








https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_5

МРНТИ 67.11.59

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНОВОЙ РАССТАНОВКИ НЕСУЩИХ СТЕН В МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЁСТНО-СТЕНОВЫХ ЗДАНИЯХ С ГИБКИМ ПЕРВЫМ ЭТАЖОМ

ИКЕМДІ БІРІНШІ ҚАБАТЫ БАР МОНОЛИТТІ АЙҚАС ҚАБЫРҒАЛЫ ҒИМАРАТТАРДАҒЫ КӨТЕРГІШ ҚАБЫРҒАЛАРДЫҢ ЖОСПАРДАҒЫ ОРНАЛАСУЫН ПАРАМЕТРЛІК ЗЕРТТЕУ

PARAMETRIC STUDY OF THE PLAN LAYOUT OF LOAD-BEARING WALLS IN MONOLITHIC CROSS-WALL BUILDINGS WITH A FLEXIBLE FIRST STOREY

А.А. Брянцев ^{1,2*}, Д. Болат ², И.И. Остапенко ^{1,2*}, Д.Г. Дюсенова ²,
А.Е. Буханцева ³

¹Научно-исследовательский институт «RAS Engineering», г. Алматы, Казахстан

²Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан

³Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Остапенко Инна Ивановна, e-mail: Ostopinna@mail.ru

Ключевые слова:

Гибкий этаж,
перекрестно-стенная
система, сейсмический
расчет, ЛИРА-САПР,
спектральный метод,
регулярность в плане,
этажные перемещения,
этажные усилия.

АННОТАЦИЯ

Исследование посвящено численной оценке влияния плановой расстановки несущих стен на сейсмический отклик монолитного железобетонного здания перекрёстно-стенной системы с гибким первым этажом, характерным для жилых зданий в сейсмоопасных районах Республики Казахстан. Выполнено пространственное моделирование здания V1+G+5 в программном комплексе ЛИРА-САПР 2024 с использованием спектрального метода расчёта для условий сейсмичности 7, 8 и 9 баллов. Рассмотрены четыре расчётные модели, различающиеся долей наружных продольных стен в направлении оси X (0, 20, 40 и 60 %) при неизменных геометрических, конструктивных и материальных параметрах, включая наличие гибкого первого этажа. Анализ выполнен по максимальным горизонтальным перемещениям, показателям регулярности в плане, этажными сдвигающим усилиям и распределению этажной жёсткости. Установлено, что увеличение доли продольных стен способствует снижению горизонтальных перемещений и крутильной составляющей отклика, повышению регулярности здания в плане и изменению характера распределения усилий по высоте. Показана определяющая роль рациональной компоновки несущих стен в обеспечении сейсмостойкости перекрёстно-стенных зданий с гибким первым этажом.

Түйінді сөздер:

Жұмсақ қабат, қиы-
лысқан қабырғалы жүйе,

ТҮЙІНДЕМЕ

Зерттеу Қазақстан Республикасының сейсмикалық қауіпті аймақта-
рындағы тұрғын үйлерге тән икемді бірінші қабаты бар монолитті



сейсмикалық есеп,
ЛИРА-САПР, спектрлік
әдіс, жоспардағы
регулярлық, қабаттық
орын ауыстыру,
қабаттық күштер.

темірбетонды айқас-қабырғалы жүйедегі ғимараттың сейсмикалық әсерге жауабына көтеруші қабырғалардың жоспардағы орналасуының ықпалын сандық бағалауға арналған. B1+G+5 ғимаратының кеністіктік моделі ЛИРА-САПР 2024 бағдарламалық кешенінде 7, 8 және 9 баллдық сейсмикалық жағдайлары үшін спектрлік есептеу әдісін қолдана отырып орындалды. Икемді бірінші қабаттың болуын қоса алғанда, геометриялық, конструктивтік және материалдық параметрлері өзгеріссіз сақталған жағдайда, X осі бағыты бойынша сыртқы бойлық қабырғалардың үлесімен (0, 20, 40 және 60 %) ерекшеленетін төрт есептік модель қарастырылды. Талдау максимум көлденең орын ауыстырулар, жоспардағы тұрақтылық көрсеткіштері, қабаттық ығыстырушы күштер және қабаттық қаттылықтың таралуы бойынша жүргізілді. Бойлық қабырғалардың үлесін арттыру көлденең орын ауыстырулардың және жауаптың бұралу құрамдасының азаюына, ғимараттың жоспардағы тұрақтылығының артуына және күштердің биіктік бойынша таралу сипатының өзгеруіне ықпал ететіні анықталды. Икемді бірінші қабаты бар айқас-қабырғалы ғимараттардың сейсмотұрақтылығын қамтамасыз етуде көтеруші қабырғаларды ұтымды орналастырудың айқындаушы рөлі көрсетілді.

keywords:

Soft storey, cross-wall system, seismic analysis, LIRA-SAPR, response spectrum method, in-plan regularity, storey displacement, storey shear.

ABSTRACT

The study is devoted to a numerical assessment of the influence of the plan layout of load-bearing walls on the seismic response of a monolithic reinforced concrete cross-wall structural system building with a flexible first story, which is typical of residential buildings in seismic regions of the Republic of Kazakhstan. A three-dimensional model of a B1+G+5 building was developed in LIRA-SAPR 2024 using the response spectrum method for seismic intensities of 7, 8, and 9 points. Four analytical models were considered, differing in the share of exterior longitudinal walls along the X-axis direction (0, 20, 40, and 60%), while keeping the geometric, structural, and material parameters unchanged, including the presence of a flexible first story. The analysis was carried out in terms of maximum horizontal displacements, plan regularity indicators, story shear forces, and the distribution of story stiffness. It was established that an increase in the share of longitudinal walls contributes to a reduction in horizontal displacements and the torsional component of the response, improves the plan regularity of the building, and changes the pattern of force distribution over the height. The decisive role of the rational arrangement of load-bearing walls in ensuring the seismic resistance of cross-wall buildings with a flexible first story is demonstrated.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение сейсмической безопасности зданий на стадии проектирования требует обязательной проверки вертикальной регулярности и выявления потенциальных гибких этажей, поскольку локальное снижение боковой жесткости или прочности одного уровня формирует критические зоны концентрации деформаций при динамическом воздействии. Современные постсейсмические обследования и аналитические отчеты подтверждают, что такое снижение жесткости приводит к резкому росту межэтажных перемещений в зоне нерегулярности и повышает вероятность формирования механизма разрушения типа *soft storey* и прогрессирующего обрушения (EERI, 2023; FEMA, 2015).

