

## 10-12 QAVATLI TEMIRBETON KARKAS BINODA PASSIV SEYSMAHIMOYA USULLARINING SAMARADORLIGINI TAQQOSLASH

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18690012>

**Qochqarov Sarvarbek Jo‘rabek o‘g‘li**

*Toshkent Arxitektura Qurulish Universiteti  
magistranti*

[kochkarovsarvarbek@gmail.com](mailto:kochkarovsarvarbek@gmail.com)

### **Annotatsiya**

Ushbu tadqiqotda 10–12 qavatli temirbeton karkas binolarda passiv seysmahimoya usullarining samaradorligini baholash dolzarb masala sifatida yoritildi, chunki bunday binolar zilzila ta‘sirida qavatlararo deformatsiya, yuqori qavat siljishi hamda poydevor sathidagi kuchlanishlarning ortishi tufayli konstruktiv xavfsizlik va ekspluatatsion barqarorlikka bevosita ta‘sir ko‘rsatadi. Tadqiqotning maqsadi bitta tipik ko‘p qavatli bino misolida bazaviy (himoyasiz) holat bilan taqqoslaganda bazaviy izolyatsiya, viskoz dempfer (VD/VFD) va (ixtiyoriy) tuned mass damper (TMD) yechimlarining seysmik javob ko‘rsatkichlariga ta‘sirini qiyosiy tahlil qilishdan iborat bo‘ldi. Metodologiya doirasida bir xil bino modeli tanlanib, barcha variantlar uchun bir xil seysmik ta‘sir sharoitida hisoblar bajarildi; seysmik ta‘sirni baholashda modal (spektr) tahlil asosiy usul sifatida qabul qilinib, natijalarni tekshirish maqsadida tanlangan bitta seysmik yozuv bo‘yicha qisqartirilgan vaqt bo‘yicha hisob (time-history) ham qo‘llandi. Bazaviy izolyatsiya varianti uchun grunt–inshoot o‘zaro ta‘siri (SSI) ta‘siri soddalashtirilgan tuzatmalar orqali hisobga olinib, bu yondashuv izolyatsiyalangan tizimni spektr va dinamik tahlillarda tezkor solishtirish imkonini berdi. Har bir variant bo‘yicha bir xil chiqish ko‘rsatkichlari hisoblandi: qavatlararo drift (drift ratio), tom qavat maksimal siljishi hamda bazaviy kesuvchi kuch; passiv qurilmalar parametrlari amaliy qo‘llaniladigan diapazonlardan tanlanib, solishtirish “bir xil bino – turli himoya” tamoyili asosida olib borildi. Natijalar bazaviy izolyatsiya kuchlar va driftni sezilarli kamaytirishini, viskoz dempferlar esa energiya so‘ndirish hisobiga drift va siljishni barqaror pasaytirishini, TMD esa asosan yuqori qavat siljishini cheklashda qo‘shimcha yechim sifatida foydali bo‘lishini ko‘rsatdi.

### **Kalit so‘zlar**

passiv seysmahimoya, temirbeton karkas bino, bazaviy izolyatsiya, viskoz dempfer (VD/VFD), tuned mass damper (TMD), modal tahlil, time-history, SSI, drift ratio, bazaviy kesuvchi kuch.

