini baholash hamda gipsli gruntlardan qurilgan gidrotexnika inshootlari mustahkamligi va barqarorligini oshiruvchi konstruktiv tadbirlarni ishlab chiqishga yo‘naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlarini olib borish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF–60-sonli farmoni «2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekiston taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»¹gi, 2020-yil 10-iyuldagi PF–6024-sonli farmoni

¹ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF–60-sonli farmoni «2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekiston taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi, 2020-yil 10-iyuldagi PF–6024-sonli farmoni.

“O‘zbekiston Respublikasining 2020–2030-yillarga mo‘ljallangan suv xo‘jaligini rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi, 2019-yil 9-oktabrdagi PQ–4486-sonli qaror — “Suv resurslarini boshqarish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi, 2021-yil 24-fevraldagi PQ–5005-sonli qaror — “O‘zbekiston Respublikasida suv resurslarini boshqarish va irrigatsiya sektorini rivojlantirishning 2021–2023-yillarga mo‘ljallangan strategiyasi to‘g‘risida”gi qarorlari hamda mazkur faoliyatiga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarini rivojlantirishning VIII-ustuvor yo‘nalishi — “Yer haqidagi fanlar geologiya, geofizika, seysmologiya va mineral xomashyoni qayta ishlash” ustuvor yo‘nalishiga mos keladi.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Gipsli gruntlarning fizik-mexanik xususiyatlarini o‘rganish bo‘yicha bir qator xorijiy olimlardan M.Y. Abelov, B.J. Unaybayev, Y.Y. Orazalin, V.G. Naumenko, V.P. Petruxin, V.V. Petrov, I.A. Sveshnikov, A.E. Oradovskaya, B.I. Dalmatov, V.V. Sokolovskiy, R.S. Ziangirov, L.N. Lomize, M.N. Terletskeya, N.M. Gersevanova, A.I. Grot, A.F. Barzanji, A.A. Al-Mufty, M.N. Al-Khashab, Y. Chen, J. Liu, Q. Xu, Zhang L, Q. Xu, Z. Sun, R. Soderholm va boshqalar muhim ilmiy ishlar amalga oshirganlar.

Respublikamizda gruntli to‘g‘onlar mustahkamligi bo‘yicha A.A. Mustafoyev, G.L. Urmanova, E.D. Rojdestvenskiy, A. Qurbonov, T.R. Rashidov, A.A. Ishanxodjaev, K.I. Ibragimov, M.M. Mirsaidov, T.Z. Sultonov, K.D. Salyamova, M.R. Bakiyev, I.U. Majidov, X. Fayziyev, K.I. Nazarov va boshqalar ma‘lum natijalarga erishgan.

Amalga oshirilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, gipsning suv ta‘sirida erishi jarayonida gruntlarning mustahkamligi va filtratsion xossalardagi o‘zgarishlarni aniqlashga mo‘ljallangan qurilmalarning individual konstruksion yechimlarini innovatsion texnologiyalar asosida tadqiq etish yetarli darajada o‘rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent arxitektura-qurilish universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining №4 OT-F4-75-“Kuchli zilzilalar ta‘sirida grunt mustahkamlik xossalarning o‘zgarishini hisobga olib inshoot zaminining yuk ko‘tarish qobiliyatini baholash usulini ishlab chiqish” (2017-2020) mavzusidagi loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi. Tarkibida gips bo‘lgan gruntli to‘g‘onlarning suv ta‘sirida yuvilishini va filtratsion xossalarning o‘zgarishini inobatga olib mustahkamligini hisoblash usulini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

tarkibida gips bo‘lgan loyli gruntlardan qurilgan to‘g‘onlarning mustahkamligini baholash bo‘yicha amalga oshirilgan nazariy va amaliy tadqiqotlar tahlili;

tarkibida gips bo‘lgan gruntli to‘g‘onlarning filtratsion parametrlarini gips miqdori va grunt xossalarga bog‘liq laboratoriya tadqiqoti;

loyli grunt tarkibidagi gipsning yuvilishi jarayonida ichki ishqalanish burchagi va ichki bog‘lanish kuchi o‘zgarishini tadqiqoti;

to‘g‘on barqarorligini baholash jarayonini MIDAS GTS NX dasturi asosida modellashtirish;

Tadqiqotning obyekti O‘zbekiston hududida joylashgan va tarkibida gipsli gruntlar mavjud bo‘lgan Sardoba suv ombori gruntli to‘g‘oni tanlandi.

Tadqiqotning predmeti tarkibida gips bo‘lgan loyli gruntlarda suv ta‘sirida yuz beradigan yuvilish jarayonining grunt filtratsion xossalari ta‘siri.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida eksperiment, tizimli va nazariy tahlil, matematik statistika, korrelyatsion-regression tahlil va modellashtirish hamda me‘yoriy hujjatlarda belgilangan usullardan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

tarkibida gips bo‘lgan loyli gruntlarning filtratsion xossalarini aniqlovchi kompression-filtratsion qurilmaning konstruktiv elementlari takomillashtirilgan;

laboratoriya tadqiqotlari asosida ichki ishqalanish burchagi (φ) va ichki bog‘lanish kuchi (c) ning qiymatlari gipsning yuvilishini hisobga olgan holda aniqlangan;

loyli gruntlarda tarkibidagi gipsning o‘zgarish miqdorini aniqlash usuli gruntning namlik, zichlik, plastiklik sonini inobatga olib takomillashtirilgan;

tarkibida gips bo‘lgan gruntli to‘g‘on barqarorligini baholash usuli MIDAS GTS NX dasturi asosida asoslangan;

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

tarkibida gips bo‘lgan loyli gruntlarning filtratsion xossalarini aniqlash uchun takomillashtirilgan kompression-filtratsion qurilma konstruksiyasi ishlab chiqildi;

gipsning yuvilishi jarayonini hisobga olgan holda loyli gruntlarning ichki ishqalanish burchagi (φ) va ichki bog‘lanish kuchi (c) ni aniqlash bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi;

loyli gruntlarda gips miqdorining o‘zgarishini aniqlashning gruntning namligi, zichligi va plastiklik sonini hisobga oluvchi takomillashtirilgan usuli ishlab chiqildi;

tarkibida gips bo‘lgan gruntli to‘g‘onlar barqarorligini baholash uchun MIDAS GTS NX dasturi asosida hisoblash metodikasi ishlab chiqildi va amaliy hisoblashlarda qo‘llash tavsiya etildi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi ishlab chiqilgan hisoblash usullari va EHM dasturlari yordamida olingan natijalarni aniq yechimga ega bo‘lgan modellashtirish masalalari bilan taqqoslash orqali tasdiqlandi. Olingan ma‘lumotlar boshqa tadqiqotchilar ishlaridagi natijalar bilan mos keladi hamda amaliyotda qo‘llanilishi bilan isbotlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqotning ilmiy ahamiyati tarkibida gips bo‘lgan loyli gruntlarning filtratsion va mustahkamlik xossalari gips yuvilishi jarayonida qanday qonuniyatlar asosida o‘zgarishi ilmiy jihatdan asoslab berildi. Ichki ishqalanish burchagi (φ) va ichki bog‘lanish kuchi (c) ning gips miqdoriga bog‘liq o‘zgarish mexanizmlari aniqlandi hamda ularni hisoblashda gips yuvilishi omillarini inobatga olish zarurligi nazariy jihatdan isbotlandi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundaki, Kompresion-filtratsion qurilma konstruksiyasining takomillashtirilishi gipsli gruntlarda bir vaqtning o'zida filtratsiya va deformatsiya jarayonlarini aniq baholash imkonini yaratdi. Olingan natijalar tarkibida gips bo'lgan loyli gruntlardan qurilgan to'g'onlarning mustahkamligi va xavfsizligini baholashda, ularning xizmat muddati va barqarorligini oshirish bo'yicha loyihaviy yechimlar ishlab chiqish, to'g'on qiyaliklari burchagini optimallashtirish, konstruktiv shaklini takomillashtirish, hajm va qurilish muddatini qisqartirish, shuningdek, tannarxni kamaytirish imkoni bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Tarkibida gips bo'lgan loyli gruntlardan qurilgan gidrotexnik inshootlar mustahkamligiga gipsning ta'siri (Sardoba suv ombori misolida) bo'yicha olingan natijalar asosida:

Takomillashtirilgan kompresion-filtratsion qurilma yordamida gips yuvilishi jarayonini hisobga olgan holda aniqlangan gruntlarning mustahkamlik parametrlari asosida samarali ilmiy-texnik yechimlar ishlab chiqildi va O'zbekiston Respublikasi "O'zbekgidroenergo" AJ tarkibidagi "Gidroproekt" AJ loyiha instituti tomonidan Sardoba suv ombori gruntli to'g'onini ta'mirlash ishlarida joriy etildi (O'zbekiston Respublikasi "O'zbekgidroenergo" AJning 2026 yil 26 fevraldagi 13-15/647-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, to'g'on gruntidagi gips miqdorining yuvilish darajasi aniqlanib, filtratsiyaga qarshi gruntli devor qo'llash orqali filtratsiya koeffitsiyenti kamaytirildi hamda to'g'onning mustahkamligi va ekspluatatsion xavfsizlik darajasini yanada ishonchli baholash imkoniyati yaratildi.

Takomillashtirilgan kompresion-filtratsion qurilma yordamida filtratsiya koeffitsientining o'zgarishi va gips yuvilish jarayoni bo'yicha olingan ilmiy natijalar O'zbekiston Respublikasi "ZAMIN va POYDEVOR" MChJ loyiha markazi tomonidan Sardoba suv ombori gruntli to'g'onini ta'mirlash ishlarida joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi "O'zbekgidroenergo" AJning 2026 yil 26 fevraldagi 13-15/647-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, filtratsiya koeffitsienti kamaytirilib, to'g'on gruntlarining mustahkamligi va barqarorligini baholash aniqligi oshirildi, gidrotexnik inshootning xavfsiz ekspluatatsiyasini ta'minlash imkoniyati yaratildi hamda amalga oshirilgan texnik yechimlar hisobiga ta'mirlash ishlarining texnik-iqtisodiy samaradorligiga erishildi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 4 ta xalqaro va 1 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 12 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta maqola, 1 ta Scopos xalqaro bazasiga indekslangan konferensiya materiallari, 4 ta maqola xalqaro va 1 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjumanlari to'plamlarida chop etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish qismi, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 121 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tanlangan mavzuning dolzarbligi va zarurati asoslangan bo'lib, olib borilgan tadqiqotning asosiy maqsadi va masalalari ifodalangan, tadqiqotning obyekt va predmeti tavsiflangan, Respublikaning fan va texnologiyalari rivojlanishning ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan.

Dissertatsiyaning **“Tarkibida gips bo'lgan gruntlarning fizik-mexanik xususiyatlari va inshootlar barqarorligiga ta'siri bo'yicha tadqiqotlar tahlili”** deb nomlangan birinchi bobida tarkibida gips bo'lgan gruntlarning fizik-mexanik va filtratsion xususiyatlarini o'rganishga bag'ishlangan ilmiy manbalar, xorijiy va mahalliy tadqiqotlar natijalari tahlil qilingan. Jahon olimlari tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda gipsli gruntlarning suv bilan o'zaro ta'siri natijasida zichlikning kamayishi, g'ovaklikning ortishi va mustahkamlik ko'rsatkichlarining pasayishi qayd etilgan bo'lsada, bu jarayonlarning aniq mexanizmlari va miqdoriy bahosi yetarlicha yoritilmagan.

O'rganilgan ilmiy adabiyotlarda (Petrov V.V., Sveshnikov V.M., Barzanji A.F., Hossain M. va boshqalar) gipsning suvda erish tezligi, yuvilish jarayonlari va grunt qatlamlarida suv oqimi bilan bog'liq filtratsion o'zgarishlar tadqiq etilgan. Biroq, ularning tajriba qurilmalari bosimni barqaror saqlash imkonini bermagan, shuningdek, real grunt sharoitlaridagi tabiiy suv bosimi va filtratsiya jarayonini modellashtirish imkoniyati cheklangan.

Shuningdek, xalqaro tajribalar tahlili (Mosul, Anchor Dam, Quail Creek, Caspe) shuni ko'rsatadiki, gipsli qatlamlarda qurilgan to'g'onlarda suv yo'qotish, karstlanish, cho'kish va deformatsion siljishlar kuzatilgan. Taklif etilgan yechimlar (sementatsiya, kimyoviy mustahkamlash, drenaj tizimlari) ayrim holatlarda samarali bo'lgan bo'lsada, ularning uzoq muddatli barqarorlikni ta'minlashdagi ishonchliligi yetarli darajada isbotlanmagan.

Gipsli gruntlarning mustahkamlik parametrlarini (φ , c) baholash bo'yicha Sveshnikov V.M., tomonidan taklif etilgan empirik tenglamalar mavjud bo'lib, ular asosan gips miqdoriga asoslangan va ko'p omilli ta'sir omillarini (namlik, zichlik, plastiklik darajasi, g'ovaklik) hisobga olmaydi. Natijada, bu formula amaliy holatlarda $\pm 10-15$ % aniqlikdan ortmaydi.

Shu asosda aniqlanishicha, avvalgi tadqiqotlarda gipsli gruntlarning suv ta'sirida yemirilish jarayonini baholashda kompleks va tizimli yondashuv etishmagan. Jumladan:

suv bosimi va filtratsiya tezligini doimiy nazorat qilish imkonini beruvchi laboratoriya qurilmalar yaratilmagan yoki yetarli darajada takomillashtirilmagan;

gipsning suvda yuvilish jarayonining vaqt bo'yicha o'zgarishi hamda bu jarayonning gruntning mustahkamlik parametrlariga (φ va c) ta'siri chuqur o'rganilmagan;

olingan empirik ma'lumotlar va tajriba natijalari real gidrotexnika inshootlari (to'g'on, kanal, suv omborlari) sharoitida tekshirilmagan va verifikatsiya qilinmagan.

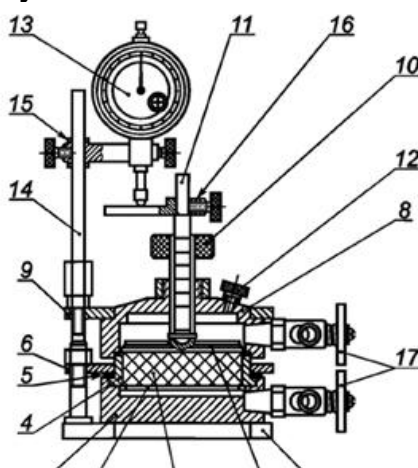
Ushbu kamchiliklar gipsli gruntlarning suv ta'sirida yemirilish xususiyatlarini baholashda yangicha eksperimental va nazariy yondashuv zarurligini ko'rsatadi.

Shuning uchun ushbu dissertatsiyada, tarkibida gips bo‘lgan gruntlarning uzoq muddatli kuzatishlarni ta‘minlash maqsadida kompression-filtratsion qurilmani takomillashtirish. Filtratsiya xossalari gips miqdori va grunt xossalariga bog‘liqligini aniqlash, gipsli gruntlarning fizik-mexanik va filtratsion xossalarini tahlil qilish, gips yuvilishi jarayonida ϕ va c o‘zgarish dinamikasini aniqlash, yangi empirik formulalar ishlab chiqish va mavjud modellarga taqqoslash, MIDAS GTS NX dasturida to‘g‘on barqarorligini modellashtirish orqali O‘zbekiston sharoiti uchun optimal yechimni tanlash va asoslash hamda, qurilish va foydalanish uchun kerakli bo‘lgan me‘yoriy, uslubiy hujjatlarni ishlab chiqish vazifalari maqsad qilib qo‘yilgan.

