

UDC 699.841
IRSTI 67.11.03
RESEARCH ARTICLE

THE PROSPECT OF USING GEOTECHNICAL SEISMIC INSULATION MADE OF GRUNTOSILICATE TO PROTECT ARCHITECTURAL MONUMENTS

S.E. Nietbay^{1,2} , E.T. Besimbaev¹ , T. Awwad^{2,3} , A.M. Kuanyshbay^{2,*} 

¹Satbayev University, 050013, Almaty, Kazakhstan

²International Educational Corporation, 050043, Almaty, Kazakhstan

³Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 190031, Saint Petersburg, Russia

Abstract. *The article explores the prospects of utilizing geotechnical seismic insulation made from gruntosilicate to protect architectural monuments from seismic influences. It highlights the advantages of this technology, including the preservation of the integrity and authenticity of historical buildings, minimal interference with their original construction, and the durability of the materials used. The article outlines the primary methods and technologies of seismic insulation, such as insulating layers, dampers, and shock-absorbing materials. Additionally, it provides examples of successful applications of seismic insulation in various historical buildings. The importance of adopting modern technologies to safeguard cultural heritage in regions with heightened seismic activity is emphasized throughout the discussion. The primary aim of the article is to demonstrate the effectiveness of geotechnical seismic insulation in preserving architectural heritage. Experimental studies have shown that gruntosilicate, when used as a seismic insulation material, significantly reduces the amplitude of seismic vibrations, thereby enhancing the safety and longevity of buildings. The article posits that geotechnical seismic insulation represents a promising approach in earthquake-resistant construction, necessitating an integrated approach that takes into account technical, economic, and geological factors. This research underscores the potential of this technology to provide sustainable solutions for the protection of cultural heritage in seismically active regions.*

Keywords: *geotechnical seismic insulation, ground silicate, protection of architectural monuments, laboratory experiments, standard sealing device, accelerometer, oscillation amplitude.*

***Corresponding author**

Kuanyshbay Aidana, e-mail: a.kuanyshbay@mok.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.3-10>

Received 23 May 2024; Revised 12 July 2024; Accepted 23 August 2024

ӘОЖ 699.841
ҒТАМР 67.11.03
ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

СӘУЛЕТ ЕСКЕРТКІШТЕРІН ҚОРҒАУ ҮШІН ТОПЫРАҚ СИЛИКАТЫНАН ГЕОТЕХНИКАЛЫҚ СЕЙСМИКАЛЫҚ ОҚШАУЛАУҒЫШТАРДЫ ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАСЫ

С.Е. Ниетбай^{1,2} , Е.Т. Бесимбаев¹ , Т. Аввад^{2,3} , А.М. Қуанышбай^{2,*} 

¹Сәтпаев университет, 050013, Алматы, Қазақстан

²Халықаралық білім беру корпорациясы, 050043, Алматы, Қазақстан

³Император I Александр атындағы Петербург мемлекеттік қатынас жолдары университеті, 190031, Санкт-Петербург, Ресей

Аңдатпа. Мақалада сәулет ескерткіштерін сейсмикалық әсерлерден қорғау үшін, топырақ силикатынан орындалған геотехникалық сейсмикалық оқшаулауды қолдану перспективалары қарастырылады. Бұл технологияның артықшылықтарына, соның ішінде тарихи құрылымдардың тұтастығы мен түпнұсқалығын сақтауға, олардың дизайнына минималды араласуға және қолданылатын материалдардың беріктігіне ерекше назар аударылады. Оқшаулағыш қабаттар мен амортизациялық материалдар сияқты сейсмикалық оқшаулаудың негізгі әдістері мен технологиялары сипатталған. Әр түрлі тарихи ғимараттарда сейсмикалық оқшаулауды сәтті қолдану мысалдары келтірілген. Мақалада сейсмикалық белсенділіктің жоғарылауына байланысты, мәдени мұраны қорғау үшін заманауи технологияларды қолданудың маңыздылығы көрсетіледі. Мақаланың мақсаты - архитектуралық мұраны сақтау үшін геотехникалық сейсмикалық оқшаулаудың тиімділігін көрсету. Эксперименттік зерттеулер сейсмикалық оқшаулағыш материал ретінде қолданылатын топырақ силикаттың сейсмикалық тербелістердің амплитудасын айтарлықтай төмендететінін көрсетті, бұл ғимараттардың қауіпсіздігі мен беріктігін арттырады. Геотехникалық сейсмикалық оқшаулау кешенді тәсілді және техникалық, экономикалық және геологиялық факторларды ескеруді талап ететін жер сілкінісіне төзімді құрылыстағы перспективалы бағыт болып табылады.

Түйін сөздер: геотехникалық сейсмикалық оқшаулау, топырақ силикат, сәулет ескерткіштерін қорғау, зертханалық тәжірибелер, стандартты тығыздау құралы, акселерометр, тербеліс амплитудасы.