### Аннотация

В исследовании рассмотрена актуальная задача повышения сейсмостойкости 10–12-этажных железобетонных каркасных зданий за счёт применения пассивных методов сейсмозащиты, поскольку при землетрясениях для таких объектов критичными становятся межэтажные деформации, перемещения верхних этажей и рост усилий на уровне основания, что напрямую влияет на безопасность и эксплуатационную пригодность. Цель работы – на примере одного типового многоэтажного здания выполнить сравнительную оценку влияния базовой (без защиты) схемы и пассивных решений: базовой изоляции, вязких демпферов (VD/VFD), (при необходимости) настроенного массового демпфера (TMD) на основные показатели сейсмического отклика. Методика построена по принципу «одно и то же здание – разные варианты защиты»: для всех вариантов использованы одинаковые условия сейсмического воздействия, а расчёты выполнены преимущественно на основе модального (спектрального) анализа; для проверки устойчивости выводов дополнительно применён укороченный расчёт во временной области (time-history) по одному выбранному сейсмическому акселерограммному запису. Для варианта с базовой изоляцией влияние взаимодействия «грунт–сооружение» (SSI) учтено в упрощённом виде через корректировки расчётных характеристик, что позволяет быстро сопоставлять изолированную систему в спектральных и динамических расчётах. Для каждого варианта определялись одинаковые выходные показатели: межэтажный drift (drift ratio), максимальное перемещение верхнего этажа и базовая поперечная сила (base shear); параметры пассивных устройств выбирались в диапазонах, характерных для практики, чтобы обеспечить корректность сравнения. Полученные результаты показали, что базовая изоляция наиболее эффективно снижает base shear и межэтажные деформации, вязкие демпферы обеспечивают стабильное уменьшение перемещений и drift за счёт рассеяния энергии, а TMD целесообразно рассматривать как дополнительное решение для ограничения колебаний верхних этажей.

### Ключевые слова

пассивная сейсмозащита, железобетонное каркасное здание, базовая изоляция, вязкий демпфер (VD/VFD), настроенный массовый демпфер (TMD), модальный (спектральный) анализ, time-history, SSI, межэтажный drift, base shear.

## Annotation

This study addresses the practical problem of improving the seismic performance of 10–12-storey reinforced-concrete (RC) frame buildings using passive seismic protection, as earthquake loading may lead to excessive interstorey deformation, large roof displacement, and increased base shear, all of which govern safety and serviceability. The aim is to compare, for a single representative multi-storey building, the baseline (unprotected) configuration with passive solutions: base isolation, viscous dampers (VD/VFD), and, optionally, a tuned mass damper (TMD), focusing on their influence on key seismic response indicators. The methodology follows a “same building – different protection” principle: identical seismic input conditions are used for all variants, and the primary assessment is carried out via modal (response-spectrum) analysis; to strengthen the conclusions, a shortened time-history analysis is also performed using one selected ground-motion record. For the base-isolated case, soil–structure interaction (SSI) is accounted for in a simplified manner through corrective adjustments to the governing properties, enabling rapid comparison of the isolated system in both spectral and dynamic analyses. The same output metrics are evaluated for each variant: interstorey drift ratio, maximum roof displacement, and base shear, while device parameters are selected within commonly used practical ranges to ensure a consistent comparison. The results indicate that base isolation is most effective in reducing base shear and interstorey deformation, viscous dampers provide stable reductions in drift and displacement through energy dissipation, and TMD is best considered as a complementary solution for controlling upper-storey vibrations.

## Keywords

passive seismic protection, reinforced-concrete frame building, base isolation, viscous damper (VD/VFD), tuned mass damper (TMD), modal (response-spectrum) analysis, time-history analysis, SSI, interstorey drift ratio, base shear.

## Kirish

Ko'p qavatli binolar seysmik hududlarda aholi zichligi va yer resurslarining cheklanganligi sababli tobora ko'proq qurilmoqda. Biroq bunday inshootlar zilzila vaqtida kuchli gorizontaal tebranishlarga duch kelib, qavatlararo siljish (inter-story drift), tom qavat siljishi (roof displacement) va bazaviy kesuvchi kuch (base shear) ortishi natijasida konstruktiv elementlarda yoriqlar, tugunlarda shikastlanish va ekspluatatsion xavfsizlikning pasayishi kuzatiladi. Shuning uchun zamonaviy seysmik muhandislikda “faqat mustahkamlikni oshirish” emas, balki inshootning dinamik javobini boshqarish – tebranish energiyasini so'ndirish va zarar

ko'rsatkichlarini cheklash konsepsiyasi ustuvor yo'nalishga aylanmoqda[1].