Dissertatsiyaning **“Tadqiqot hududining geologik tuzilishi va gipslangan gruntlarning fizik-mexanik xossalarini aniqlash metodikalari”** deb nomlangan ikkinchi bobida tadqiqot o‘tkazilgan Sardoba suv ombori hududining geologik-geotexnik tuzilishi, iqlimiy va gidrogeologik sharoitlari tahlil hamda eksperimental o‘rganishda foydalanilgan asbob uskunalar uslublari keltirilgan.

Sardoba suv ombori Sirdaryo viloyati, Sardoba tumanida, Yangiyer shahridan 30 km g‘arbda joylashgan. Maydoni ~ 60 km², suv sig‘imi 922 mln m³. Ombor janubdan shimolga cho‘zilgan bo‘lib, to‘g‘on umumiy uzunligi 28,5 km. Eng baland qismi shimoliy yo‘nalishda, suv chiqarish inshooti yaqinida, balandligi ~ 30 m.

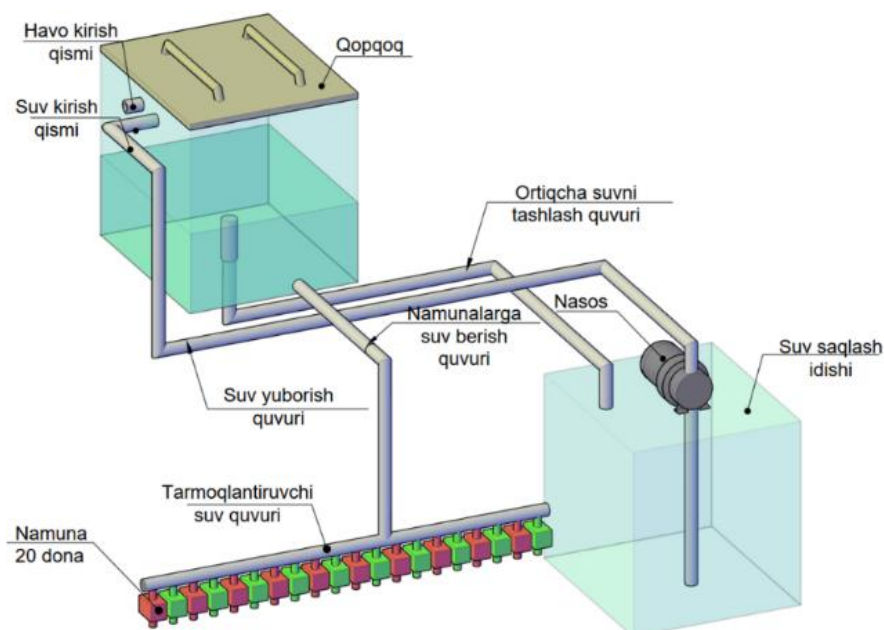
Sardoba suv ombori to‘g‘onining poydevorida uchraydigan gipslangan gruntlarning geologik kesimi o‘rganilib, asosiy qatlamlar tarkibi, gips miqdori va zichligi aniqlangan. Grunt namunalarini tanlab olish metodikasi, dala sharoitida namunalar olish, ularni laboratoriyaga tayyor holatda yetkazish, sinovga tayyorlash tartibi va gruntlarning fizik, mexanik, filtratsion xossalarini aniqlash quyidagi me‘yoriy hujjatlar asosida amalga oshirildi [O‘zDst 12071-2014, O‘zDst 5180-2015, O‘zDst 30416-2016, O‘zDst 12536-2014]. Bunda, takomillashtirilgan kompression–filtratsion qurilma yordamida suv ta‘sirida gips yuvilish jarayonini uzluksiz kuzatish imkoniyati yaratildi.



1 — asos (fundament), 2 — poddon, 3 — pastki filtr, 4 — ishchi halqa, 5 — prokladka (qistirma), 6 — pastki siquvchi halqa, 7 — yuqori filtr, 8 — qopqoq, 9 — yuqori siquvchi halqa, 10 — aretir (mahkamlovchi), 11 — shtok (tayanch tayoqcha), 12 — probka (tiqin), 13 — indicator, 14 — stoyka(ustun), 15 — ushlagich (derjatel), 16 — tayanch (upor), 17 — kranlar.

1-rasm. Gilli gruntlarning filtratsiya koeffitsientini aniqlash uchun kompression-filtratsiya qurilmasining sxemasi.

Qurilma quyidagi asosiy qismlardan tashkil topgan: suv saqlash idishi, nasos, namunalarga suv berish quvuri, tarmoqlantiruvchi suv quvuri, 20 dona grunt namunasi joylashtirilgan silindrlar bloki, suv yuborish quvuri, ortiqcha suvni tashlash quvuri, suv kirish qismi, havo kirish qismi hamda qopqoq.



2.1-rasm. Gipsli grunt namunalarining filtratsiya va suffoziya jarayonlarini o‘rganish uchun mo‘ljallangan tajriba qurilmasining sxematik ko‘rinishi.



2.2-rasm. Gipsli grunt namunalarining filtratsiya va suffoziya jarayonlarini o‘rganish uchun mo‘ljallangan laboratoriya tajriba qurilmasining umumiy ko‘rinishi.

Qurilma yopiq suv aylanish tizimi asosida ishlaydi, bunda nasos yordamida suv doimiy bosim ostida namunalar orqali o‘tkaziladi va ortiqcha suv avtomatik ravishda qayta aylanish tizimiga yuboriladi. Ushbu tizim har bir namuna uchun bir xil gidravlik gradientni saqlash va filtratsiya koeffitsientini aniq aniqlash imkonini beradi.

Tadqiqotlarda gruntning suv o'tkazuvchanligi va gidravlik barqarorligini baholash uchun har bir silindrdagi gidravlik gradient quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

Asosiy gidravlik gradient formulasi (har bir namuna uchun):

$$i = \frac{h}{l} \quad (1)$$

i - har bir silindrdagi gidravlik gradient (o'lchovsiz),

h - suv ustuni balandligi (bosim balandligi, m),

l - grunt namunasi qalinligi (m).

Qurilmadagi barcha 20 ta namunada $i = const$ bo'ladi:

$$i_1 = i_2 \dots i_{20} \frac{h}{l} \quad (2)$$

Suv oqimi barqarorligi uchun suv balans tenglamasi:

Qurilma doimiy suv bilan ta'minlanadi va ortiqcha suv avtomatik ravishda (obratkaga) ketadi.

$$Q_{in} = Q_f + Q_{ortiqcha\ suv} \quad (3)$$

Q_{in} - umumiy kiruvchi suv sarfi (l/s),

Q_f - filtrlovchi qismdan o'tadigan suv miqdori,

$Q_{ortiqcha\ suv}$ - ortiqcha suv (nazoratli chiqish orqali qaytadigan).

20 ta namunadagi filtrlovchi oqim umumiylik formulasi:

$$Q_f = \sum_{j=1}^{20} q_j = 20 * q \quad (4)$$

Agar har bir silindrda oqim tezligi q ga teng bo'lsa, umumiy filtratsiya oqimi shunday ifodalanadi.

Darcy qonuni asosida har bir silindrdagi oqim:

$$q = k * i * A \quad (5)$$

k - gruntning filtratsiya koeffitsienti (m/s),

i - gidravlik gradient,

A - silindrdagi filtratsiya maydoni (m²).

Shunday qilib, umumiy filtratsiya oqimi formulasi:

$$Q_f = 20 * k * i * A \quad (6)$$

Gidravlik gradientni doimiy saqlash formulasi:

$$i = \frac{P_{matrochik}}{\gamma \cdot L} \quad (7)$$

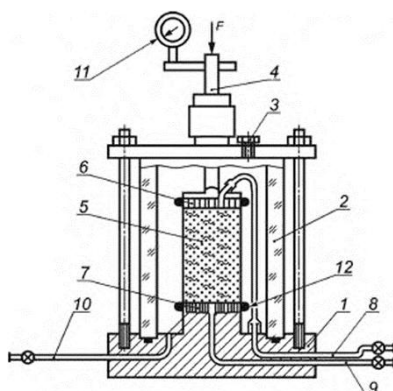
Matrochik orqali suv bosimini bir xil ta'minlash tizimingiz asosida:

$P_{matrochik}$ - matrochikdagi bosim (Pa),

γ - suvning og'irlik zichligi (≈ 9800 N/m³),

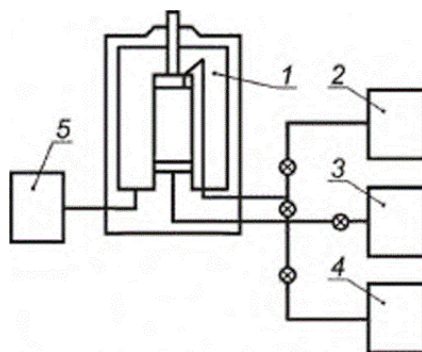
L - grunt namunasi qalinligi (m).

Tarkibida gips bo'lgan loyli gruntlarning mustahkamligi yuvilishdan oldin va kegin laboratoriya sharoitida gipsli gruntlarning mustahkamlik hususiyatlarini aniqlashda uch o'qli siqish qurilmasi (uch o'qli siqish qurilmasi, 3-rasm) orqali aniqlandi.



1 - kamera asosi; 2 - kamera korpusi. 3 - havoni chiqarish uchun ventily; 4 - shtok; 5 - qobiqdagi grunt namunasi; b - ustki shtamp; 7 - pastki shtamp 8. 9 - drenaj, qarshi bosim va g'ovak bosimini o'lchash tizimining magistrallari; 10 - kameradagi bosim magistrali; 11 - siljish indikatori; 12 - zichlovchi halqa; F – yuklama.

3-rasm. Gruntni uch o'qli siqish usuli bilan sinash qurilmasining prinsipial sxemasi.



1 - uch o'qli siqish asbobining kamerasi, 2 - g'ovak bosimini o'lchash bloki, 3 - qarshi bosim bloki; 4 - drenaj bloki, 5 - kameradagi bosim bloki.

4-rasm. Gruntlarni uch o'qli siqish qurilmasining blok-sxemasi.

Bundan tashqari, MIDAS GTS NX dasturi asosida gruntli to'g'on barqarorligini baholash uchun kompleks hisoblash metodikasi ishlab chiqildi. Modelda to'g'on tanasi, poydevor gruntleri va suv bosimi sharoitlari hisobga olinib, gips miqdorining o'zgarishi bilan grunt mustahkamligining kamayish qonuniyatlari tahlil qilindi.

Dissertatsiyaning **“Laboratoriya tadqiqotlari natijalari”** deb nomlangan uchinchi bobida Sardoba suv ombori gruntli to'g'onining tanasi va zamin qismlaridan olingan namunalar asosida gruntlarning zichlik (ρd), namlik (W), g'ovaklik (e), filtratsiya koeffitsienti (K_f), plastiklik soni (I_p) va mustahkamlik xossalari aniqlanib, ularning o'zaro bog'liqligi tahlil qilindi. Sinov natijalari shuni ko'rsatdiki, gruntlar asosan qumli loy va loyli qum turlariga mansub bo'lib, gips miqdori 5–13 % oraliq'ida o'zgaradi.

Sardoba suv ombori to'g'on tanasi va zamin gruntlarining fizik xossalari laboratoriya sharoitida aniqlanib, zichlik, namlik, g'ovaklik, plastiklik kabi asosiy ko'rsatkichlarning chuqurlik bo'yicha o'zgarish tendensiyasi tahlil qilindi. Olingan ma'lumotlar to'g'on gruntlarining ichki tuzilmasi, g'ovaklik darajasi va suv bilan to'yinganlik holati haqida to'liq tasavvur beradi.

Quyidagi 1-jadvalda to‘g‘on tanasidan olingan namunalar bo‘yicha o‘tkazilgan sinov natijalari keltirilgan.

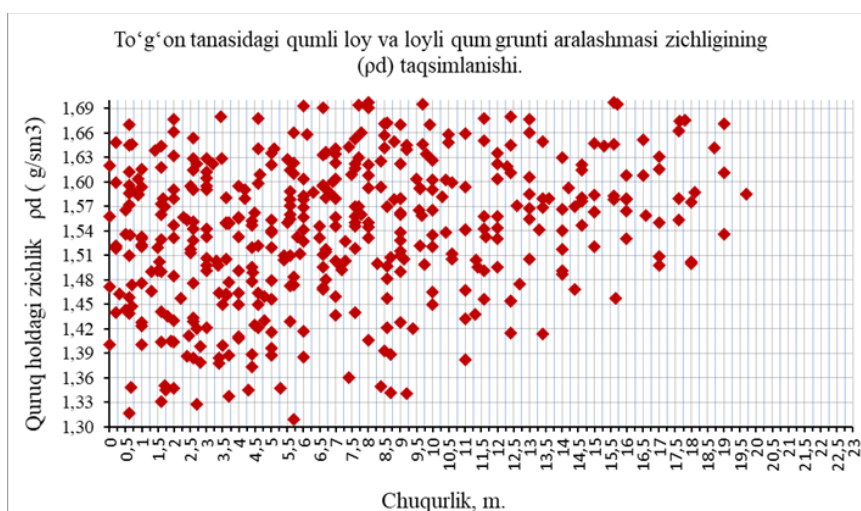
1-jadval.

Sardoba suv ombori to‘g‘on tanasidagi gruntlarning fizik xossalari natijalari

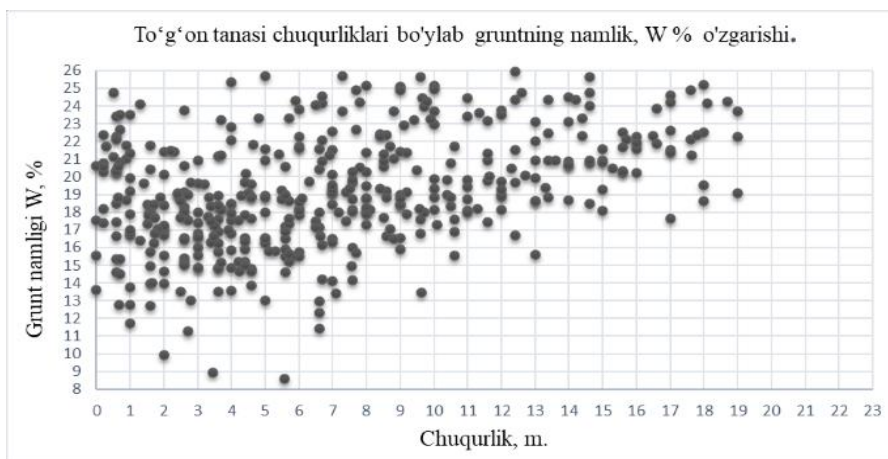
Sardoba suv ombori to‘g‘oni tanasi gruntlari					
Loyli qum va qumli loy gruntlari, quduqlar soni 203 gacha					
O‘rganilgan chuqurlik, (m)	Quruq holdagi zichlik t/m^3	Grunt namligi W(%)	G‘ovaklik koeffitsienti e, %	Go‘vaklik n, %	Plastiklik soni Ip
0,5	1,57	22,67	66,8	40,0	6,74
1,6	1,53	15,11	70,7	41,4	7,32
2,5	1,59	13,52	63,7	38,9	8,74
4,2	1,58	15,18	65,2	39,5	8,7
5,3	1,35	15,82	93,8	48,4	5,24
7,1	1,50	13,42	74,1	42,6	4,43
8,1	1,77	18,11	47,5	32,2	6,26
9,1	1,51	22,9	73,4	42,3	6,49
10	1,57	18,84	66,8	40,0	5,67
11	1,59	19,82	63,7	38,9	6,81
12	1,62	18,99	60,9	37,9	6,01
13	1,61	22,03	62,5	38,5	5,90
14,2	1,59	24,35	63,9	39,0	7,73
15	1,52	26,22	71,6	41,7	9,31
18,1	1,59	24,13	64,5	39,2	9,16

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, Sardoba suv ombori to‘g‘on tanasida uchraydigan gruntlar asosan loyli qum va qumli loy turlariga mansub bo‘lib, ularning fizik xossalari chuqurlik bo‘yicha sezilarli darajada farqlanadi.

