



UDK:550.821

Musurmonqul QODIROV,

Katta ilmiy xodim, O'zR FA G'.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: musulmonqodirov69@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0009-0005-9457-5482>

Eldor YADIGAROV,

PhD, O'zR FA G'.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti laboratoriya mudiri, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: eldoradigarov@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2305-279X>

Asilbek RAHMATOV,

PhD, katta ilmiy xodim, O'zR FA G'.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: asilbekrahmatov3@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0009-0003-3065-1824>

Xusniddin BOBOYOROV,

Katta ilmiy xodim, O'zR FA G'.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: hboboyorov@inbox.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5260-1375>

Muhayyoxon ABDULLAYEVA,

Katta o'qituvchi, O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: farishta_nuuz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9571-1785>

PhD I. Xolmurodov taqrizi asosida

“GRUNT-INSHOOT” TIZIMINING SEYSMIK TEBRANISH XUSUSIYAT-LARINI TAHLIL QILISH (SAYOZ POYDEVORLI BINOLARDA)

Annotatsiya

Ushbu tadqiqotda grunt-inshoot tizimining seysmik tebranishlar ta'siri ostidagi dinamik xususiyati hamda erkin yuza tebranishlari bilan o'zaro farqlari instrumental-seysmometrik kuzatuvlar asosida o'rganildi. Hududning muhandislik-geologik sharoitlari, xususan cho'kuvchan lyoss gruntlarining fizik-mexanik xossalari tahlil qilinib, ularning seysmik javobga ta'siri baholandi. Tadqiqot jarayonida bino poydevori ostida va erkin yuzada mikrotremorlar qayd etildi hamda seysmik tebranishlarning asosiy kinematik elementlari-tezlik, tezlanish va siljish parametrlari aniqlanadi. Tezlik, tezlanish va siljish qiymatlarining vektor tahlili ushbu parametrlarning grunt-inshoot tizimida yuqori foizlarda pasayishini tasdiqladi. Shuningdek, HVSR usuli asosida grunt va poydevor tebranishlarining amplituda-chastota xususiyatlari tahlil qilinib, zaiflik indeksi va seysmik jadallik orttirmasi qiymatlarining kamayishi aniqlandi. O'tkazilgan tadqiqotlar grunt va poydevor o'rtasidagi o'zaro ta'sir seysmik energiyaning qisman yutilishiga olib kelishini va bu holat inshootlarning zilzilaga chidamliligini oshirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi. Tadqiqot natijalari seysmik faol hududlarda bino va inshootlarni loyihalash, hamda foydalanish jarayonida grunt-inshoot o'zaro ta'sirini hisobga olish zarurligini asoslaydi.

Kalit so'zlar: Grunt, Seysmik risk, tezlik, tezlanish, siljish, inshoot, tebranish, seysmik jadallik, HVSR.

АНАЛИЗ СВОЙСТВ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ “ГРУНТ-СООРУЖЕНИЕ” (ДЛЯ ЗДАНИЙ С МЕЛКИМ ФУНДАМЕНТОМ)

Аннотация

В данном исследовании на основе инструментально-сейсмометрических наблюдений изучены динамические характеристики системы грунт-сооружение под воздействием сейсмических колебаний, а также их отличия от колебаний свободной поверхности. Проанализированы инженерно-геологические условия территории, в частности физико-механические свойства просадочных лёссовых грунтов, и оценено их влияние на сейсмический отклик. В ходе исследования были зарегистрированы микротеморы под фундаментом здания и на свободной поверхности, на основе которых определены основные кинематические параметры сейсмических колебаний скорость, ускорение и смещение. Векторный анализ значений скорости, ускорения и смещения подтвердил их значительное снижение в системе грунт-сооружение по сравнению со свободным полем. Кроме того, на основе метода HVSR выполнен анализ амплитудно-частотных характеристик колебаний грунта и фундамента, выявлено уменьшение значений индекса уязвимости и приращения сейсмической интенсивности. Полученные результаты показывают, что взаимодействие грунта и фундамента приводит к частичному поглощению сейсмической энергии и играет важную роль в повышении сейсмостойкости сооружений. Результаты исследования обосновывают необходимость учета взаимодействия грунт-сооружение при проектировании и использовании зданий и сооружений в сейсмоактивных районах.

