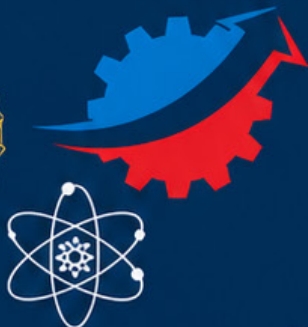


MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

2026-YIL
SENTYABR / 9-SON, I-QISM



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 – Texnika fanlari

08.00.00 – Iqtisodiyot fanlar



Google
Scholar

ISSN INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

OpenAIRE



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ФИЛИАЛ В Г. ТАШКЕНТЕ



muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 2026-yil, sentyabr.

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afforovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich, Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc)

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
- 05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
- 05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
- 05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
- 05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
- 05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
- 05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
- 05.01.07 – Matematik modellash
- 05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
- 05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
- 05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
- 05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
- 05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
- 05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
- 05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
- 05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
- 05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
- 05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
- 05.08.06 – "G'ildirakli va gusenisali mashinalar va ularni ishlatish" (texnika fanlari)
- 05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
- 05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
- 10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
- 10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
- 08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
- 08.00.02 – Makroiqtisodiyot
- 08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
- 08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
- 08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
- 08.00.06 – Ekonometrika va statistika
- 08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
- 08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
- 08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
- 08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
- 08.00.11 – Marketing
- 08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
- 08.00.13 – Menejment
- 08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
- 08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
- 08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
- 08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK

Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

ASOSIY VOSITALARNING DASTLABKI QIYMATINI SHAKLLANTIRISHNING XALQARO STANDARTLAR ASOSIDAGI METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH.....	9
Nematova Dilnoza Azamatovna	
TIJORAT BANKLARIDA MIJOZGA YO'NALTIRILGAN BIZNES-JARAYONLARINI TRANSFORMATSIYA QILISHNING HOZIRGI HOLATI.....	15
Erdonayev Aliqul Xalimovich	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОСТИНИЧНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ В УЗБЕКИСТАНЕ	23
Нигматова Сугдиена Жалолиддин кизи	
SANOAT KORXONALARINING RAQOBATBARDOSHLIGINI OSHIRISHDA ZAMONAVIY MARKETING MEKANIZMLARIDAN FOYDALANISH.....	29
Bazarova Mamlakat Supiyevna	
XORIJIY ILMIY STAJIROVKALARNI TASHKIL ETISH JARAYONLARINI RAQAMLASHTIRISHNING TIZIMLI TAHLILI VA KONSEPTUAL MODEL.....	33
Tojiyev S.A., Mashg'ulotov J.A., Usmonov U.M.	
HUDUDLAR IQTISODIYOTIDAGI NOMUTANOSIBLIK LARNI BARTARAF ETISHNING INSTITUTSIONAL VA IQTISODIY MEKANIZMLARI.....	44
Toshov Mirzabek Hakimovich	
O'ZBEKISTONDA YENGIL SANOAT KORXONALARINING EKSPORT SALOHİYATINI OSHIRISH	50
O'rinova Umida Qodirjonovna	
QISHLOQ XO'JALIGIDA ULTRABINAFSHA C NURLANISH TEXNOLOGIYALARINING QO'LLANILISHI: ZAMONAVIY HOLATI, SAMARADORLIGI VA RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI	54
Ibroximov Sanjarbek, Nematov Nurillo, Xakimov Dilmurod	
TEXNOGEN CHIQINDILAR ASOSIDA MNA-1 VA MNA-2 FAOL KIMYOVIY QO'SHIMCHALARINI SINTEZ QILISH VA SEMENT XAMIRINING REOLOGIK KO'RSATKICHLARINI BOSHQARISH.....	64
Muhammedov Nodir Abdug'aniyevich	
IKKI TOMONLAMA TA'MINLANADIGAN ASINXRON GENERATOR ASOSIDAGI SHAMOL ENERGETIKA TIZIMINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH VA VEKTORLI BOSHQARISHNI TADQIQ ETISH.....	69
To'ychiyev Furqat, Rashidov Nuralibek, Abduxalilov Abdumannop	
СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ МАЛОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ С ПУЛТРУЗИОННЫМ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМ КАРКАСОМ И ДЕФОРМАЦИОННО-РАЗВЯЗНЫМИ 3D-ПЕЧАТНЫМИ СТЕНАМИ.....	80
Акбаров Дильшод, Акрамов Хуснитдин	



СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ МАЛОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ С ПУЛТРУЗИОННЫМ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМ КАРКАСОМ И ДЕФОРМАЦИОННО-РАЗВЯЗНЫМИ 3D-ПЕЧАТНЫМИ СТЕНАМИ

Акбаров Дильшод Баходирович

исследователь Ташкентского архитектурно-строительного университета

Акрамов Хуснитдин Ахрарович

научный руководитель, Ташкентский архитектурно-строительный университет

Аннотация. В статье исследуется сейсмическое поведение двухэтажного малоэтажного здания, несущая система которого состоит из рам и вертикальных связей из пултрузионных стеклополимерных (GFRP) профилей, а наружные и внутренние ограждения выполнены из трёхслойных стен, изготовленных методом 3D-печати и заполненных полистиролбетоном. Стены приняты в качестве ненесущих элементов и крепятся к каркасу посредством нижних опор и скользящих анкеров, обеспечивающих относительное перемещение в плоскости стены. Для здания-образца размерами $10,8 \times 7,2$ м и высотой этажа 3,0 м построена двухстепенная модель перемещений; связевая и бессвязевая схемы сопоставлены с использованием модального, спектрального и сценарно-нелинейного методов. При уровне воздействия H_2 и $q = 1,5$ в связевой схеме перемещение покрытия составило 7,87 мм, максимальный межэтажный уклон — 0,139 %, основная поперечная сила — 125,3 кН; в бессвязевой схеме соответствующие значения составили 78,66 мм, 1,440 % и 61,5 кН. Запас свободного перемещения 36 мм обеспечивает отделение стены от работы каркаса примерно до уклона 1,0 %, однако после закрытия зазора контактная сила резко возрастает. Рекомендуется сосредоточить сейсмическую энергию в заменяемом металлическом диссипативном элементе и сохранять элементы GFRP преимущественно в упругом состоянии.