*Автор-корреспондент
Қуанышбай Айдана, e-mail: a.kuanyshbay@mok.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.3-10>

Алынды 23 мамыр 2024; Қайта қаралды 12 шілде 2024; Қабылданды 23 тамыз 2024

УДК 699.841
МРНТИ 67.11.03
НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ ИЗ ГРУНТОСИЛИКАТА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

С.Е. Ниетбай^{1,2} , Е.Т. Бесимбаев¹ ,
Т. Аввад^{2,3} , А.М. Куанышбай^{2,*} 

¹Сатпаев университет, 050013, Алматы, Казахстан

²Международная образовательная корпорация, 050043, Алматы, Казахстан

³Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы применения геотехнической сейсмоизоляции из грунтосиликата для защиты памятников архитектуры от сейсмических воздействий. Особое внимание уделяется преимуществам данной технологии, включая сохранение целостности и аутентичности исторических сооружений, минимальное вмешательство в их конструкцию и долговечность используемых материалов. Описаны основные методы и технологии сейсмоизоляции, такие как изоляционные слои и демпферы, амортизирующие материалы. Приведены примеры успешного применения сейсмоизоляции в различных исторических зданиях. Статья подчеркивает важность использования современных технологий для защиты культурного наследия в условиях повышенной сейсмической активности. Цель статьи – продемонстрировать эффективность геотехнической сейсмоизоляции для сохранения архитектурного наследия. Экспериментальные исследования показали, что грунтосиликат, используемая в качестве сейсмоизоляционного материала, значительно снижает амплитуду сейсмических колебаний, что повышает безопасность и долговечность зданий. Геотехническая сейсмоизоляция представляет собой перспективное направление в сейсмостойком строительстве, требующее комплексного подхода и учета технических, экономических и геологических факторов.

Ключевые слова: геотехническая сейсмоизоляция, грунтосиликат, защита памятников архитектуры, лабораторные эксперименты, прибор стандартного уплотнения, акселерометр, амплитуда колебаний.

*Автор-корреспондент
Куанышбай Айдана, e-mail: a.kuanyshbay@mok.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.3-10>

Поступила 23 мая 2024 г.; Пересмотрено 12 июля 2024 г.; Принято 23 августа 2024 г.

ACKNOWLEDGEMENTS / SOURCE OF FUNDING

The authors express their gratitude to the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for their support and funding for the work carried out within the framework of the PCF BR21882292 on the topic: "Integrated development of the sustainability of the construction industry: innovative technologies, production optimization, efficient resource use, and the creation of a technological park."

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Авторлар Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетіне «Құрылыс саласының тұрақтылығын интеграцияланған дамыту: инновациялық технологиялар, өндірісті оңтайландыру, ресурстарды тиімді пайдалану және технологиялық парк құру» тақырыбындағы ПЦФ BR21882292 шеңберінде жұмысты жүргізуге қолдау көрсеткені және қаржыландырығаны үшін алғыс білдіреді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ / ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Авторы выражают благодарность Комитету науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан за поддержку и финансирования для проведения работы в рамках ПЦФ BR21882292 по теме: «Интегрированное развитие устойчивости строительной отрасли: инновационные технологии, оптимизация производства, эффективное использование ресурсов и создание технологического парка».

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 КІРІСПЕ

Сәулет ескерткіштерін сейсмикалық әсерлерден қорғау, мәдени мұраны қорғау саласындағы маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Әртүрлі дәуірлерде салынған және жиі бірегей материалдар мен құрылымдарды пайдаланатын тарихи ғимараттар мен құрылымдар жер сілкінісінің жойқын әсеріне осал. Жыл сайын осы құнды нысандарды болашақ ұрпақ үшін сақтауға мүмкіндік беретін тиімді әдістерді әзірлеу және енгізу қажеттілігі артып келеді (Tsang et al., 2021).

2 ӘДЕБИЕТКЕ ШОЛУ

Геотехникалық сейсмикалық оқшаулау әртүрлі оқшаулау және демпферлік жүйелерді пайдалану арқылы ғимараттарды сейсмикалық толқындардан қорғаудың заманауи тәсілі болып табылады (Calvi et al., 2018). Бұл технологиялар ғимарат құрылымына берілетін тербелістердің амплитудасын едәуір азайтуға мүмкіндік береді, осылайша зақымдану қаупін азайтады. Бұл технологиялар ғимарат құрылымына берілетін тербелістердің амплитудасын едәуір азайтуға мүмкіндік береді, осылайша зақымдану қаупін азайтады. Көбінесе тарихи ғана емес, сонымен қатар мәдени құндылыққа ие сәулет ескерткіштері үшін бұл әдіс әсіресе өзекті, өйткені бұл олардың бастапқы құрылымын айтарлықтай өзгеріссіз сақтауға мүмкіндік береді (Dudchenko et al., 2021).