Ключевые слова: Грунт, сейсмический риск, скорость, ускорение, смещение, сооружение, вибрация, сейсмическая интенсивность, HVSR.

ANALYSIS OF SEISMIC VIBRATION CHARACTERISTICS OF THE “GRUNT-CONSTRUCTION” SYSTEM (IN BUILDINGS WITH SHALLOW FOUNDATIONS)

Annotation

This study investigates the dynamic response of a soil-structure system under seismic vibrations and its differences compared to free-field ground motion using instrumental seismometric observations. The engineering-geological conditions of the site, particularly the physical and mechanical properties of collapsible loess soils, were analyzed to assess their influence on seismic

response. Microtremor measurements were conducted beneath the building foundation and at free-field locations, from which the main kinematic parameters-velocity, acceleration, and displacement-were derived. Spatial analysis of these parameters revealed a significant reduction in vibration levels within the soil-structure system relative to free-field conditions. Additionally, HVSR-based amplitude-frequency analysis indicated a decrease in the vulnerability index and seismic intensity increment, demonstrating partial absorption of seismic energy due to soil-foundation interaction. These results highlight the importance of considering soil-structure interaction in the design and use buildings in seismically active regions.

Keywords: Soil, Seismic risk, velocity, acceleration, displacement, structure, vibration, seismic intensity, HVSR.

Kirish. Zilzilalar natijasida yuzaga keladigan talafotlar ko'p jihatdan inshoot konstruksiyasining xususiyatlari bilan bir qatorda, poydevor va zamin gruntlarining seysmik tebranishlarga bardoshliligi bilan bog'liq bo'ladi. Seysmik faol hududlarda joylashgan bino va inshootlarning zilzilaga bardoshliligini ta'minlash zamonaviy muhandislik va seysmologiya fanining dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi. Shu sababli grunt-inshoot tizimining seysmik ta'sirlar ostidagi o'zaro xatti-harakatlarini chuqur o'rganish muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi. So'ngi yillarda seysmik xavfsizlikni oshirishda grunt-inshoot tizimining o'zaro ta'siri masalasiga katta e'tibor qaratilmoqda. Ushbu yondashuvga ko'ra, zilzila vaqtida grunt va inshoot mustaqil tebranmaydi, balki yagona dinamik tizim sifatida birgalikda harakat qiladi. Natijada seysmik tebranishlarning amplitudasi, chastotasi hamda energiya tarqalish xususiyatlari erkin maydon tebranishlaridan sezilarli darajada farq qiladi. Amaliy kuzatuvlar va nazariy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, grunt-inshoot tizimida poydevor orqali seysmik energiya bir qismi yutiladi yoki so'nadi, bu esa inshootning seysmik javobini kamaytirishga olib keladi. Ayniqsa, sayoz poydevorli binolarda gruntlarning fizik-mexanik xossalari, ularning zichlanish darajasi va deformatsion ko'rsatkichlari seysmik tebranishlarga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shu nuqtai nazardan, bino poydevori ostidagi gruntlarning dinamik xususiyatlarini baholash va ularni erkin yuzga tebranishlari bilan solishtirish muhim hisoblanadi. Ushbu tadqiqot ishining asosiy maqsadi grunt-inshoot tizimining seysmik tebranish xususiyatlarini instrumental-seysmometrik kuzatuvlar asosida tahlil qilish, erkin yuzga va poydevor ostidagi tebranishlar o'rtasidagi farqlarni aniqlash hamda seysmik ta'sirning kamayish darajasini baholashdan iborat. Olingan natijalar seysmik faol hududlarda bino va inshootlarni loyihalash, mustahkamlash hamda samarali foydalanish ishlari jarayonlarida grunt-inshootni o'zaro ta'sirini hisobga olish zarurligini asoslab beradi.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. AQSh, Yaponiya va g'arbiy Yevropa mamlakatlarida grunt-inshoot tizimini o'zaro erkin maydon bilan ta'sirlashuvini o'rganish maqsadida ko'plab olimlar turli tadqiqotlar olib borganlar. Qolaversa MDH davlatlarida va O'zbekiston Respublikasida so'ngi yillarda ushbu yo'nalishda ko'plab ilmiy tadqiqotlar izchil ravishda olib borilmoqda.