Ключевые слова: пултрузионный стеклополимер; GFRP; строительная 3D-печать; сейсмостойкость; модальный анализ; межэтажный уклон; скользящий анкер; заменяемый диссипативный элемент.

Abstract. The paper investigates the seismic performance of a two-story low-rise building whose load-bearing system consists of frames and vertical bracing made of pultruded glass-fiber-reinforced polymer (GFRP) profiles, while the external and internal enclosures are three-layer 3D-printed walls filled with polystyrene concrete. The walls are considered non-load-bearing elements and are attached to the frame by means of bottom supports and sliding anchors that allow relative displacement in the plane of the wall. A two-degree-of-freedom displacement model was developed for a prototype building with dimensions of 10.8×7.2 m and a story height of 3.0 m; braced and unbraced schemes were compared using modal, spectral, and scenario-based nonlinear methods. At the H_2 level of seismic action with $q = 1.5$, the roof displacement in the braced scheme was 7.87 mm, the maximum interstory drift was 0.139%, and the base shear was 125.3 kN; in the unbraced scheme, the corresponding values were 78.66 mm, 1.440%, and 61.5 kN. A 36 mm free-displacement allowance keeps the wall separated from the frame action up to approximately 1.0% drift; however, after the gap closes, the contact force increases sharply. It is recommended to concentrate seismic energy in a replaceable metallic dissipative element and to keep the GFRP components predominantly in the elastic state.

Keywords: pultruded glass-fiber-reinforced polymer; GFRP; construction 3D printing; seismic resistance; modal analysis; interstory drift; sliding anchor; replaceable dissipative element.

ВВЕДЕНИЕ

Сейсмостойкость гибридного малоэтажного здания определяется не только прочностью отдельных стержней и стен, но и согласованностью деформаций каркаса, ограждений, перекрытий, инженерного оборудования и соединений. Для системы с пултрузионным GFRP-каркасом эта задача особенно важна: композитные профили обладают высокой удельной прочностью и коррозионной стойкостью, однако



их продольный модуль упругости заметно ниже модуля стали, а болтовые узлы имеют податливость и склонность к локальному смятию, расслоению и раскалыванию. Печатные цементные оболочки, напротив, сравнительно жёсткие, а их сопротивление зависит от направления печати, межслойного сцепления, холодных швов и качества локального усиления [7–13].

Если несущая 3D-печатная стена случайно включается в горизонтальную работу здания, она изменяет периоды, распределение этажных сил и механизм повреждения. Поэтому конструктивная концепция основана на разделении функций: GFRP-каркас со связями воспринимает сейсмические воздействия; стены несут собственную массу и воздействие из плоскости; скользящие узлы обеспечивают свободный ход в плоскости; анкера удерживают панели при инерционных нагрузках. Такая компоновка требует одновременной проверки двух критериев. Деформационный критерий ограничивает межэтажный перекосяк и предотвращает защемление стены. Инерционный критерий определяется ускорением опорного уровня и задаёт усилия в стене, анкерах и оборудовании [1–6].

Цель работы — сформировать компактную расчётно-параметрическую методику, связывающую сейсмический спектр, периоды и формы колебаний, этажные силы, усилия в связях, свободный ход стен, ускорения перекрытий и критерии повреждения. Численные значения получены для согласованного демонстрационного объекта и служат для анализа тенденций. Они не являются готовыми проектными характеристиками и перед практическим применением должны быть заменены паспортными свойствами профилей, результатами испытаний узлов и параметрами конкретной площадки.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Исследования сейсмостойкости малоэтажных зданий с использованием современных композитных материалов и аддитивных технологий в последние годы формируют новое направление в строительной механике. Особый интерес представляет сочетание лёгкого пултрузионного стеклопластикового каркаса из GFRP-профилей (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) с 3D-печатными стенами, способными выполнять ограждающую и, при соответствующем конструктивном решении, частично несущую функцию. Однако анализ существующей научной литературы показывает, что данные два направления преимущественно исследовались раздельно: сейсмическое поведение GFRP-каркасов изучалось независимо от поведения 3D-печатных стен, тогда как совместная работа такой конструктивной системы при сейсмическом воздействии остаётся недостаточно изученной.

В работе S. Russo, посвящённой экспериментальному и численному исследованию крупноразмерной пространственной конструкции из пултрузионного FRP, изучались её динамические характеристики методом свободных колебаний. Исследование проводилось на крупной пространственной GFRP-конструкции в Л'Аквиле после землетрясения 2009 г. Полученные результаты показали возможность определения собственных динамических характеристик лёгких композитных конструкций экспериментальными методами и их сопоставления с конечно-элементными моделями. При этом автор обращает внимание на необходимость учёта специфической динамики лёгких FRP-систем при оценке их сейсмического поведения.

