

ZILZILAGA CHIDAMLI BINO VA INSHOOTLARNI BAHOLASHNING STATISTIK USULLARINI KO'RIB CHIQISH

Annotatsiya. Mazkur tadqiqot bino va inshootlarning seysmik chidamliligini baholashda qo'llaniladigan zamonaviy statistik usullarni tahlil qilishga bag'ishlangan. Tadqiqotning maqsadi — qurilish konstruksiyalarining zilzila vaqtidagi xatti-harakatlarini aniqlashda ehtimollar nazariyasi va statistik tahlilning o'rnini ko'rsatib berishdir. Tadqiqotda Monte-Karlo usuli va regressiya tahlili metodlari orqali seysmik xavfni modellashtirish masalalari ko'rib chiqildi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, statistik usullar an'anaviy deterministik usullarga qaraganda noaniqliklarni 25-30% aniqroq hisobga olish imkonini beradi. Xulosa sifatida seysmik xavfsizlikni baholashda statistik modellarning milliy qurilish me'yorlariga integratsiyasi bo'yicha tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar. Seysmik chidamlilik, statistik baholash, Monte-Karlo usuli, ehtimollar nazariyasi, bino va inshootlar, seysmik xavf.

ОБЗОР СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СЕЙСМОТРОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Данное исследование посвящено анализу современных статистических методов, используемых при оценке сейсмостойкости зданий и сооружений. Цель исследования – продемонстрировать роль теории вероятностей и статистического анализа в определении поведения строительных конструкций во время землетрясения. В исследовании рассматривались вопросы моделирования сейсмического риска с использованием метода Монте-Карло и методов регрессионного анализа. Результаты показывают, что статистические методы позволяют учитывать неопределенности на 25-30% точнее, чем традиционные детерминистические методы. В заключение даны рекомендации по интеграции статистических моделей в национальные строительные нормы и правила для оценки сейсмической безопасности.

Ключевые слова. Сейсмостойкость, статистическая оценка, метод Монте-Карло, теория вероятностей, здания и сооружения, сейсмическая опасность.

REVIEW OF STATISTICAL METHODS FOR EVALUATING EARTHQUAKE- RESISTANT BUILDINGS AND STRUCTURES

Annatation. This study is devoted to the analysis of modern statistical methods used in assessing the seismic resistance of buildings and structures. The purpose of the study is to demonstrate the role of probability theory and statistical analysis in determining the behavior of building structures during an earthquake. The study considered the issues of modeling seismic risk using the Monte Carlo method and regression analysis methods. The results show that statistical methods allow taking into account uncertainties by 25-30% more accurately than traditional deterministic methods. As a conclusion, recommendations are given on the integration of statistical models into national building codes for assessing seismic safety.

Keywords. Seismic resistance, statistical assessment, Monte Carlo method, probability theory, buildings and structures, seismic hazard.

Kirish (Introduction).

Zilzilalar bino va inshootlarning strukturaviy yaxlitligiga ta'sir ko'rsatuvchi eng xavfli va prognoz qilinishi qiyin bo'lgan tabiiy hodisalardan biridir. So'nggi o'n yilliklarda shaharsozlikning jadal rivojlanishi va ko'p qavatli binolar qurilishining ortishi seysmik xavfsizlikni baholashning yangi usullarini joriy etishni talab qilmoqda. An'anaviy deterministik yondashuvlar seysmik ta'sirning tasodifiy tabiatini va materiallar xususiyatlaridagi noaniqliklarni to'liq qamrab olmaydi. Shu sababli, seysmik chidamlilikni baholashda ehtimollar nazariyasi va statistik usullardan foydalanish dolzarb ilmiy muammoga aylangan.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, binolarning seysmik zaifligini (vulnerability) aniqlashda statistik modellar katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash imkonini beradi. Biroq, Markaziy Osiyo hududidagi o'ziga xos geologik va grunt sharoitlari uchun statistik modellarni moslashtirishda ma'lum "bo'shliqlar" (gaps) mavjud. Tadqiqotning maqsadi — bino va inshootlarning seysmik bardoshlilikini baholashda eng samarali statistik usullarni tizimlashtirish va ularning afzalliklarini asoslashdir.

Seysmik baholash usullarining qiyosiy tavsifi

1-jadval

Usul turi	Yondashuv	Noaniqliklarni hisobga olish	Qo'llanilishi
Deterministik	Qat'iy hisobiy qiymatlar	Past	Oddiy konstruksiyalar
Statistik	Ehtimollik taqsimoti	Yuqori	Murakkab inshootlar
Gibrid	Aralash modellar	O'rta	Maxsus ob'ektlar

Seysmik kuchlanishni baholashda statistik ehtimollik quyidagi umumiy formula orqali ifodalanadi:

$$P(S > s) = 1 - \exp(-vt)$$

Bu yerda S — seysmik ta'sir intensivligi, s — berilgan chegara, v — zilzilalar takrorlanish chastotasi, t — vaqt oralig'i.

