DOI: 10.38054/iaeee-202225 *2/2022(14)*

УДК 699.841

ВЛИЯНИЕ НАРУЖНЫХ СТЕН НА ЖЕСТКОСТЬ КАРКАСА ЗДАНИЙ

Энсебеков А.Э.
PhD., доцент, Кыргызский Государственный Университет Строительства, Транспорта и Архитектуры им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика, altykg@gmail.com

Аннотация: *Данная статья посвящена деликатной проблеме взаимодействия каркаса зданий и стеновых панелей. Эта тема была и остается предметом изучения многих исследователи, которые с помощью теоретических и экспериментальных исследований, пытались обеспечить решения, все чаще реагирующие на реальное поведение, конечно, нелегко интерпретировать. Проектировщики рассматривали наружные стены как неструктурные элементы, игнорируя его сопротивление и жесткость и оценивая только его массу. Однако наличие заполнителей изменяет поведение структуры, подверженной сейсмическим событиям, с точки зрения увеличения боковой жесткости и устойчивости к боковым нагрузкам, а также значительного увеличения грузоподъемности диссипативной. В случае каркасных заполнений структур распределение действующих на них сил может существенно отличаться от оголенных конструкций, вызывая напряжения, не предусмотренные в этап расчета.*

Ключевые слова: *каркас, наружная стена.*

INFLUENCE OF EXTERIOR WALLS ON THE STIFFNESS OF THE BUILDING FRAME

Ensebekov A.E.
PhD., docent, Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic, altykg@gmail.com

Abstract: *This article is devoted to the delicate problem of the interaction of frames and wall panels. This topic has been and remains the subject of study by many researchers who, through theoretical and experimental studies, have tried to provide solutions that are increasingly responsive to real-world behavior, of course, not easy to interpret. Designers - Treat curtain walls as non-structural elements, ignoring its resistance and stiffness and evaluating only its mass. However, the presence of the panels changes the behavior of the seismic-prone structure in terms of increased lateral stiffness and resistance to side loads, as well as a significant increase in the dissipative load capacity. In the case of frame fillings of structures, the distribution of forces acting on them can differ significantly from bare structures, causing stresses that are not provided for in the calculation stage.*

Key words: *frame, exterior walls.*

СЫРТКЫ ДУБАЛДАРДЫН ИМАРАТТАРДЫН КАТУУ КАРКАСЫНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ

Энсебеков А.Э.
PhD., доцент, Н.Исанов атындагы Кыргыз Мамлекеттик Курулуш, Транспорт жана Архитектура Университети, Бишкек, Кыргыз Республикасы, altykg@gmail.com

Аннотация: *Бул макалада рамкалардын жана дубал панелдеринин өз ара аракеттешүүсүнүн назик көйгөйү каралат. Бул тема теориялык жана эксперименталдык*

DOI: 10.38054/iaeee-202225 *2/2022(14)*

изилдөөлөрдүн жардамы менен реалдуу жүрүм-турумга эң туура келген чечимдерди табууга аракет кылган көптөгөн изилдөөчүлөрдүн изилдөө предмети болгон жана болуп кала берет. Имараттарды долбоорчулар сырткы дубалдарды структураланбаган элементтер катары карап, алардын каршылыгын жана катуулугун этибарга албай, массасын гана баалайт. Ошол эле учурда колдо болгон панелдер катуулугун жана каптал күчтөргө туруктуулугун жогорулатуу, ошондой эле жүк көтөрүү жөндөмдүүлүгүн бир кыйла жогорулатуу максатында сейсмикалык ачык конструкциянын жүрүм-турумун өзгөртөт. Рамкаларды толтурууда аларга таасир этүүчү күчтөрдүн бөлүштүрүлүшүнүн структурасы долбоорлоо стадиясында каралбаган чыңалууларды пайда кылуучу, иштеп жаткан конструкциялардан олуттуу түрдө айырмаланышы мүмкүн.