Актуальность проблемы подтверждается опытом разрушительных землетрясений последних лет. Землетрясения в Турции и Сирии в феврале 2023 года продемонстрировали масштабные последствия сочетания высокой сейсмической интенсивности и



конструктивных уязвимостей зданий; среди характерных причин обрушений отмечались недостаточная жесткость нижних этажей и отступления от принципов сейсмостойкого проектирования и строительства (USGS, 2023; University of Cambridge, 2024; Boğaziçi University Kandilli Observatory, 2023). Опыт Турции 2023 года подтвердил выводы более ранних исследований о том, что наличие гибкого этажа существенно увеличивает сейсмическую уязвимость зданий независимо от этажности и материала конструкций. Численные и экспериментальные работы показывают, что снижение жесткости одного уровня вызывает резкий рост межэтажного перемещения именно в этой зоне, формируя пластический механизм и ускоряя разрушение вертикальных несущих элементов (Tena-Colunga et al., 2008). Таким образом, проверка вертикальной регулярности и перераспределения жесткости по высоте здания должна рассматриваться как ключевой критерий сейсмостойкости современных сооружений.

В контексте Казахстана проблема оценки сейсмических рисков остается одной из наиболее актуальных задач инженерной практики. Согласно доступным оценкам, сейсмоопасные районы охватывают значительную долю территории страны; исторические сведения указывают на регистрацию в юго-восточных регионах землетрясений с интенсивностью до 8-10 баллов по шкале MSK-64. Прогнозные оценки также указывают на вероятность сильных сейсмических событий в южных и юго-восточных регионах, включая Алматы и Шымкент, где сосредоточены значительные объемы жилищного строительства (Sabekov S., 2023).

Особое внимание в условиях Казахстана следует уделять жилым зданиям, возводимым по перекрестно-стеновой конструктивной системе. Сейсмическая устойчивость таких сооружений в значительной степени обеспечивается железобетонными стенами, работающими как пространственные диафрагмы. При этом уменьшение количества стен на одном уровне (например, из-за парковок, высоких коммерческих помещений или архитектурных изменений) способно вызвать резкое снижение боковой жесткости и формирование выраженной вертикальной нерегулярности. В отличие от рамных систем, где перераспределение деформаций происходит преимущественно через работу колонн и ригелей, в стеновых и перекрестно-стеновых схемах локальное ослабление одного этажа может привести к концентрации межэтажных деформаций и развитию механизма гибкого этажа даже при достаточной общей жесткости здания.

Дополнительную сложность представляет плановая неоднородность стен, характерная для современных монолитных жилых зданий: стены могут располагаться несимметрично, иметь различную протяженность и объединяться в связанные стеновые системы. В связи с этим выбор рациональной схемы расстановки стен в плане становится ключевым фактором обеспечения сейсмической безопасности и ограничения торсионной составляющей отклика.

В работе для указания этажности используется международное обозначение B1+G+5, где B1 (Basement 1) – один подземный этаж, G (Ground floor) – первый надземный этаж (уровень земли), а +5 – пять последующих надземных этажей. Таким образом, рассматриваемое здание имеет 6 надземных этажей и 1 подземный.

Анализ научной литературы показывает, что проблема гибкого этажа наиболее полно исследована применительно к железобетонным рамным системам, тогда как для перекрестно-стеновых систем вопросы влияния вариантов плановой расстановки стен и их пространственной связности на торсионный отклик и регулярность в плане представлены существенно меньше. Новизна настоящего исследования заключается в рассмотрении проблемы гибкого этажа применительно к перекрестно-стеновым системам с параметрическим варьированием плановой компоновки стен, что позволяет сформировать практические выводы для проектирования жилых зданий в сейсмоопасных районах Казахстана.

В настоящей работе в качестве объекта исследования принято типовое монолитное железобетонное жилое здание-прототип перекрестно-стеновой системы с гибким первым этажом.

Цель исследования — численно оценить влияние плановой расстановки (доли) несущих стен на сейсмический отклик монолитного железобетонного здания перекрестно-стеновой системы при наличии гибкого первого этажа для условий сейсмичности 7, 8 и 9 баллов.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Сформировать пространственные расчетные модели здания при неизменных геометрических и материальных характеристиках и различной доле наружных продольных стен в одном из главных направлений;

2. Выполнить спектральный расчет сейсмических воздействий в программном комплексе ЛИРА-САПР по данным СП РК EN 1998-1:2004/2012 (2017);

3. Сопоставить варианты по максимальным горизонтальным перемещениям, показателю регулярности в плане, этажным сдвигающим усилиям и этажной жесткости (НТП РК-08-01.2-2021, 2024);

4. Установить закономерности влияния компоновки стен на поступательную и торсионную составляющие отклика и на распределение усилий по высоте.

Литературный обзор

Определение гибкого этажа и нормативные критерии

Гибкий этаж (*soft storey*) — уровень здания с существенно пониженной боковой жесткостью относительно вышележащих этажей. Это вызывает концентрацию деформаций на одном уровне, рост межэтажных перемещений, пластические повреждения вертикальных элементов и механизм разрушения типа «этажного шарнира», повышая риск локального разрушения и прогрессирующего обрушения. По НТП РК-08-01.2-2021 (2024) гибким считается этаж, если его боковая жесткость <70 % жесткости вышележащего этажа либо <80 % средней жесткости трех этажей выше. Критерий удобен для идентификации вертикальной нерегулярности, однако неблагоприятная реакция возможна и при формальном соблюдении порогов из-за кручения, перераспределения усилий и пространственной работы стен, особенно при сложной планировке и крупных проемах.

Причины формирования гибкого этажа и практические последствия

Наиболее частая причина гибкого этажа — архитектурное «раскрытие» уровня (обычно первого) под парковку/коммерцию/входные группы. Число стен и заполнений уменьшается, тогда как верхние этажи остаются более жесткими, что формирует выраженную вертикальную нерегулярность и концентрацию деформаций внизу здания.

В обзорной работе Abidi & Madhuri (2012) отмечено, что гибкий этаж типичен для высотных зданий с открытым первым уровнем; снижение жесткости ведет к росту перемещений и повреждаемости. Наиболее результативной мерой компенсации названы стены жесткости, повышающие пространственную жесткость и улучшающие распределение усилий.

Численные исследования гибкого этажа в каркасных системах

Большинство исследований посвящено железобетонным каркасам, где нерегулярность возникает из-за отсутствия заполнений, изменения высоты этажей или локального ослабления элементов; обычно оценивают перемещения, этажные сдвигающие усилия и жесткость.

Shabla et al. (2024) сравнили меры снижения влияния гибкого первого этажа: стены жесткости, связевые системы, усиленные колонны и вязкие демпферы; спектральный расчет показал, что гибкий этаж резко увеличивает деформации, а наиболее эффективны стены жесткости при рациональном размещении. Sharma et al. (2016) на модели G+10



показали, что наиболее неблагоприятен гибкий этаж на первом уровне; при переносе нерегулярности выше негативный эффект уменьшается (Sharma & Phuke, 2025).

Неструктурные компоненты и эксплуатационная пригодность

Pesaralanka et al. (2023) показали, что гибкий этаж усиливает не только перемещения на уровне нерегулярности, но и ускорения перекрытий, повышая спрос на неструктурные компоненты. Подчеркнуто, что упрощенные нормативные зависимости могут недооценивать пики ускорений и амплификацию в зоне гибкого этажа, поэтому оценка должна учитывать и эксплуатационную пригодность.