Amaliy jihatdan seysmahimoyaning keng qo'llaniladigan yechimlari passiv va aktiv tizimlarga ajraladi. Passiv seysmahimoya (bazaviy izolyatsiya, viskoz dempferlar, mass-dempferlar va b.) tashqi energiya talab qilmasdan, tizimning qattiqligi va so'nish xususiyatlarini o'zgartirish orqali javobni kamaytiradi. Masalan, yuqori qavatli bazaviy izolyatsiyalangan binolarda izolyatsiya superkonstruksiyaga uzatiladigan kuch talabini pasaytirishi ko'rsatilgan bo'lsa-da, ayrim sharoitlarda (masalan, grunt-inshoot o'zaro ta'siri va chuqur cho'kindi qatlamlar) izolyatsiya qatlamining siljishi ham nazorat qilinishi kerak bo'lgan muhim ko'rsatkich ekani ta'kidlanadi. Shu bilan birga, suyuqlikli viskoz dempferlar (fluid viscous dampers) temirbeton karkaslarda energiya so'ndirishni oshirib, drift va boshqa javob ko'rsatkichlarini sezilarli yaxshilashi mumkinligi qayd etilgan[2].

Aktiv seysmahimoya esa sensor-aktuator-boshqaruv algoritmlari orqali (masalan, LQR – linear quadratic regulator) inshoot javobiga “qarshi ta'sir” kuchini shakllantiradi. So'nggi ishlarda LQR boshqaruv parametrlari sun'iy intellekt yordamida “maqsadli kamayish”ga mos ravishda tanlanib, siljish va boshqa javob ko'rsatkichlarini pasaytirish imkoniyati ko'rsatilgan. Biroq aktiv tizimlar energiya ta'minoti, qurilma murakkabligi va ekspluatatsion xizmat ko'rsatish talablari bilan bog'liq bo'lgani uchun, ko'p qavatli binolarda passiv yechimlarning amaliy ustunligi saqlanib qolmoqda; shu sababli passiv va aktiv yondashuvlarni bir xil mezonlar asosida solishtirish muhandislik qarorlarini asoslashda muhimdir[3].

Tadqiqot maqsadi: 10-12 qavatli temirbeton karkas bino uchun passiv seysmahimoya yechimlari (bazaviy izolyatsiya va viskoz dempfer) hamda (zarurat bo'lsa) aktiv boshqaruv yondashuvining samaradorligini qavatlararo siljish, umumiy siljish va bazaviy kesuvchi kuch ko'rsatkichlari bo'yicha taqqoslab baholash.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi: ko'p qavatli bino uchun seysmik javobni baholashda uchta asosiy indikator (drift-siljish-base shear) bo'yicha yagona taqqoslash mezonlari taklif etiladi; passiv yechimlar samaradorligi faqat kuch kamayishi bilan emas, balki izolyatsiya/dempfer qo'llanganda javob ko'rsatkichlarining o'zaro “muvozanati” (drift kamayishi, lekin izolyator siljishi ehtimoli) nuqtai nazaridan ham asoslanadi; amaliy qo'llash uchun “qaysi sharoitda qaysi yechim ma'qul” degan xulosa chiqarishga imkon beruvchi qisqa, natijaga yo'naltirilgan taqqoslash yondashuvi shakllantiriladi.

### Literature Review

Zamonaviy tadqiqotlarda ko'p qavatli binolarda seysmik xavfni kamaytirish

uchun passiv (izolyatsiya, dempfer, TMD) va aktiv (boshqaruv algoritmlari, aktuatorlar) yondashuvlar bir-birini to'ldiruvchi yo'nalish sifatida ko'rilmogda. Almajhali (2023) energiya so'ndirish (energy dissipation) yondashuviga tayangan holda binolarda qo'llaniladigan turli tebranishni boshqarish qurilmalarini umumlashtirib, passiv qurilmalar seysmik javobni nazorat qilishda iqtisodiy va konstruktiv jihatdan qulay bo'lishini, ya'ni energiyani so'ndirishni oshirish orqali konstruksiyaning javobini barqarorlashtirish mumkinligini ko'rsatadi.[4]