Quruq holatdagi zichlik (ρ_d) qiymatlari $1,35 t/m^3$ dan $1,77 t/m^3$ gacha o‘zgarib, 5–8 m chuqurlik oralig‘ida eng optimal zichlikka ega qatlamlar aniqlangan (5 va 6 rasmlar). Namlik (W) esa 13,4–26,2 % oraliqda o‘zgarib, chuqurlik ortgani sari nisbatan ortish tendensiyasiga ega.

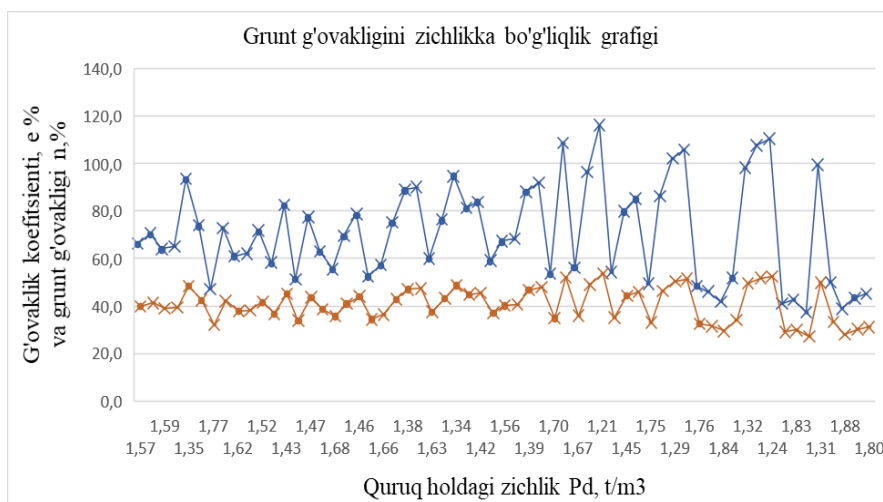


5-rasm. To‘g‘on tanasidagi qumli loy va loyli qum gruntlari aralashmasining quruq zichligi (ρ_d) ning chuqurlik bo‘yicha taqsimlanishi.



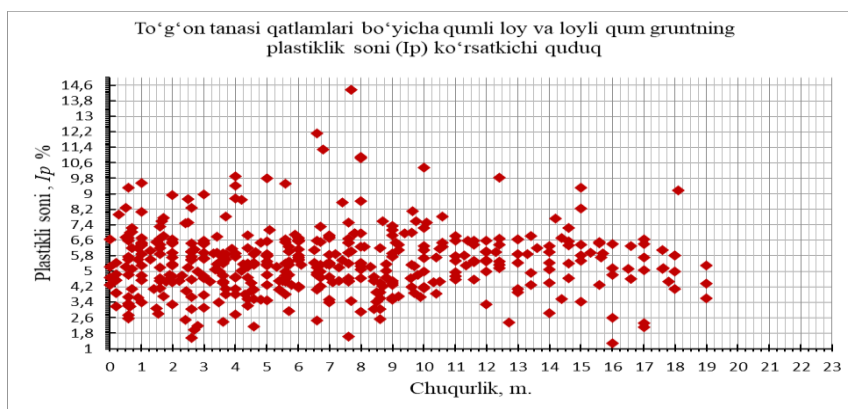
6-rasm. To'g'on tanasi chuqurliklari bo'ylab grunt namligi (W, %) ning taqsimlanishi.

G'ovaklik ko'effitsienti (e) 47,5–93,8 %, g'ovaklik (n) esa 32,2–48,4 % oraliqda o'zgaradi (7-rasm). Eng katta g'ovaklik qiymatlari 14–18 m chuqurlikda qayd etilib, bu qatlamlarda gruntning suv o'tkazuvchanligi yuqoriligi bilan ajralib turadi.



7-rasm. To'g'on tanasida grunt g'ovakligining zichlikka bog'liqligi.

Plastiklik soni (I_p) 4,43 dan 9,31 gacha o'zgaradi (8-rasm). Yuqori plastiklik qiymatlari loyli gruntlarga xos bo'lib, deformatsiyaga moyillikni kuchaytiradi.



8-rasm. To'g'on tanasida qumli loy va loyli qum gruntlarining plastiklik soni (I_p) taqsimoti.

To'g'on tanasi gruntlarining fizik xossalari bo'yicha o'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki:

yuqori qatlamlarda (0,5–5 m) grunt zichlashgan, suv o'tkazuvchanligi past, barqaror zona hosil qilgan;

o'rta chuqurliklarda (5–10 m) grunt eng optimal fizik holatda, inshoot tayanch zonasini tashkil etadi;

pastki qatlamlarda (10–18 m) g'ovaklik va namlikning ortishi natijasida gruntning barqarorligi pasayadi.

Bu natijalar to'g'on tanasining strukturaviy holatini baholash, suv ta'sirida gruntlarning deformatsion va filtratsion xatti-harakatini modellashtirish uchun boshlang'ich ma'lumot sifatida xizmat qiladi.

To'g'on tanasi va poydevoridagi filtratsiyani dala va laboratoriya sharoitida tekshirish natijalari.

Natijalarga ko'ra, to'g'on tanasi va asosidagi gruntlarning filtratsiya koeffitsienti K_f qiymatlari 0,0017 m/kundan 0,0046 m/kungacha intervalda o'zgargan. Bu o'zgarishlar gruntlarning granulometriyasi, zichligi, go'vakligi va gips konsentratsiyasi bilan bog'liq.

Ko'pchilik namunalarda $K_f < 0.005$ m/kun bo'lib, ular O'zDst 25100-2020 talablariga ko'ra "suvni kam o'tkazadigan" (Слабоводопроницаемый) guruhga kiradi. Ba'zi lokal joylarda, ayniqsa 16 m dan 20 m gacha chuqurlikda, $K_f > 0.1$ m/kun bo'lib, bu yerda suv o'tkazuvchanlik o'sishi aniqlangan. Bu holat odatda gips linzalarining tarkibiy konsentratsiyasi yoki mikrocho'kindilarning mavjudligi bilan izohlanadi.

Keltirilgan 76 ta quduq bo'yicha ma'lumotlar ushbu intervallardagi o'zgaruvchanlikni aniq ko'rsatadi. Bu qiymatlarning fazoviy tarkib bo'yicha har xilligi to'g'on tubi va tanasidagi gruntlar strukturasi va komponent tarkibining notekis joylashganligidan dalolat beradi.

Takomillashtirilgan kompression filtrlash qurilmasi yordamida gipsli gruntlarning filtratsiya holati laboratoriya sharoitida aniqlandi.

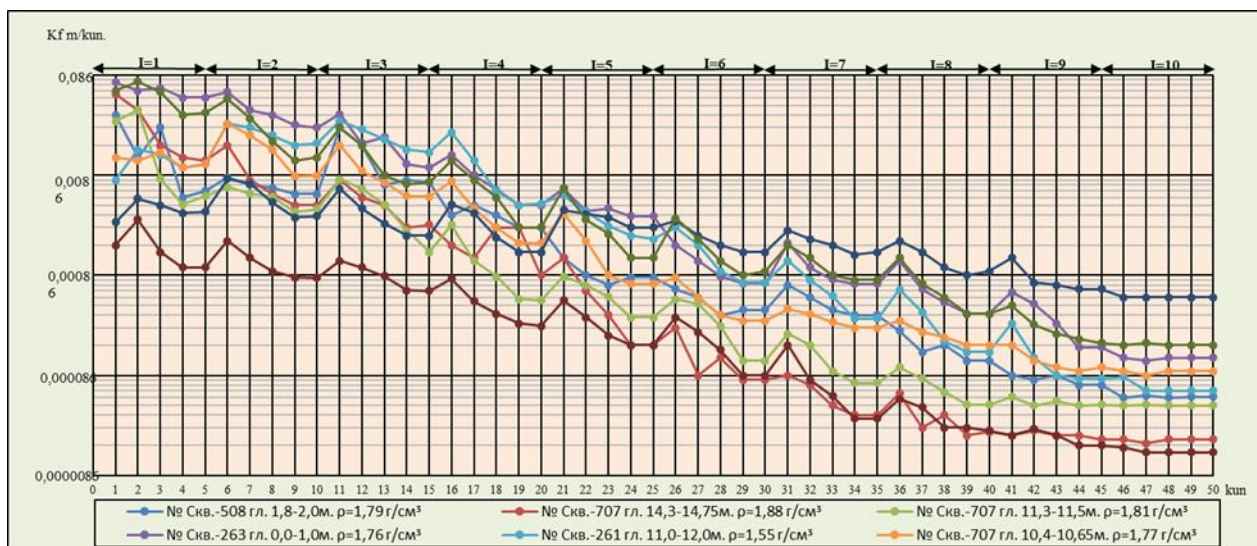
Filtratsiya qiyaliklari tahlili shuni ko'rsatdiki (9-rasm), filtratsiya koeffitsienti sinov boshida tez o'zgarib, keyin barqarorlashgan. Bu holat grunt ichidagi gips va boshqa tuzlarning yuvilishi orqali hosil bo'ladigan go'vaklikning oshishi bilan izohlanadi.

Tajribalar natijasida gruntidagi $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ miqdori filtratsiyadan oldingi 11,27–20,27% intervaldan 2,57–6,36% gacha pasaygani aniqlandi. Bu gips tuzlarining suv ta'sirida yuvilishi va suv oqimi bilan yuvilib chiqish jarayoni jadal kechishini ko'rsatadi shu bilan birga, gipsning yuvilish bosqichlarini ham o'z ichiga oladi (3.6-jadval). Gidravlik gradient oshishi bilan grunt tarkibidagi gips tuzlari bosqichma-bosqich yuvilib chiqadi:

1–10 kun oralig'ida filtratsiya koeffitsienti keskin pasayadi, chunki gipsning asosiy qismi erib chiqib, umumiy yuvilishning qariyb 40–45% shu davrda ro'y beradi.

10-25 kunlarda sekin yuviladi bunga sabab grunt tarkibidagi gips yuvilib chiqadi va o'rmini grunt to'ldiradi.

35-50 kunlarda gruntning $K_f = 10^{-6}$ m/kun tashkil etadi(2-jadval).



9-rasm. Sardoba suv ombori to‘g‘onining grunt filtratsiya koeffitsienti egri chiziqklarining uzoq vaqt va turli gradiyentlar o‘zgarish grafigi.

2-jadval.

Filtratsiya koeffitsienti o‘zgarishi asosida grunlarda gips yuvilishining bosqichma-bosqich tahlili

Yuvilish davri, kun	Jarayon tavsifi	Kunlik o‘rtacha yuvilish
1-10	Filtratsiya koeffitsienti keskin kamayadi, gipsning eng faol yuvilishi (~40–45%) shu davrda ro‘y beradi.	≈4%/kun (eng ko‘p yuvilish)
10-25	K_f asta-sekin kamayishda davom etadi, o‘rtacha yuvilish davri.	≈2%/kun
25-35	Yana sezilarli pasayish kuzatiladi, gruntning yumshoq qatlamlarida gips yuvilishi faollashadi.	≈2–2,5%/kun
35-50	Grafik silliqlashadi, gipsning asosiy qismi yuvilib bo‘lgan, jarayon barqarorlashadi.	≈0,5–0.1%/kun

Gipslangan gruntlarning yuvilishdagi mustahkamlik va deformatsiya xususiyatlari.

Sardoba suv ombori to‘g‘oni va poydevoridan olingan grunt namunalari (qum, loyli qum va qumli loy)da laboratoriya sharoitida bir tekislikda siljitish va uch o‘qli siqish sinovlari o‘tkazildi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, gruntlarning fizik-mexanik xususiyatlari gips miqdoriga bevosita bog‘liqligi aniqlangan.

Gips miqdori oshishi bilan gruntning ichki ishqalanish burchagi (φ) va bog‘lanish kuchi (c) muayyan darajada ortgani kuzatildi. Qum grunlarda $\varphi = 31,6–38,7^\circ$, $c = 0–5,9$ kPa, loyli qum grunlarda $\varphi = 26,6–44,7^\circ$, $c = 17–72$ kPa, qumli loy grunlarda esa $\varphi = 24–44^\circ$, $c = 10–94$ kPa, diapazonida aniqlangan.

Grunt tarkibidagi gipsning suvda yuvilishi tufayli grunt mustahkamlik xususiyatlaridagi uzoq muddatli o‘zgarishlarni baholash maqsadida, laboratoriya sharoitida namuna uch o‘qli qurilma yordamida va kompression-filtratsiya qurilmasining takomillashtirilgan modelida 72 soat davomida suv bilan to‘yintirildi

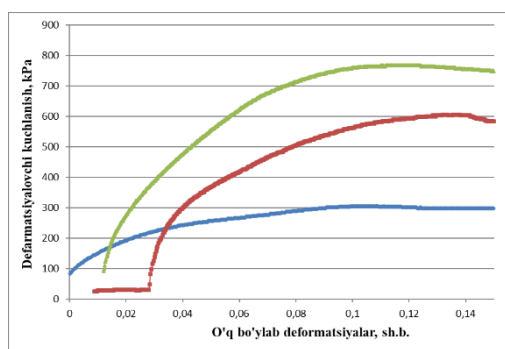
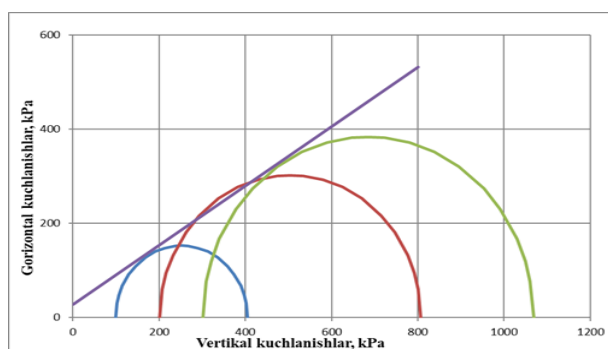
va tajriba sinov ishlari olib borildi bunda ichki ishqalanish burchagi φ va bog‘lanish kuchi c qayta aniqlandi (3-jadval).

Sinov natijalari gipsning yuvilishida ichki ishqalanish burchagi φ ni 10–15%, bog‘lanish kuchini c ni esa 45% gacha pasaytirishini ko‘rsatadi (12-rasm).

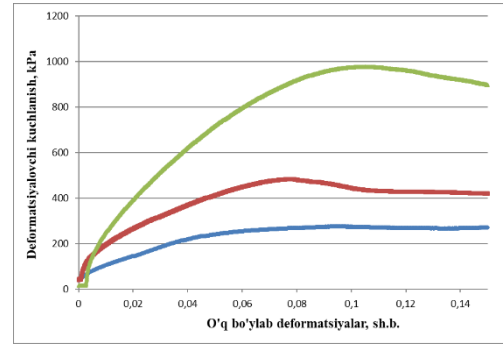
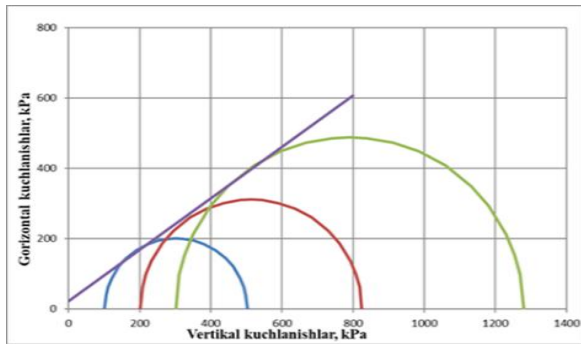
3-jadval.

