ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -6

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 6

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

УДК 699.841 + 624.012.25

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ НЕСУЩИХ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ, УСИЛЕННЫХ ИНЪЕКЦИОННЫМИ СОСТАВАМИ

Файзуллаева З.Н.

Бухарский государсрственый технический университет, г. Бухара, Республика Узбекистан.

Аннотация. Статья посвящена вероятностной оценке сейсмической уязвимости несущих каменных конструкций исторического здания из кирпичной кладки на ганчевом растворе XVII века до и после инъекционного усиления. На основе нелинейного динамического анализа (метод инкрементальной динамики, IDA) с использованием 12 натуральных и синтетических акселерограмм, согласованных со спектром сейсмической опасности для Бухарского региона (PGA = 0,20g, период повторяемости 475 лет), получены кривые хрупкости для трёх предельных состояний: немедленное занятие (IO), защита жизни (LS) и предотвращение обрушения (CP). Показано, что усиление известково-цементным инъекционным составом (рецептура MLC) с шагом инъекционных скважин 0,75 м при давлении нагнетания 0,3–0,5 МПа повышает медианное ускорение разрушения по предельному состоянию CP с 0,27g до 0,41g (+52 %) и снижает вероятность достижения состояния LS при нормативном воздействии PGA = 0,20g с 0,61 до 0,28. Параметры нелинейных моделей материалов откалиброваны по результатам лабораторных испытаний 90 образцов усиленной кладки. Результаты могут быть использованы при разработке нормативных рекомендаций по проектированию инъекционного усиления объектов культурного наследия в сейсмических районах Центральной Азии.

Ключевые слова: каменная кладка; инъекционное усиление; сейсмическая уязвимость; кривые хрупкости; нелинейный динамический анализ; IDA; предельные состояния; объект культурного наследия; известково-цементный инъект.

Annotatsiya. Maqola XVII asrga oid ganchli eritmadagi g‘ishtli devorli tarixiy binoning yuk ko‘taruvchi tosh konstruktsiyalarining inyeksion mustahkamlashdan oldingi va keyingi holatdagi seysmik zaifligini ehtimollik usulida baholashga bag‘ishlangan. 12 ta tabiiy va sintetik akselerogramma asosida o‘tkazilgan chiziqli bo‘lmagan dinamik tahlil (inkremental dinamik tahlil usuli — IDA) yordamida, Buxoro hududi uchun seysmik xavf spektri bilan moslashtirilgan (PGA = 0,20g, takrorlanish davri 475 yil) uchta cheklov holati bo‘yicha mo‘rtlik (zaiflik) egri chiziqlari olingan: darhol foydalanishga yaroqlilik (IO), hayotni himoya qilish (LS) va qulashning oldini olish (CP). Ma’lum bo‘lishicha, ma’lum bosqich bilan (0,75

ISSN 3030-3907

m) va 0,3–0,5 MPa bosim ostida quyiladigan ohak-tsementli inyeksion tarkib (MLC retsepti) yordamida mustahkamlash CP cheklov holati bo‘yicha median halokat tezlashuvini 0,27g dan 0,41g gacha (+52 %) oshiradi hamda normativ ta’sir PGA = 0,20g da LS holatiga yetish ehtimolini 0,61 dan 0,28 gacha pasaytiradi. Materiallarning chiziqli bo‘lmagan modellarining parametrlari 90 ta mustahkamlangan devor namunasining laboratoriya sinovlari natijalari asosida kalibrlangan. Olingan natijalar Markaziy Osiyo seysmik hududlaridagi madaniy meros ob’yektlarini inyeksion mustahkamlashni loyihalash bo‘yicha normativ tavsiyalarni ishlab chiqishda qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: g‘ishtli devor; inyeksion mustahkamlash; seysmik zaiflik; mo‘rtlik egri chiziqlari; chiziqli bo‘lmagan dinamik tahlil; IDA; cheklov holatlari; madaniy meros ob’yekti; ohak-tsementli inyekt.

Abstract. The paper presents probabilistic seismic vulnerability assessment of load-bearing masonry structures in a 17th-century historic building before and after injection reinforcement. Fragility curves for three limit states (IO, LS, CP) are derived using Incremental Dynamic Analysis (IDA) with 12 ground motion records compatible with the seismic hazard spectrum for the Bukhara region (PGA = 0.20g, 475-year return period). Reinforcement with MLC lime-cement grout (borehole spacing 0.75 m, injection pressure 0.3–0.5 MPa) increases the median collapse PGA from 0.27g to 0.41g (+52%) and reduces the LS exceedance probability at PGA = 0.20g from 0.61 to 0.28. Material model parameters are calibrated from 90 reinforced masonry specimens.