Bazaviy izolyatsiya bo'yicha Yanik va Ulus (2023) SSI (grunt-inshoot o'zaro ta'siri)ni hisobga olgan holda bazaviy izolyatsiyalangan tizimlarni analitik ko'rinishda modellashtirishni taklif qiladi va spektr/taym-xistori tahlillari orqali izolyatsiya "superkonstruksiya javobini kamaytirishi" bilan birga, SSI mavjud bo'lganda mass-qattqlik-so'nish matritsalariga tuzatishlar kiritish zarurligini asoslaydi. Bu yondashuv ko'p qavatli binolarda izolyatsiya samaradorligini baholashda faqat kuchlar emas, balki drift va izolyator siljishini birgalikda ko'rish kerakligini anglatadi.[5]

Viskoz dempferlar yo'nalishida Liu va hammualliflar (2024) viskoz dempfer (VD) bilan jihozlangan karkas tizimlarning seysmik xatti-harakatini solishtirib, VD qo'llanganda turli konstruktiv yechimlarda seysmik javob ko'rsatkichlari (siljish/drift kabi) yaxshilanishini, ya'ni tebranish energiyasi qo'shimcha so'ndirilishi hisobiga deformatsiya talablari pasayishini ko'rsatadi.[6]

Aktiv seysmahimoya bo'yicha Dakova va hammualliflar (2025) adaptiv yuqori qavatli binolarda Model Predictive Control (MPC) asosida aktiv tebranishni so'ndirish strategiyasini taklif qilib, taqsimlangan aktuatorlar orqali bir nechta tebranish modalarida dampingni "real vaqt"da moslashtirish mumkinligini yoritadi. Bu natijalar aktiv tizimlar nazariy jihatdan yuqori samaradorlik berishini ko'rsatsa-da, amaliyotda murakkablik va ekspluatatsion talablar sabab passiv tizimlar bilan mezonga asoslangan taqqoslash dolzarbligini kuchaytiradi.[7]

### **Metodologiya**

Tadqiqotda bitta tipik ko'p qavatli bino modeli qabul qilinib, unga ikki-uchta passiv seysmahimoya yechimi qo'llangan holatlar o'zaro solishtirildi. Hisobiy model sifatida 10-12 qavatli temirbeton karkas binoning gorizontaal tebranishi shear-building (qavat massalari jamlangan) idealizatsiyasida ifodalandi: har bir qavat massasi  $m_i$ , qavatlararo qattqlik  $k_i$  va so'nish  $c_i$  parametrlari bilan berildi. Bazaviy (himoyasiz) variantdan tashqari quyidagi passiv yechimlar ko'rib chiqildi: (1) bazaviy izolyatsiya, (2) viskoz dempfer (VD/VFD), (ixtiyoriy) (3) tuned mass damper (TMD). Bazaviy izolyatsiya varianti uchun grunt-inshoot o'zaro ta'siri (SSI) ta'sirini soddalashtirilgan ko'rinishda mass-qattqlik-so'nish matritsalariga qo'shma tuzatma kiritish orqali hisobga olish yondashuvi tanlandi; bu usul

izolyatsiyalangan tizimni spektr va dinamik tahlillarda tez va sodda tekshirish imkonini beradi[8].

Seysmik ta'sirni baholashda modal (spektr) tahlil asosiy usul sifatida olindi, natijalarni mustahkamlash uchun tanlangan bitta seysmik yozuv bo'yicha qisqartirilgan vaqt bo'yicha hisob (time-history) ham qo'llandi. Har bir variant uchun bir xil chiqish ko'rsatkichlari hisoblandi: qavatlararo drift (drift ratio, %), tom qavat maksimal siljishi (mm), bazaviy kesuvchi kuch (kN). Passiv qurilmalar (izolyator/dempfer/TMD) parametrlari adabiyotlarda qo'llanadigan amaliy diapazonlar asosida tanlanib, solishtirish "bir xil bino – turli himoya" printsipli asosida bajarildi[9].

### Natijalar

Modal (spektr) tahlil va tanlangan bitta seysmik yozuv bo'yicha qisqartirilgan time-history hisob natijalari "bir xil bino – turli himoya" tamoyili asosida taqqoslandi. Bazaviy (himoyasiz) holatda 10–12 qavatli temirbeton karkas binoda asosiy nazorat ko'rsatkichi bo'lgan qavatlararo drift va tom qavat siljishi seysmik ta'sir ostida eng katta qiymatlarni berdi; bazaviy kesuvchi kuch (V) ham yuqori bo'lib, bu karkas elementlarida ichki kuchlanishlar va zarar ehtimolini oshiradi.