"Dynamic Soil-Structure Interaction" Wolf J.P. Ushbu qo'llanmada seysmik tebranishlar jarayonida grunt va inshoot o'rtasidagi o'zaro ta'sirni chuqur tahlil qilish uchun fundamental manba hisoblanadi. Qo'llanmada dinamika asoslari, grunt va bino o'rtasidagi tebranish kuchlari va harakatlari, turli xil sharoitlari ostidagi modellash usullari keng ko'rib chiqilgan. Wolf inshoot tizimlarining tebranishlarga javob berish xususiyatlarini ham tushuntiradi va bu ta'sirlar qanday o'zgarishini matematik modellar bilan ifodalaydi [1].

Tadqiqot metodologiyasi. Bino inshootlar barpo yetilgan maydonlarning tebranish xususiyatlarini aniqlash va o'zgarishlarni tahlil qilish maqsadida poydevorlari turli xil bo'lgan binolarning yerto'la qismida hamda, ular joylashgan maydonda instrumental-seysmometrik tadqiqot ishlari olib borilgan va olingan natijalar qayta ishlangan. Grunt-inshoot va erkin yuzga tizimlarining seysmik tebranishlar ostidagi xatti-harakatlarini tahlil qilish va baholash, zilzila ta'sirini kamaytirish strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega [2]. Ushbu tadqiqot ishida ikki tizimning o'zaro ta'sirlashuvini baholash uchun bir nechta usullar qo'llanildi va natijalari solishtirildi, va ushbu baholash usullari yoritib berildi. Grunt-inshoot va erkin yuzadagi tebranishlarning xarakteristikalarini baholash uchun HVSR spektrlaridan foydalanildi. Har ikkala tizimda ham H/V spektrlari orqali olingan dominant chastotalar va kuchaytirish koeffitsientlari taqqoslandi. Grunt-inshoot va erkin yuzga tizimlaridagi seysmik tebranishlar vaqtida mikrotremor yozuvlari asosida Vp (bosim to'liqini tezligi) va Vs (kesish to'liqini tezligi) qiymatlari hisoblandi. Tadqiqot maydonida qalinligi 30 m dan ortiq bo'lgan prolyuvial lyossimon gruntlaridan iborat, faol zichlanuvchi qatlam qalinligi esa 10 m ni tashkil qiladi. Tadqiqot ob'yekti sifatida tanlangan bino joylashgan maydonda cho'kuvchan lyoss gruntlarining tarqalgan bo'lib, ularning fizik-mexanik xossalari qurilishdan oldingi muhandislik qidiruv izlanishlari natijalaridan olingan. Cho'kuvchan lyoss gruntlarning tabiiy holatdagi fizik xossalari, xususan mineral zarrachalar zichligi $\gamma = 2,67-2,68 \text{ g/sm}^3$, hajm og'irligi $p = 1,61-1,86 \text{ g/sm}^3$, g'ovakligi $n = 44-52,7\%$, tabiiy namligi $W = 12,0-19,8\%$, g'ovaklik koeffitsienti $e = 0,805-0,990$, deformatsiya moduli $E = 15,0-20,0 \text{ MPa}$ ni tashkil qiladi [3,4]. "Grunt-inshoot tizimining" o'zaro ta'sirlashuvi zilzila va boshqa dinamik yuklanishlar vaqtida poydevor va uning atrofidagi grunting birgalikdagi xatti-harakatlarini o'rganishga qaratilgan muhim geotexnik va muhandislik konsepsiyasi. "Grunt-inshoot" tizimlar o'rtasidagi energiya almashinuvi va seysmik to'liqlarning tarqalishini tahlil qilinadi, bu esa inshootning zilzila paytidagi barqarorligi va xavfsizligini ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. "Grunt inshoot" tizimi effektini tadqiq qilish va zilzila ta'sirini kamaytirish tufayli bino va inshootlarning (gidrotexnika, IES, ko'p qavatli binolar, me'moriy yodgorliklar, ijtimoiy obektlar) samarali foydalanish ishlarini sezilarli darajada oshirish va kelajakda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan talafotlarni oldini olishga imkon beradi [5,6]. Grunt-inshoot va erkin yuzga tizimlarining seysmik tebranishlar ostidagi xatti-harakatlarini tahlil qilish va baholash, zilzila ta'sirini kamaytirish strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega. Ushbu maqolada ikki tizimning o'zaro ta'sirlashuvini baholash uchun bir nechta usullar qo'llanildi va natijalari solishtirildi.