Gips yuvilishidan oldin va keyin olingan natijalar

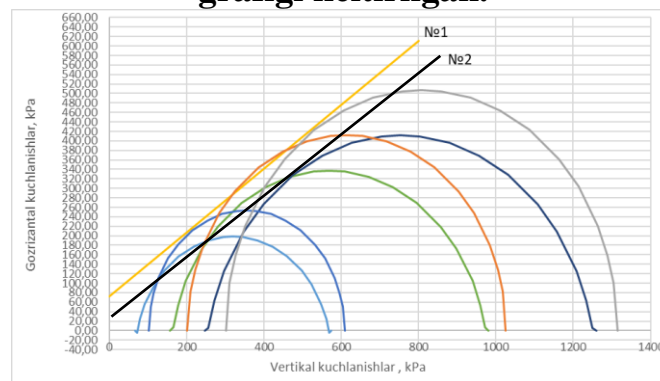
№ π/π	Grunt nomi	Quduq. Chuqurlik. m	Gips miqdori, %		Ichki ishqalanish burchagi (φ , gradus)	Bog‘lanish kuchi (C, kPa)
			oldin	keyin		
1	Loyli qum	№152. 18,8-19,0	oldin	5,33	26,60	22,50
			keyin	1,08	27,94	16,20
2	Loyli qum	№616. 26,8-27,0	oldin	8,77	43,20	35,19
			keyin	6,13	29,77	18,21
3	Loyli qum	№108. 32,5-32,7	oldin	13,09	33,25	27,32
			keyin	3,35	28,09	11,73
4	Loyli qum	№616. 31,4-31,6	oldin	12,14	27,59	29,11
			keyin	3,92	29,81	18,66
5	Qumli loy	№108. 33,2- 33,35	oldin	14,13	44,08	14,43
			keyin	4,01	33,32	12,49
6	Qumli loy	№108. 38,4-38,5	oldin	7,11	44,01	17,90
			keyin	2,13	29,43	18,08
7	Loyli qum	№152. 8,6-8,8	oldin	11,57	31,84	17,50
			keyin	3,47	26,60	22,50
8	Loyli qum	№152. 17,8-18,0	oldin	11,86	38,67	19,36
			keyin	3,51	28,87	16,19
9	Loyli qum	№152. 38,8-39,0	oldin	12,22	34,46	18,81
			keyin	2,89	26,97	18,24
10	Qumli loy	№406. 24,5-24,7	oldin	8,77	43,02	15,16
			keyin	1,91	29,34	18,52



10-rasm. Tarkibida gips mavjud gruntarning uch o‘qli siqilish sinovida yuvilishdan oldin aniqlangan mustahkamlik holati, ya’ni o‘q bo‘ylab deformatsiya bilan deformatsiyalovchi kuchlanish o‘rtasidagi bog‘lanish grafigi keltirilgan.



11-rasm. Tarkibida gips mavjud gruntning uch o'qli siqilish sinovida yuvilishdan keyin aniqlangan mustahkamlik holati hamda o'q bo'ylab deformatsiya bilan deformatsiyalovchi kuchlanish o'rtasidagi bog'lanish grafigi keltirilgan.



12-rasm. Tarkibida gips bo'lgan gruntlarni uch o'qli sinov qurilmasida yuvilishdan oldin (№1) va keyin (№2) aniqlangan mustahkamlik grafik natijalarini solishtirish.

Empirik formulalar asosida mustahkamlik parametrlarini baholash va mavjud formulalar bilan solishtirish.

Gipslangan gruntning yuvilishdan keyingi holatida bog'lanish kuchi (c) va ichki ishqalanish burchagi (φ) gips miqdori (G), plastiklik indeksi (I_p), zichlik (ρ) hamda namlik (W) bilan o'zaro bog'liqligi asosida yangi empirik tenglamalar ishlab chiqildi. Formulalar MS Excel 365 dasturida "ko'p omilli regressiya" usuli orqali 40 ta laborator sinov ma'lumotlari asosida tuzildi.

Yangi modellarning umumiy ko'rinishi quyidagicha:

$$c = a_0 + a_1 \cdot G + a_2 \cdot I_p + a_3 \cdot \rho - a_4 \cdot W \quad (8)$$

$$\varphi = b_0 + b_1 \cdot G + b_2 \cdot I_p + b_3 \cdot \rho - b_4 \cdot W \quad (9)$$

Bu yerda: φ – ichki ishqalanish burchagi ($^\circ$), I_p – plastiklik soni ($\%$) G – grumdagi gips miqdori ($\%$), c – ichki bog'lanish kuchi (kPa), W – gruntning tabiiy namligi ($\%$), ρ – gruntning zichligi (g/cm^3).

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – empirik yo'l bilan (Excelda regressiya orqali) topilgan koeffitsientlar. $a_0 = -2.51$ (erkin had), $a_1 = 0.87$ (G koeffitsient), $a_2 = 0.52$ (I_p koeffitsient), $a_3 = 2.34$ (ρ koeffitsient), $a_4 = 0.28$ (W koeffitsient).

Taqqoslash uchun Sveshnikov tomonidan taklif etilgan klassik formulalar quyidagicha:

$$\varphi = \varphi_0 - \alpha \cdot C_r \quad (10)$$

$$c = c_0 - \beta \cdot C_r \quad (11)$$

Bu yerda: φ - ichki ishqalanish burchagi ($^{\circ}$), α β -eksperimental koeffitsientlar ($\alpha = 0.7, \beta = 1.2$), C_r -gruntidagi gips miqdori (%), c – ichki bog‘lanish kuchi (kPa), φ_0, c_0 – tarkibida gips bo‘lmagan holatdagi φ va c .

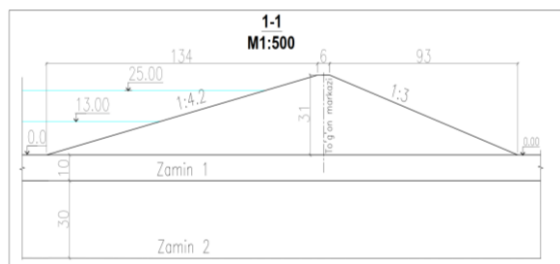
Sveshnikov formulalarida faqat gips miqdori va plastiklik indeksini hisobga oladi, zichlik va namlik ta’siri inobatga olinmagan.

Natijalarga ko‘ra, yangi modelning aniqlik darajasi yuqori bo‘lib, bog‘lanish kuchi uchun $R^2 = 0,88$, RMSE = 2,4 kPa, MAPE = 6,5%, ichki ishqalanish burchagi uchun esa $R^2 = 0,85$, RMSE = 1,8 $^{\circ}$, MAPE = 5,9% qiymatlar olindi.

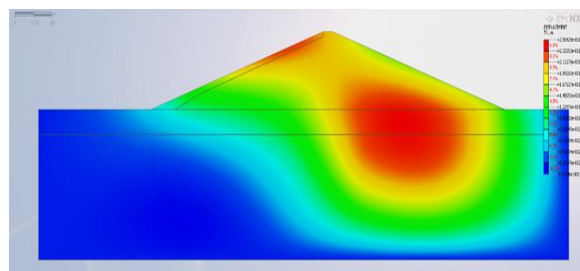
Sveshnikov formulasi uchun bu ko‘rsatkichlar mos ravishda $R^2 = 0,72-0,74$ va MAPE = 9–10% atrofida bo‘ldi.

Shu asosda, taklif etilgan formulalar grunt zichligi va namlik omillarini inobatga olgani tufayli aniqlik darajasi 15–20% ga oshgani aniqlandi. Natijada, yangi empirik tenglamalar gipsli gruntlarning suv ta’siridagi barqarorligini aniqlashda amaliy geotexnik hisoblar uchun yuqori ishonchlilikka ega ekani tasdiqlandi.

Dissertatsiyaning **“Tarkibida gips bo‘lgan to‘g‘onlarning mustahkamlik holatlari va barqarorligini oshirish bo‘yicha modellashtirish”** deb nomlangan to‘rtinchi bobida tarkibida gips bo‘lgan gruntli to‘g‘onning tabiiy holatdagi mustahkamlik holatini modellashtirish natijalari. Model: MIDAS GTS NX; geometriya balandligi 30 m, yuqori qism kengligi 6 m, asosi 130 m; gidravlik sathlar: 25 m (yuqori bief), 0,5 m (quyi bief). Material xossalari 3-bobdagi laboratoriya ma’lumotlari bilan uyg‘unlashtirildi ($E = 38$ MPa, $\varphi = 33$, $c = 25$ MPa, $\nu = 0.31$, $\rho = 1.65$ dan $1,70$ t/m 3 , $K_f = 0,01$). Loyiha asosida olingan natijalar bilan hisoblandi loyiha chizmasi (13-rasm).



13-rasm. Sardoba suv ombori hozirgi holatdagi chizmasi.



14-rasm. Tugunlardagi bosim (Nodal Seepage Pore Pressure).

MIDAS GTS NX modellashtirish natijalari shuni ko‘rsatadiki, gips mavjud tabiiy holatda to‘g‘onning barqarorligi qoniqarli emas: gorizontaal siljish $T_X \approx 0,279$ m me‘yorlardan yuqori, g‘ovak bosimi ≈ 831 kPa xavfli darajada, E-max shear $\approx 3,79$ % me‘yoriy yuqori chegaraga yaqin/yuqori, plastik zonalar $\approx 30-40$ % (tavsiya < 15 %) va to‘yinganlik $90-95$ % bo‘lgani uchun piping/suffoziya xavfi

XULOSALAR

Tarkibida gips mavjud bo'lgan gruntlarning suv ta'sirida yuvilishi jarayonlari, fizik-mexanik va filtratsion xossalarning o'zgarishi hamda gruntli to'g'onlar barqarorligiga ta'sirini aniqlashga qaratilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar olindi:

1. Gipsli gruntlarning hosil bo'lishi, tarkibi va fizik-mexanik xossalari tahlil qilinib, ularning suv ta'sirida yuvilish jarayoni natijasida strukturaviy o'zgarishlar yuz berishi ilmiy asosda aniqlandi. Xususan, gips yuvilishi natijasida gruntning zichligi o'rtacha $1,58 \text{ g/cm}^3$ dan $1,42 \text{ g/cm}^3$ gacha kamayishi, g'ovakligi ortishi va mustahkamlik parametrlarining pasayishi aniqlandi.

2. Mavjud ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, gipsli gruntlarning yuvilish jarayonida filtratsiya koeffitsienti, ichki bog'lanish kuchi va ichki ishqalanish burchagining o'zgarish qonuniyatlari yetarlicha chuqur o'rganilmagan hamda mavjud empirik formulalarda gruntning zichligi, namligi va plastiklik xossalari hisobga olinmaganligi ularning aniqligini cheklashi aniqlandi.

3. Doimiy gidravlik gradientni ta'minlovchi va bir vaqtning o'zida 20 ta namunani sinovdan o'tkazish imkonini beruvchi takomillashtirilgan kompression-filtratsion qurilma ishlab chiqildi. Qurilmaning $\pm 2\%$ aniqlikda ishlashi va tajriba natijalarining ishonchliligini oshirishi eksperimental ravishda isbotlandi.

4. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, gips miqdori 10% ga yetganda, gips gruntning xossalariga, ayniqsa, suv o'tkazuvchanlik, plastiklik, fizik va mexanik xossalarga ta'sir qiladi (V.P.Petruxin va Barzanji). Tadqiqot davomida grunt tarkibida 5% ÷ 13% gacha gips bo'lgan gruntlar o'rganildi. Natijada, gips miqdori o'rtacha 71% ga kamaydi, filtratsiya koeffitsienti tajriba boshida (K_f) $\approx 0,086$ m/kun tajribadan keyin $K_f \approx 0,000086$ m/kun ga kamaydi, bog'lanish kuchi (c) 45–50% ga, ichki ishqalanish burchagi (φ) esa 10–15% ga qisqardi. Bu natijalar gipsli gruntlarning suv ta'sirida barqarorligini keskin yo'qotishini ilmiy asosda isbotlandi.

5. Gipsli gruntlarning ichki ishqalanish burchagini va bog'lanish kuchini aniqlash uchun yangi ko'p omilli empirik tenglama taklif qilindi. Ushbu formula oldingi Sveshnikov formulalaridan farqli ravishda gips miqdori (G), plastiklik soni (I_p), zichlik (ρ) va namlik (W)ni hisobga oladi. Hisoblash natijalari laboratoriya qiymatlari bilan yaxshi mos kelib, xatolik 8–12% oralig'ida ekanligi aniqlandi.

6. MIDAS GTS NX dasturida bajarilgan sonli modellashtirish natijalariga ko'ra, gips yuvilmagan holatda gruntli to'g'onning barqarorlik koeffitsienti (FOS) 1,25–1,30 ni tashkil etgan bo'lsa, gips yuvilishi natijasida ushbu ko'rsatkich 1,05–1,10 gacha kamayishi aniqlandi. Bu esa normativ talab ($FOS \geq 1,25$) bajarilmasligini ko'rsatib, inshoot xavfsizligining pasayishini isbotladi. Tadqiqot natijalari asosida gipsli gruntlardan qurilgan gidrotexnika inshootlarining barqarorligini oshirishga qaratilgan konstruktiv va texnologik yechimlar ishlab chiqildi, jumladan filtratsiyaga qarshi himoya choralarini qo'llash zarurligi asoslab berildi va amaliyotga joriy etildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.10.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ «ТАШКЕНТСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

**ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ХИДОЯТОВ АБДУЛЛО ЗОХИДЖОН УГЛИ

**ВЛИЯНИЕ ГИПСА НА ПРОЧНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ, ПОСТРОЕННЫХ ИЗ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ,
СОДЕРЖАЩИХ ГИПС
(на примере Сардобинского водохранилища)**

05.09.06 – «Гидротехническое и мелиоративное строительство»

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

Тема диссертации доктора философии по техническим наукам (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2025.3. PhD/T6044.

Диссертация выполнена в Ташкентском архитектурно-строительном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.taqi.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:	Назаров Комил Игамбердиевич кандидат технических наук, доцент
Официальные оппоненты:	Янгиев Асрор Абдухамидович доктор технических наук, профессор Усмонхуджаев Илхом Инамович кандидат технических наук, доцент
Ведущая организация:	Каршинский государственный технический университет

Защита диссертации состоится «___» _____ 2025 г. _____ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.10.02 при Национальном исследовательском университете «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» по адресу: 100000, г.Ташкент, ул. Кары Ниязий, 39. Тел./Факс: (+99871)-237-46-68, e-mail: admin@tiame.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национальном исследовательском университете «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (регистрационный номер _____). Адрес 100000, г. Ташкент, ул. Кары Ниязий, 39. Тел. (+99871)-237-19-45. e-mail:admin@tiame.uz.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2026 года.

(реестр протокола рассылки № ___ от «___» _____ 2026 года).

М.Х.Хамидов

Председатель научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.с.х.н., профессор

Ф.А. Гаппаров

Учёный секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

М.М. Бакиев

Председатель научного семинара
при научном совете по
присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мире насчитывается более 35 тысяч плотин, из которых 82,9% составляют грунтовые плотины. Данный тип сооружений широко распространён благодаря их экономической эффективности, технологической гибкости строительства и относительно низким эксплуатационным затратам.

В мировом масштабе грунтовые плотины относятся к числу сооружений, наиболее подверженных авариям, что обусловлено их конструктивными особенностями и чувствительностью к природному составу используемых материалов. В частности, при наличии в грунтах растворимых минералов — гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — при взаимодействии с водой существенно изменяются их физико-механические свойства. Это приводит к снижению устойчивости и прочности гидротехнических сооружений, возведённых на таких основаниях, возникновению деформационных смещений, а также повышению риска размыва под воздействием воды. В связи с этим глубокое изучение поведения гипсосодержащих грунтов в подводных условиях имеет важное научное и практическое значение для обеспечения надёжности гидротехнических сооружений.

Анализ плотин по всему миру показывает, что большинство разрушений происходит именно в грунтовых сооружениях. На их долю приходится 77,2% аварий, при этом основными причинами являются ошибки на стадиях проектирования и строительства, а также неустойчивость грунтов основания. В связи с этим изучение вопросов прочности и фильтрации грунтовых плотин, особенно грунтов, содержащих растворимые минералы — гипс и соли, при их размыве под воздействием воды, является на сегодняшний день одной из актуальных задач.