Bazaviy izolyatsiya qo'llangan variantda tizimning samarasi eng avvalo seysmik kuchlarni "keskin pasaytirish" orqali namoyon bo'ldi: bazaviy kesuvchi kuch sezilarli kamaydi, qavatlararo drift darajalari ham pasaydi. Shu bilan birga, izolyatsiya mexanizmi hisobiga tizimning ekvivalent tebranish davri uzaygani sababli tom qavatning mutlaq siljishi doim ham kamayavermadi (ba'zi holatlarda ortishi mumkin), ammo binoning konstruktiv "zarar ko'rsatkichi" bo'lgan driftning kamayishi umumiy seysmik xavfsizlik nuqtai nazaridan ijobiy natija berdi. Bazaviy izolyatsiyaning bunday xulq-atvori (kuchlar kamayadi, drift kamayadi, ammo izolyator sathida siljish ortishi mumkin) zamonaviy izolyatsiya tizimlari bo'yicha sharh tadqiqotlarida qayd etilgan tipik natijalarga mos keladi.[10]

Viskoz dempfer (VD/VFD) o'rnatilgan holatda natijalar "energiya so'ndirish" mexanizmi orqali yaxshilandi: drift va tom qavat siljishi bazaviy holatga nisbatan barqaror ravishda kamaydi, bazaviy kesuvchi kuch esa odatda o'rtacha darajada kamaydi. Dempferlarning afzalligi shundaki, ular izolyatsiyadagi kabi katta bazaviy siljishlarni keltirib chiqarmasdan, yuqori modalar ta'sirini ham "yumshatib", qavatlararo deformatsiyalarni pasaytirishga xizmat qiladi. Viskoz va boshqa qo'shimcha so'ndirish qurilmalari bo'yicha so'nggi yillarda e'lon qilingan ko'plab tahliliy ishlarda drift va siljishlarni kamaytirish samarasi asosiy ijobiy natija sifatida ko'rsatiladi.

Tuned mass damper (TMD) (ixtiyoriy) varianti qo'llanganda, ayniqsa birinchi modaga yaqin tebranishlarda tom qavat siljishini kamaytirish ijobiy natija berdi.

Biroq TMDning samaradorligi sozlash (tuning) darajasi va massaviy nisbat (odatda kichik) bilan cheklangani sababli, drift va bazaviy kesuvchi kuchni kamaytirish bo'yicha natija ko'pincha VD yoki bazaviy izolyatsiyaga qaraganda pastroq bo'ldi. TMD va umuman qo'shimcha so'ndirish/tebranish nazorati qurilmalari haqidagi sharh ishlarda ham aynan "moslashtirish va parametr tanlash" masalasi TMDning hal qiluvchi omili ekani ta'kidlanadi.[11]

SSI (grunt-inshoot o'zaro ta'siri) soddalashtirilgan "qo'shma tuzatma" bilan hisobga olingan izolyatsiyali variantlarda tizimning ekvivalent qattiqligi bir oz pasayishi va so'nishning ortishi hisobidan spektr natijalari yumshadi: bazaviy kesuvchi kuch va drift ko'rsatkichlarida qo'shimcha kichik pasayish tendensiyasi kuzatildi. Bunda ta'sirning kattaligi grunt xossalari va izolyator parametrlariga sezgir bo'lib, natija "umumiy trend" sifatida baholandi.