В работе, посвящённой циклическому поведению рам из пултрузионных GFRP-профилей, экспериментально и численно исследовались узлы соединения балки с колонной. Авторы отмечают, что именно хрупкость GFRP и недостаточная изученность гистерезисного поведения соединений являются основными препятствиями для широкого применения таких систем в сейсмических районах. Были исследованы различные варианты расположения болтов и металлических соединительных элементов, что позволило оценить влияние конструктивных параметров узлов на циклическую работу рам.

Значительным этапом в развитии исследований стали полнокомасштабные испытания трёхмерной рамы из пултрузионных GFRP-профилей, выполненные J. Gonilha, D. Martins, J.R. Correia, N. Silvestre и L. Guerreiro. В исследовании 2024 г. была испытана двухэтажная пространственная рама с болтовыми соединениями из нержавеющей стали на вибрационном стенде. Авторы выполнили модальную идентификацию, а затем провели серию испытаний с возрастающей интенсивностью сейсмического воздействия. Конструкция сохранила целостность при уровнях воздействия до 37 % выше нормативного расчётного уровня, что подтвердило принципиальную возможность применения пространственных пултрузионных GFRP-рам в сейсмических районах.

В исследовании C. Liu и соавторов, опубликованном в *Engineering Structures* в 2025 г., экспериментально и численно изучалось сейсмическое поведение 3D-печатных железобетонных стен при квазистатическом циклическом нагружении. Установлено, что межслойные дефекты являются одним из ключевых факторов зарождения и развития трещин. Для исследованных стен характерным механизмом разрушения стало сжатие-сдвиг с образованием X-образных трещин. Кроме того, прямоугольное сечение продемонстрировало

несущую способность на 17,8 % выше по сравнению с исследованным гофрированным сечением. Авторы также установили положительное влияние коэффициента осевого сжатия на пиковую и предельную несущую способность стен.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная новизна заключается в совместном рассмотрении деформационного и инерционного критериев системы «GFRP-каркас — скользящий узел — 3D-печатная стена», во введении предельно допустимой начальной контактной жёсткости ненесущего ограждения и в обосновании иерархии сопротивления с заменяемым металлическим предохранителем.

Состояние вопроса и исследовательский разрыв. Пултрузионные профили являются ортотропными тонкостенными элементами и при циклическом нагружении не формируют устойчивую пластическую площадку, характерную для стального проката. Возможные механизмы включают смятие материала у отверстий, продольное раскалывание, расслоение, локальную потерю устойчивости стенки и разрушение накладок. Следовательно, рассеяние энергии в основных GFRP-профилях нежелательно. Рамная жёсткость во многом определяется полужёсткостью соединений, а сжатая длинная диагональ может потерять устойчивость задолго до исчерпания прочности материала. Для надёжной циклической работы целесообразно учитывать только активную растянутую диагональ либо применять специально испытанную систему с ограничением потери устойчивости [7–10].

Несущая печатная стена должна удовлетворять двум противоположным требованиям. В плоскости она обязана допускать расчётный перекося без заклинивания, ударного контакта и образования неуправляемых диагональных трещин. Из плоскости стена должна сохранять устойчивость и удержание при ускорениях перекрытий. Усилие нельзя передавать точно в тонкую печатную оболочку: необходима распределительная деталь, связанная с несколькими слоями, локально усиленной зоной или полистиролбетонным ядром. Одновременно эта деталь не должна блокировать свободный ход [4, 11–13] (Рисунок 1).

Конструктивная схема исследуемого двухэтажного здания

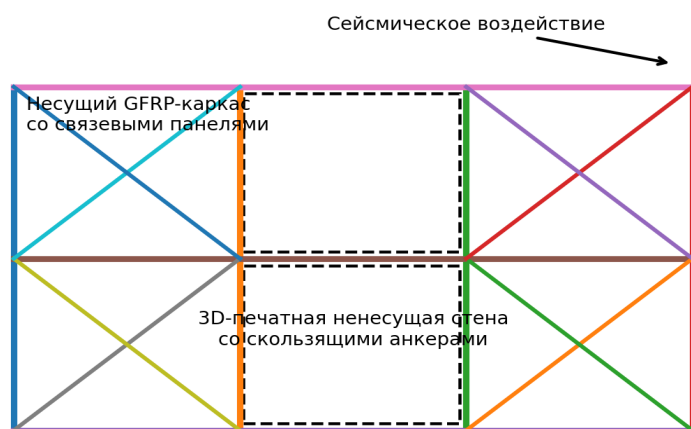


Рисунок 1. Конструктивная схема исследуемого двухэтажного здания

Исследовательский разрыв состоит в отсутствии единой методики для здания, где лёгкий композитный каркас является основной сейсмовоспринимающей системой, а сравнительно массивные 3D-печатные ограждения присоединены скользящими анкерами. Раздельная проверка каркаса, стены и креплений не позволяет установить допустимый диапазон жёсткости, требуемый свободный ход, расчётное ускорение для анкеров, последовательность повреждений и влияние кручения. Поэтому в работе используется единая цепочка: сейсмическая опасность → модальная модель → спектральный отклик → связи и анкера → контакт стены → сценарии работоспособности → экспериментальная верификация.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Критическим является не только максимальное значение силы, но и момент включения каждого механизма. Нежелательный сценарий возникает, когда отделочный раствор, герметик или неправильная



затяжка болта блокируют паз, после чего стена начинает работать как случайный жёсткий элемент. Предпочтительный сценарий предполагает, что сначала активируется доступный металлический предохранитель, затем с запасом сохраняются болтовой узел, GFRP-диагональ, основные элементы каркаса и фундамент.