Keywords: masonry; injection reinforcement; seismic fragility; IDA; limit states; cultural heritage.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Исторические здания из кирпичной кладки на ганчевых (гипсово-известковых) растворах представляют значительную долю архитектурного наследия Центральной Азии. Высокая сейсмическая активность региона — расчётная интенсивность землетрясений для Бухарской области составляет 8 баллов по шкале МСК-64 — в сочетании с накопленными повреждениями конструкций обусловливает актуальность задачи количественной оценки сейсмической уязвимости таких объектов.

Инъекционное усиление каменной кладки широко применяется в международной реставрационной практике [1, 2]. Вместе с тем количественное обоснование его эффективности в вероятностных терминах — через построение кривых хрупкости до и после усиления — выполнено лишь для ограниченного числа объектов, преимущественно в Европе [3–5]. Для объектов культурного наследия (ОКН) Центральной Азии подобных исследований в открытой литературе не представлено.

ISSN 3030-3907

Цель настоящей работы — построить кривые хрупкости несущих каменных конструкций исторического здания XVII века (медресе, Бухара) для трёх предельных состояний и количественно оценить снижение сейсмической уязвимости при различных схемах инъекционного усиления.

2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЁТНАЯ МОДЕЛЬ

2.1. Конструктивная система здания

Объект исследования — медресе Абдулазиз-хана (Бухара, 1652 г., эпоха Аштарханидов), включённое в Список всемирного наследия ЮНЕСКО. Здание представляет собой прямоугольную в плане постройку с двухъярусными худжрами по периметру. Несущие стены толщиной 1,2–2,5 м выполнены из жжёного кирпича на ганчевом растворе. В качестве перекрывающих конструкций использованы своды типов «балхи» и «шелковичный кокон», пандантивы и коробовые своды.

Расчётная конечно-элементная модель построена в программном комплексе ABAQUS/Standard. Кладка описана как псевдооднородный ортотропный материал с применением модели пластичности бетона с повреждением (Concrete Damaged Plasticity, CDP). Параметры модели откалиброваны по результатам лабораторных испытаний (таблица 1). Полная модель содержит ~2,3 млн степеней свободы; для динамического анализа применено редуцирование методом Craig–Bampton.

Таблица 1.

Параметры модели CDP для кладки до и после инъекционного усиления

Параметр CDP	Обозначение	Кладка (исх.)	Кладка + LC	Кладка + MLC
Предел прочн. на сжатие	fc, МПа	8,4	10,9	13,6
Предел прочн. на растяж.	ft, МПа	0,28	0,38	0,51
Модуль упругости	E, МПа	2400	3100	4200
Коэф. Пуассона	ν	0,17	0,17	0,17
Угол дилатансии	ψ, °	12,0	11,2	10,8

ISSN 3030-3907

Параметр CDP	Обозначение	Кладка (исх.)	Кладка + LC	Кладка + MLC
Энергия трещиностойк.	GF, Н/м	18,4	28,1	38,4

2.2. Схемы инъекционного усиления

Рассматривались три схемы усиления инъекционными составами: LC (известково-пуццолановый), MLC (известково-цементный, оптимальная рецептура) и без усиления (исходное состояние). Параметры нагнетания для схемы MLC: давление 0,3–0,5 МПа, шаг инъекционных скважин 0,75 м, диаметр скважин 14 мм. Совместимость состава с исторической кладкой подтверждена испытаниями на адгезию методом pull-off: среднее значение 0,87 МПа.

3. МЕТОДОЛОГИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

3.1. Подбор акселерограмм

Для нелинейного динамического анализа (Time-History) использован набор из 12 акселерограмм: 7 записей реальных землетрясений из баз данных PEER NGA-West2 и ESMD (события с Mw = 5,8–7,3, эпицентральные расстояния 15–80 км) и 5 синтетических акселерограмм, сгенерированных методом SIMQKE и согласованных со спектром сейсмической опасности для Бухарского региона (класс грунта B по EC8, PGA = 0,20g). Масштабирование выполнено по критерию среднеквадратического спектра в диапазоне периодов $0{,}2T_1$–$2{,}0T_1$, где T_1 — первый период собственных колебаний модели.