Стены жесткости: эффективность и размещение в плане

Эффективность стен жесткости определяется не только их наличием, но и размещением, влияющим на кручение и пространственную работу. Vagestan et al. (2026) показали, что размещение стен по углам улучшает динамические характеристики и перераспределение усилий по сравнению с вариантом без стен, однако может менять и локально повышать усилия в элементах, что требует комплексной интерпретации. Khudhair (2019) также установил существенное снижение перемещений при введении стен; наиболее эффективны решения с ядром и угловыми зонами.

Проемы и связанные стены

Preetham et al. (2023) показали, что увеличение доли проемов в стенах жесткости может уменьшать перемещения, но одновременно повышать этажный сдвиг, крутящий момент и изгибающие моменты, а также усилия в примыкающих колоннах; значит, оценка должна быть многокритериальной. Для стеновых систем важна работа связанных стен (*coupled shear walls*): Bhunia et al. (2013) предложили подход к проектированию с обеспечением пластичности и энергорассеяния; верификация на 20-этажной модели и сопоставление с SAP/DRAIN-3DX дали приемлемые расхождения порядка 5–10 %, отмечено влияние условий закрепления основания.

Публикации согласованно показывают: гибкий этаж вызывает концентрацию перемещений и деформаций на уровне нерегулярности; наиболее критичен гибкий этаж в нижней части; стены жесткости при рациональном размещении эффективнее всего снижают деформации и кручение; при этом улучшение по перемещениям может сопровождаться ростом усилий (Shabla et al., 2024; Sharma et al., 2025; Pesaralanka et al., 2023; Vagestan et al., 2026; Khudhair & Mouli, 2017; Preetham et al., 2023).

Однако основная масса исследований ориентирована на каркасные схемы, тогда как для стеновых, в том числе перекрестно-стеновых, систем влияние плановой конфигурации стен и их связности на торсионную реакцию и регулярность изучено существенно меньше. Это обосновывает актуальность численного исследования влияния вариантов расстановки стен в плане на отклик стеновой системы с гибким первым этажом по показателям перемещений, регулярности в плане, этажных усилий и этажной жесткости в условиях сейсмичности 7–9 баллов, характерных для Казахстана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено в форме численного расчетно-аналитического моделирования с использованием пространственной 3D-модели в ПК ЛИРА-САПР 2024. Расчет железобетонных элементов принят в соответствии с требованиями СП РК EN 1992-1-1:2004/2011 (2025), а нагрузки и сочетания в соответствии с требованиями СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (2025). Сейсмическое воздействие задано по национальной версии Eurocode 8 (СП РК EN 1998-1:2004/2012, 2017) и базовому стандарту EN 1998-1 (CEN, 2004). Критерии оценки регулярности в плане приняты по НТП РК-08-01.2-2021 (2024).

Новизна работы заключается в параметрическом сопоставлении вариантов стеновой (перекрестно-стеновой) системы при наличии гибкого (открытого) первого этажа с

количественной оценкой регулярности в плане и распределения усилий/жесткости, что позволяет обосновать практические рекомендации по рациональной плановой компоновке стен в сейсмоопасных районах Казахстана.

3.1 Объект исследования и конструктивная схема

Объектом исследования является типовое монолитное железобетонное жилое здание-прототип перекрестно-стеновой конструктивной системы. Первый надземный этаж принят гибким, то есть с пониженной боковой жесткостью вследствие отсутствия наружных продольных стен. В последующих вариантах в несущую систему поэтапно добавлялись наружные продольные стены в направлении оси X, что позволило оценить влияние степени их планового присутствия на параметры сейсмического отклика.

План здания прямоугольный $35 \times 14,6$ м. Высота первого этажа 4,5 м, высота типового этажа 3,0 м. Этажность здания: V1+G+5 (6 надземных этажей и 1 подземный).

3.2 Расчетные варианты моделей (параметрическое сравнение)

Ключевые исходные данные, принятые допущения и нормативные основания расчета (объект, варианты моделей A–D, материалы, нагрузки, параметры сейсмического воздействия и критерии оценки) сведены в таблицу 1, что обеспечивает однозначность методики и воспроизводимость расчетов.

Таблица 1. Исходные данные и методика численного исследования

Блок	Параметр	Принято в исследовании
Объект и схема	Тип здания (монолитное ЖБ здание стеновой системы)	Гибкий 1-й этаж; далее — поэтапное добавление наружных продольных стен по оси X
	План, габариты	$35 \times 14,6$ м
	Высоты этажей	1-й этаж: 4,5 м; типовой этаж: 3,0 м
Варианты моделей	Модель А (0% наружных продольных стен по оси X)	Рис. 1
	Модель В (20% наружных продольных стен по оси X)	Рис. 2
	Модель С (40% наружных продольных стен по оси X)	Рис. 3
	Модель D (60% наружных продольных стен по оси X)	Рис. 4
Материалы и элементы	Материалы ЖБ (бетон С25/30; арматура А500) (СП РК EN 1992-1-1:2004/2011, 2025)	Принято одинаково для всех моделей
	Фундаментная плита	$t = 600$ мм
	Несущие стены	$t = 250$ и 300 мм
	Плиты перекрытий и покрытия	$t = 200$ мм
Нагрузки и сочетания (СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011, 2025)	Нагрузки и сочетания	Использованы одинаково для всех моделей
	Постоянная нагрузка на пол	$0,15$ т/м ²
	Временная нагрузка кат. А	$0,20$ т/м ²
	Временная нагрузка кат. В	$0,20$ т/м ²
	Временная нагрузка кат. D	$0,40$ т/м ²

Окончание табл. 1

Блок	Параметр	Принято в исследовании
Сейсмика и метод расчета	Метод расчета: спектральный (спектр реакции) (СЕН, 2004; СП РК EN 1998-1:2004/2012, 2017)	Реализован в ПК ЛИРА-САПР 2024
	Рассмотренные уровни сейсмичности	7, 8, 9 баллов
	Расчетные горизонтальные ускорения	7б – 0,20g; 8б – 0,30g; 9б – 0,65g
Показатели оценки (НТП РК-08-01.2-2021, 2024)	Максимальные этажные перемещения	Максимальные горизонтальные смещения на уровнях этажей
	Регулярность в плане (критерий δ_{kmax} и δ_{kav})	Порог: $\leq 10\%$ – регулярная; 10–25% – умеренно нерегулярная
	Этажные сдвигающие усилия	Storey shear на уровнях этажей
	Этажная жесткость и признак гибкого этажа (НТП РК-08-01.2-2021, 2024)	Оценка по относительным жесткостям уровня (сопоставление с вышележащими этажами)
Примечание по процедуре регулярности	Линейный расчет на основе расчетного спектра реакции (НТП РК 08-01.1-2017, 2017)	
<i>Примечание – составлено авторами</i>		

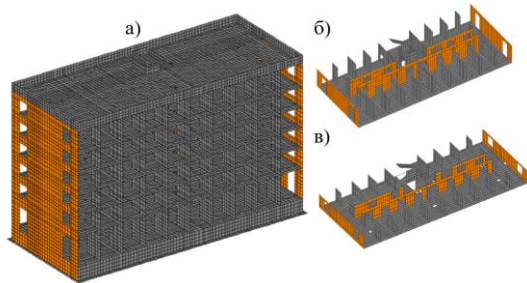


Рисунок 1. а) расчетная схема – модель А, б) первый этаж, в) типовой этаж.