Объект исследования и расчётная модель.

Рассматривается двухэтажное здание прямоугольной формы в плане $10,8 \times 7,2$ м. Продольный шаг колонн составляет 3,6 м, поперечный пролёт — 7,2 м, высота каждого этажа — 3,0 м. Пространственная устойчивость обеспечивается рамами и вертикальными связями в крайних пролётах. Для расчётной плоской подсистемы приняты демонстрационные профили: колонны коробчатого сечения $200 \times 200 \times 12$ мм, балки $300 \times 150 \times 12$ мм и диагонали $100 \times 100 \times 8$ мм. Стена имеет общую толщину 250 мм: две печатные оболочки по 30 мм и полистиролбетонное ядро 190 мм. Поверхностная масса принята $180,5 \text{ кг/м}^2$; масса панели $3,6 \times 3,0$ м составляет около 1,95 т (Таблица 1).

Таблица 1.

Основные параметры демонстрационного объекта

Параметр	Обозначение	Значение	Примечание
Размер здания	$L \times B$	$10,8 \times 7,2$ м	Три шага по 3,6 м
Высота	h	$2 \times 3,0$ м	Два этажа
Массы уровней	$m_1; m_2$	15; 13 т	Перекрытия, каркас, доля стен
Жёсткость без связей	$k_1; k_2$	1,425; 1,031 МН/м	Рамы и податливые узлы
Жёсткость со связями	$k_1; k_2$	30,065; 20,896 МН/м	Рамы и активные диагонали
Свободный ход стены	g_0	36 мм	Около 1,0 % перекоса

Динамическая модель содержит две горизонтальные степени свободы u_1 и u_2 . Массы сосредоточены на уровнях перекрытий; вертикальные и крутильные степени свободы в базовой модели не включены и учитываются отдельно через коэффициенты эксцентриситета и требования к пространственной модели. Уравнение движения записывается в виде:

$$M \cdot \ddot{u} + C \cdot \dot{u} + K \cdot u = -M \cdot r \cdot a_g(t).$$

Собственные значения определяются из условия $\det(K - \omega_j^2 M) = 0$, периоды — по выражению $T_j = 2\pi/\omega_j$. Для каждой формы вычисляются коэффициент участия и эффективная модальная масса. Спектральные перемещения и ускорения объединяются методом квадратного корня из суммы квадратов, поскольку первые две частоты достаточно разделены.

Для сопоставления использованы три параметрических уровня опасности H1, H2 и H3 с условными пиковыми ускорениями грунта 0,10g, 0,25g и 0,35g. Коэффициент грунта S принят 1,20. Для каркаса использовано демонстрационное значение $q = 1,5$, а для анкеров и несущих элементов — упругая постановка $q = 1,0$. Эти спектры не соответствуют конкретной площадке и в проекте заменяются данными изысканий и действующих норм [1–6].

Межэтажный перекося определяется как $\theta_i = (u_i - u_{i-1})/h_i$. Внутренние ориентиры приняты равными 0,25 % для ограничения малых повреждений, 1,0 % как уровень исчерпания свободного хода стены и 2,0 % как предельный сценарий каркаса. Эти значения используются только для сравнительного анализа.

Связевая модель имеет существенно более короткие периоды, чем рама без диагоналей. Для связевой схемы получены $T_1 = 0,228$ с и $T_2 = 0,096$ с; для безсвязевой — 1,040 и 0,437 с. Первая форма в обоих вариантах аккумулирует около 91 % эффективной модальной массы и определяет общий характер поступательного перемещения. Вторая форма имеет меньшую массу, но заметно влияет на ускорения и относительное перемещение верхнего этажа (Таблица 2).

Таблица 2.

Модальные характеристики двух расчётных схем

Схема	Форма	$T, \text{с}$	φ_1	φ_2	$M^*, \%$
Со связями	1	0,228	0,528	1,000	91,0
Со связями	2	0,096	-1,642	1,000	9,0
Без связей	1	1,040	0,540	1,000	91,5

Схема	Форма	T, с	φ_1	φ_2	M*, %
Без связей	2	0,437	-1,604	1,000	8,5

Снижение первого периода при установке связей составляет приблизительно 78 %. На принятом спектре это уменьшает спектральное перемещение, но переводит систему в область более высоких ускорений и увеличивает базовую силу. Следовательно, добавление связей нельзя рассматривать только как локальное «усиление» каркаса: изменяется весь динамический режим здания. Замена сечения диагоналей, полужёсткости узлов или схемы расположения связей требует повторного модального расчёта.

Адекватность двухстепенной модели контролируется совпадением статической жёсткости с более подробной рамной моделью, логичностью форм колебаний, высокой суммарной эффективной массой и устойчивостью результата к изменению параметров узлов. Для рабочего проекта требуется пространственная оболочечно-стержневая модель, учитывающая продольные и поперечные рамы, диафрагмы перекрытий, эксцентриситет центра масс, податливость фундамента и асимметрию проёмов.

Период 0,228 с является расчётной оценкой, а не подтверждённой динамической характеристикой. После изготовления прототипа он должен быть идентифицирован вибродинамическими измерениями. Сопоставление периодов каркаса до установки стен и после их монтажа позволит выявить нежелательное начальное включение ограждений.