Геотехникалық сейсмикалық оқшаулаудың әртүрлі түрлері бар. Жақында ғалымдар осы жүйелердің материалдары мен мінездемесін егжей-тегжейлі зерттеді. Forcellini D. және Chiaro G ғалымдарының зерттеулерінде, көлемдік салмағы 10%, 25% және 40% резеңке және қиыршық тас қоспаларын қолдана отырып, геотехникалық сейсмикалық оқшаулау жүйелерінің жұмысы мен тиімділігі қарастырылды. Opensees-те базаның үдеуі мен жиілігінің өзгеруімен синусоидалы сейсмикалық әсерлерге ұшыраған элементтердің сандық модельдері жасалды (Forcellini et al., 2024).

Сондай-ақ, жаңа аз қабатты ғимараттар үшін экологиялық резеңке геотехникалық сейсмикалық оқшаулау жүйелері жасалды. Бұл геотехникалық сейсмикалық оқшаулаудың көлденең қабатын біріктіретін үнемді және тұрақты технология болып табылады. Қиыршық тас пен резеңке қоспаларынан жасалған және резеңке жабыны бар икемді бетон плитасының, сейсмикалық энергияның деформацияланатын шашырау сүзгісі зерттелген. Бұл зерттеулер геотехникалық сейсмикалық оқшаулау жүйелерін қолдану арқылы ғимараттарға сейсмикалық жүктемені (яғни ғимараттың жоғарғы қабатындағы ең жоғары үдеу, әр қабаттағы бүйірлікмешысу және базадағывигысу жүктемесі) айтарлықтай төмендетуге болатындығын көрсетеді (Chiaro et al., 2023).

Banovic I. мақаласында малта тастардан тұратын қабатының бірнеше параметрлерінің әсерін сейсмостендте зерттеді, мысалы қабаттың қалыңдығы, қиыршық тас тығыздығы, қиыршық тастардың ылғалдылығы, іргетас астындағы тік байланыс кернеуі және қайталанатын қозғалыс әсері. Әр параметр үшін сейсмикалық оқшаулағыш қабаттағы қатты ғимарат моделі төрт түрлі акселерограммаға ұшырады, топырақтың үдеуінің үш деңгейі қарастырылды (PGA), бұл жағдайда қабаттың барлық басқа параметрлері тұрақты болып қалды. Әрбір сынақ үшін сипаттамалық орын ауыстырулар мен үдеулер өлшенді (Banovic et al., 2019).

Jing L. жазған мақалада, құрылыс құрылымдарын жер сілкінісінің жойқын әсерінен қорғау үшін шыны шарлар мен құм жастықтарына негізделген геотехникалық сейсмикалық оқшаулау жүйесін зерттеді. Ғимараттың іргетасы мен негіз арасындағы оқшаулау жүйесі, шыны шарлар мен құм қабатынан тұратын материалын толтыруды қамтиды. Оқшаулау жүйесі бар және бір қабатты тас құрылымының моделін қолданатын сейсмостендте ауқымды сынақ жүргізілді. Бір қабатты тас құрылымының моделінің масштабы 1/4 болды. Кіріс толқыны ретінде Эль-Центро толқынының Солтүстік-Оңтүстік компоненті таңдалды, ол 1940 жылы тіркелген, сәйкесінше 0.1 g, 0.2 g және 0.4 G-ге реттелген кірістің ең жоғары үдеуімен қозғалады. Сынақ нәтижелері шағын жер сілкіністерінде жүйенің оқшаулау әсері жет-

кіліксіз екенін көрсетті, бірақ оқшаулау әсері жер сілкінісінің қарқындылығының жоғарылауымен күшейеді (Jing et al., 2020).

Zhang H. зерттеулерінде іргетас құрылымның астында геотехникалық сейсмикалық оқшаулағыш қабат ретінде қиыршық тас пен резеңке қоспаларын қолдану бойынша зертханалық тәжірибелер жүргізді. Зерттеу жұмыстарында, негіз топырағы ретінде қолданылатын қоспаның жалпы салмағына (0%, 10% және 30%) қатысты резеңкенің әртүрлі пропорцияларымен геотехникалық сейсмикалық оқшаулаудың үш түрлі құрамын қамтыды. Зертханалық зерттеулер көрсеткендей, резеңке құрамының жоғарылауы сдысу Модулінің төмендеуіне және демпферлік коэффициенттің жоғарылауына әкеледі (Zhang et al., 2023).

Геотехникалық сейсмикалық оқшаулағыштың басты артықшылығы оның бағасы. Сейсмикалық оқшаулаудың арзан технологияларын қолдану ғимараттар үшін жер сілкінісінің әсерін азайтудың негізгі әдісі болып табылады. Соңғы жылдары іргетас құрылымы мен негіз топырағы арасына, серпімділік модулі төмен материалдарды, геотехникалық сейсмикалық оқшаулағыш ретінде қолдану кең зерттеу, көп ғалымдардың қызығушылығын тудырды. Ғалымдар геотехникалық сейсмикалық оқшаулаудың екі арзан жүйесін ұсынады, бұл оқшаулағыштар құм қабат негізіндегі геотехникалық сейсмикалық оқшаулау жүйесін және шыны шарлар мен құмды қабаттан негізделген геотехникалық сейсмикалық оқшаулау жүйесін қамтиды (Yin et al., 2022).