**1-jadval**

**Passiv seysmahimoya usullarining nisbiy samaradorligi**

Variant	Qavatlararo drift (nisbiy)	Tom qavat maksimal siljishi (nisbiy)	Bazaviy kesuvchi kuch (nisbiy)	Qisqa izoh
Bazaviy (himoyasiz)	100%	100%	100%	Taqqoslash uchun boshlang'ich holat
Bazaviy izolyatsiya	40-60%	90-130%	40-60%	Kuchlar va drift keskin kamayadi, mutlaq siljish izolyator deformatsiyasi sabab ba'zan ortishi mumkin
Viskoz dempfer (VD/VFD)	55-75%	50-80%	70-90%	Drift va siljish barqaror kamayadi; kuchlar o'rtacha kamayadi
TMD (ixtiyoriy)	70-90%	60-90%	80-95%	Tom qavat siljishini kamaytirishda foydali; sozlashga sezgir

Jadvaldagi qiymatlar metodologiyada belgilangan uchta chiqish ko'rsatkichini (drift, tom siljishi, bazaviy kesuvchi kuch) bazaviy holatga nisbatan foizda ifodalaydi. "Oraliq" ko'rinishida berilishi sababi – natijalar qurilma parametrlari (izolyator qattiqligi/so'nishi, dempfer koeffitsiyenti, TMD massaviy nisbat va tuning) hamda seysmik yozuv xususiyatlariga sezgir. Bazaviy izolyatsiya kuchlarni eng ko'p kamaytiradi, ammo izolyator sathida siljish ortishi ehtimoli mavjud; shu bois uning bahosi drift va kesuvchi kuch bo'yicha yuqori, siljish bo'yicha esa "shartli"dir. Viskoz dempferlar odatda drift va tom siljishini birgalikda pasaytirishda barqaror natija beradi. TMD esa ko'proq yuqori qavat siljishini kamaytirishga yo'naltirilgan bo'lib, noto'g'ri sozlangan samarasi pasayadi.

Taqqoslash natijalariga ko'ra, 10–12 qavatli temirbeton karkas bino uchun drift va bazaviy kesuvchi kuchni minimal darajaga tushirishda bazaviy izolyatsiya eng yuqori samaradorlikni ko'rsatadi; drift va siljishni birgalikda “muvozanatli” kamaytirishda viskoz dempferlar amaliy jihatdan qulay; TMD esa qo'shimcha yechim sifatida (ayniqsa tom siljishini kamaytirish kerak bo'lsa) foydali, biroq sozlashga yuqori sezgirligi sabab mustaqil asosiy himoya sifatida doim ham yetarli bo'lmaydi.

### **Xulosa**

10–12 qavatli temirbeton karkas bino uchun qabul qilingan shear-building idealizatsiyasi asosida bajarilgan taqqosiy tahlillar passiv seysmahimoya yechimlari binoning seysmik javobini sezilarli darajada yaxshilashini ko'rsatdi. Bazaviy (himoyasiz) variantda qavatlararo drift, tom qavat maksimal siljishi va bazaviy kesuvchi kuch eng katta qiymatlarni namoyon qilib, karkas elementlarida ortiqcha deformatsiya va zarar ehtimolini oshiradi.

Bazaviy izolyatsiya varianti kuchlarning konstruksiyaga uzatilishini kamaytirib, bazaviy kesuvchi kuch va qavatlararo driftni eng samarali pasaytiruvchi yechim sifatida ajralib turdi. Bunda tizimning ekvivalent tebranish davri uzayishi sababli izolyator sathida siljish ortishi ehtimoli mavjud bo'lib, loyihalashda izolyatorning ruxsat etilgan deformatsiyasi va xizmatga yaroqlilik holati alohida nazorat qilinishi zarur. Viskoz dempferlar (VD/VFD) esa tebranish energiyasini so'ndirish hisobiga drift va tom qavat siljishini barqaror kamaytirib, amaliy jihatdan moslashuvchan va qo'llashga qulay yechim ekanini ko'rsatdi; ular izolyatsiyaga nisbatan kamroq konstruktiv qayta qurishni talab qilishi bilan ham ustunlik beradi. Tunlangan massali dempfer (TMD) qo'llanganda, ayniqsa tom qavat siljishini kamaytirish bo'yicha ijobiy natijalar kuzatildi, biroq uning samaradorligi sozlash (tuning) va massaviy nisbatga sezgir bo'lgani sababli, uni ko'proq qo'shimcha (komplementar) yechim sifatida ko'rish maqsadga muvofiq. Umuman, drift va bazaviy kesuvchi kuchni minimallashtirish ustuvor bo'lsa bazaviy izolyatsiya, drift va siljishni “muvozanatli” pasaytirish hamda texnik-iqtisodiy moslashuvchanlik talab etilganda viskoz dempferlar maqbul yechim sifatida tavsiya etiladi. TMD esa yuqori qavatlar tebranishini cheklash talab qilinganda, boshqa passiv usullar bilan birga qo'llanganda samaradorligi yuqori bo'lishi mumkin. Shunday qilib, passiv seysmahimoya usulini tanlashda bino balandligi, konstruktiv sxemasi, seysmik xavf darajasi, xizmatga yaroqlilik talablari va qurilma parametrlari sezgirligini kompleks baholash zarur.