В связевой схеме при $q = 1,5$ перемещение кровли возрастает от 3,15 мм при Н1 до 11,02 мм при Н3, а максимальный перекося первого этажа — от 0,056 до 0,195 %. Все три значения ниже внутреннего уровня $P1 = 0,25$ %. Без диагональных связей при Н2 перемещение кровли достигает 78,66 мм, а максимальный перекося — 1,440 %. При Н3 перекося превышает 2,0 %, свободный ход стены исчерпывается, возрастает риск ударного контакта и эффектов второго порядка. При этом базовая сила безсвязевой модели меньше из-за длинного периода, что не является признаком лучшей сейсмостойкости (Таблица 3).

Таблица 3.
Спектральный отклик при $q = 1,5$ и $\xi = 5$ %

Уровень	Схема	u_1 , мм	u_2 , мм	$\theta_{\max}$, %	V_b , кН
Н1	Со связями	1,67	3,15	0,056	50,1
Н1	Без связей	17,27	31,46	0,576	24,6
Н2	Со связями	4,17	7,87	0,139	125,3
Н2	Без связей	43,19	78,66	1,440	61,5
Н3	Со связями	5,84	11,02	0,195	175,4
Н3	Без связей	60,46	110,12	2,015	86,1

Для проверки несущих компонентов выполнен дополнительный упругий расчёт с $q = 1,0$. При Н2 связевая модель имеет перемещение кровли 11,81 мм, максимальный перекося 0,208 % и базовую силу 188,0 кН; при Н3 — 16,53 мм, 0,292 % и 263,2 кН. До экспериментального подтверждения устойчивого гистерезиса и повторяемой работы предохранителя повышенный коэффициент поведения использовать нельзя.

Параметр устойчивости Р-Д для номинальной связевой модели мал, однако локальная податливость узлов, потеря устойчивости сжатой диагонали и контакт стены могут менять систему скачкообразно. Поэтому после активации нелинейного механизма линейно-спектральный результат не должен использоваться как окончательный.

Диагональ длиной около 4,69 м расположена под углом 39,8° к горизонту. В упругом сценарии предполагается, что в каждом из двух связевых пролётов этажа горизонтальную силу воспринимает одна активная растянутая диагональ. При Н2 осевой спрос в связи первого этажа составляет 122,3 кН, второго — 76,5 кН; при Н3 — 171,3 и 107,2 кН. Для площади сечения 2944 мм² максимальное среднее напряжение достигает 58,2 МПа. Демонстрационное сопротивление растяжению 120 МПа даёт значительный запас по среднему напряжению, но не учитывает нетто-сечение, смятие у болтов, расслоение и эксцентриситет (Таблица 4).

Таблица 4.
Упругий спрос на активные диагонали

Уровень	V_1 , кН	V_2 , кН	N_1 , кН	N_2 , кН	σ_1 , МПа
Н1	75,2	47,0	48,9	30,6	16,62
Н2	188,0	117,6	122,3	76,5	41,56
Н3	263,2	164,6	171,3	107,2	58,18



Для сжатой диагонали $100 \times 100 \times 8$ мм при расчётной длине 4,69 м и $E = 23$ ГПа идеализированная эйлерова критическая сила составляет около 43,3 кН. Она ниже растягивающего спроса Н2 и Н3, поэтому сжатая ветвь Х-связи без промежуточного раскрепления не может считаться равноценной. После потери устойчивости изменяются жёсткость и гистерезис, а локальные изгибные деформации могут повредить болтовые зоны.

Для ремонтпригодной системы предложена следующая иерархия сопротивления:

1. заменяемый металлический предохранитель — **стабильное циклическое течение без хрупкого обрыва;**

2. болтовой узел и накладки — упругая или малоповреждаемая работа без прогрессирующего смятия;

3. GFRP-диагональ — преимущественно упругая работа в растяжении;

4. колонны и балки — **сохранение несущей способности и общей устойчивости;**

5. фундамент и анкеровка — передача максимального усилия с запасом.

Сила текучести предохранителя должна быть выше эксплуатационного спроса, но ниже подтверждённой несущей способности болтового узла, GFRP-профиля и фундамента. Посттекучая жёсткость ограничивает остаточный перекося, а низкоцикловая долговечность должна соответствовать протоколу испытаний. Концепция признаётся работоспособной только после полноразмерного циклического теста связевой панели [9, 10, 14, 15].

В расчётной модели диагонали следует задавать элементами «только растяжение» либо явной циклической зависимостью с потерей устойчивости. Условное одновременное включение обеих диагоналей без испытаний приводит к завышению жёсткости и недооценке перекосов.

Деформационная совместимость **3D-печатных стен**. Для высоты этажа 3,0 м перекося 1,0 % соответствует относительному перемещению 30 мм. С учётом температурной составляющей, усадки, монтажных допусков и упругого резерва односторонний свободный ход принят 36 мм. Симметричный продолговатый паз должен обеспечивать этот ход после установки болта, шайб, дистанционной втулки и отделочных слоёв. В проекте необходимо задавать не только номинальную длину паза, но и минимальный остаточный ход после всех допусков.

Номинальная связевая схема использует лишь 12 % свободного хода при Н2 и $q = 1,5$ и около 24 % при Н3 и $q = 1,0$. Без связей при Н2 относительное перемещение 43,19 мм уже превышает g_0 , а при Н3 достигает 60,46 мм. Это означает вероятный контакт, резкое перераспределение сил и повреждение печатной оболочки (Рисунок 2).