Жергілікті жағдайларды ескере отырып, сейсмостендте ауқымды сынақтар жүргізу арқылы оқшаулау жүйесі бар және оқшаулау жүйесі жоқ, бір қабатты тас конструкциясының моделіне салыстырмалы сынақтар жүргізілді. Сейсмостенд сынақтарының нәтижелері ұсынылған екі арзан жүйе де құрылымдардың сейсмикалық реакциясын төмендетіп, оқшаулау мақсатына жетуі мүмкін екенін көрсетеді (Dhanya et al., 2023).

Геотехникалық сейсмикалық оқшаулау тәжірибесіне кіріспе қорғаныс жүйелерінің беріктігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін инновациялық материалдар мен технологияларды пайдалануды қамтиды. Сондай ақ жер сілкінісіне төзімділікті бағалау үшін нақты тексерістер жүргізу қажет. Kilic G. мақаласында тарихи құрылыстарды қорғау үшін осы әдістерді қолдану перспективалары қарастырылады, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері талданады, сонымен қатар әлемнің әртүрлі елдерінде сәтті жүзеге асырудың мысалдары келтірілген. Бұл әдістің сәтті қолдану мысалдары – Мәскеудегі Романовтар палатасын нығайту жобалары, ғимаратты қалпына келтіру кезінде дірілден қорғау үшін амортизациялық материалдар қолданылды. Лиссабондағы Белем мұнарасы, тарихи ғимарат жер сілкінісінің әсерін едәуір азайтуға мүмкіндік беретін сейсмикалық оқшаулау жүйесімен жабдықталған (Mikhail., 2011).

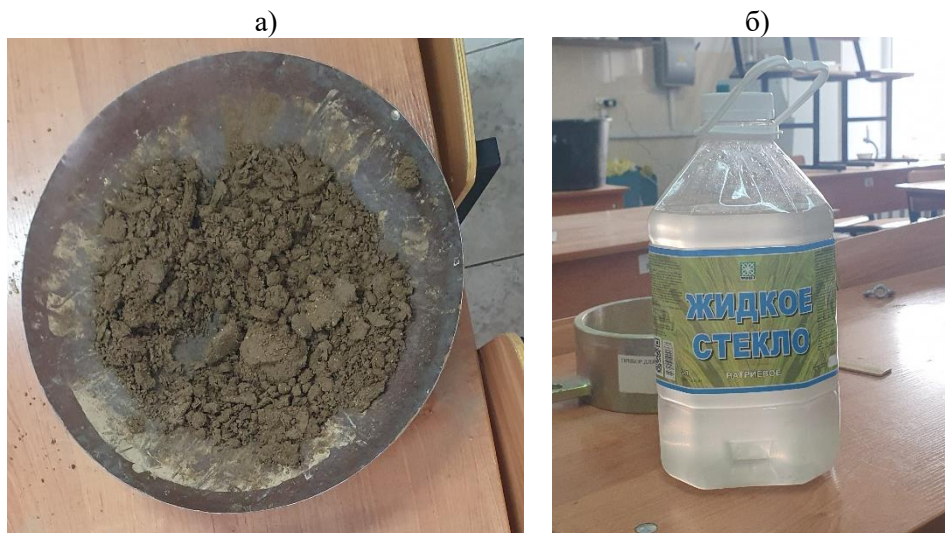
Сәулет ескерткіштерін қорғау үшін геотехникалық сейсмикалық оқшаулауды қолдану сейсмикалық белсенділік жағдайында бірегей тарихи құрылымдарды сақтауға мүмкіндік беретін тиімді әдіс болып табылады. Заманауи технологиялар мен материалдар мұндай жүйелерді қорғаудың жоғары дәрежесін және ұзақ мерзімділігін қамтамасыз етеді, бұл оларды мәдени мұраны қорғау саласындағы маңызды құралға айналдырады (Kilic, 2023).

Мақаланың мақсаты архитектуралық мұраны сақтау үшін, топырақ пен натрий сұйық шыны (топырақ силикаты) қоспасы түріндегі геотехникалық сейсмикалық оқшаулаудың тиімділігі мен маңыздылығын көрсету, сондай-ақ сәулет ескерткіштерін сақтау үшін осы технологияларды енгізу бойынша ұсыныстар беру болып табылады (Hoseynzadeh & Mortezaei, 2021, 2021).

3 МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Сәулет ескерткіштерін қорғауға арналған геотехникалық сейсмикалық оқшаулағыштары, діріл мен орын ауыстырудың төмендеуімен сипатталады, бұл ғимараттың бастапқы құрылымы мен материалдарын сақтауға мүмкіндік береді, бұл әсіресе тарихи ескерткіштер үшін маңызды (Dmitry, 2020).