Примечание – составлено авторами

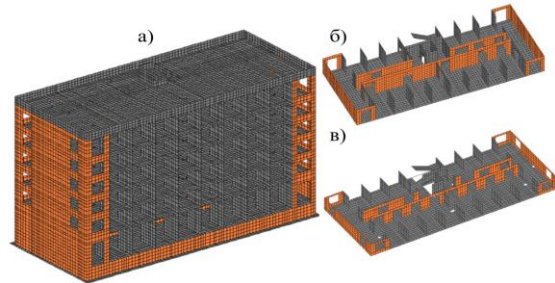


Рисунок 2. а) расчетная схема – модель В, б) первый этаж, в) типовой этаж.

Примечание – составлено авторами

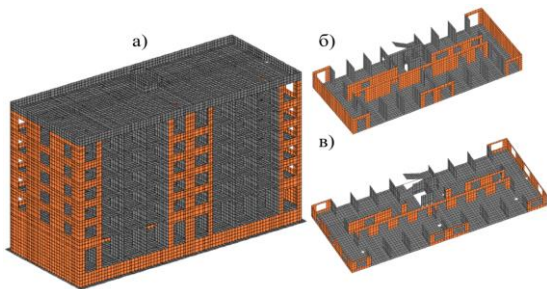


Рисунок 3. а) расчетная схема – модель С, б) первый этаж, в) типовой этаж.

Примечание – составлено авторами

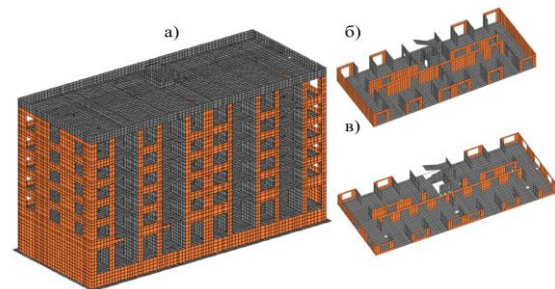


Рисунок 4. а) расчетная схема – модель D, б) первый этаж, в) типовой этаж.

Примечание – составлено авторами

В расчетной постановке приняты следующие допущения и параметры моделирования: пространственная работа здания моделировалась в линейно-спектральной постановке; перекрытия и покрытие в пределах этажа принимались как жесткие диски в своей плоскости, обеспечивающие совместную работу вертикальных несущих элементов; условия закрепления основания задавались на уровне подошвы фундаментной плиты в виде упругого основания с соответствующими расчетными характеристиками; расчетное сейсмическое воздействие задавалось по спектру реакции в соответствии с СП РК EN 1998-1:2004/2012 для грунтов III категории; коэффициент демпфирования принимался равным 5 %; комбинация модальных форм выполнялась по правилу СЭС; число учитываемых форм колебаний принималось достаточным для корректного учета модального вклада в каждом из главных направлений.

Критерий регулярности по п. 3.2.1 НТП РК-08-01.2-2021 (2024) принят следующим образом: конструктивная схема считается регулярной в плане, если различие между δ_{kmax} и δ_{kav} (по направлениям главных горизонтальных осей), определенными по результатам линейного расчета на основе расчетного спектра реакции в соответствии с п. 4.2.5 НТП РК 08-01.1-2017 (2024), не превышает 10 %; при превышении 10 %, но не более 25 %, схема относится к умеренно нерегулярным.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В разделе приведены результаты численного расчета и выполнено сопоставление сейсмического отклика здания для моделей А–D в условиях сейсмических зон 7, 8 и 9 баллов. Модели различаются долей наружных продольных стен в направлении оси X (0 %, 20 %, 40 %, 60 %), что позволяет оценить влияние плановой конфигурации стен на перемещения, регулярность в плане, этажные усилия и жесткость.

4.1 Этажные перемещения

На рисунке 5 показаны горизонтальные перемещения на уровне первого этажа для моделей А–D в зонах 7, 8 и 9 баллов. Наблюдается устойчивая тенденция: модель А демонстрирует наибольшие перемещения, а модель D – наименьшие, что соответствует росту боковой жесткости при увеличении доли продольных стен.

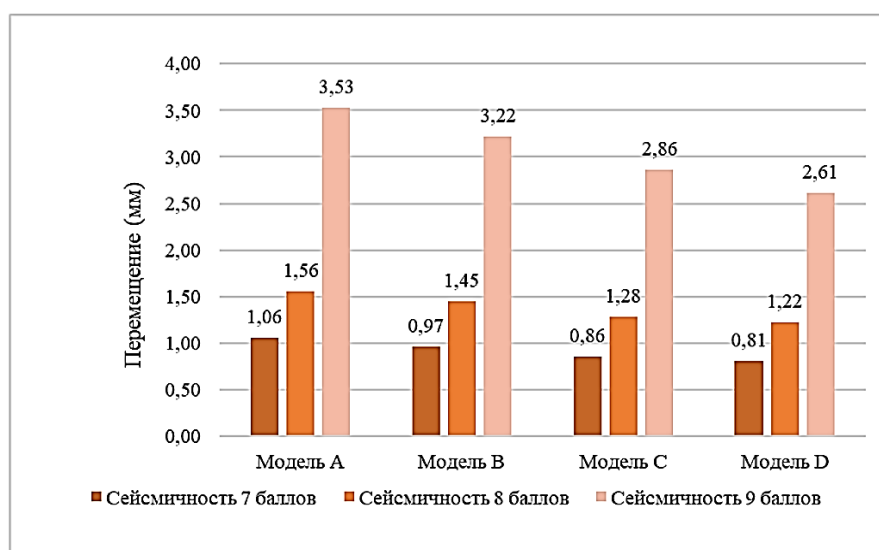


Рисунок 5. Сравнение перемещений на уровне первого этажа для различных моделей
Примечание – составлено авторами

Интерпретация результатов основана на следующей причинно-следственной связи: увеличение доли продольных стен повышает пространственную боковую жесткость и уменьшает крутильную составляющую, что приводит к снижению горизонтальных перемещений и изменяет распределение этажных усилий по высоте. При этом рост жесткости закономерно сопровождается увеличением воспринимаемых системой инерционных сил (этажных сдвигов), особенно в нижних уровнях.

Обобщение выявленных закономерностей по моделям А–D (перемещения, регулярность в плане, этажные усилия и жесткость) и их инженерная интерпретация приведены в таблице 2, на которую следует ориентироваться при формулировке итоговых выводов.