В Республике проводятся научные исследования, направленные на повышение прочности и устойчивости гидротехнических сооружений, а также на обеспечение их безопасности в период эксплуатации. Во многих регионах Узбекистана, в том числе в зонах Мирзачуля, Кызылкума и Сырдарьинской долины, встречаются грунты с высоким содержанием гипса. Взаимодействие таких грунтов с водой приводит к изменению их физико-механических свойств, что оказывает непосредственное влияние на устойчивость гидротехнических сооружений. В «Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», в частности, определены задачи по «коренному реформированию системы управления водными ресурсами и реализации отдельной государственной программы по водосбережению». Реализация данных задач, включая совершенствование фильтрационных устройств грунтов, содержащих гипс, оценку их прочностных свойств, а также проведение научных исследований, направленных на разработку конструктивных мероприятий по повышению прочности и устойчивости гидротехнических сооружений, возведённых из гипсосодержащих грунтов, имеет важное значение.

Данное диссертационное исследование в определённой степени направлено на реализацию задач, установленных в нормативно-правовых актах Республики Узбекистан, в том числе: ¹Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УК–60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», Указе от 10 июля 2020 года № УК–6024 «Об утверждении Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы», Постановлении от 9 октября 2019 года № ПП–4486 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления водными ресурсами», а также Постановлении от 24 февраля 2021 года № ПП–5005 «О Стратегии управления водными ресурсами и развития ирригационного сектора Республики Узбекистан на 2021–2023 годы», а также других нормативно-правовых документах, относящихся к данной сфере деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование соответствует VIII приоритетному направлению развития науки и технологий Республики Узбекистан — «Науки о Земле: геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья».

Степень изученности проблемы. Изучением физико-механических свойств гипсосодержащих грунтов занимались ряд зарубежных учёных, в том числе М.Я. Абелов, Б.Ж. Унайбаев, Й.Й. Оразалин, В.Г. Науменко, В.П. Петрухин, В.В. Петров, И.А. Свешников, А.Е. Орадовская, Б.И. Далматов, В.В. Соколовский, Р.С. Зиангиров, Л.Н. Ломизе, М.Н. Терлецкая, Н.М. Герсеванова, А.И. Грот, А.Ф. Барзанжи, А.А. Al-Mufty, M.N. Al-Khashab, Y.J. Liu, Q. Xu, L. Zhang, Q. Xu, Z. Sun, R. Soderholm и другие, которые выполнили значительные научные работы.

В Республике исследования по прочности грунтовых плотин проводили А.А. Мустафаев, Г.Л. Урманова, Е.Д. Рождественский, А.Курбонов, Т.Р. Рашидов, А.А. Ишанходжаев, К.И. Ибрагимов, М.М. Мирсаидов, Т.З. Султонов, К.Д. Салямова, М.Р. Бакиев, И.У. Мажидов, Х. Файзиев, К.И. Назаров и другие, достигнувшие определённых результатов.

Проведённые исследования показывают, что вопросы исследования индивидуальных конструктивных решений устройств, предназначенных для определения изменений прочности и фильтрационных свойств грунтов в процессе растворения гипса под воздействием воды, на основе инновационных технологий изучены недостаточно.

Связь темы диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ учреждения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках проекта №4 ОТ-Ф4-75 «Разработка метода оценки несущей способности основания сооружений с учётом изменения прочностных свойств грунтов под воздействием сильных землетрясений» (2017–2020), включённого в план

¹Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УК–60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», Указе от 10 июля 2020 года № УК–6024

научно-исследовательских работ Ташкентского архитектурно-строительного университета.

Цель исследования. Совершенствование метода расчёта прочности грунтовых плотин, содержащих гипс, с учётом их размыва под воздействием воды и изменения фильтрационных свойств.

Задачи исследования:

анализ теоретических и практических исследований по оценке прочности плотин, возведённых из глинистых грунтов, содержащих гипс;

лабораторные исследования фильтрационных параметров грунтовых плотин, содержащих гипс, в зависимости от содержания гипса и свойств грунта;

исследование изменения угла внутреннего трения и силы сцепления в процессе вымывания гипса из состава глинистых грунтов;

моделирование процесса оценки устойчивости плотины на основе программного комплекса MIDAS GTS NX.

Объект исследования являются грунтовая плотина Сардобинского водохранилища, расположенного на территории Узбекистана и содержащего гипсосодержащие грунты.

Предмет исследования являются влияние процесса вымывания, происходящего под воздействием воды в глинистых грунтах, содержащих гипс, на фильтрационные свойства грунта.

Методы исследования. В процессе исследования использованы экспериментальные методы, системный и теоретический анализ, методы математической статистики, корреляционно-регрессионный анализ, моделирование, а также методы, предусмотренные нормативными документами.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствованы конструктивные элементы компрессионно-фильтрационного прибора для определения фильтрационных свойств глинистых грунтов, содержащих гипс;

на основе лабораторных исследований определены значения угла внутреннего трения (φ) и силы сцепления (c) с учётом процесса вымывания гипса;

усовершенствован метод определения изменения содержания гипса в глинистых грунтах с учётом влажности, плотности и числа пластичности грунта;

обоснован метод оценки устойчивости грунтовых плотин, содержащих гипс, с использованием программного комплекса MIDAS GTS NX.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана усовершенствованная конструкция компрессионно-фильтрационного прибора для определения фильтрационных свойств глинистых грунтов, содержащих гипс;

разработаны практические рекомендации по определению угла внутреннего трения (φ) и силы сцепления (c) глинистых грунтов с учётом процесса вымывания гипса;

разработан усовершенствованный метод определения изменения содержания гипса в глинистых грунтах с учётом их влажности, плотности и числа пластичности;

разработана расчётная методика оценки устойчивости грунтовых плотин, содержащих гипс, на основе программного комплекса MIDAS GTS NX, рекомендованная для применения в практических расчётах.

Достоверность результатов исследования. Подтверждена сопоставлением результатов, полученных с использованием разработанных расчётных методов и программ ЭВМ, с модельными задачами, имеющими точные решения. Полученные данные согласуются с результатами других исследователей и подтверждены их практическим применением.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость исследования заключается в том, что на научной основе обоснованы закономерности изменения фильтрационных и прочностных свойств глинистых грунтов, содержащих гипс, в процессе его вымывания. Определены механизмы изменения угла внутреннего трения (ϕ) и силы сцепления (c) в зависимости от содержания гипса, а также теоретически доказана необходимость учёта факторов вымывания гипса при их расчёте.

Практическая значимость исследования состоит в том, что усовершенствование конструкции компрессионно-фильтрационного прибора позволило одновременно и более точно оценивать процессы фильтрации и деформации в гипсосодержащих грунтах. Полученные результаты позволяют оценивать прочность и безопасность плотин, возведённых из глинистых грунтов с содержанием гипса, разрабатывать проектные решения по увеличению срока службы и устойчивости сооружений, оптимизировать угол откосов плотин, совершенствовать конструктивные формы, сокращать объёмы и сроки строительства, а также снижать себестоимость.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по влиянию гипса на прочность гидротехнических сооружений, возведённых из глинистых грунтов с его содержанием (на примере Сардобинского водохранилища):

разработаны эффективные научно-технические решения с использованием усовершенствованного компрессионно-фильтрационного прибора и параметров прочности грунтов, определённых с учётом процесса вымывания гипса, которые внедрены в практику ремонтных работ грунтовой плотины Сардобинского водохранилища проектным институтом АО «Гидропроект» в составе АО «Узбекгидроэнерго» (справка №13-15/647 от 26 февраля 2026 года). В результате определена степень вымывания гипса из грунтов плотины, снижён коэффициент фильтрации за счёт применения противофильтрационной грунтовой стены, а также обеспечена более надёжная оценка прочности и эксплуатационной безопасности плотины;

научные результаты по изменению коэффициента фильтрации и процессу вымывания гипса, полученные с использованием

усовершенствованного компрессионно-фильтрационного прибора, внедрены проектным центром ООО «ZAMIN va POYDEVOR» при выполнении ремонтных работ грунтовой плотины Сардобинского водохранилища (справка АО «Узбекгидроэнерго» №13-15/647 от 26 февраля 2026 года). В результате снижён коэффициент фильтрации, повышена точность оценки прочности и устойчивости грунтов плотины, обеспечена безопасная эксплуатация гидротехнического сооружения, а также достигнута технико-экономическая эффективность ремонтных работ за счёт реализованных технических решений.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы обсуждены на 4 международных и 1 республиканской научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 12 научных работ, из них 7 статей — в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, 1 материал конференции, индексированный в международной базе Scopus, а также 4 статьи в сборниках международных и 1 — в сборнике республиканской научно-практических конференций.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объём диссертации составляет 121 страницу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и необходимость выбранной темы, выражается основная цель и вопросы исследования, описывается объект и предмет исследования, совместимость науки и техники республики с приоритетными направлениями, а также описана научная новизна и практические результаты исследования.

В первой главе диссертации, озаглавленной как «**Анализ исследований физических и механических свойств грунтов, содержащих гипс, и их влияния на устойчивость сооружений**», рассмотрены научные источники, посвящённые изучению физико-механических и фильтрационных свойств гипсоносных грунтов, а также проанализированы результаты зарубежных и отечественных исследований.

Исследования, проведённые зарубежными учёными, показали, что при взаимодействии гипсоносных грунтов с водой наблюдается уменьшение плотности, увеличение пористости и снижение прочностных характеристик. Однако механизмы этих процессов и их количественная оценка в большинстве работ освещены недостаточно полно.

В проанализированной научной литературе (Петров В.В., Свешников В.М., Барзанжи А.Ф., Хоссайн М. и др.) изучались скорость растворения гипса в воде, процессы выщелачивания и изменения фильтрационных

свойств, связанные с водопотоками в толще грунта. Тем не менее используемые экспериментальные установки не позволяли поддерживать постоянное давление и не обеспечивали моделирование реальных гидрогеологических условий, характерных для естественного водонасыщения и фильтрации.

Анализ международного опыта (Мосул, Anchor Dam, Quail Creek, Caspe) показал, что в плотинах, построенных на гипсоносных основаниях, наблюдались потери воды, карстообразование, осадки и деформационные сдвиги. Предложенные технические решения - цементация, химическое упрочнение, устройство дренажных систем - в ряде случаев показали положительный эффект, однако их надёжность в обеспечении долговременной устойчивости сооружений не получила достаточного подтверждения.

Для оценки прочностных параметров гипсоносных грунтов (ϕ , c) известны эмпирические зависимости, предложенные В. М. Свешниковым, основанные преимущественно на содержании гипса. Однако данные формулы не учитывают совокупное влияние других факторов - влажности, плотности, степени пластичности и пористости. В результате точность расчётов по этим зависимостям не превышает $\pm 10-15\%$ в инженерной практике.

На основании проведённого анализа установлено, что в предыдущих исследованиях отсутствовал комплексный и системный подход к оценке процесса размыва гипсоносных грунтов под воздействием воды. В частности:

- не разработаны или недостаточно усовершенствованы лабораторные установки, обеспечивающие возможность постоянного контроля давления и скорости фильтрации;

- процесс изменения во времени выщелачивания гипса водой и его влияние на прочностные параметры грунта (ϕ и c) ранее не были всесторонне изучены;

- полученные эмпирические данные и результаты экспериментов не были проверены и верифицированы в условиях реальных гидротехнических сооружений (плотин, каналов, водохранилищ).

Эти недостатки свидетельствуют о необходимости разработки нового экспериментального и теоретического подхода к оценке размыва гипсоносных грунтов под воздействием воды.

В связи с этим в данной диссертации поставлены следующие задачи: совершенствование компрессионно-фильтрационного прибора с целью обеспечения длительных наблюдений за грунтами, содержащими гипс; определение зависимости фильтрационных свойств от содержания гипса и свойств грунта; анализ физико-механических и фильтрационных свойств гипсовых грунтов; определение динамики изменения угла внутреннего трения (ϕ) и сцепления (c) в процессе вымывания гипса; разработка новых эмпирических формул и их сравнение с существующими моделями; моделирование устойчивости плотины в программном комплексе MIDAS GTS NX с целью выбора и обоснования оптимального решения для условий

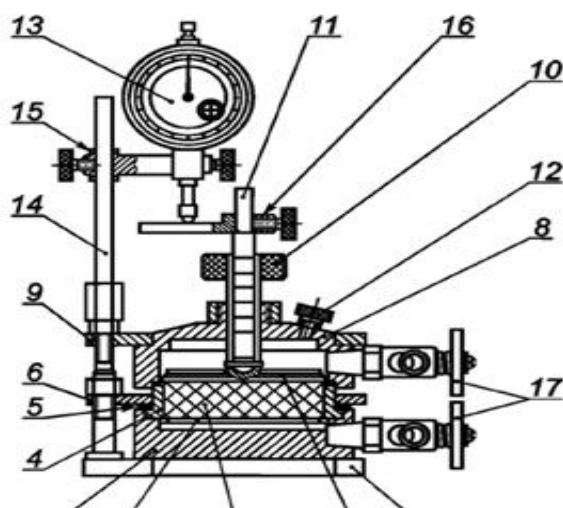
Узбекистана; а также разработка нормативных и методических документов, необходимых для проектирования и эксплуатации.

Во второй главе диссертации, названной «**Геологическое строение района исследований и методики определения физико-механических свойств гипсоносных грунтов**», приведён анализ геолого-геотехнического строения, климатических и гидрогеологических условий района исследований - Сардобинского водохранилища, а также описаны используемые при экспериментальных исследованиях приборы, оборудование и методики испытаний.

Сардобинское водохранилище расположено в Сырдарьинской области, Сардобинском районе, примерно в 30 км к западу от города Янгиер. Площадь водохранилища составляет около 60 км², общий объём воды - 922 млн м³. Водоём вытянут с юга на север; общая длина плотины - 28,5 км, наибольшая высота (около 30 м) отмечается в северной части, вблизи водосбросных сооружений.

В ходе исследований был изучен геологический разрез основания плотины, определён состав основных слоёв, содержание гипса и плотность гипсоносных грунтов. Описаны методики отбора проб, включая выборку грунтов в полевых условиях, их транспортировку в лабораторию в подготовленном виде, подготовку к испытаниям и определение физических, механических и фильтрационных свойств грунтов.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 12071–2014, ГОСТ 5180–2015, ГОСТ 30416–2016 и ГОСТ 12536–2014. Усовершенствованная компрессионно-фильтрационная установка позволила непрерывно наблюдать процесс выщелачивания гипса и получить более достоверные данные о поведении грунтов при длительном водонасыщении.



1 - основание (фундамент), 2 - поддон, 3 - нижний фильтр, 4 - рабочее кольцо, 5 - прокладка (вкладка), 6 - нижнее прижимное кольцо, 7 - верхний фильтр, 8 - крышка, 9 — верхнее прижимное кольцо, 10 - аретир (фиксатор), 11 - шток (опорный стержень), 12 - пробка, 13 - индикатор, 14 - стойка, 15 - держатель, 16 - упор, 17 - краны.

Рисунок 1. Схема компрессионно-фильтрационного прибора для определения коэффициента фильтрации глинистых грунтов.

Установка состоит из следующих основных частей, резервуар для хранения воды, насос, подающий трубопровод для подачи воды к образцам, распределительный водопровод, блок цилиндров, содержащий 20 образцов грунта, трубопровод для подачи воды, трубопровод для отвода избыточной воды, входной водяной патрубков, воздушный вход, крышка.