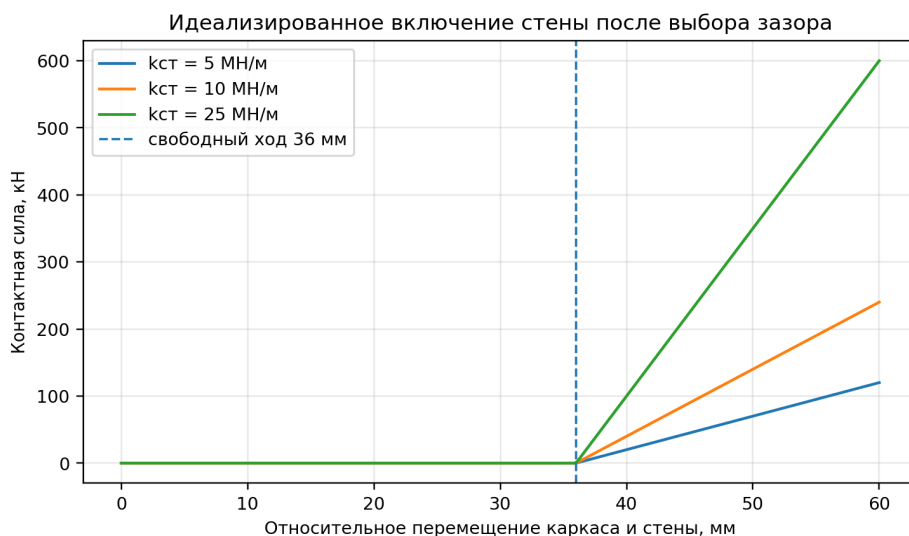


Рисунок 2. Идеализированное включение стены после выбора зазора

До достижения свободного хода контактная сила принимается равной нулю. После замыкания зазора она возрастает пропорционально остаточному перемещению и контактной жёсткости. Если превышение составляет всего 5 мм, при $k_{ст} = 5, 10$ и 25 МН/м сила равна 25, 50 и 125 кН. Последнее значение сопоставимо с базовой силой связевой модели Н2. Следовательно, заполнение паза раствором, защемление отделкой или неправильное положение болта способно превратить ненесущую панель в случайный сейсмовоспринимающий элемент.

Начальная жёсткость соединения в направлении свободного хода должна быть настолько малой, чтобы монтаж стен не изменял измеренный период и распределение этажных сил больше принятой

неопределённости. При добавочной жёсткости 5 МН/м на этаж период сокращается с 0,228 до 0,209 с, а стена воспринимает порядка 14–19 % этажного усилия; при 25 МН/м её доля возрастает до 45–54 %. Такая работа недопустима без специального расчёта стены как несущего элемента.

Скользкий узел должен сочетать малую силу трения в направлении паза с высокой жёсткостью и прочностью из плоскости. Для этого необходимы дистанционная втулка или контролируемый зазор, низкофрикционная прокладка, ограничитель отвинчивания, мягкий долговечный шов и возможность инспекции фактического положения болта.

Ускорения перекрытий и усилия в анкерах. Уменьшение периода и межэтажного перекося не всегда снижает спрос на несущие компоненты. В упругой связевой модели при Н2 ускорение первого этажа составляет 0,526g, кровли — 0,922g; при Н3 — 0,736g и 1,291g. Значения выше ускорения грунта возникают вследствие динамического усиления и формы колебаний. Поэтому расчёт анкеров только по PGA площадки может быть неконсервативным, а верхний этаж становится критическим, несмотря на меньшую этажную массу.

Расчётное усилие на один анкер определяется по выражению $F_a = m_p \cdot a_f \cdot \varphi_r \cdot \gamma_a / n_a$, где m_p — масса панели, a_f — ускорение опорного уровня, φ_r — коэффициент динамического усиления, γ_a — коэффициент надёжности, n_a — число работающих анкеров. Для панели 3,6 × 3,0 м массой 1949,4 кг приняты $\varphi_r = 1,25$, $\gamma_a = 1,50$ и шесть анкеров (Таблица 5).

Таблица 5.

Инерционный спрос на один из шести анкеров

Уровень	a_1/g	a_2/g	F_a , 1-й этаж, кН	F_a , 2-й этаж, кН
Н1	0,210	0,369	1,26	2,20
Н2	0,526	0,922	3,14	5,51
Н3	0,736	1,291	4,40	7,72

Для Н2 верхняя панель создаёт спрос 5,51 кН на один анкер, для Н3 — 7,72 кН. Эти значения превышают ранее рассмотренное ветровое усилие 3,24 кН и могут определять крепление. Фактическое распределение неравномерно из-за допусков, поворота панели и различной жёсткости закладных. Следует проверять сценарий выключения одного анкера, увеличивающий среднее усилие остальных примерно на 20 %, а также вводить коэффициент неравномерности.

Локальная проверка включает вырыв закладной из печатной оболочки, смятие в пазу, изгиб кронштейна, срез болта, прочность GFRP-профиля и остаточную несущую способность после циклов. Анкер должен сохранять удержание панели из плоскости даже после трещинообразования стены и возможного контактного удара.

Пространственная работа и параметрическая чувствительность. Базовая модель описывает поступательное движение, тогда как в реальном здании центр масс и центр жёсткости не совпадают из-за проёмов, неравномерного размещения стен, различной податливости узлов и монтажных отклонений. Для трёх одинаковых параллельных рам упрощённый множитель силы в крайней раме при эксцентриситете 5, 10 и 15 % ширины здания составляет соответственно 1,15; 1,30 и 1,45. При Н3 упругий перекося связевой модели 0,292 % после умножения на 1,45 возрастает до 0,423 %, оставаясь ниже свободного хода, но превышая уровень малых повреждений.