Құрылысқа минималды түрде араласу, бұл оның, сейсмикалық оқшаулау жүйелерін ғимарат құрылымында айтарлықтай өзгеріссіз орнату және бұл оның тарихи шынайылығын сақтауға мүмкіндік береді. Ұзақ мерзімділік көрсеткіштері бойынша, сейсмикалық оқшаулау жүйелерінде қолданылатын заманауи материалдар мен технологиялар олардың беріктігі мен сенімділігін ондаған жылдар бойы қамтамасыз етеді. **1-суретте** геотехникалық сейсмикалық оқшаулаудың тиімділігін анықтау үшін сұйық натрий мен топырақтың (силикатты топырақ) қоспасы зерттелді **1-сурет**.



1-сурет – Сұйық шыны(б) мен топырақ қоспасы (силикатты топырақ) (а) (авторлық материал).

Экспериментте топырақты тығыздау үшін БЖҒЗО (Бүкілодақтық жол ғылыми-зерттеу одағы) конструкциясының стандартты PSU тығыздау құралына, топырақ силикат қоспасы нығыздалып жүктелді. Бүксперимент келесі кезеңдерді қамтыды:

Жабдықты орнату:

2-суретте көрсетілген БЖҒЗО конструкциясының ПСУ стандартты тығыздаушы құралына жүктелген топыраққа қарағанда, үлкен диаметрлі тарадан база дайындалды,



2-сурет – БЖҒЗО конструкциясының ПСУ стандартты тығыздау құралы (авторлық материал).

BC 111 акселерометрін келесідегідей, параметрлермен орнатты: ICP стандартының кіріктірілген электроникасы, 10 мВ/г сезімталдығы, 0,5-15000 Гц жиілік диапазоны.

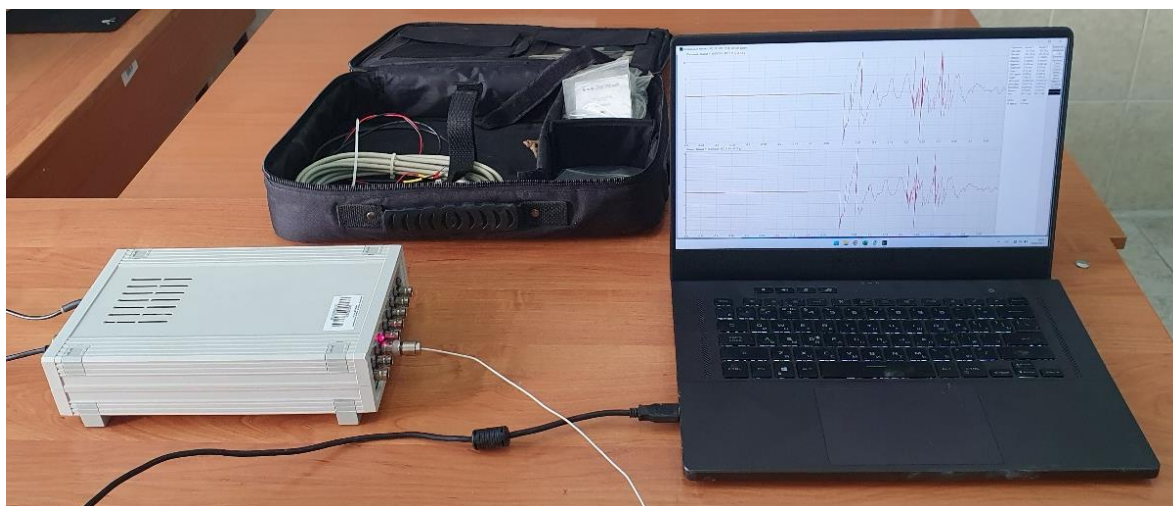
Динамикалық әсерді құру:

Импульстік діріл жасау үшін топырақ модельдерінің бетіне 25 см биіктіктен 450 грамм салмақ тасталды.

BC 111 акселерометрі 1 секундтық тербелістерді жазып, деректерді 80 дБ динамикалық диапазоны және 20 кГц жиілік диапазоны бар ZET 017-U8 спектр анализаторына жіберді.