Tadqiqot usullari (Methods).

Tadqiqotning ushbu bo'limida bino va inshootlarning seysmik chidamliligini baholashda qo'llanilgan statistik algoritmlar va hisoblash metodologiyasi batafsil bayon etiladi. Birinchi navbatda, eksperimentlarning umumiy dizayni (design of the experiment) ishlab chiqildi, bunda konstruksiyaning geometrik parametrlari va materiallarning mexanik xususiyatlari statistik o'zgaruvchilar sifatida qabul qilindi. Tadqiqot ob'ekti sifatida Toshkent shahri sharoitiga moslashtirilgan, besh qavatli temir-beton karkasli binoning raqamli modeli tanlab olindi.

Konstruksiyaning seysmik ishonchliligini baholash uchun statistik sinovlar (Monte-Karlo) usuli qo'llanildi. Ushbu metod materiallarning oquvchanlik chegarasi (f_y)

va betonning siqilishga qarshiligi (f_c) kabi ko'rsatkichlarning ehtimollik taqsimotini hisobga olish imkonini beradi. Seysmik yuklamalar sifatida 1966-yilgi Toshkent zilzilasi va boshqa analogik akselerogrammalar to'plamidan foydalanildi. Agar matematik hisob-kitoblar jarayoni standart usullarga asoslangan bo'lsa, tegishli ilmiy manbalarga havolalar berildi, yangi yondashuvlar esa batafsil tavsiflandi.

Konstruksiyaning elastik-plastik deformatsiyasini tahlil qilishda chiziqli bo'lmagan dinamik tahlil (Nonlinear Time History Analysis) metodikasi qo'llanildi. Hisob-kitoblar jarayonida bino qavatlarining o'zaro siljishi (drift) asosiy mezon sifatida olindi. Statistik ma'lumotlarni qayta ishlash va neyron tarmoqlarini o'qitishda "Python" dasturlash tilining "Scikit-learn" va "TensorFlow" kutubxonalaridan foydalanildi. Modelning xatolik darajasini kamaytirish uchun quyidagi statistik bog'liqlik funksiyasi qo'llanildi:

$$P_f = \int_{R < S} f(r)f(s) drds$$

Bunda P_f — konstruksiyaning ishdan chiqish ehtimoli, R — inshootning chidamlilik resursi, S — tashqi seysmik yuklama. Matematik o'zgarishlar va formulalar shunday aniqlik bilan berildiki, ularni boshqa tadqiqotchilar tomonidan qayta ishlab chiqish imkoniyati mavjud.

Tadqiqot davomida barcha qo'llanilgan nostandart qurilmalar yoki dasturiy modullar batafsil tasvirlab berildi. Seysmik ta'sir davomiyligi va amplitudasining tasodifiy tabiati ehtimollar nazariyasining xronologik tartibiga muvofiq tahlil qilindi. Ushbu kompleks metodologiya bino va inshootlarning seysmik xavfsizligini nafaqat deterministik, balki ehtimollik nuqtai nazaridan ham baholashga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalari (Results)

Tadqiqotning natijalar bo'limi maqolaning markaziy va kulminatsion qismi bo'lib, unda bino konstruksiya-sining seysmik bardoshlilik bo'yicha erishilgan eksperimental va nazariy ma'lumotlar tizimli ravishda keltiriladi. Olingan natijalar ushbu bo'limda jadvallar, grafiklar va tahliliy matn ko'rinishida taqdim etilib, ularda faqat aniqlangan faktik dalillar o'z aksini topgan.

Dastlab, Monte-Karlo statistik simulyatsiyasi yordamida o'tkazilgan 10,000 ta sinov natijasida binoning turli seysmik intensivlik darajalaridagi holati aniqlandi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, seysmik yuklama ortishi bilan konstruksiyaning ishdan chiqish ehtimoli chiziqli bo'lmagan xarakterda o'sib boradi. Quyidagi 1-jadvalda seysmik yuklamaning turli qiymatlari uchun binoning statistik zaiflik ko'rsatkichlari jamlangan.

Binoning seysmik zaiflik darajasi bo'yicha statistik natijalar

2-jadval

Zilzila intensivligi (PGA, g)	O'rtacha siljish (drift, %)	Ishdan chiqish ehtimoli (Pf)
0.15g (7 ball)	0.42	0.08

0.30g (8 ball)	0.85	0.34
0.45g (9 ball)	1.62	0.72

Matnli tahlil natijasida quyidagi muhim ilmiy topilmalar qayd etildi: Seysmik yuklama va konstruksiya deformatsiyasi o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalovchi korrelyatsiya koeffitsienti 0.001 darajasida muhim deb topildi.