Пространственная модель должна включать фактическую жёсткость диафрагм перекрытий. Если лёгкое перекрытие не работает как жёсткий диск, силы распределяются между рамами не по простой пропорции. Требуется моделирование мембран, коллекторов и связей между плоскостями каркаса, а также совместная проверка угловых стеновых панелей, для которых перемещения по двум направлениям могут одновременно выбирать зазор (Таблица 6).

Таблица 6.

Чувствительность Н2-отклика к основным параметрам

Параметр	Вариант	T_1 , с	u кровли, мм	θ_{max} , %	V_b , кН
Демпфирование	$\xi = 2\%$	0,228	9,41	0,166	149,8
Демпфирование	$\xi = 5\%$	0,228	7,87	0,139	125,3
Демпфирование	$\xi = 10\%$	0,228	6,43	0,113	102,3
Жёсткость	0,5k	0,323	15,75	0,278	125,5
Жёсткость	1,0k	0,228	7,87	0,139	125,3
Жёсткость	1,5k	0,186	5,25	0,093	125,2



Изменение демпфирования от 2 до 10 % изменяет силы и перемещения примерно на ± 20 %. До динамических испытаний 2–3 % следует рассматривать как консервативную нижнюю границу. Более высокое эффективное демпфирование, связанное с трением и микрповреждениями, не является постоянным свойством и зависит от амплитуды, затяжки болтов и состояния соединений.

Снижение этажной жёсткости вдвое увеличивает период до 0,323 с, перемещение кровли — до 15,75 мм и перекося — до 0,278 %, тогда как базовая сила почти не меняется из-за расположения периодов на плато спектра. Следовательно, неопределённость жёсткости проявляется прежде всего в деформациях и совместности со стенами. Паспортный модуль профиля недостаточен: требуется идентификация полной связевой панели с узлами.

Наиболее неблагоприятный реалистичный сценарий сочетает малое демпфирование, половинную жёсткость и коэффициент крайней рамы 1,45. Такой вариант требует геометрически и физически нелинейного пространственного анализа, потому что средние номинальные параметры могут скрыть локальные повреждения швов и отделки.

Сценарно-нелинейный анализ и уровни работоспособности. Линейно-спектральный расчёт не описывает потерю устойчивости диагоналей, проскальзывание болтов, текучесть предохранителя, деградацию печатной стены и ударный контакт. До получения экспериментальных гистерезисов рассматриваются четыре сценария: S0 — рама без эффективных связей; S1 — GFRP-связи без предохранителя; S2 — связи с заменяемым металлическим предохранителем; S3 — заблокированная или преждевременно включённая стена. Кривые являются постановочными и не должны использоваться как экспериментально подтверждённые диаграммы.

Сценарий S2 принят предпочтительным, поскольку локализует повреждение в доступном и заменяемом элементе. Сценарий S3 опасен даже при высокой пиковой силе: раннее включение стены временно уменьшает перемещение, но создаёт хрупкий путь нагрузки через печатные слои и закладные. После трещинообразования жёсткость резко меняется, возникает повторное ударное замыкание зазора и риск потери устойчивости панели из плоскости (Таблица 7).

Таблица 7.

Внутренние уровни сейсмической работоспособности

Уровень	Ориентир по перекоосу	Каркас и связи	Стена и анкеры
P0	$\leq 0,10$ %	Упругая работа	Швы без заметных повреждений
P1	$\leq 0,25$ %	Без повреждения GFRP	Ремонтируемые трещины отделки
P2	$\leq 1,0$ % до контакта	Текучесть предохранителя	Сохранение свободного хода и удержания
P3	Ориентир $\leq 2,0$ %	Повреждения без потери устойчивости	Контакт допустим без выпадения панели

Уровень работоспособности назначается по худшему из критериев: каркас, связь, болтовой узел, анкер, стена, оборудование или фундамент. Номинальные перекоосы связевой модели находятся ниже P1, однако ускорение кровли уже при H2 требует серьёзной проверки креплений. После землетрясения главным требованием остаётся удержание стен из плоскости.

Нелинейная модель должна включать начальную и посттекучую жёсткость предохранителя, силу текучести, циклическую деградацию, предельную деформацию; для болтовых соединений — проскальзывание и смятие; для диагоналей — работу только на растяжение или явную потерю устойчивости; для стены — зазор, контактную жёсткость и удар. Временной анализ выполняется набором акселерограмм, согласованных с целевым спектром, а результат оценивается по медиане и верхнему квантилю.

Программа верификации и проектные рекомендации. Переход от расчётно-параметрической модели к проектным рекомендациям требует последовательной верификации по принципу «от материала к зданию». Одно испытание полной рамы не позволяет отделить вклад профиля, болтов, предохранителя и стены. Поэтому программа разделена на шесть уровней (Таблица 8).

Таблица 8.
Многоуровневая программа верификации

Уровень	Объект	Основные измерения	Результат для модели
V1	Купоны GFRP и печатного материала	Е, G, прочность, разброс, сцепление	Материальные законы
V2	Болтовые GFRP-узлы	Жёсткость, скольжение, смятие, деградация	Нелинейные пружины
V3	Диагональ и предохранитель	Гистерезис, текучесть, устойчивость	Модель диссипативного звена
V4	Скользкий анкер	Трение, ход, сила из плоскости	Контактно-анкерная модель
V5	Фрагмент «рама — стена»	Перекося, контакт, трещины, удержание	Взаимодействие подсистем
V6	Пространственный прототип	Периоды, демпфирование, кручение	Калибровка глобальной модели

Полноразмерную связевую панель следует нагружать квазистатически по возрастающим амплитудам с повторными циклами. Положительный результат для S2 предполагает начало текучести предохранителя до необратимого повреждения GFRP, отсутствие раскалывания профиля, стабильную петлю без резкого падения силы, сохранение сопротивления на целевом уровне и возможность замены предохранителя.