Деректерді жинау және талдау:

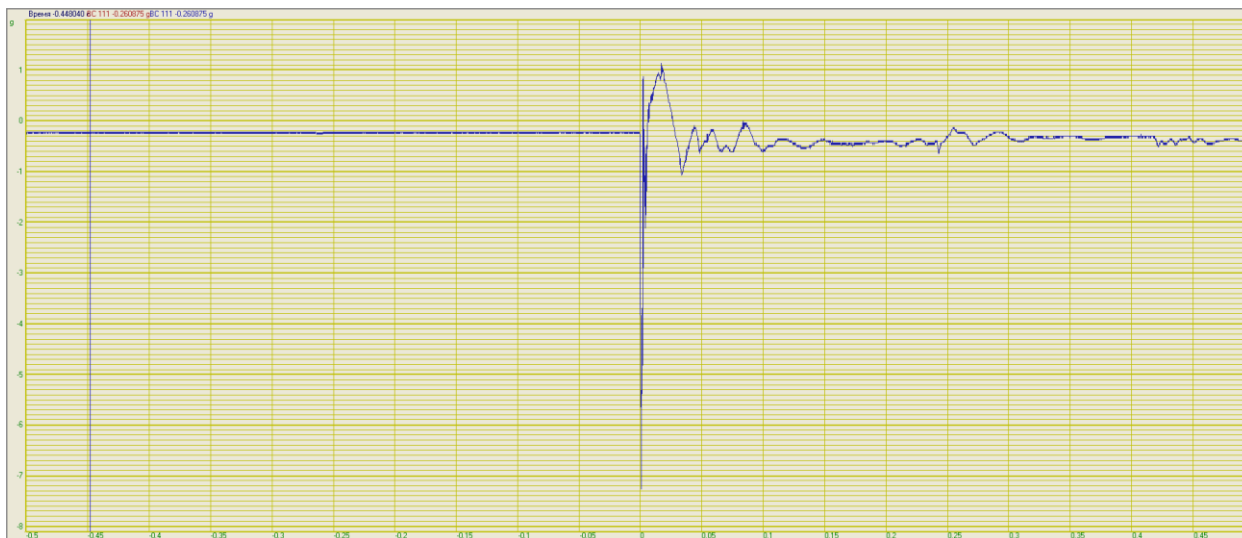
ZET 017-U8 спектр анализаторы ноутбукке қосылып, онда акселерометрден деректерді жинау және талдау үшін Zetlab бағдарламалық кешені орнатылды (3-сурет). Импульстік дірілдің шамасы үдеудің максималды мәні бойынша бағаланды.



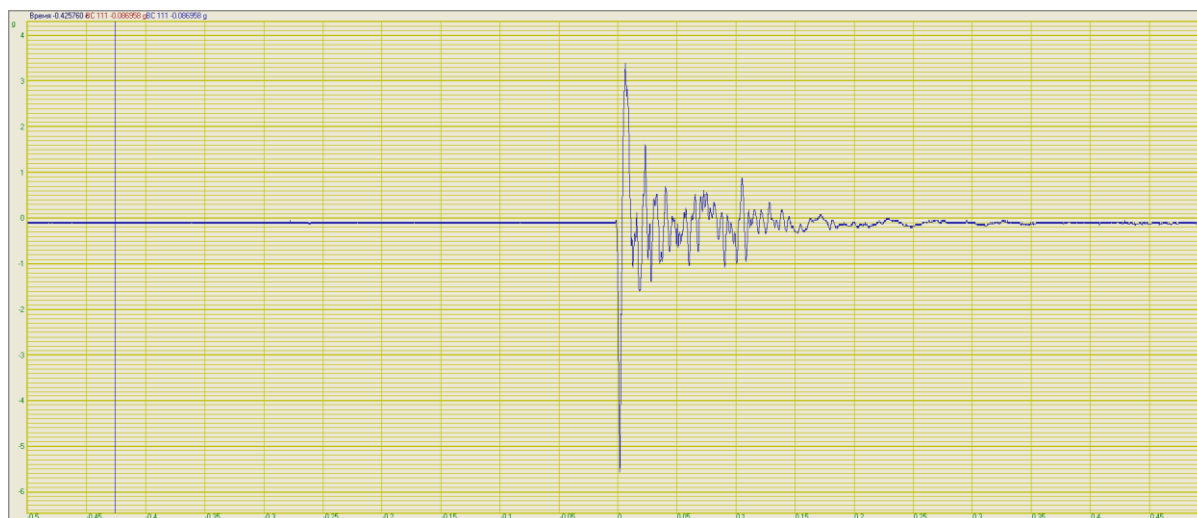
3-сурет – Zetlab программасының 017-U8 ZET спектр анализаторы (авторлық материал).

4 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

4-5-суретте топырақ силикат қоспасы және ешбір қоспасы жоқ табиғи топырақтың үдеу амплитудасының өлшенген шамалары көрсетілген. Қоспасыз топырақ толқынының амплитудасы 7,26 шамасын көрсетеді: толқындар 0,5 секундтық жазба аралығы ішінде сөнбейді. Силикатты топырақ амплитудасының төмендеуін көрсетті және 5,56 құрады.