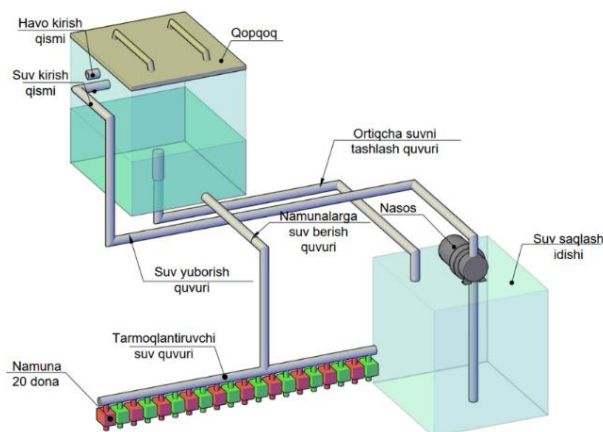


Рисунок. 2.1. Схематический вид экспериментальной установки, предназначенной для изучения процессов фильтрации и суффозии в гипсоносных грунтах.



Рисунок 2.2. Общий вид лабораторной экспериментальной установки, предназначенной для изучения процессов фильтрации и суффозии в гипсоносных грунтах.

Установка функционирует на основе замкнутой системы циркуляции воды, при этом насос обеспечивает прохождение воды через образцы под постоянным давлением, а избыточная вода автоматически направляется обратно в систему рециркуляции. Такая схема позволяет поддерживать одинаковый гидравлический градиент для каждого образца и обеспечивает точное определение коэффициента фильтрации.

В исследованиях для оценки водопроницаемости и гидравлической устойчивости грунта гидравлический градиент в каждом цилиндре определяется по следующему выражению:

$$i = \frac{h}{l} \quad (1)$$

где:

i - гидравлический градиент;

h - разность напоров (высота водяного столба), м;

L - длина пути фильтрации (высота образца), м.

$$i_1 = i_2 \dots i_{20} \frac{h}{l} \quad (2)$$

Устройство работает в режиме постоянного водоснабжения, при котором объём поступающей воды равен объёму выходящей (отводимой) воды. Избыточное количество жидкости автоматически возвращается в систему обратной циркуляции (обратку).

Основное уравнение водного баланса можно записать в виде:

$$Q_{in} = Q_f + Q_{\text{избыточная вода}} \quad (3)$$

где:

Q_{in} - расход подаваемой (входящей) воды, м³/с;

Q_f - расход воды, прошедшей через образцы (фильтрационный поток), м³/с;

$Q_{\text{избыточная вода}}$ - объём избыточной воды, автоматически отводимой в систему обратной циркуляции, м³/с.

Формула общего фильтрационного потока по 20 образцам:

$$Q_f = \sum_{j=1}^{20} q_j = 20 * q \quad (4)$$

Если скорость потока в каждом цилиндре равна q , то общий фильтрационный поток выражается следующим образом:

В соответствии с законом Дарси, фильтрационный расход в каждом цилиндре определяется формулой:

$$q = k * i * A \quad (5)$$

где:

k - коэффициент фильтрации (м/с);

i - гидравлический градиент;

A - площадь поперечного сечения образца (м²).

Таким образом, формула общего фильтрационного потока:

$$Q_f = 20 * k * i * A \quad (6)$$

Формула поддержания постоянного гидравлического градиента:

$$i = \frac{P_{\text{маторчик}}}{\gamma \cdot L} \quad (7)$$

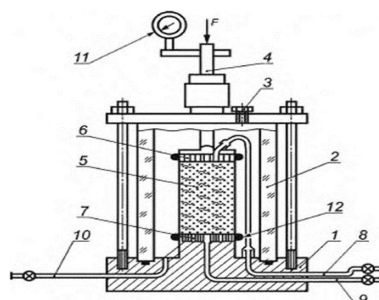
На основе системы обеспечения равномерного водяного давления с помощью маточника:

$P_{\text{маторчик}}$ - давление в маторчике (Па);

γ - удельный вес воды (≈ 9800 Н/м³);

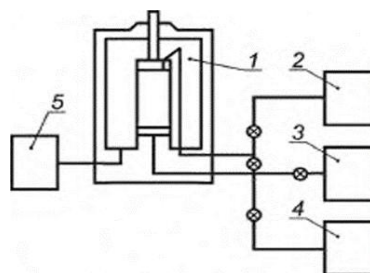
L - толщина образца грунта (м).

Прочностные характеристики глинистых грунтов, содержащих гипс, до и после выщелачивания определялись в лабораторных условиях с использованием установки трёхосного сжатия (рисунок 3).



1 - основание камеры, 2 - корпус камеры, 3 - вентиль для выпуска воздуха, 4 - шток, 5 - образец грунта в оболочке, 6 - верхний штамп, 7 - нижний штамп, 8, 9 - магистрали системы дренажа, противодействия и измерения порового давления, 10 - магистраль давления в камере, 11 - индикатор деформации (сдвига), 12 - уплотнительное кольцо, F - нагрузка.

Рисунок 3. Принципиальная схема установки для испытания грунта методом трёхосного сжатия:



1 - камера прибора трёхосного сжатия, 2 - блок измерения порового давления, 3 - блок противодействия, 4 - дренажный блок, 5 - блок давления в камере.

Рисунок 4. Блок-схема установки трёхосного сжатия грунтов:

Кроме того, на основе программного комплекса MIDAS GTS NX разработана комплексная методика расчёта устойчивости грунтовых плотин. В модели были учтены параметры тела плотины, грунтов основания и условия воздействия водного давления. Проведён анализ закономерностей снижения прочности грунтов при изменении содержания гипса.

В третьей главе диссертации, под названием «**Результаты лабораторных исследований**», представлены результаты испытаний образцов, отобранных из тела и основания грунтовой плотины Сардобинского водохранилища. В ходе исследований определены основные характеристики грунтов: плотность (ρ_d), влажность (W), пористость (e), коэффициент фильтрации (K_f), показатель пластичности (I_p) и параметры прочности. Проведён анализ взаимосвязей между этими показателями.

Результаты испытаний показали, что грунты в основном относятся к типам суглинков и супесей, при этом содержание гипса варьируется в пределах от 5 до 13 %. В лабораторных условиях определены физические свойства грунтов тела и основания плотины Сардобинского водохранилища, выполнен анализ изменений таких параметров, как плотность, влажность, пористость и пластичность, в зависимости от глубины. Полученные данные позволяют

сформировать полное представление о внутреннем строении грунтов, степени их пористости и водонасыщенности. В таблице 1 приведены результаты лабораторных испытаний образцов, отобранных из тела плотины.

Таблице 1.

Физические свойства грунтов тела плотины Сардобинского водохранилища

Грунты тела плотины Сардобинского водохранилища					
Суглинки и супеси (глинистые пески) — количество скважин до 203.					
Глубина изучения (м)	Плотность в сухом состоянии (т/м ³)	Влажность грунта W (%)	Коэффициент пористости e (%)	Пористость n (%)	Число пластичности Ip
0,5	1,57	22,67	66,8	40,0	6,74
1,6	1,53	15,11	70,7	41,4	7,32
2,5	1,59	13,52	63,7	38,9	8,74
4,2	1,58	15,18	65,2	39,5	8,7
5,3	1,35	15,82	93,8	48,4	5,24
7,1	1,50	13,42	74,1	42,6	4,43
8,1	1,77	18,11	47,5	32,2	6,26
9,1	1,51	22,9	73,4	42,3	6,49
10	1,57	18,84	66,8	40,0	5,67
11	1,59	19,82	63,7	38,9	6,81
12	1,62	18,99	60,9	37,9	6,01
13	1,61	22,03	62,5	38,5	5,90
14,2	1,59	24,35	63,9	39,0	7,73
15	1,52	26,22	71,6	41,7	9,31
18,1	1,59	24,13	64,5	39,2	9,16

Результаты анализа показывают, что грунты, встречающиеся в теле плотины Сардобинский водохранилище, в основном относятся к типам суглинистого песка и песчаного суглинка, и их физические свойства значительно варьируются в зависимости от глубины.

Плотность в сухом состоянии (ρ_d) изменяется от 1,35 т/м³ до 1,77 т/м³, при этом на глубине 5–8 м выявлены наиболее оптимальные по плотности слои (рисунок. 5 и б). Влажность (W) находится в диапазоне 13,4–26,2 % и имеет тенденцию к увеличению с глубиной.

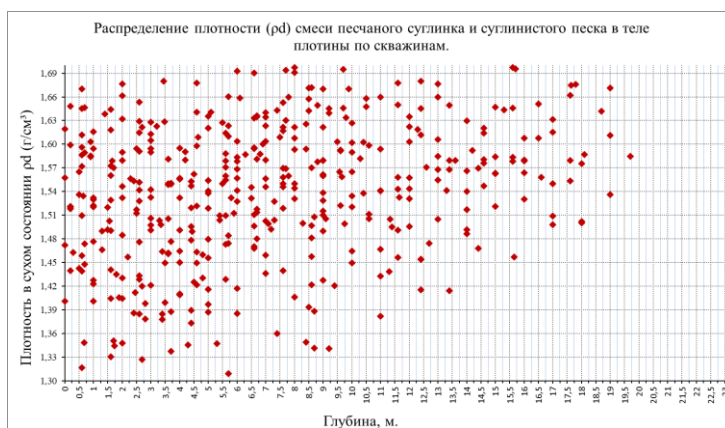


Рисунок 5. Распределение сухой плотности (ρ_d) смеси супеси и суглинка в теле плотины по глубине.

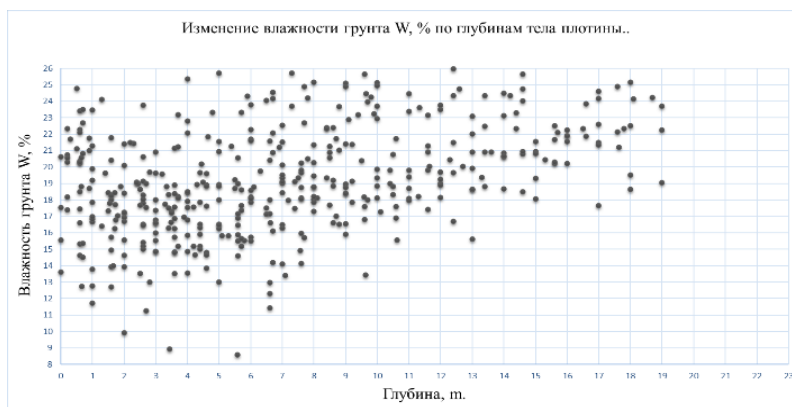


Рисунок 6. Распределение влажности грунта (W, %) по глубине тела плотины.

Коэффициент пористости (e) варьируется в пределах 47,5–93,8 %, а пористость (n) — в диапазоне 32,2–48,4 % (Рисунок 7). Наибольшие значения пористости зафиксированы на глубине 14–18 м, что характеризуется повышенной водопроницаемостью грунта в этих слоях.



Рисунок 7. Зависимость пористости грунта от плотности в теле плотины.

Число пластичности (I_p) варьируется от 4,43 до 9,31 (Рисунок 8). Повышенные значения пластичности характерны для суглинистых грунтов и способствуют увеличению их деформационной податливости.

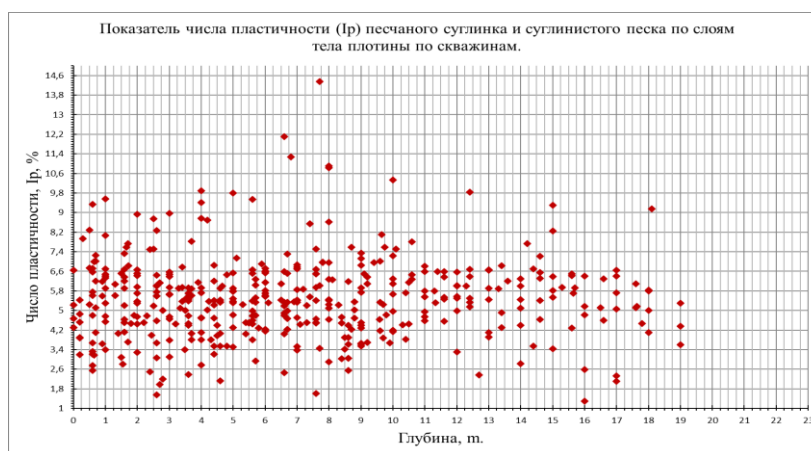


Рисунок 8. Распределение числа пластичности (I_p) песчаного суглинка и суглинистого песка в теле плотины.

Таким образом, анализ физических свойств грунтов тела плотины показывает, что:

в верхних слоях (0,5–5 м) грунт уплотнён, водопроницаемость низкая, сформировалась устойчивая зона;

в средних глубинах (5–10 м) грунт находится в наиболее оптимальном физическом состоянии, образует опорную зону сооружения;

в нижних слоях (10–18 м) вследствие увеличения пористости и влажности устойчивость грунта снижается.

Эти результаты служат исходными данными для оценки структурного состояния тела плотины, моделирования деформационного и фильтрационного поведения грунтов под воздействием воды.

Результаты проверки фильтрации в теле и основании плотины в полевых и лабораторных условиях.

Согласно результатам, значения коэффициента фильтрации K_f грунтов тела и основания плотины изменялись в интервале от 0,0017 м/сут до 0,0046 м/сут. Эти изменения связаны с гранулометрическим составом грунтов, плотностью, пористостью и концентрацией гипса.

У большинства образцов $K_f < 0,005$ м/сут, что в соответствии с требованиями О'zDst 25100-2020 относится к группе «слабоводопроницаемые». В некоторых локальных местах, особенно на глубине от 16 м до 20 м, значения $K_f > 0,1$ м/сут, что указывает на увеличение водопроницаемости. Это обычно объясняется наличием структурной концентрации гипсовых линз или микровключений.

Приведённые данные по 76 скважинам чётко показывают изменчивость в этих интервалах. Пространственная разнородность этих значений свидетельствует о неравномерном распределении структуры и компонентного состава грунтов основания и тела плотины.

С помощью усовершенствованного компрессионно-фильтрационного устройства в лабораторных условиях была определена фильтрационная характеристика гипсосодержащих грунтов.

Анализ фильтрационных уклонов показал (Рисунок9), что коэффициент фильтрации в начале испытания быстро изменяется, а затем стабилизируется. Это объясняется увеличением пористости, возникающим вследствие выщелачивания гипса и других солей из грунта.

В результате экспериментов содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в грунте снизилось с интервала 11,27–20,27 % до 2,57–6,36 %. Это показывает, что процесс вымывания гипсовых солей водой протекает интенсивно и включает стадии выщелачивания гипса (табл. 2). С увеличением гидравлического градиента гипсовые соли в составе грунта вымываются поэтапно:

В течение 1–10 дней коэффициент фильтрации резко снижается, так как основная часть гипса растворяется и около 40–45 % общего вымывания происходит в этот период.

В течение 10–25 дней вымывание происходит медленно, так как гипс вымывается из состава грунта и заменяется грунтовыми частицами. В

течение 35–50 дней коэффициент фильтрации грунта составляет $K_f = 10^{-6}$ м/сут (табл. 2).

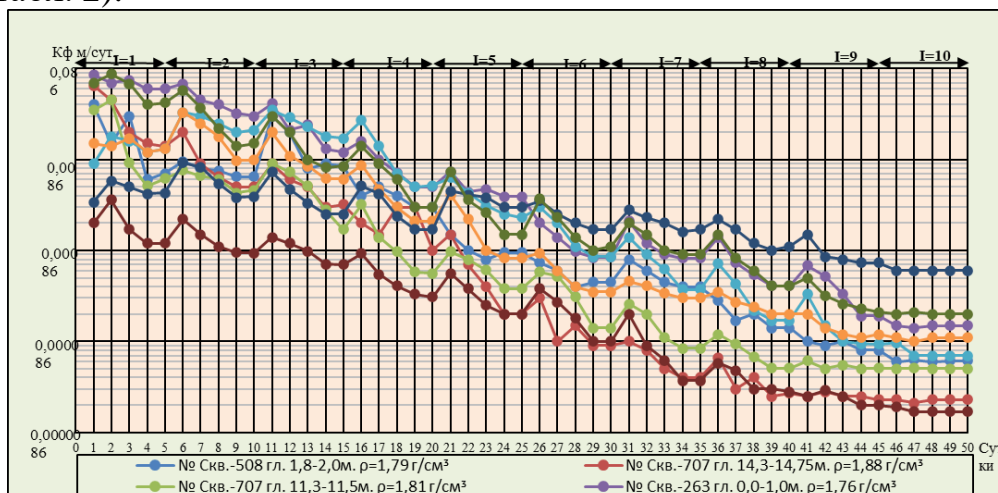


Рисунок 9. График изменения кривых коэффициента фильтрации грунта плотины Сардабинского водохранилища во времени при различных градиентах.