Таблица 2. Сводная интерпретация поведения моделей А–D (по рис. 5-11)

Показатель	Модель А (0 %)	Модель В (20 %)	Модель С (40 %)	Модель D (60 %)
Перемещения	Наиболее неблагоприятная по совокупности показателей; на уровне первого этажа – максимальные (рис. 5), при этом по отдельным уровням при 9 баллах ниже, чем у модели В (рис. 6)	По отдельным уровням при 9 баллах выше, чем у модели А по поступательной составляющей (рис. 6)	Ниже, чем у А–В	Минимальные
Регулярность в плане	>25 % (нерегулярная, крутильно-податливая) (рис. 7)	≤25 % (умеренно нерегулярная)	≤10 % (регулярная)	≤10 % (регулярная)
Этажные сдвигающие усилия	Минимальные (рис. 8–9)	Выше, чем у А	Выше, чем у А	Максимальные (особенно при 9 баллах)
Этажная жесткость	Минимальная (рис. 10–11)	Выше, чем у А	Выше, чем у В	Максимальная
Признак гибкого этажа	$K_1 \approx 64$ % выраженное снижение жесткости (рис. 11)	Ослабление снижается	Ослабление компенсируется	Ослабление компенсируется
<i>Примечание – составлено авторами</i>				

На рисунке 6 (а–в) представлены максимальные горизонтальные перемещения по высоте здания. Минимальные значения устойчиво характерны для модели D, тогда как при воздействии 9 баллов наибольшее значение перемещений по отдельным уровням фиксируется у модели В. Следует отметить, что в отдельных случаях перемещения модели А оказываются ниже, чем у модели В. Данный результат не следует интерпретировать как более благоприятную работу модели А, поскольку он может быть связан с перераспределением отклика между поступательной и крутильной составляющими при выраженной плановой нерегулярности. В рамках настоящего исследования этот эффект рассматривается как косвенное проявление неблагоприятной торсионной чувствительности модели А, тогда как его окончательное количественное подтверждение требует анализа специальных показателей кручения.

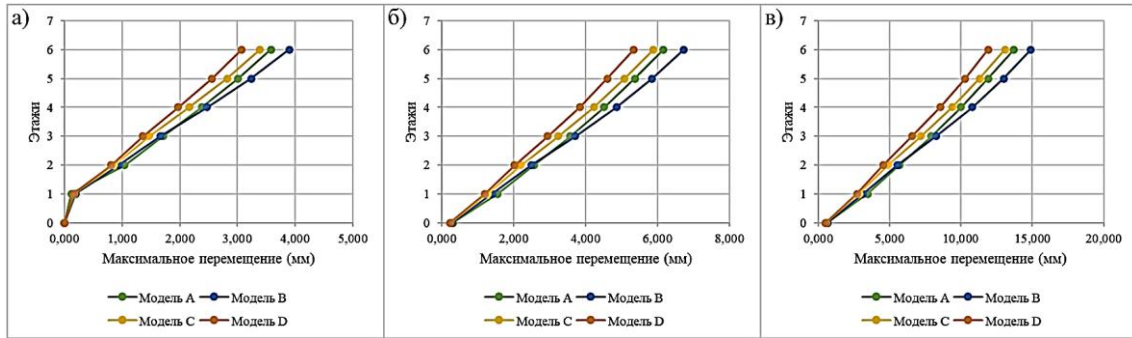


Рисунок 6. Результаты максимальных перемещений для разных моделей А–D:
а) 7 баллов; б) 8 баллов; в) 9 баллов.

Примечание – составлено авторами

Вывод по п. 4.1: увеличение доли наружных продольных стен приводит к снижению перемещений и стабилизации отклика; при малой доле стен возрастает роль кручения, что ухудшает предсказуемость и равномерность работы системы.

4.2 Регулярность в плане

На рисунке 7 (а–в) приведен показатель относительного различия перемещений крайних точек перекрытия (критерий регулярности в плане).

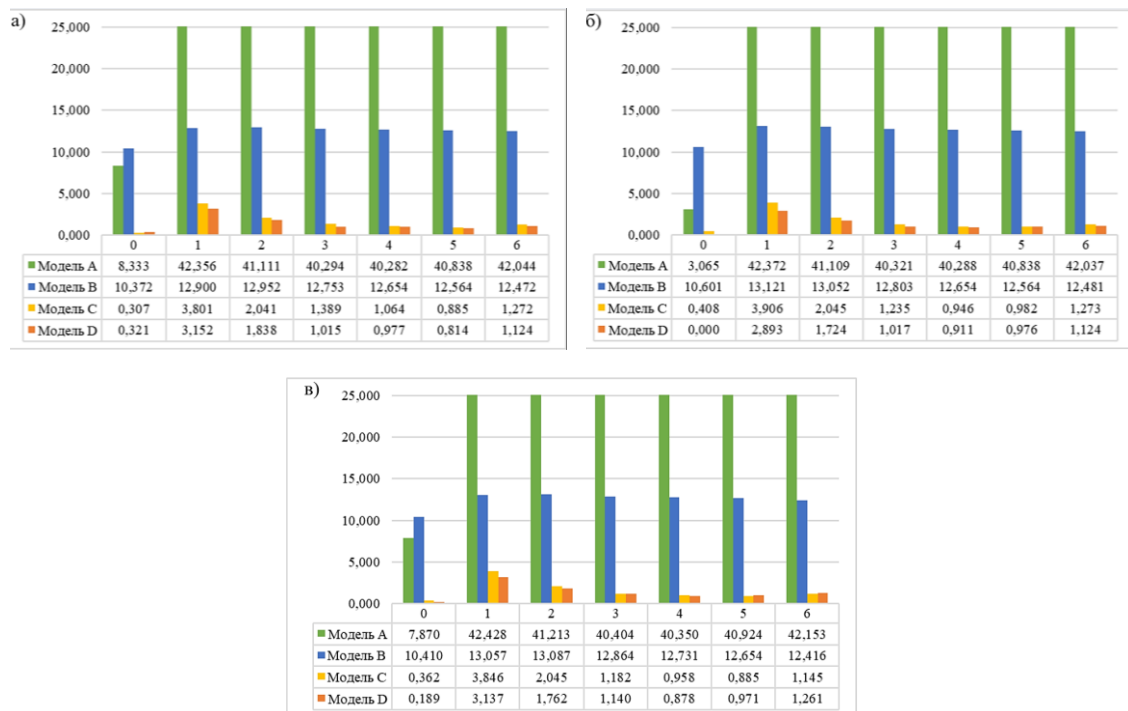


Рисунок 7. Показатель регулярности в плане для моделей А–D:
а) 7 баллов; б) 8 баллов; в) 9 баллов.

Примечание – составлено авторами

Модель А демонстрирует превышение 25 %, что соответствует выраженной плановой нерегулярности и крутильно-податливому характеру работы.

Модель В остается в пределах до 25 %, то есть относится к умеренно нерегулярным схемам.

Модели С и D удовлетворяют критерию $\leq 10\%$, что указывает на переход к регулярной схеме с более равномерным распределением жесткости и снижением торсионной реакции.