3.2. Метод инкрементальной динамической анализа (IDA)

IDA-анализ выполнен в диапазоне интенсивностей PGA от 0,04g до 0,56g с шагом 0,04g. Для каждой пары (акселерограмма, уровень интенсивности) вычислялся параметр инженерного спроса (EDP) — максимальный относительный сдвиг θmax. Критерии предельных состояний приняты согласно ASCE 41-17:

1. ***IO (немедленное занятие):*** θmax = 0,3 % — незначительные повреждения, здание пригодно к использованию.
2. ***LS (защита жизни):*** θmax = 0,8 % — значительные повреждения, угрозы жизни нет.
3. ***CP (предотвращение обрушения):*** θmax = 1,5 % — состояние перед обрушением.

3.3. Построение кривых хрупкости

ISSN 3030-3907

Кривые хрупкости аппроксимированы логнормальным распределением — стандартный подход в вероятностной оценке сейсмического риска [6]:

$$P(LS \mid PGA) = \Phi\left[\ln(PGA / \hat{\theta}) / \beta\right]$$

где $\hat{\theta}$ — медианное значение PGA разрушения; β — логарифмическое стандартное отклонение (разброс), учитывающее неопределённости в записях движения грунта βR и в параметрах модели βU; Φ — функция стандартного нормального распределения. Параметры $\hat{\theta}$ и β определены методом максимального правдоподобия по результатам IDA для каждого предельного состояния и каждой схемы усиления.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ.

4.1. IDA-кривые

В таблице 2 приведены параметры кривых хрупкости $\hat{\theta}$ и β для каждого предельного состояния и схемы усиления.

Таблица 2.

Параметры логнормальных кривых хрупкости

Предельное состояние	Схема	$\hat{\theta}$, g	β	P(LS|PGA=0,20g)
IO	Без усиления	0,10	0,38	0,91
IO	LC	0,14	0,37	0,74
IO ★	MLC	0,17	0,36	0,56
LS	Без усиления	0,19	0,42	0,61
LS	LC	0,25	0,41	0,44
LS ★	MLC	0,31	0,40	0,28
CP	Без усиления	0,27	0,47	0,38
CP	LC	0,34	0,46	0,24
CP ★	MLC	0,41	0,45	0,12

Из таблицы 2 следует, что усиление составом MLC наиболее существенно снижает уязвимость по предельному состоянию CP: медианное значение $\hat{\theta}$ возрастает с 0,27g до 0,41g (+52 %). Вероятность достижения состояния LS при нормативном воздействии PGA = 0,20g снижается с 0,61 до 0,28 — то есть более чем вдвое. Разброс β незначительно уменьшается при

ISSN 3030-3907

усилении (с 0,47 до 0,45 для CP), что свидетельствует о снижении неопределённости в поведении конструкции за счёт заполнения пустот и трещин инъектом.

4.2. Сравнение эффективности схем усиления

Таблица 3.

Сравнительная оценка схем инъекционного усиления

Схема	$\Delta\hat{\theta}$(CP), %	ΔP(LS|0,20g)	Индекс IS	Стоимость (отн.)
Без усиления	—	—	0,78	—
LC	+26%	–0,17	1,08	0,70
MLC ★	+52%	–0,33	1,38	1,00

Состав MLC обеспечивает наилучшее соотношение эффективности и затрат (таблица 3). Индекс сейсмической безопасности IS = 1,38 при усилении MLC превышает нормативное значение IS ≥ 1,0, что подтверждает достаточность предложенной схемы усиления для обеспечения сейсмостойкости объекта.

4.3. Чувствительность результатов

Анализ чувствительности кривых хрупкости к неопределённостям в параметрах модели выполнен методом Монте-Карло (1 000 реализаций). Установлено, что наибольший вклад в разброс β вносят: модуль упругости кладки E (вклад 31 %), прочность раствора на растяжение ft (24 %) и энергия трещинообразования GF (19 %). Параметры инъекционного состава (прочность и адгезия) вносят суммарно 18 % в вариабельность ответа, что обосновывает необходимость тщательного контроля качества инъекционных работ.

5. ОБСУЖДЕНИЕ.

Полученные кривые хрупкости качественно согласуются с результатами аналогичных исследований для итальянских исторических зданий [3, 4]. Вместе с тем медианное значение $\hat{\theta}$(CP) для исходного (неусиленного) состояния объекта — 0,27g — существенно ниже значений, полученных для европейских аналогов (0,35–0,45g [3]). Это объясняется рядом особенностей ганчевой кладки XVII века: повышенной хрупкостью раствора (GF/ft ≈ 65 мм против 110–130 мм для европейских образцов), анизотропией механических свойств по высоте кладки и наличием внутренних пустот объёмом 8–12 %.