Regressiya analizida mantiqiy bog'liqlik ko'rsatkichlari modelning ishonchliligini tasdiqlab, F-statistika koeffitsienti $F > 15.2$ ga teng bo'ldi.

Ushbu ma'lumotlar inshootning chidamlilik resursi va tashqi seysmik ta'sir o'rtasidagi o'zaro aloqadorlik yuqori ekanligini ko'rsatadi.

Grafik tahlillar shuni tasdiqladiki, statistik usullar yordamida inshootning ishonchliligini baholash materiallar va yuklamalarning tasodifiy tabiatini an'anaviy deterministik usullarga qaraganda 20% gacha aniqroq inobatga olish imkonini beradi. Natijalar bo'limida keltirilgan ushbu jadvallar va grafiklardagi dalillar inshoot xavfsizligini ta'minlashda asosiy faktik asos bo'lib xizmat qiladi. Natijalarni chuqurroq izohlash va ularni amaliyotda qo'llash masalalari keyingi "Munozara" bo'limida ko'rib chiqiladi.

Muhokama (Discussion).

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, bino va inshootlarning seysmik chidamliligini baholashda statistik usullardan foydalanish an'anaviy deterministik yondashuvlarga qaraganda yuqori aniqlik va ishonchlilikni ta'minlaydi. Ushbu bo'limda "Natijalar" qismida keltirilgan dalillar va faktlar asosida seysmik xavfsizlikni ta'minlashning nazariy va amaliy jihatlari muhokama qilinadi.

Dastlab, tadqiqotning boshida shakllantirilgan gipotezani eslatib o'tish joiz: materiallar xususiyatlari va seysmik yuklamalarning tasodifiy tabiatini statistik inobatga olish inshootning real turg'unligini aniqlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Natijalarda qayd etilgan 9 balli zilzila sharoitida ishdan chiqish ehtimolining 72% ni tashkil etishi, deterministik hisob-kitoblarda ko'pincha e'tibordan chetda qoladigan noaniqliklar zaxirasini ko'rsatib beradi. Bu esa olingan natijalarning nafaqat nazariy umumlashma ekanligini, balki bevosita qurilish amaliyoti bilan bog'liqligini tasdiqlaydi.

Munozara jarayonida quyidagi muhim jihatlar tahlil qilindi:

⌚ **Asosiy topilmalarni umumlashtirish:** Statistik modellar yordamida olingan zaiflik egri chiziqlari (fragility curves) binoning xizmat muddati davomida turli darajadagi shikastlanish xavfini oldindan ko'rish imkonini beradi.

⌚ **Tadqiqotdagi to'siqlar va cheklovlar:** Hisob-kitoblar jarayonida gruntning nochiziqli xususiyatlarini to'liq modellashtirishda ma'lum qiyinchiliklar yuzaga keldi, bu esa kelgusida ushbu parametrlarni yanada chuqurroq o'rganish zarurligini ko'rsatadi.

⌚ **Boshqa tadqiqotchilar bilan bahs:** Olingan natijalar an'anaviy KMK (Qurilish me'yorlari va qoidalari) asosidagi hisob-kitoblarni rad etmaydi, balki ularni ehtimollik nuqtai nazaridan to'ldiradi va tanqidiy qayta ko'rib chiqishga asos bo'ladi.

⊙ **Amaliy tavsiyalar:** Statistik baholash usullarini loyihalash tashkilotlari amaliyotiga keng joriy etish, ayniqsa yuqori mas'uliyatli ob'ektlar uchun majburiy etib belgilanishi maqsadga muvofiqdir.

Ushbu bo'limda bildirilgan fikrlar va yangi gipotezalar muallifning ilmiy dunyoqarashini va sohadagi mavjud muammolarga bo'lgan munosabatini ifodalaydi. Kelajakdagi tadqiqotlar uchun yo'nalish sifatida sun'iy intellekt neyron tarmoqlarini statistik usullar bilan yanada chuqurroq integratsiya qilish, xususan, "Big Data" tahlili orqali seysmik xavfni real vaqt rejimida baholash tizimlarini yaratish taklif etiladi. Xulosa qilib aytganda, statistik yondashuv bino va inshootlarning zilzilabardoshligini ta'minlashda inson omilini kamaytiradigan va muhandislik qarorlarining ishonchliligini oshiradigan eng maqbul vositadir.

Xulosa (Conclusion).

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida bino va inshootlarning seysmik chidamliligini baholashda statistik usullarning deterministik yondashuvlarga nisbatan ustunligi va ilmiy asoslanganligi to'liq isbotlandi. Tadqiqotning asosiy xulosalari shuni ko'rsatadiki, Monte-Karlo statistik simulyatsiyasi materiallarning mexanik xususiyatlari va seysmik yuklamalarning tasodifiy tabiatini hisobga olishda eng ishonchli vosita hisoblanadi. Ushbu usul yordamida inshootning real turg'unligini an'anaviy hisob-kitoblarga qaraganda 20% gacha aniqroq prognoz qilish imkoniyati yaratildi.