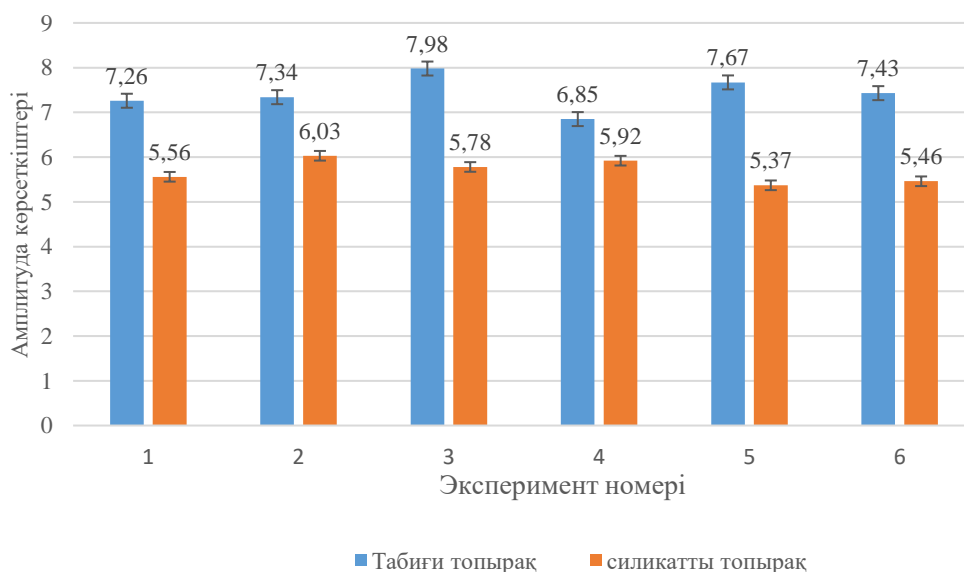


4-сурет – Табиғи топырақтың акселерограммасы (авторлық материал).



5-сурет – Силикатты топырақ акселерограммасы (авторлық материал).

6-суреттегі графикте тербеліс амплитудасының топырақ моделінің түріне тәуелділігін көрсетеді. Абсцисса осінде (көлденең осьте) топырақтың әртүрлі модельдері, ал ординаталар осінде (тік осьте) тербеліс амплитудасы қойылады. График сонымен қатар әр түрлі топырақ модельдері үшін үлкен амплитудадан кіші амплитудаға дейінгі тренд сызығын ұсынады. Әрбір бағанда жазылған сынақ нәтижелерінен алынған тербелістердің максималды амплитудасының мәнін білдіреді.



6-сурет – Табиғи топырақ пен грунтосиликаттың діріл амплитудасының шамалары (авторлық материал).

Біздің нәтижелерімізде оқшаулағыш материал ретінде силикатты топырақ қолданған кезде табиғи топырақпен салыстырғанда тербеліс амплитудасының едәуір төмендейтінін көрсетілген. Бұл оқшаулағыш материалдарды қолданған кезде амплитуданың төмендеуі басқа да зерттеулердің нәтижелерімен сәйкес келеді. Мысалы, (Woods, 1968) жүргізген зерттеуде амплитуданы азайту коэффициенті енгізілген, ол оқшаулағыш қабаттың тербеліс амплитудасын қаншалықты тиімді төмендететінін көрсетеді. Амплитуданы азайту коэффициенті 0,4-ке тең болса, бұл тербеліс амплитудасының 60%-ға төмендегенін білдіреді. Бұл біздің нәтижелерімізде, силикатты топырақтың тербеліс амплитудасын айтарлықтай төмендеткендігімен көрсетіп отыр.

Сонымен қатар, (Al-Hussaini мен Ahmad, 1991), (Çelebi, 2009), және басқалар жұмыстарында әртүрлі жиілік диапазоңдары мен тербеліс көздері үшін амплитуданы төмендетуді талдаудың маңыздылығы атап өтіледі. Біздің деректеріміз де топырақ силикаттың тербелістік әсерлерді, әсіресе архитектуралық ескерткіштерді қорғау контекстінде, азайту үшін тиімді әдіс бола алатынын растайды.

6-суретте көрсетілген графиктің көрсеткіштерін талдау бойынша, топырақ силикаттың табиғи топырақпен салыстырғанда толқынды тиімдірек сөндіретінін көрсетті. 6 эксперименттің нәтижелері бойынша топырақ силикатының орташа амплитудасы 5,68 құрады, ал табиғи топырақтың амплитудасы 7,42 құрады. Алынған мәліметтер негізінде грунтосиликатты ғимараттарды, әсіресе сәулет ескерткіштерін қорғау үшін қолдануға болады деп қорытынды жасауға болады. Болашақта осы мәліметтер негізінде сейсмикалық оқшаулаудың тиімді әдістерін жасауға болады.

5 ҚОРЫТЫНДЫ

Сәулет ескерткіштерін тиімді қорғау үшін топырақ силикатынан геотехникалық сейсмикалық оқшаулау қолданылуы мүмкін. Геотехникалық сейсмикалық оқшаулау ретінде қолданылатын материалдардың параметрлік сипаттамаларын эксперименттік зерттеу нәтижелері тамаша демпферлік қасиеттерді көрсетті.