Korkmaz M. va Yilmaz K. tomonidan olib borilgan "Influence of soil-structure interaction on seismic response a study of free field conditions" nomli tadqiqotda erkin maydon sharoitlarida yuzaga keladigan seysmik ta'sirlar hamda grunt-inshoot tizimining o'zaro ta'siri tahlil qilingan. Tadqiqotda grunt va inshoot o'rtasidagi o'zaro ta'sirni baholash uchun analitik hamda sonli (raqamli) modellash usullari qo'llanilgan [7].

Tahlil va natijalar. Bino va inshootlarni samarali foydalanish ishlari davrida grunt inshoot tizimining seysmik ta'sirlarga bardoshliligini va tebranish parametrlarini aniqlash maqsadida mikrotremorlarni qayd qilish tadqiqotlari amalga oshirildi. Grunt-inshoot tizimining, shuningdek erkin yuzada o'tkazilgan tadqiqotlar natijasida mikrotremorlar qayd etildi (1-rasm).

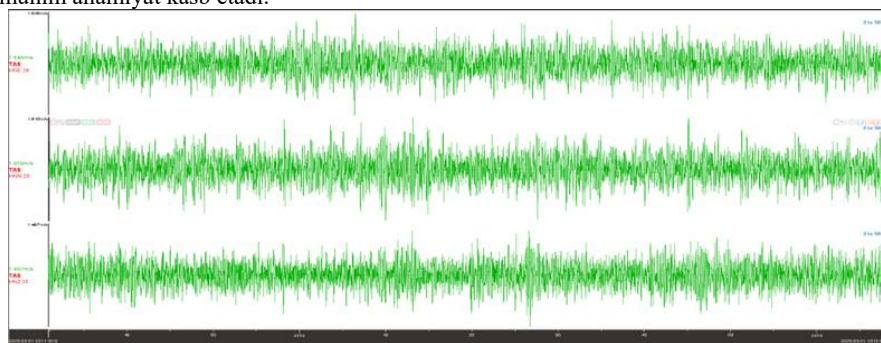
Maydonning muhandislik-geologik elementlari

№	MGE-1	O'Ichov birligi	Grunt uchun
---	-------	-----------------	-------------

1-jadval.

1.	Qatlamning yotish chuqurligi	m	0-19
2.	Grunt zichligi	t/m ³	1,86
3.	Gruntlarning skelet zichligi	t/m ³	1,53
4.	Bog'lanish kuchi	kPa	16
5.	Ichki ishqalanish burchagi	gradus	25
6.	Deformatsiya moduli	MPa	15
7.	Puasson koeffitsienti	i	0,31

Ushbu o'lchovlar orqali erkin yuzadagi tebranishlarning amplituda qiymatlari grunt-inshoot tizimiga nisbatan yuqoriroq ekanligi aniqlandi. Ya'ni, grunt-inshoot tizimida qayd etilgan tebranish amplitudalari erkin yuzadagi qiymatlarga qaraganda sezilarli darajada kamaygani kuzatildi. Bu esa grunt va inshoot o'zaro ta'sirida poydevor tomonidan seysmik energiyaning yutilishi, asos gruntning zichligi oshganligi va tebranishlar inshoot orqali tarqalishining samaradorligini anglatadi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, grunt va poydevor orasidagi kuchlanishlar zilzila ta'sirini qisman kamaytirish imkoniyatiga ega bo'lib, bu esa inshoot barqarorligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Ushbu tahlillar grunt-inshoot tizimining zilzilaga chidamliligini oshirish va xavfsizligini ta'minlash uchun muhim ahamiyat kasb etadi.