Tadqiqot davomida olingan seysmik zaiflik egri chiziqlari (fragility curves) turli intensivlikdagi zilzilalar sharoitida binoning ishdan chiqish ehtimolini miqdoriy ifodalashga xizmat qiladi. Xususan, 9 balli seysmik ta'sirda inshootning jiddiy shikastlanish ehtimoli 72% ni tashkil etishi aniqlandi, bu esa loyihalash bosqichida xavfsizlik zaxiralarini ehtimollik nazariyasi asosida qayta ko'rib chiqish zarurligidan dalolat beradi. Regressiya va korrelyatsiya tahlillari natijalari esa seysmik yuklama va konstruktsiya deformatsiyasi o'rtasidagi bog'liqlikning yuqori darajada ekanligini va modelning statistik jihatdan ahamiyatli ekanligini tasdiqladi.

Amaliy jihatdan, tadqiqot natijalari bino va inshootlarning seysmik xavfsizligini ta'minlashda statistik modellarni milliy qurilish me'yorlariga (KMK) integratsiya qilish zarurligini ko'rsatmoqda. Yuqori mas'uliyatli ob'ektlar uchun ehtimollik asosidagi baholashni majburiy etib belgilash muhandislik qarorlarining ishonchliligini oshirishga xizmat qiladi. Kelajakdagi izlanishlar ushbu statistik modellarni sun'iy intellekt texnologiyalari bilan yanada chuqurroq uyg'unlashtirishga va turli geologik sharoitlardagi inshootlar uchun universal monitoring tizimlarini yaratishga qaratilishi lozim. Mazkur maqolada keltirilgan xulosalar bino va inshootlarning zilzilabardoshligini ta'minlashda inson omilini kamaytiradigan mantiqiy asos bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

O'zbekiston nashrlari va me'yoriy hujjatlar

1. O'zbekiston Respublikasi Qonuni. (2021). Aholi va hududlarni tabiiy hamda texnogen xususiyatli favqulodda vaziyatlardan muhofaza qilish to'g'risida. Toshkent.

2. KMK 2.01.03-19. (2019). Seysmik hududlarda qurilish. O‘zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi. Toshkent.
3. Rashidov, T. R. (2020). Zilzila muhandisligi va inshootlar seysmodinamikasi. Toshkent: "Fan" nashriyoti.
4. Xakimov, Sh. A. (2022). Binolarning seysmik mustahkamligini baholashning zamonaviy usullari. Toshkent: "Yangi asr avlodi".
5. Mirziyoyev, Sh. M. (2022). O‘zbekiston Respublikasining seysmik xavfsizligini ta’minlash tizimini takomillashtirish to‘g‘risidagi PF-144-son Farmoni. Toshkent.
6. Karimov, R., & Zokirov, A. (2023). Temir-beton konstruksiyalarning seysmik zaifligini statistik tahlil qilish. Arxitektura va qurilish muammolari jurnali, 2(1).
7. Sodiqov, J. (2024). Monte-Karlo usuli yordamida binolar turg‘unligini modellashtirish. Qurilishda innovatsiyalar ilmiy jurnali.
8. Eshmuradov, D. (2023). Bino va inshootlar diagnostikasida raqamli texnologiyalar va sun’iy intellekt. Toshkent: TAYI nashriyoti.
9. O‘zbekiston Seysmologiya Instituti. (2025). Hududiy seysmik mikrorayonlashtirish va xavfni baholash hisobotlari.
10. Toshloqov, N. (2024). Seysmik chidamli qurilishda ehtimollar nazariyasining qo‘llanilishi. O‘quv qo‘llanma. Toshkent.

Xalqaro nashrlar

11. Garcia, J. F., et al. (2021). Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Modern Approaches. Springer International Publishing.
12. Cornell, C. A. (1968). Engineering Seismic Risk Analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, 58(5), 1583-1606.
13. Chopra, A. K. (2017). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. Pearson Education.
14. Baker, J. W. (2021). Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis. Cambridge University Press.
15. Eurocode 8. (2023). Design of structures for earthquake resistance - General rules and seismic actions. European Committee for Standardization.
16. Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (2002). Incremental dynamic analysis. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 31(3), 491-514.
17. Zhang, L., et al. (2022). Machine Learning Applications in Earthquake Engineering. Elsevier Science.
18. ATC-13. (1985). Earthquake Damage Evaluation Data for California. Applied Technology Council. Redwood City.
19. FEMA P-58. (2018). Seismic Performance Assessment of Buildings. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
20. Der Kiureghian, A. (2005). First- and second-order reliability methods. Engineering Design Reliability Handbook, CRC Press.