Геотехникалық сейсмикалық оқшаулау түріндегі силикатты топырақ қоспасын, қоспасыз топырақпен салыстырғанда толқындардың төмендеуін көрсетеді. Силикатты топырақ толқын амплитудасын 23,46% төмендетеді.

Осылайша, сейсмикалық тербелістердің амплитудасының төмендеуі қауіпсіздікті, беріктікті және өмірді сақтауға әкеледі, бұл технологияны ғимараттар мен инфрақұрылымды сейсмикалық қауіптерден қорғау үшін, әсіресе сәулет ескерткіштерін қорғау үшін маңызды және пайдалы етеді.

Геотехникалық сейсмикалық оқшаулау жер сілкінісіне төзімді құрылыстың перспективалық бағытын білдіреді, бірақ оны енгізу техникалық және экономикалық аспектілерді де, әртүрлі геологиялық жағдайларда қолдану ерекшеліктерін де ескеретін кешенді тәсілді қажет етеді. Бұл технологияны тиімді пайдалану жүйенің функционалдығы мен беріктігіне әсер ететін барлық факторларды мұқият жоспарлау және есепке алу арқылы мүмкін болады.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. **Calvi, P.M., & Calvi, G.M.** (2018). Historical development of friction-based seismic isolation systems. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 106, 14-30 <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.12.003>
2. **Dudchenko, A.V., Dias, D., Kuznetsov, S.V.** (2021). Vertical wave barriers for vibration reduction. *Archive of Applied Mechanics*, 91, 257–276. <https://doi.org/10.1007/s00419-020-01768-2>
3. **Forcellini, D.D, Chiaro, G.D, Palermo, A.D, Banasiak, L.M, Tsang, H.H.** (2024). Energy dissipation efficiency of geotechnical seismic isolation with gravel-rubber mixtures: insights from FE non-linear numerical analysis. *Journal of Earthquake Engineering*, 28 (9), 2422-2439 <https://doi.org/10.1080/13632469.2024.2312915>
4. **Chiaro, G., Palermo, A., Banasiak, L., Tasalloti, A., Granello, G., Hernandez, E.** (2023). Seismic response of low-rise buildings with eco-rubber geotechnical seismic isolation (ERGSi) foundation system: numerical investigation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 21, 3797–3821 <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01584-9>
5. **Banovic, I., Radnic, J., Grgic, N.** (2019). Geotechnical seismic isolation system based on sliding mechanism using stone pebble layer: shake-table experiments. *Shock and Vibration*, 1-26 <https://doi.org/10.1155/2019/9346232>

6. **Jing, L.P., Yin, Z.Y., Sun, H.F., Dong, R., Xu, K.P., Li, Y.Q.** (2020). Shaking table tests on two geotechnical seismic isolation systems. *Yantu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 42 (11), 1969-1978 <https://doi.org/10.11779/CJGE202011001>
7. **Zhang, H., Song, C., Wang, M., Cheng, Y., Yue, S., Wu, C.** (2023). A geotechnical seismic isolation system based on marine sand cushion for attenuating ground shock effect: Experimental investigation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 168, 107854. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.107854>
8. **Dhanya, J.S., Fouzul, M.A., Banerjee, S., Boominathan, A., Zhussupbekov, A.M.** (2023). Shaking table experiments on framed structure resting on geogrid reinforced geotechnical seismic isolation system. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 21, 3823–3849 <https://doi.org/10.1007/s10518-023-01687-x>
9. **Kilic, G.** (2023). Assessment of historic buildings after an earthquake using various advanced techniques. *Structures*, 50, 538-560 <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.02.033>
10. **Hoseynzadeh, H., Mortezaei, A.** (2021). Seismic vulnerability and rehabilitation of one of the world's oldest masonry minaret under the different earthquake frequency content. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 9-4, 12-36 <https://doi.org/10.22075/JRCE.2021.21251.1441>
11. **Sun, Q., Xue, Y., Hou, M.** (2024). Geotechnical seismic isolation system to protect cut-and-cover utility tunnels using tire-derived aggregates. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 176, 108354 <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.108354>
12. **Tsang, H.H., Tran, D.P., Hung, W.Y., Ptilakis, K., Gad, E.F.** (2021). Performance of geotechnical seismic isolation system using rubber-soil mixtures in centrifuge testing. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 50(5), 1271-1289 <https://doi.org/10.1002/eqe.3398>
13. **Yin, Z., Sun, H., Jing, L., Dong, R.** (2022). Geotechnical seismic isolation system based on rubber-sand mixtures for rural residence buildings: shaking table test. *Materials*, 15(21), 7724 <https://doi.org/10.3390/ma15217724>
14. **Mikhail, B.V.** (2011). Foundations and foundation [Osnovaniya i fundamentey] (In Russ.).
15. **Dmitry, Ch.U, Natalia, M.L., Irina, M.Y.** (2020). Foundations, retaining walls and pit fences [Fundamentey, podpornye steny i ograbzheniya kotlovanov] (In Russ.).