Вывод по п. 4.2: добавление продольных стен по оси X не только повышает общую жесткость, но и выравнивает жесткостное поле в плане, уменьшая эксцентриситет жесткости/массы и, как следствие, снижая крутильные эффекты.

4.3 Этажные сдвигающие усилия

На рисунке 8 показаны этажные сдвигающие усилия на уровне первого этажа, на рисунке 9 (а-в) — их распределение/максимальные значения по моделям для 7, 8 и 9 баллов.

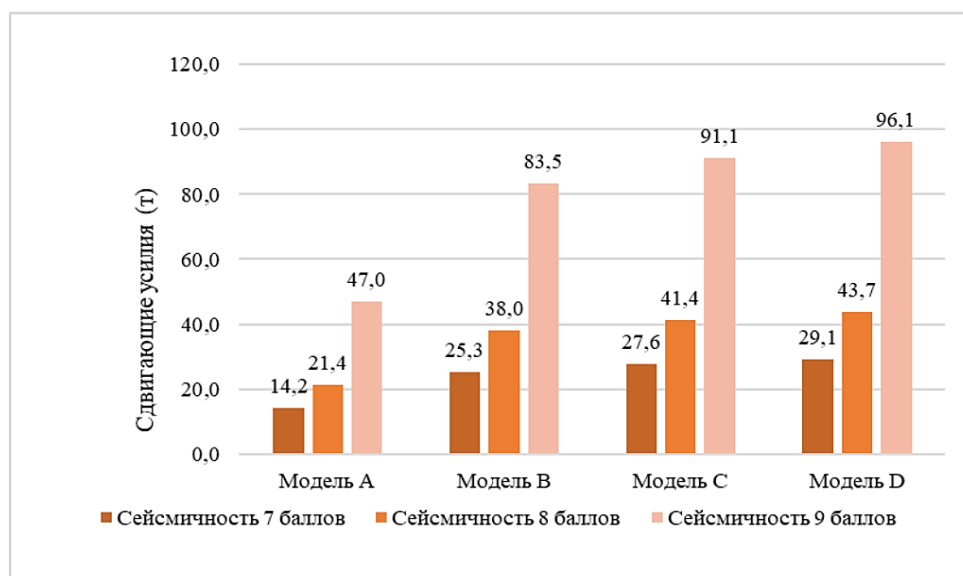


Рисунок 8. Изменение этажных сдвигающих усилий для различных моделей на уровне первого этажа

Примечание – составлено авторами

Результаты демонстрируют закономерность: при увеличении доли продольных стен (переход от А к D) возрастают воспринимаемые системой этажные сдвигающие усилия, особенно при 9 баллах, где модель D показывает максимальные значения. При этом модель А характеризуется минимальными усилиями.

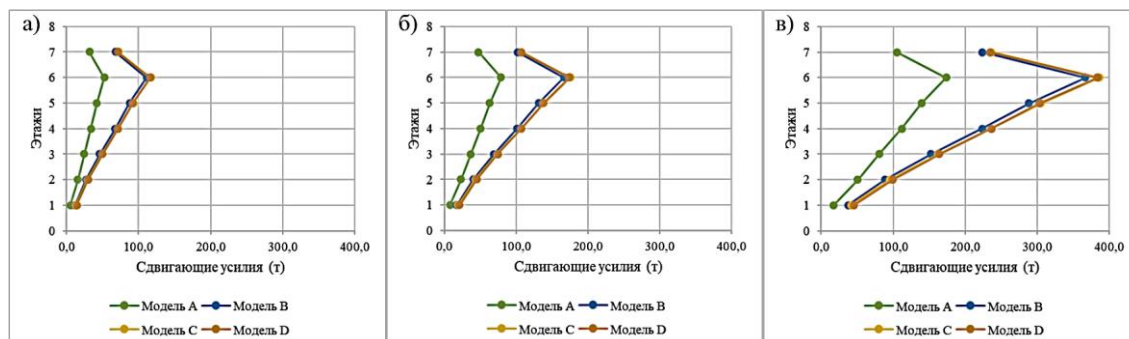


Рисунок 9. Результаты максимальных усилий для разных моделей А–D: а) 7 баллов; б) 8 баллов; в) 9 баллов

Примечание – составлено авторами

Вывод по п. 4.3: более жесткая система (модели В–D) привлекает большую долю инерционных сил и эффективнее вовлекается в сопротивление горизонтальному воздействию, что приводит к росту внутренних усилий (особенно в нижних этажах). Следовательно, повышение жесткости за счет стен уменьшает перемещения, но требует повышенного внимания к расчетной несущей способности и конструированию элементов нижних этажей.

4.4 Этажная жесткость и признак гибкого этажа

На рисунке 10 приведена этажная жесткость на уровне первого этажа. Максимальные значения характерны для модели D, минимальные — для модели A. Отмеченная инвариантность значений для разных сейсмических зон логична: жесткость определяется геометрией и физико-механическими характеристиками элементов, а не уровнем заданного воздействия.

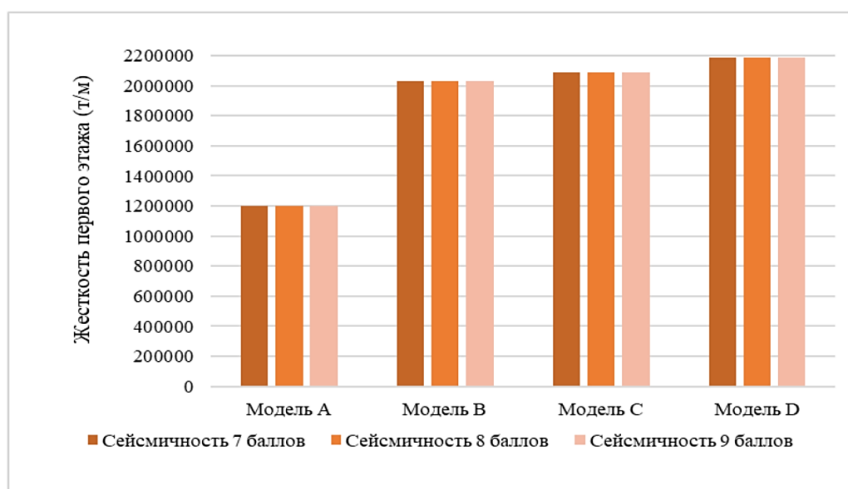


Рисунок 10. Изменение жесткости для различных моделей на уровне первого этажа
Примечание – составлено авторами

На рисунке 11 (а–б) показаны относительные показатели: отношение жесткости этажа к вышележащему и к среднему значению трех вышележащих этажей.