Таблица 2.

Пошаговый анализ выщелачивания гипса из грунтов на основе изменения коэффициента фильтрации

Период выщелачивания, дни	Описание процесса	Среднесуточное выщелачивание
1-10	Коэффициент фильтрации резко снижается, в этот период происходит наиболее интенсивное выщелачивание гипса (~40–45%).	≈4 %/сут (наиболее интенсивное выщелачивание)
10-25	K_f постепенно продолжает снижаться, средний период выщелачивания.	≈2%/сут
25-35	Наблюдается очередное заметное снижение, активизируется выщелачивание гипса в мягких слоях грунта.	≈2–2,5%/сут
35-50	График выравнивается, основная часть гипса уже вымыта, процесс стабилизируется.	≈0,5–0,1%/сут

Прочностные и деформационные свойства гипсованных грунтов при выщелачивании.

В лабораторных условиях на образцах грунта (песок, суглинистый песок и песчаный суглинок), отобранных из тела и основания плотины Сардабинский водохранилище, были проведены испытания на сдвиг по одной плоскости и трёхосное сжатие. Согласно результатам исследований, установлена прямая зависимость физико-механических свойств грунтов от содержания гипса.

С увеличением содержания гипса наблюдается рост угла внутреннего трения (ϕ) и сцепления (c) грунта. Для песчаных грунтов: $\phi = 31,6–38,7^\circ$, $c = 0–5,9$ кПа для суглинистого песка: $\phi = 26,6–44,7^\circ$, $c = 17–72$ кПа для песчаного суглинка: $\phi = 24–44^\circ$, $c = 10–94$ кПа.

С целью оценки долговременных изменений прочностных характеристик грунта при вымывании гипса из его состава образцы в

лабораторных условиях насыщались водой в течение 72 часов с использованием трёхосного прибора и усовершенствованной компрессионно-фильтрационной установки. После насыщения значения угла внутреннего трения φ и сцепления с определялись повторно (табл. 3). Результаты испытаний показали, что вымывание гипса приводит к снижению сцепления с до 45 %, а угла внутреннего трения φ — на 10–15 % (Рисунок12).

Таблица 3.

Результаты, полученные до и после выщелачивания гипса

№ п/п	Наименование грунта	Скважина Глубина, м	Содержание гипса, %		внутреннего трения (φ , градусы)	Сцепление (с, кПа)
			до	после		
1	Суглинистый песок	№152. 18,8-19,0	до	5,33	26,60	22,50
			после	1,08	27,94	16,20
2	Суглинистый песок	№616. 26,8-27,0	до	8,77	43,20	35,19
			после	6,13	29,77	18,21
3	Суглинистый песок	№108. 32,5-32,7	до	13,09	33,25	27,32
			после	3,35	28,09	11,73
4	Суглинистый песок	№616. 31,4-31,6	до	12,14	27,59	29,11
			после	3,92	29,81	18,66
5	Суглинистый песок	№108. 33,2-33,35	до	14,13	44,08	14,43
			после	4,01	33,32	12,49
6	Суглинистый песок	№108. 38,4-38,5	до	7,11	44,01	17,90
			после	2,13	29,43	18,08
7	Суглинистый песок	№152. 8,6-8,8	до	11,57	31,84	17,50
			после	3,47	26,60	22,50
8	Суглинистый песок	№152. 17,8-18,0	до	11,86	38,67	19,36
			после	3,51	28,87	16,19
9	Суглинистый песок	№152. 38,8-39,0	до	12,22	34,46	18,81
			после	2,89	26,97	18,24
10	Суглинистый песок	№406. 24,5-24,7	до	8,77	43,02	15,16
			после	1,91	29,34	18,52

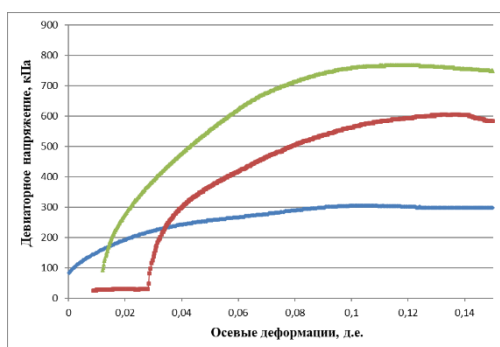
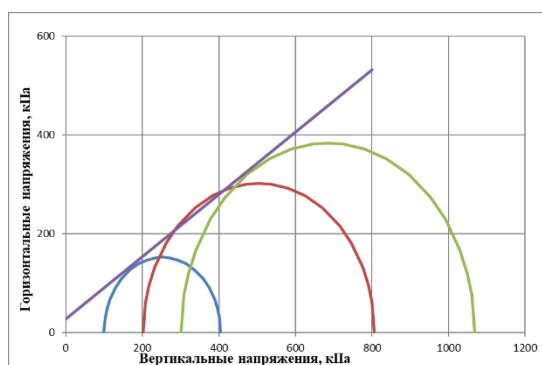


Рисунок 10. Представлен график прочностного состояния гипсосодержащих грунтов, определённого до выщелачивания в ходе трёхосного сжатия, отражающий зависимость между осевой деформацией и девиаторным напряжением.

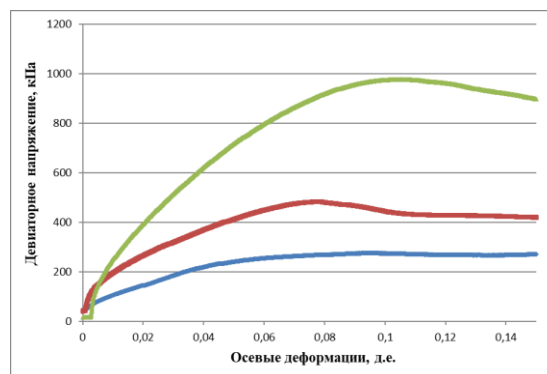
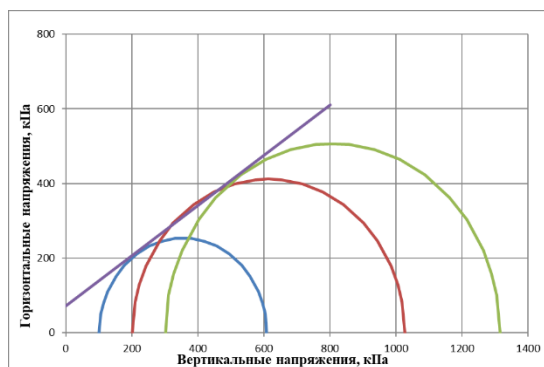


Рисунок 11. Представлены графики прочностного состояния гипсосодержащих грунтов, определённого после выщелачивания в ходе трёхосного сжатия, а также зависимости между осевой деформацией и девиаторным напряжением.

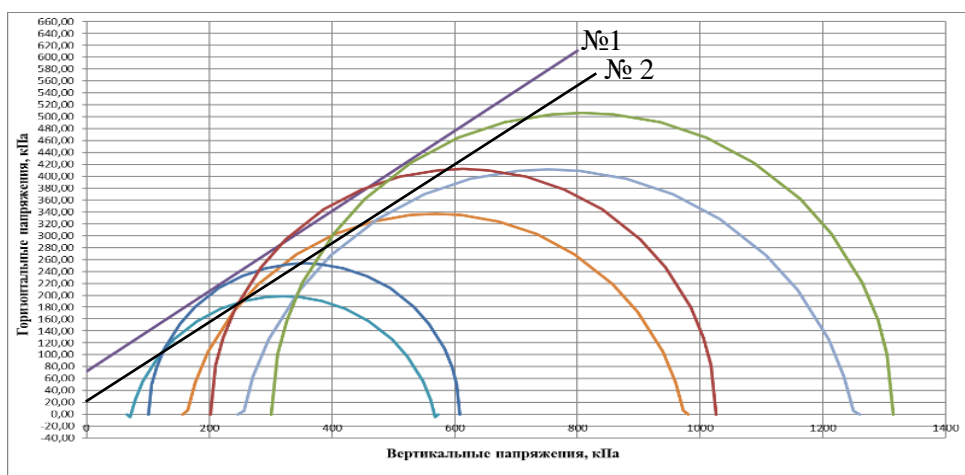


Рисунок 12. Сравнение графических результатов прочности гипсоносных грунтов, определённых на трёхосной испытательной установке до вымывания (№1) и после вымывания (№2).

Оценка параметров прочности на основе эмпирических формул и сравнение с существующими зависимостями.

Для состояния гипсованных грунтов после выщелачивания на основе взаимосвязи между сцеплением (c), углом внутреннего трения (φ), содержанием гипса (G), индексом пластичности (I_p), плотностью (ρ) и влажностью (W) были разработаны новые эмпирические уравнения.

Формулы получены методом «многофакторной регрессии» в программе Microsoft Excel 365 на основании 40 лабораторных испытаний.

Общий вид новых моделей следующий:

$$c = a_0 + a_1 \cdot G + a_2 \cdot I_p + a_3 \cdot \rho - a_4 \cdot W \quad (8)$$

$$\varphi = b_0 + b_1 \cdot G + b_2 \cdot I_p + b_3 \cdot \rho - b_4 \cdot W \quad (9)$$

Здесь: φ - угол внутреннего трения ($^\circ$), I_p - число пластичности (%), G - содержание гипса в грунте (%), c - сцепление (кПа), W - естественная влажность грунта (%), ρ - плотность грунта (г/см^3).

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 - коэффициенты, определённые эмпирическим путём (посредством регрессии в Excel):

$a_0 = -2,51$ (свободный член), $a_1 = 0,87$ (коэффициент при G), $a_2 = 0,52$ (коэффициент при I_p), $a_3 = 2,34$ (коэффициент при ρ), $a_4 = 0,28$ (коэффициент при W).

Для сравнения приводятся классические формулы, предложенные Sveshnikov A.A.:

$$\varphi = \varphi_0 - \alpha \cdot C_r \quad (10)$$

$$c = c_0 - \beta \cdot C_r \quad (11)$$

Здесь: φ - угол внутреннего трения ($^\circ$); α, β - экспериментальные коэффициенты ($\alpha = 0,7$; $\beta = 1,2$); C_r - содержание гипса в грунте (%); c - сцепление (кПа); φ_0, c_0 - угол внутреннего трения и сцепление для грунтов без содержания гипса.

В формулах Sveshnikov A.A. учитываются только содержание гипса и индекс пластичности, при этом влияние плотности и влажности не рассматривается.

Согласно полученным результатам, новая модель демонстрирует более высокую точность:

для сцепления: $R^2 = 0,88$, $RMSE = 2,4$ кПа, $MAPE = 6,5$ %.

для угла внутреннего трения: $R^2 = 0,85$, $RMSE = 1,8^\circ$, $MAPE = 5,9$ %.

Для формулы Свешникова соответствующие показатели составили $R^2 = 0,72-0,74$ и $MAPE = 9-10$ %.

Таким образом, за счёт учёта плотности и влажности грунта точность предлагаемой формулы увеличилась на 15–20 %. В результате подтверждено, что новые эмпирические уравнения обладают высокой надёжностью для практических геотехнических расчётов устойчивости гипсованных грунтов под воздействием воды.

В четвёртой главе диссертации **«Моделирование прочностного состояния и повышение устойчивости плотин, содержащих гипс»** представлены результаты моделирования прочностного состояния грунтовой плотины с содержанием гипса в её теле в естественных условиях. Модель: MIDAS GTS NX; геометрия: высота 30 м, верхняя часть шириной 6 м, основание 130 м; гидравлические уровни: 25 м (верхний бьеф), 0,5 м (нижний бьеф). Свойства материала согласованы с лабораторными данными третьей главы ($E = 38$ МПа, $\varphi = 33$, $c = 25$ МПа, $\nu = 0,31$, $\rho = 1,65-1,70$ т/м³, $K_f = 0,01$). Расчёты выполнены на основе проектных данных, проектная схема показана на рисунке 4.45.

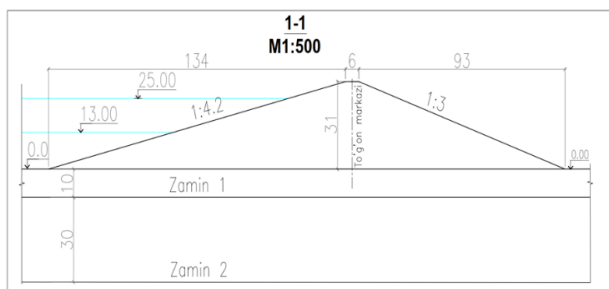


Рисунок 13. Схема текущего состояния Сардобинское водохранилище.

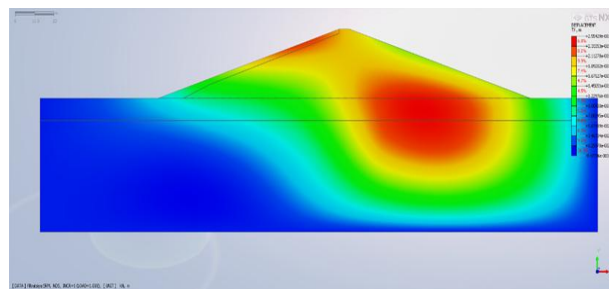


Рисунок 14. Давление в узлах (Nodal Seepage Pore Pressure).

Результаты моделирования MIDAS GTS NX показывают, что при наличии гипса в природном состоянии устойчивость плотины неудовлетворительная: горизонтальное смещение $T_x \approx 0,279$ м выше нормативов, поровое давление ≈ 831 кПа - на опасном уровне, $E\text{-max shear} \approx 3,79\%$ - близко/выше верхней нормативной границы, пластические зоны $\approx 30\text{--}40\%$ (рекомендуется $< 15\%$) и насыщенность $90\text{--}95\%$ - риск *ripping*/суффозии высокий. Основная причина - растворимость гипсовых слоёв, $K_f \approx 0,01$ м/сут и большой градиент, вызванный разницей гидравлических уровней 25 м/ $0,5$ м; существующие $\varphi \approx 33^\circ$ и $c \approx 25$ кПа не обеспечивают достаточного запаса прочности.

Результаты моделирования прочностного состояния грунтовой плотины с гипсом после выщелачивания. В результате выщелачивания гипса показатели грунта c , φ и E снизились, K_f увеличился; в итоге расчётная устойчивость плотины значительно уменьшилась. Моделирование показало: $FOS \approx 1,25\text{--}1,30$, что ниже нормативного требования ($\geq 1,4\text{--}1,5$) - глобальный запас устойчивости недостаточен. Горизонтальное смещение и осадка увеличились в $1,5\text{--}2$ раза - деформационный риск вырос. Фильтрационные пути расширились, гидравлический градиент приблизился к критическим значениям - увеличилась вероятность суффозии. Опасные зоны в основном сосредоточены в гипсовых линзах ядра и основания.