Фрагмент «рама — стена» должен включать реальный пролёт $3,6 \times 3,0$ м, нижние опоры, скользящие анкера, деформационные швы и отделку. Испытания выполняются последовательно при перекосях 0,10; 0,25; 0,50 и 1,00 %, затем допускается контролируемое превышение свободного хода и проверка удержания панели из плоскости после циклов.

Основные предварительные рекомендации:

- горизонтальную жёсткость обеспечивать рассчитанными связями, а не случайной работой стен;
- сжатую GFRP-диагональ не учитывать без проверки общей и локальной устойчивости;
- коэффициент поведения принимать консервативно до циклических испытаний;
- демпфирование задавать диапазоном, используя 2–3 % как нижнюю оценку;
- свободный ход назначать с учётом кручения, температуры, усадки и монтажных допусков;
- анкера проверять по ускорениям перекрытий и сценарию выключения одного крепления;
- фиксировать размеры профилей, отверстий, момент затяжки, остаточный ход и качество печатных слоёв в исполнительной документации.

Результаты относятся к линейной двухступенной модели конкретной демонстрационной геометрии. Не учтены реальная трёхмерная неоднородность, вертикальная компонента землетрясения, взаимодействие основания и сооружения, деградация болтовых узлов, накопление повреждений и последовательность главного толчка и афтершоков. Спектры H1–H3, $q = 1,5$, демпфирование, контактная жёсткость и сопротивление диагонали заданы параметрически. Идеализированные сценарии S0–S3 предназначены только для постановки будущих испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Связевая GFRP-схема имеет периоды 0,228 и 0,096 с; первая форма аккумулирует около 91 % эффективной **модальной массы**.

2. При H2 и $q = 1,5$ перемещение кровли составляет 7,87 мм, максимальный перекося — 0,139 %, базовая сила — 125,3 кН; без связей — 78,66 мм, 1,440 % и 61,5 кН.

3. Уменьшение перекося связями сопровождается ростом ускорений: в упругой постановке H2 на кровле получено 0,922g.

4. Для панели массой около 1,95 т усилие на один из шести анкеров равно 5,51 кН при H2 и 7,72 кН при H3.

5. Осевого спос в растянутой диагонали первого этажа при H3 достигает 171,3 кН, тогда как эйлера сила сжатой диагонали **оценивается в 43,3 кН**.

6. Свободный ход 36 мм сохраняет развязку номинальной связевой схемы, но безсвязевая модель превышает его уже при H2.

7. После выбора зазора превышение на 5 мм при $k_{ст} = 25$ МН/м создаёт около 125 кН контактной силы и меняет глобальный путь нагрузки.

8. Предпочтительна иерархия с заменяемым металлическим предохранителем, защищающим GFRP-профили, болтовые зоны и фундамент.



9. Для перехода к проектированию необходимы испытания материалов, узлов, связевой панели, скользящего анкера, **фрагмента стены и пространственного прототипа.**

Главный инженерный вывод: сейсмостойкость обеспечивается управляемым разделением функций — связевой каркас ограничивает перекося, заменяемый элемент рассеивает энергию, скользящие узлы сохраняют деформационную свободу стен, а анкеры воспринимают их инерционную массу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. КМК 2.01.03-19. Строительство в сейсмических районах. Республика Узбекистан, 2019.
2. ШНК 2.01.07-21. Нагрузки и воздействия. Республика Узбекистан, 2021.
3. ISO 3010:2017. Bases for design of structures — Seismic actions on structures. Geneva: ISO, 2017.
4. ISO 13033:2013. Seismic actions on nonstructural components for building applications. Geneva: ISO, 2013.
5. EN 1998-1-1:2024. Eurocode 8 — Design of structures for earthquake resistance. Brussels: CEN, 2024.
6. ASCE/SEI 7-22. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Reston: ASCE, 2022.
7. ASCE/SEI 74-23. LRFD for Pultruded Fiber Reinforced Polymer Structures. Reston: ASCE, 2023.
8. CEN/TS 19101:2022. Design of fibre-polymer composite structures. Brussels: CEN, 2022.
9. Gonilha, J. et al. Seismic Response of Three-Dimensional Pultruded GFRP Frames. *Journal of Composites for Construction*. 2024; 28(4).
10. Martins, D. et al. Monotonic and Cyclic Sway Behaviour of Pultruded GFRP Frames. *Structures*. 2023; 55:2461–2477.
11. ISO/ASTM 52939:2023. Additive manufacturing for construction — Qualification principles. Geneva: ISO, 2023.
12. Zhang, D. et al. 3D printed concrete walls reinforced with flexible FRP textile: seismic performance. *Engineering Structures*. 2023; 291:116488.
13. Giulivo, M., Capozzi, V., Menna, C. In-plane behaviour of 3D printed concrete walls under cyclic loads. *Engineering Structures*. 2025; 345:121516.
14. ASTM E2126-19. Cyclic Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements. ASTM International, 2019.
15. ACI 374.2R-13. Testing Reinforced Concrete Structural Elements under Simulated Seismic Loads. ACI, 2013.

muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 9

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelamasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100