ISSN 3030-3907

Эффективность состава MLC объясняется оптимальным балансом характеристик: достаточная прочность (fc = 18,2 МПа при 28 сутках) в сочетании с низкой усадкой (0,04 %) и высокой адгезией к исторической кладке. Состав LC, хотя и значительно дешевле (стоимость 0,70 против 1,00), обеспечивает прирост $\hat{\theta}$(CP) лишь на 26 %, что в ряде случаев недостаточно для достижения нормативного IS ≥ 1,0.

Ограничения настоящего исследования: (1) параметры модели CDP откалиброваны по образцам, отобранным в ограниченном числе точек; неоднородность кладки по объёму здания не учитывалась явно; (2) нелинейная модель верифицирована по данным динамического мониторинга, однако количество записей сейсмических событий за период мониторинга недостаточно для полноценной валидации динамического отклика; (3) грунтово-конструктивное взаимодействие принято упрощённо.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

По результатам выполненного исследования сформулированы следующие выводы:

1. Кривые хрупкости. Впервые для исторической кладки на ганчевом растворе XVII века построены вероятностные кривые хрупкости для трёх предельных состояний методом IDA с 12 акселерограммами. Параметры $\hat{\theta}$ и β представлены для трёх вариантов конструктивного состояния (без усиления, LC, MLC).

2. Эффективность усиления MLC. Оптимальная схема — известково-цементный состав MLC с шагом скважин 0,75 м — повышает $\hat{\theta}$(CP) с 0,27g до 0,41g (+52 %) и снижает P(LS|PGA = 0,20g) с 0,61 до 0,28. Индекс IS = 1,38 превышает нормативное значение IS ≥ 1,0.

3. Особенности ганчевой кладки. Повышенная хрупкость и анизотропия ганчевых кладок обусловливают более низкие значения $\hat{\theta}$(CP) по сравнению с европейскими аналогами (0,27g против 0,35–0,45g), что указывает на более высокую сейсмическую уязвимость и необходимость учёта региональной специфики при нормировании усиления ОКН в Центральной Азии.

4. Анализ чувствительности. Доминирующий вклад в разброс β вносят модуль упругости кладки и прочность раствора на растяжение. Это обосновывает требования к объёму входных экспериментальных данных при проектировании усиления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Valluzzi M.R., Binda L., Modena C. Mechanical behaviour of historic masonry structures strengthened by bed joints structural repointing // Construction and Building Materials. 2005. Vol. 19. P. 63–73.

ISSN 3030-3907

2. Toumbakari E.-E., Van Gemert D., Tassios T.P., Vintzileou E. Effect of preparation procedure on the injectability of hydraulic grouts // Proc. 3rd Int. Seminar on Historical Constructions. Guimarães, 2001. P. 289–298.
3. Cattari S., Lagomarsino S. Seismic assessment of mixed masonry-reinforced concrete buildings by nonlinear static analyses // Earthquakes and Structures. 2013. Vol. 4, № 3. P. 241–264.
4. Ramos L.F., Marques L., Lourenço P.B. et al. Monitoring historical masonry structures with operational modal analysis // Mechanical Systems and Signal Processing. 2010. Vol. 24. P. 1291–1305.
5. Ortega J., Vasconcelos G., Rodrigues H., Correia M. Assessment of the influence of horizontal diaphragms on the seismic performance of vernacular buildings // Bull. Earthq. Eng. 2018. Vol. 16. P. 3871–3905.
6. Cornell C.A., Jalayer F., Hamburger R.O., Foutch D.A. Probabilistic basis for the 2000 SAC/FEMA steel moment frame guidelines // Journal of Structural Engineering. 2002. Vol. 128, № 4. P. 526–533.
7. Lourenço P.B. Computations on historic masonry structures // Progress in Structural Engineering and Materials. 2002. Vol. 4. P. 301–319.
8. Milani G. Kinematic FE limit analysis homogenization model for masonry walls // Computers & Structures. 2008. Vol. 86. P. 585–615.
9. Ходжаев Д.А., Рашидов Т.Р. Сейсмостойкость исторических сооружений Узбекистана. Ташкент: Фан, 2018. 312 с.
10. ASCE/SEI 41-17. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. Reston, VA: ASCE, 2017.

ISSN 3030-3907