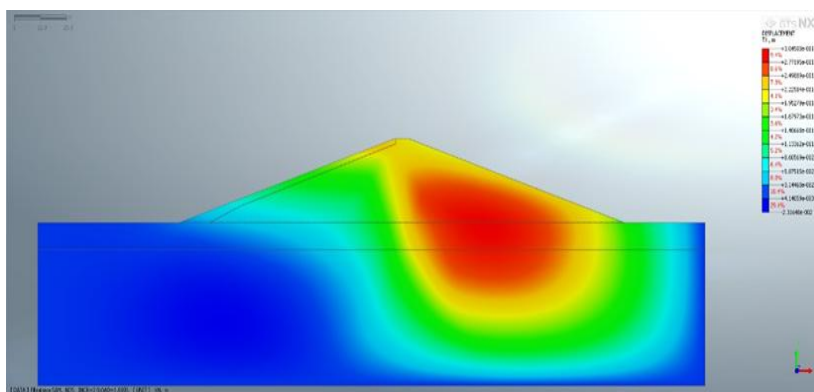


Рисунок 15. Горизонтальное смещение (TX Displacement) плотины, смоделированной в программе MIDAS GTS NX.

Предложенные меры по укреплению (чертёж проекта - частности устройство бентонитово-глинистой стены толщиной $0,8\text{--}1,2$ м, при

повторном моделировании обеспечили приведение устойчивости плотины к нормативному уровню: $FOS \approx 1,52-1,58$, $TX \approx 0,196-0,200$ м, $E\text{-max shear} \approx 3,1-3,2$ %, поровое давление ≈ 734 кПа, пластическая зона ≈ 24 %.

Удлинение фильтрационного пути примерно в 2,3 раза значительно снизило риск суффозии, а общая фильтрационная способность уменьшилась в 3–5 раз (за счёт сокращения K_f).

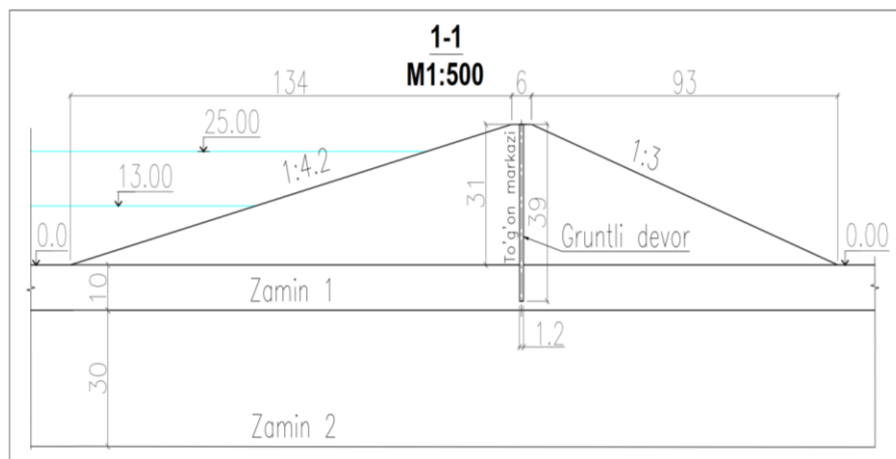


Рисунок 16. Проектная схема, предложенная для реконструкции и восстановительных работ Сардобинское водохранилище.

Вариант «D» является наиболее эффективным и экономически целесообразным решением, обеспечивающим необходимый запас безопасности при длительной эксплуатации в условиях гипсованных грунтов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых исследований, направленных на определение процессов вымывания грунтов, содержащих гипс, под воздействием воды, изменения их физико-механических и фильтрационных свойств, а также влияния на устойчивость грунтовых плотин, получены следующие выводы:

1. На основе анализа условий формирования, состава и физико-механических свойств гипсодержащих грунтов научно обосновано, что под воздействием воды в процессе вымывания гипса происходят структурные изменения. В частности, установлено, что плотность грунта уменьшается в среднем с $1,58$ г/см³ до $1,42$ г/см³, увеличивается пористость и снижаются прочностные характеристики.

2. Анализ существующих научных исследований показал, что закономерности изменения коэффициента фильтрации, сцепления и угла внутреннего трения при вымывании гипса изучены недостаточно глубоко. Установлено, что в существующих эмпирических формулах не учитываются такие параметры, как плотность, влажность и пластичность грунта, что ограничивает их точность.

3. Разработано усовершенствованное компрессионно-фильтрационное устройство, обеспечивающее постоянный гидравлический градиент и позволяющее одновременно испытывать до 20 образцов. Экспериментально

подтверждено, что устройство обеспечивает точность $\pm 2\%$ и повышает достоверность результатов испытаний.

4. Исследования показали, что при содержании гипса около 10% он оказывает существенное влияние на свойства грунта, особенно на водопроницаемость, пластичность, физические и механические характеристики (В.П. Петрухин, Барзанжи). В ходе исследования были изучены грунты с содержанием гипса от 5% до 13%. В результате установлено, что содержание гипса в среднем уменьшилось на 71%, коэффициент фильтрации снизился с $K_f \approx 0,086$ м/сут до $K_f \approx 0,000086$ м/сут, сцепление (c) уменьшилось на 45–50%, а угол внутреннего трения (ϕ) — на 10–15%. Эти результаты научно подтверждают резкое снижение устойчивости гипсосодержащих грунтов под воздействием воды.

5. Для определения угла внутреннего трения и сцепления гипсосодержащих грунтов предложено новое многопараметрическое эмпирическое уравнение. В отличие от формул Свешникова, данная зависимость учитывает содержание гипса (G), показатель пластичности (I_p), плотность (ρ) и влажность (W). Результаты расчётов хорошо согласуются с лабораторными данными, при этом погрешность составляет 8–12%.

6. По результатам численного моделирования, выполненного в программе MIDAS GTS NX, установлено, что коэффициент устойчивости грунтовой плотины (FOS) в невымытом состоянии составляет 1,25–1,30, тогда как после вымывания гипса он снижается до 1,05–1,10. Это свидетельствует о несоответствии нормативному требованию ($FOS \geq 1,25$) и снижении безопасности сооружения. На основе результатов исследования разработаны конструктивные и технологические решения, направленные на повышение устойчивости гидротехнических сооружений, возведённых на гипсосодержащих грунтах, в частности обоснована необходимость применения противофильтрационных мероприятий и их внедрение в практику.

**THE SCIENTIFIC COUNCIL TO AWARDING OF THE SCIENTIFIC
DEGREES DSc.03/30.12.2019.T.10.02 AT THE “TASHKENT INSTITUTE
OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL MECHANIZATION
ENGINEERS” NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY**

TASHKENT ARCHITECTURALLY - BUILDING UNIVERSITY

KHIDOYATOV ABDULLO ZOKHIDJON OGLI

**IMPROVING METHODS FOR INCREASING THE LOAD-BEARING
CAPACITY OF OPERATING ROAD REINFORCED CONCRETE
BRIDGES**

05.09.06- Hydrotechnical and meliorative construction

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

Tashkent – 2026

The theme of doctoral dissertation (PhD) in technical science was registered at the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2025.3.PhD/T6044

The dissertation has been prepared at “Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers” National Research University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific council www.tiame.uz and on the website of “ZiyoNet” Information and educational portal www.ziynet.uz.

Scientific advisor: **Nazarov Komil Igamberdiyevich**
candidate of technical sciences, ass. prof.

Official opponents: **Yangiev Asror Abdukhamidovich**
doctor of technical sciences, professor
Usmonkhudzhaev Ilkhom Inamovich
candidate of technical sciences, ass. prof.

Leading organization: **Karshi State Technical University**

The dissertation defense will be “___” _____ 2026 year _____ at the meeting of the Scientific council DSc.03/30.12.2019.T.10.02 at the “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” National Research University. Adress: 100000, Tashkent, Kary Niyaziy str., 39. Tel. [\(+99871\)-237-46-68](tel:+998712374668), e-mail: admin@tiame.uz.

The dissertation is available at the Information-resource center of the “Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers” National research university (registration number №____) Adress: 100000, Tashkent, Kary Niyaziy str., 39. Tel. [\(+99871\)-237-19-34](tel:+998712371934). e-mail:admin@tiame.uz.

The abstract of dissertation has been was sent out “___” _____ 2026.

(Register of the mailing protocol № ___ from “___” _____ 2026).

M.Kh.Khamidov
Chairman of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of agricultural sciences, professor

F.A. Gapparov
Scientific secretary of the Scientific Council
for the awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, professor

M.R. Bakiev
Chairman of the scientific seminar of the
Scientific Council for the awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The purpose of the study It consists in improving the method for calculating the strength of earth dams composed of gypsum-containing soils, taking into account the leaching process under water influence and the changes in their filtration properties.

Tasks of the research:

analysis of theoretical and practical studies carried out on the assessment of the strength of dams constructed from gypsum-containing clay soils;

laboratory investigation of the filtration parameters of earth dams composed of gypsum-containing soils, depending on gypsum content and soil properties;

study of changes in the internal friction angle and cohesion during the leaching process of gypsum from clay soils;

modeling of the dam stability assessment process based on the MIDAS GTS NX program.

The object of the study is The Sardoba reservoir earth dam, located in the territory of Uzbekistan and composed of gypsum-containing soils, was selected as the study

The subject of the study is the effect of the leaching process occurring under water influence in gypsum-containing clay soils on their filtration properties.

Research methods. The study employed experimental, systematic, and theoretical analysis, mathematical statistics, correlation-regression analysis, modeling, and methods established in regulatory documents.

The scientific novelty of the study is as follows:

the structural elements of a compression–filtration device designed to determine the filtration properties of gypsum-containing clay soils have been improved;

based on laboratory studies, the values of the internal friction angle (φ) and cohesion (c) have been determined taking into account gypsum leaching;

the method for determining changes in gypsum content in clay soils has been improved considering soil moisture content, density, and plasticity index;

the method for assessing the stability of earth dams composed of gypsum-containing soils has been developed based on the MIDAS GTS NX software.

Implementation of research results. Based on the results obtained from the study entitled “The Influence of Gypsum on the Strength of Hydraulic Structures Constructed from Clayey Soils Containing Gypsum (Case Study of the Sardoba Reservoir)”:

Effective scientific and technical solutions were developed based on the strength parameters of soils determined using an improved compression–filtration device, taking into account the process of gypsum leaching. These solutions were implemented by the design institute JSC “Gidroproekt”, which is part of JSC “Uzbekhydroenergo”, during the repair works of the earth dam of the Sardoba reservoir (reference of JSC “Uzbekhydroenergo” No. 13-15/647 dated February 26, 2026). As a result, the degree of gypsum leaching in the dam soils was determined, and by applying an anti-filtration soil wall the filtration coefficient

was reduced, which allowed a more reliable assessment of the strength and operational safety of the dam.

The scientific results obtained using the improved compression–filtration device in studying the variation of the filtration coefficient and the process of gypsum leaching were implemented by the design center LLC “ZAMIN va POYDEVOR” during the repair works of the earth dam of the Sardoba reservoir (reference of JSC “Uzbekhydroenergo” No. 13-15/647 dated February 26, 2026). As a result, the filtration coefficient was reduced, the accuracy of assessing the strength and stability of the dam soils was improved, the possibility of ensuring the safe operation of the hydraulic structure was created, and technical and economic efficiency of the repair works was achieved.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 121 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть, part I)

1. Fayziev X., Hidoyatov A.Z., Babakaev S.N, Raximov Sh. A., Normatov M. U., Ikki o'lchovli xususiy xosilali differensial tenglama bilan yoziladigan nostatsionar filtratsiya masalalarini chekli-ayirmalar usuli bilan echish. Arxitektura. Qurilish. Dizayn. Ilmiy-amaliy jurnal.TAQI.,№3,2015.28-31b (05.00.00. №4).

2. Nazarov K.I., Hidoyatov A.Z., Nurimbetov G.K. Определения прочностных характеристик загипсованных грунтов на трёхосном приборе. O'zbekgidroenergo aksiyadorlik jamiyati ilmiy-amaliy jurnali. №4/2023. 21-25b.

3. Nazarov K.I., Hidoyatov A.Z. engineering and geotechnical surveys at the site of the main structures of the pskem hydroelectric power station on the pskem river. Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development. Volume 14, April, 2023. ISSN (E): 2751-1731. 221-226. DOI: <https://sjird.journalspark.org/index.php/sjird/article/view/631>

4. Nazarov K.I., Hidoyatov A.Z. The effect of gypsum addition on the mechanical properties of “clay sand” soils American journal of applied science and technology. Volume 05 Issue04 April 2025. ISSN 2771-2745. 48-54b. <https://doi.org/10.37547/ajast/Volume05Issue04-08>

5. Nazarov K.I., Hidoyatov A.Z., Subxonov R.R., Hudoyberdiyev B.R. Experimental Analysis of Changes in the Plasticity Index and Filtration Coefficient of Soils Under Gypsum Leaching Conditions American Journal of Technology Advancement Vol.2, No.7 (July, 2025) E-ISSN: 2997-9382 , 118-128b. <https://doi.org/10.31149/ajta.v2i7.2269>

6. Hidoyatov A.Z., Donoboyev J.J., Sharapov Sh.O. Quyi Chotqol daryo o'zanidagi loyli va qumli gruntlarning fizik-mexanik xossalarini baholashning o'ziga xos xususiyatlari. AGRO ILM ilmiy amaliy jurnal maxsus son 7 (116) 2025. 115-119 b. (05.00.00. №3)

7. Nazarov K.I., Hidoyatov A.Z., Nurimbetov G.K. SUV RESURSLARIDAN OQILONA FOYDALANISH, BOSHQARISH VA SAMARADORLIGINI OSHIRISH. ARXITEKTURA, QURILISH VA DIZAYN ilmiy-amaliy jurnali №1/2025.316-318b. (05.00.00. №4)

8. Nazarov K.I., Hidoyatov A.Z., Nurimbetov G.K. Особенности гидротехнического бетлна применяемого в строительстве промывной галереи ниже-Чаткалской гЭС. O'ZBEKISTON ARXITEKTURASI VA QURILISHI №1-2. 2025.66-69 b. (05.00.00. №29)

II bo'lim (II часть, part II)

9. Fayziyev X., Hidoyatov A.Z. Оценка влияния системы горизонтальных пластовых дренажей на устойчивость верхового откоса земляных плотин

Курилишда геотехника масалаларини замонавий усуллари ва технологияси” мавзусидаги илмий-амалий анжуман материаллари, 2014. №2. 11-176

10. Nazarov K.I., Ibragimov K.I., Hidoyatov A.Z., Hidoyatov Z.D., Nurimbetov G.K. Прочностные характеристики основания плотины Пскемской ГЭС. Проблемы применения композитных полимерных материалов и арматуры в строительстве, в том числе сейсмических районов. Международная научно-техническая конф. ТАСИ, 2019. -С.27-33.

11. Nazarov K.I., Hidoyatov A.Z., Hidoyatov Z.D., Umirov U.O. Опытные полевые исследования на площадке Пскемской плотины. Inshoot mustahkamligi, turg'unligi va zilzilabardoshligi muammolarining yechimida geotexnika va poydevorsozlik ilmining zamonaviy usullari va texnologiyalari konferensiyasi 1-qism 2021yil. 220-223b.

12. Nazarov K.I., Hidoyatov A.Z. “Лойли кум” грунтларнинг мустаҳкамлиги ва гипс кўшилишининг физик-механик хусусиятларга таъсири” 1st Innovatech: Conference on Scientific Innovations and Research” 2025. 35-36b. <https://euro-conferences.org/index.php/innovatech/article/view/386/324>

Avtoreferat «O‘zbekiston qishloq va suv xo‘jaligi» Agrar-iqtisodiy, ilmiy-ommabop jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari o‘zaro muvofiqlashtirildi



Bosishga ruxsat etildi: 23.03.2026-yil.
Bichimi 60x84^{1/16}, “Times New Roman”
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3.1. Adadi: 100. Buyurtma: № 24.
Guvohnoma reyestr № 219951
“PUBLISHING HIGH FUTURE” OK nashriyotida bosildi.
Toshkent sh., Uchtepa tumani, Ali qushchi ko‘chasi, 2A-uy.