1-rasm. Mikrotremor yozuvi

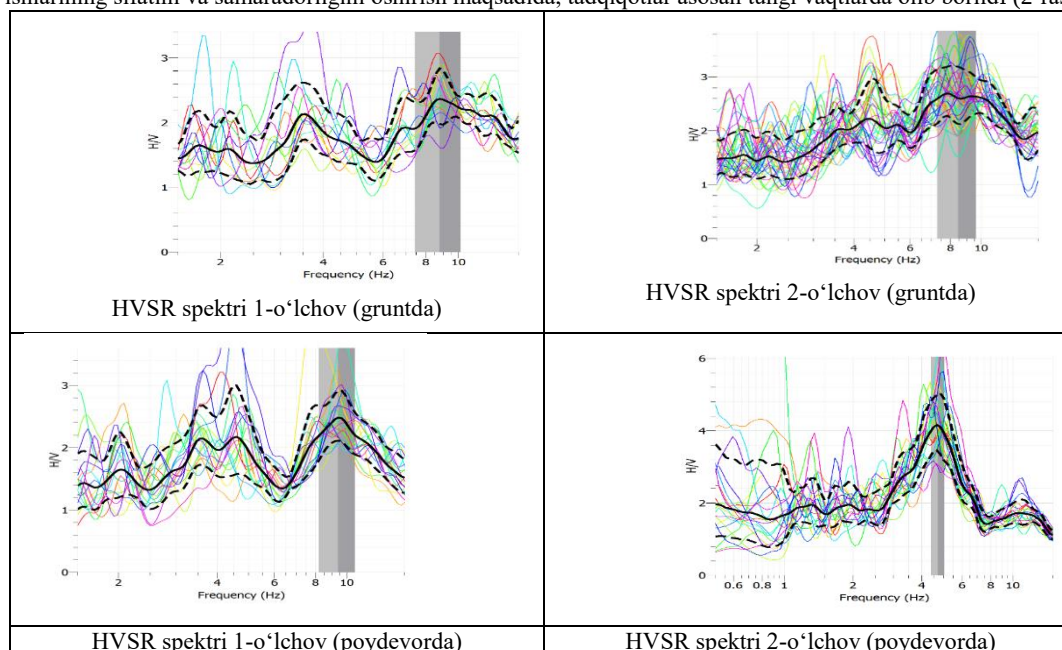
Seysmik to'lqinlarning kinematik elementlarini ko'rib chiqishda seysmik ta'sir elementlarining (tezlik, tezlanish va siljish) vektor qiymatlari aniq va to'liq ma'lumot beradi. Ushbu maqsadda grunt-inshoot va erkin yuza tizimlarida qayd qilingan tezlik qiymatlari asosida tezlanish va siljish qiymatlari aniqlanib, har bir elementning vektor qiymatlari hisoblandi, hamda ikkala tizim uchun o'zaro taqqoslandi (2-jadval).

Seysmik ta'sir elementlari (tezlik, tezlanish va siljish)

2-jadval

Grunt-inshoot	Erkin yuza	Farqi	Foiz miqdori	Grunt-inshoot	Erkin yuza	Farqi	Foiz miqdori	Grunt-inshoot	Erkin yuza	Farqi	Foiz miqdori
Tezlik (pm/s)				Tezlanish (pm/s ²)				siljish			
V_x^1	$1''x^2$	$\&v_x$	$\Delta?x(\%)$	a_x^1	a_x^2	Lax	$Lax(\% \sim)$	u_{xi}	Jx^2	LUx	$LUx(\%)$
2,87	7,72	4,83	62,7	181,5	590,1	408,6	69,4	106,5	236,3	129,5	54,8

Bino poydevorida va gruntlarda HVSR qiyosiy tahlili, sayoz poydevorli binolarda o'tkazilgan tadqiqotlar, bino zamin gruntining amplituda-chastota ko'rsatkichlarini baholashdan iborat. Chunki bino poydevori va 1 qavatdagi tebranishlarda grunt tebranish parametrlari yuqori ko'rsatkichlarda bo'ladi. Yuqori qavatlarida esa binoning xususiy tebranishlari ustunlik qiladi. O'lchov ishlarining sifatini va samaradorligini oshirish maqsadida, tadqiqotlar asosan tungi vaqtlarda olib borildi (2-rasm).