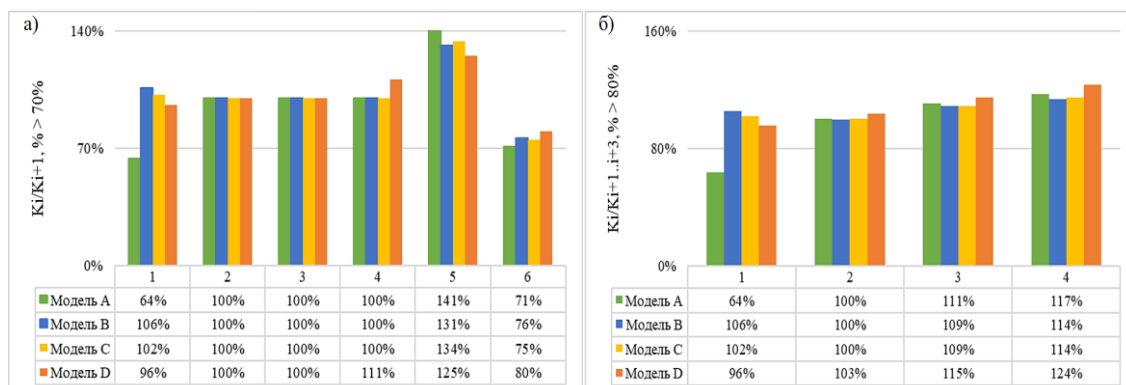


Рисунок 11. Относительная этажная жесткость для расчетных моделей А–D:
а) отношение жесткости этажа к жесткости вышележащего этажа K_i/K_{i+1} ; б) отношение жесткости этажа к средней жесткости трех вышележащих этажей $K_i/\bar{K}_{i+1..i+3}$.
Примечание – составлено авторами



Для модели А относительная жесткость первого этажа составляет 64 %, что указывает на выраженное снижение боковой жесткости и подтверждает признаки формирования гибкого этажа по принятому нормативному критерию.

Вывод по п. 4.4: при недостатке стен в нижнем уровне (модель А) формируется зона концентрации деформаций и повышенного риска повреждений, тогда как увеличение доли стен (модели С–D) выступает эффективной мерой «жесткостной компенсации», одновременно улучшая регулярность в плане.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное численное исследование сейсмического отклика монолитного железобетонного здания перекрестно-стеновой системы с гибким первым этажом показало, что доля наружных продольных стен по оси X определяющим образом влияет на перемещения, торсионную составляющую, регулярность в плане, этажные усилия и жесткость при воздействиях 7, 8 и 9 баллов. Тем самым цель работы — количественно оценить влияние плановой компоновки стен на ключевые параметры отклика — была достигнута.

Установлено, что увеличение доли продольных стен в целом приводит к снижению горизонтальных перемещений и уменьшению крутильной реакции; минимальные перемещения устойчиво характерны для модели D (60%). При этом по отдельным уровням при воздействии 9 баллов максимальные поступательные перемещения фиксируются у модели В, тогда как модель А остается наиболее неблагоприятной по совокупности показателей регулярности, жесткости и торсионной чувствительности.

По критерию регулярности в плане модель А является наиболее неблагоприятной (превышение 25%, крутильно-податливая схема), модель В соответствует умеренно нерегулярной (до 25%), тогда как модели С и D удовлетворяют критерий регулярности (до 10%). При этом выявлен важный практический эффект: рост жесткости (модели В–D) сопровождается увеличением этажных сдвигающих усилий, особенно при 9 баллах, что требует усиленного контроля конструктивных решений нижних этажей. Дополнительно показано, что для модели А относительная жесткость первого этажа составляет 64%, что подтверждает признаки формирования гибкого этажа по нормативным критериям.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют, что не имеют финансовых, академических или личных интересов, которые могли бы повлиять на результаты данного исследования. Все этапы работы выполнены объективно, без стороннего влияния.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование выполнено без привлечения внешних источников финансирования. Проведенный анализ, сбор материалов и подготовка рукописи осуществлены авторами в рамках их академической и научно-исследовательской деятельности.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ОДОБРЕНИИ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫМ ЭТИЧЕСКИМ КОМИТЕТОМ (IRB): Не применимо.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ИНФОРМИРОВАННОМ СОГЛАСИИ: Не применимо.

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ: Данные, подтверждающие результаты данного исследования, представлены в статье.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают глубокую признательность коллегам за конструктивные замечания, помощь в уточнении методологических подходов и обсуждение результатов исследования. Также авторы благодарят сотрудников Международной образовательной корпорации и научных консультантов за поддержку, предоставление материалов и содействие в организации полевых исследований на территории города Туркестана.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: В процессе подготовки статьи авторы использовали инструменты генеративного искусственного интеллекта исключительно для редактирования текста, структурирования материалов и проверки формулировок. Все интерпретации, выводы, научные положения и результаты исследования полностью принадлежат авторам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abidi, M., & Mangulkar, M. N. (2012). Review on shear wall for soft story high-rise buildings. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 1(6). https://www.academia.edu/3834060/Review_on_Shear_Wall_for_Soft_Story_High-Rise_Buildings
- Bhunja, D., Prakash, V., & Pandey, A. D. (2013). A conceptual design approach of coupled shear walls. *ISRN Civil Engineering*, 2013, Article 161502. <https://doi.org/10.1155/2013/161502>
- Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. (2023). Gaziantep Türkiye M7.7 earthquake, 6 February 2023 (04:17 local time): Preliminary report. https://eqe.bogazici.edu.tr/sites/eqe.boun.edu.tr/files/kahramanmaras-gaziantep_earthquake_-06-02-2023_04.17-bogazici_university_earthquake_engineering_department_v6.pdf
- CEN. (2004). EN 1998-1:2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance — Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization. <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpage.php?id=138>
- EERI. (2023). Learning from earthquakes: Türkiye–Syria earthquake of February 6, 2023. Earthquake Engineering Research Institute. <https://www.eeri.org/about-eeri/news/16294-geer-and-eeri-release-joint-report-on-2023-kahramanmaras-earthquakes>
- FEMA. (2015). Seismic evaluation and retrofit of existing buildings (FEMA P-1050). Federal Emergency Management Agency. https://www.fema.gov/media-library-data/1431372461608-0c3d8d9a9c2b5f8d52a2f09b6bcb3b45/FEMA_P-1050.pdf
- Khudhair, S. Y. (2019). The suitable location for shearing walls on soft storey in high rise buildings to increase its stiffness. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 10(2), 1981–1988. https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJCIET-VOLUME_10_ISSUE_2/IJCIET_10_02_208.pdf
- Khudhair, S. Y., & Mouli, D. C. (2017). Study of the vertical irregularities in tall RC structures under lateral load. *Research Gate*. https://www.researchgate.net/publication/334466294_Study_of_the_Vertical_Irregularities_in_Tall_RC_Structures_under_Lateral_Load
- Pesaralanka, M., Vukobratovic, V., Ruggieri, S., & Fajfar, P. (2023). Influence of a soft story on the seismic response of non-structural components. *Sustainability*, 15(4), Article 2860. <https://doi.org/10.3390/su15042860>
- Preetham, C. M., Ghorpade, V. G., & Rao, H. S. (2023). Analysis of soft storey building with different percentages of openings in shear walls by using ETABS software. *Journal of Harbin Engineering University*, 44(10), 184–189. <https://harbinengineeringjournal.com/index.php/journal/article/download/1481/1103/2656>
- Sabekov, S. (2023). Названы самые сейсмоопасные регионы Казахстана. Информационное агентство «Казинформ». https://www.inform.kz/ru/nazvany-samy-seysmoopasnye-regiony-kazahstana_a4095134 // Sabekov, S. (2023). Nazvany samye seysmoopasnye regiony Kazakhstana [The most seismically hazardous regions of Kazakhstan have been named]. *Informatsionnoe agentstvo «Kazinform» – Kazinform News Agency*. https://www.inform.kz/ru/nazvany-samy-seysmoopasnye-regiony-kazahstana_a4095134 (In Russ.)
- Shabla, K., Praseeda, K. I., & Pany, C. (2024). Moderating the soft storey impact in multi-storey buildings: A comparative seismic investigation. *Journal of Sustainable Construction*