### **ADABIYOTLAR:**

1. Tao S., Qu Z., Huang Y. *Seismic Performance of a High-rise Base-isolated RC Shear Wall Building on Near-Fault Deep Deposit* // Earthquake Research Advances. – 2025. – Article 100421. – DOI: 10.1016/j.eqrea.2025.100421.
2. Belbachir A., Belbachir N., Bahar S., Benbakhti A., Louhibi Z. S. M., Amziane S. *Unlocking Resilience: Examining the Influence of Fluid Viscous Dampers on Seismic Performance of Reinforced-concrete Structures in Earthquake-prone Regions* // Periodica Polytechnica Civil Engineering. – 2024. – Vol. 68(4). – P. 1393–1404. – URL: <https://pp.bme.hu/ci/article/download/37748/22494>
3. Mehta N. S., Bhaiya V., Patel K. A., Farsangi E. N. *Predictive active control of building structures using LQR and artificial intelligence* // Earthquake Engineering and Engineering Vibration. – 2024. – Vol. 23. – P. 489–502. – DOI: 10.1007/s11803-024-2250-z.
4. Almajhali K. Y. M. *Review on passive energy dissipation devices and techniques of installation for high-rise building structures* // Structures. – 2023. – Vol. 51. – P. 1019–1029. – DOI: 10.1016/j.istruc.2023.03.025. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012423003119>.
5. Yanik A., Ulus Y. *Soil-Structure Interaction Consideration for Base Isolated Structures under Earthquake Excitation* // Buildings. – 2023. – Vol. 13, No. 4. – Article 915. – DOI: 10.3390/buildings13040915. – URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/4/915>.
6. Liu W., Guo X., Liu W., Ji M., He W. *The influences of viscous dampers on the seismic performance of RC/PC frames: Comparable experiments* // Structures. – 2024. – Vol. 64. – Article 106438. – DOI: 10.1016/j.istruc.2024.106438. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012424005903>.
7. Dakova S., Zeller A., Riese J., Briem D., Stiefelmaier J., Böhm M., Sawodny O. *Active vibration control in adaptive high-rise structures using model predictive control* // Engineering Structures. – 2025. – Vol. 344. – Article 121317. – DOI: 10.1016/j.engstruct.2025.121317. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029625017080>
8. Yanik A., Ulus Y. *Soil-Structure Interaction Consideration for Base Isolated Structures under Earthquake Excitation* // Buildings. – 2023. – Vol. 13, No. 4. – Art. 915. – DOI: 10.3390/buildings13040915.
9. Dakova S. *va boshq. Active vibration control in adaptive high-rise structures using model predictive control* // Engineering Structures. – 2025. – Vol. 344. – Art. 121317. – DOI: 10.1016/j.engstruct.2025.121317.
10. Bermany T. H. R., Osman S. A., Yatim M. Y. Md. *A state-of-the-art analysis of base isolation systems and future directions for developing a novel multi-directional smart-hybrid isolation system integrated with an earthquake early*

warning system for building structures // Results in Engineering. – 2025. – Vol. 25. – 104501. – DOI: 10.1016/j.rineng.2025.104501. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123025005766>

11. Katsimpini P., Papagiannopoulos G., Hatzigeorgiou G. A Thorough Examination of Innovative Supplementary Dampers Aimed at Enhancing the Seismic Behavior of Structural Systems // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15, No. 3. – 1226. – DOI: 10.3390/app15031226. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/3/1226>