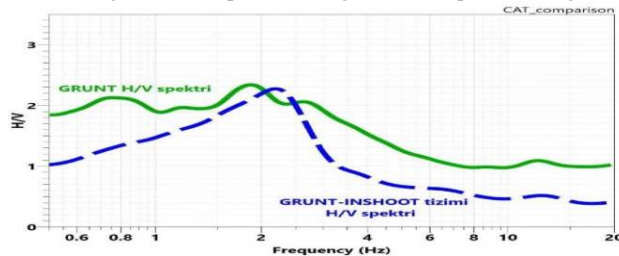


2-rasm. HVSR grafiklari

Bino poydevorida va gruntlarda (HVSR, Fo, K, AI) qiymatlari

№	HVSR	Fo	K	AI
Gruntagi o'lchovlar				
1	2,27	1,92	2,64	+0,11
2	2,25	1,92	2,62	+0,10
Poydevordagi o'lchovlar				
1	2,47	2,07	2,94	-0,01
2	2,44	2,01	2,98	-0,02

HVSR grafiklaridan olingan natijalarga ko'ra K-zaiflik indeksi va seysmik jadallik orttirmasi qiymatlari farqlari solishtirildi. Zaiflik indeksi $K=0,3$ qiymatga, seysmik jadallik orttirmasi esa $AI=0,12$ ballga kamaygani aniqlandi. Quyidagi grafikda grunt va poydevor uchun hisoblangan HVSR spektrlarining o'zaro farqlari keltirilgan.



3-rasm. HVSR qiyosiy grafigi (grunt va poydevorda)

Grunt HVSR spektrlaridan poydevorning HVSR spektrlari 30% ga kamaygan. Bunga asosiy sabab, binodan tushayotgan yuk ta'sirida asos gruntlarning fizik-mexanik xossalari oshganligi bilan izohlanadi. Bino og'irligi ta'sirida 1-MGE qatlamlarining faol zichlanish zonasidagi gruntlar xossalari asosiy omil sifatida ko'rilgan (1-jadval).

Xulosa va takliflar. O'tkazilgan instrumental-seysmometrik tadqiqotlar grunt-inshoot tizimining seysmik tebranishlar ta'siridagi dinamik xatti-harakatlarini baholash imkonini berdi. Natijalar poydevor ostida qayd etilgan mikrotremor tebranishlari amplitudasi erkin yuzaga nisbatan sezilarli darajada kamayishini ko'rsatdi, bu esa grunt-poydevor o'zaro ta'siri natijasida seysmik energiyaning qisman so'nishi bilan izohlanadi. Vektor tahlili tezlanish, tezlik va siljish parametrlarining kamayishini tasdiqladi hamda bu holat inshootning seysmik barqarorligini oshirishga xizmat qilishini ko'rsatdi. HVSR tahlillari grunt va poydevorning amplituda-chastota xususiyatlari o'rtasidagi farqlarni aniqlab, zaiflik indeksi va seysmik jadallik orttirmasining kamayishi asos gruntlarning fizik-mexanik xossalari yaxshilangani hamda tebranishlarning so'nish darajasi ortganini tasdiqladi. Olingan natijalar sayoz poydevorli binolarni loyihalash va ularning seysmik barqarorligini baholashda grunt-inshoot tizimi ta'sirini hisobga olish zarurligini asoslaydi.

ADABIYOTLAR

1. Jhon P. Wolf. Dynamic soil-structure interaction. Electrowatt Engineering Services Ltd. P. 481. ISBN: 1884.79 (1985 y.).
2. Seed R.B., Zhang J. (1996). "Soil-Structure Interaction in Seismic Design" Earthquake Engineering Structural Dynamics, 25 (1).
3. Ismailov V., Oripov N., Yanbukhtin I. Bozorov J. Evaluation of resonance risk and strength of a high-rise building using the microtremor method. Международная конференция: Механика, Сейсмостойкость, Машиностроение. «Обеспечение сейсмической безопасности сейсмостойкости зданий и сооружений, прикладные задачи механики» I-том. Ташкент, 2024 г.
4. Zhang J., Xu S. (2014 y.). "Soil-structure interaction in dynamic analysis of structures" Journal of Structural Engineering, 140 (2).
5. Raxmatov A., Bozorov J. Evaluation of synthetic accelerograms created using various technologies based on soil models. International Journal of Geology, Earth Environmental Sciences ISSN: 2277-2081. 2024 y. Vol. 14, pp
6. Y.Nakamura Basic Structure of QTS (HVSR) and Examples of Applications in NAPSC edited by M. Mucciarelli et al. (NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 2009 y.), pp
7. Korkmaz M., Yilmaz K. (2014 y.). Influence of Soil-Structure Interaction on Seismic Response: A Study of Free Field Conditions.