- Materials and Technologies, 9(4), 355–364. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jscmt/article/1607472>
- Sharma, P., Rajendra, S., & Vanisree, C. N. (2016). Comparative study on effects of regular and irregular structures subjected to lateral loading by equivalent static method and response spectrum method. *International Journal of Advanced Engineering and Management Science*, 2(5), 263–268. <https://ijaems.com/detail/a-comparative-study-on-effects-of-regular-and-irregular-structures-subjected-to-lateral-loading-by-equivalent-static-method-and-response-spectrum-method/>
- Sharma, S. P., & Phuke, R. M. (2025). Effect of soft storey on multi-storey building. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 13(4), 6576–6589. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.69889>
- Tena-Colunga, A., Pérez-Rocha, L. E., & Ruiz, S. E. (2008). Evaluation of soft-story irregular buildings during earthquakes. *Engineering Structures*, 30(12), 3683–3695. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.06.005>
- University of Cambridge. (2024). Turkey-Syria earthquakes: Deficiencies in building structures and construction shortcuts were main cause of casualties. *University of Cambridge – Research News*. <https://www.cam.ac.uk/research/news/new-report-into-turkey-syria-earthquakes-uncovers-deficiencies-in-building-structures-and>
- USGS. (2023). M7.8 – Türkiye–Syria earthquake sequence, February 6, 2023. *United States Geological Survey*. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/executive>
- Vagestan, P. K., Periyasamy, M., & Sakthimurugan, K. (2026). Seismic analysis of multi-storey building with shear walls using ETABS. *EPJ Web of Conferences*, 345, 01031. <https://doi.org/10.1051/epjconf/202634501031>
- СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011. (2025). Основы проектирования несущих конструкций. https://prg.kz/document/?doc_id=38116720&pos=9;201 // SP RK EN 1990:2002+A1:2005/2011. (2025). Osnovy proektirovaniya nesushchikh konstruktsiy [Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings]. https://prg.kz/document/?doc_id=38116720&pos=9;201 (In Russ)
- СП РК EN 1992-1-1:2004/2011. (2025). Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. https://prg.kz/document/?doc_id=32317184&pos=6;156 // SP RK EN 1992-1-1:2004/2011. (2025). Proektirovanie zhelezobetonnykh konstruktsiy. Chast' 1-1. Obshchie pravila i pravila dlya zdaniy [Design of Reinforced Concrete Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings]. https://prg.kz/document/?doc_id=32317184&pos=6;156 (In Russ)
- СП РК EN 1998-1:2004/2012. (2017). Проектирование сейсмостойких конструкций. Часть 1: Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий. https://prg.kz/document/?doc_id=39656601 // SP RK EN 1998-1:2004/2012. (2017). Proektirovanie seismostoykikh konstruktsiy. Chast' 1: Obshchie pravila, seismicheskie vozdeystviya i pravila dlya zdaniy [Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings]. https://prg.kz/document/?doc_id=39656601 (In Russ)
- НТП РК 08-01.1-2017. (2017). Проектирование сейсмостойких зданий и сооружений. Часть: Общие положения. Сейсмические воздействия. https://prg.kz/document/?doc_id=37321048 // NTP RK 08-01.1-2017. (2017). Proektirovanie seismostoykikh zdaniy i sooruzheniy. Chast'. Obshchie polozheniya. Seismicheskie vozdeystviya [Design of Buildings and Structures for Earthquake Resistance. Part: General Rules. Seismic Actions]. https://prg.kz/document/?doc_id=37321048 (In Russ)

НТП РК-08-01.2-2021. (2024). Проектирование сейсмостойких зданий. Часть: Проектирование гражданских зданий. Общие требования. https://prg.kz/document/?doc_id=35580851 // NTP RK-08-01.2-2021. (2024). Proektirovanie seysmostoykikh zdaniy. Chast': Proektirovanie grazhdanskikh zdaniy. Obshchie trebovaniya [Seismic Design of Buildings. Part: Design of Civil Buildings. General Requirements]. https://prg.kz/document/?doc_id=35580851 (In Russ)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Брянцев Александр Александрович – PhD, зерттеуші профессор, «Ras Engineering» ғылыми-зерттеу институты, Алматы қ., Қазақстан

Брянцев Александр Александрович – PhD, профессор-исследователь, Научно-исследовательский институт «RAS Engineering», г. Алматы, Казахстан

Bryantsev Alexandr Alexandrovich – PhD, research professor, «RAS Engineering» Research Institute, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: assadenova@edu.ektu.kz,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4052-8830>,



Болат Диас Асылбекұлы – магистрант, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

Болат Диас Асылбекұлы – магистрант, Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан

Bolat Dias Asylbekuly – Master's student, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: dias.bolat.2003@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1420-6500>



Остапенко Инна Ивановна – PhD, архитектура мектебінің ассоцияланған профессоры, Халықаралық Білім Беру Корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

Остапенко Инна Ивановна – PhD, ассоциированный профессор школы архитектуры, Международная Образовательная Корпорация, г. Алматы, Казахстан

Ostapenko Inna Ivanovna – PhD, Associate Professor, School of Architecture, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: ostapinna@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7253-7251>,



Дюсенова Дана Галымжановна – PhD докторант, өнер магистрі, архитектура мектебінің ассоцияланған профессоры, Халықаралық Білім Беру Корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

Дюсенова Дана Галымжановна – PhD докторант, магистр искусствovedческих наук, ассоциированный профессор школы архитектуры, Международная Образовательная Корпорация, г. Алматы, Казахстан

Dyussenova Dana Galymzhanovna – PhD student, Master of Arts, Associate Professor, School of Architecture, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

e-mail: d.diusenova@kazgasa.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3415-5639>



Буханцева Анна Евгеньевна – PhD докторант, оқытушы, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» Өскемен қ., Қазақстан

Буханцева Анна Евгеньевна – PhD докторант, преподаватель, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан.

Bukhantseva Anna Evgenyevna – PhD student, Lecturer, «D. Serikbayev East Kazakhstan technical university», Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: abukhantceva@edu.ektu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1182-4203>