Ачкыч сөздөр: *каркас, тышкы дубал.*

Структурный отклик общей сетки рамы, подверженной горизонтальным силам при наличии заполнение было проанализировано в многочисленных исследованиях, с конца 1950-х г. Интерес с которой тема была рассмотрена почти единообразная преемственность на сегодняшний день может быть обосновано следующими соображениями: экспериментальные исследования, на которых основывается большая часть из произведений, присутствующих в литературе, приводят к результаты сильно зависят от типа панели составляющих заполнение и методы испытание, поэтому они позволили вывести качественно значимые соображения по поведение обнаружено, но не обобщать эмпирические выражения, выведенные для оценки общей боковой жесткости и максимальная прочность системы каркас-панель для этой цели конкретные применения [6].

Наблюдение за ущербом, вызванным землетрясениями во время сейсмических событий, показывает, что наличие заполнителей существенно влияет на поведение железобетонных каркасных зданий. Хотя панели заполнения обычно считаются неструктурными элементами, и, следовательно, не склонны явно учитывать их влияние сейсмического отклика, во многих случаях кажется незаконным пренебрегать этим вкладом. В эффекты, несмотря на то что наличие заполняющих панелей часто выгодно из-за увеличения сопротивления и способности рассеивать энергию, увеличение массы и уменьшение фундаментального периода вибрации конструкций являются факторами, которые они имеют тенденцию увеличивать спектральные ординаты относительно случая того же самого рассматриваемого каркаса без заполнений.

Принципиальное значение имеет влияние этих элементов на глобальное поведение здания, которое может привести к значительно отличному от того голой структуры. В связи с этим наблюдение за ущербом, вызванным землетрясение, показало, как неравномерное распределение высота подъема может вызывать механизмы мягкого пола на первых уровнях, но особенно как взаимодействие на местном и глобальном уровне со структурой, может вызвать возникновение

DOI: 10.38054/iaeee-202225 2/2022(14)

неблагоприятных и хрупких кризисных механизмов даже на строительных конструкциях [5].

В Кыргызстане каркасная система с кирпичными стенами заполнения является распространенным конструктивным решением, применяемым при проектировании монолитных каркасных зданий. Особенно оно применяется при проектировании многоэтажных каркасных зданий жилого типа. С 90 годов, это конструктивное решение применяется при проектировании серийных многоэтажных каркасных зданий квартирного типа. В этих зданиях, возведение кирпичных стен опережает возведение железобетонных элементов. Кирпичные стены заполнения плотно обрамлены монолитными колоннами и ригелями основного монолитного каркаса.

Однако, при проектировании монолитных каркасных зданий эти кирпичные стены не рассматриваются как часть несущей системы. В расчетах учитывается только нагрузка от их собственного веса. В тоже время существующие исследования в зарубежных и российских литературных источниках свидетельствуют о влиянии стеновых заполнений. При этом указано, что вопрос исследования влияния стеновых заполнений является комплексным в связи с невозможностью учета одновременно факторов, способных сказываться на результатах исследований влияния стеновых заполнений. Это делает данный вопрос актуальным до настоящего времени. Об этом свидетельствуют научные публикации и научные работы последних лет. В этих работах и других литературных источниках отмечается недостаточное изучение влияния стеновых заполнений в пространственной постановке. В частности, мало изучено влияние включения кирпичных стен заполнения в пространственную работу монолитных каркасных зданий. Кроме того, в литературных источниках не отражены исследования изменчивости внутренних усилий в стержневых элементах монолитных каркасных зданий с кирпичными стенами заполнения. В связи с вышеизложенным, данное исследование и посвящено изучению указанных недостатков, что и представляется актуальным. Несмотря на достаточное количество публикаций, недостаточно изучено влияние кирпичных стен заполнения на пространственную работу монолитных каркасных зданий. В основном исследования проводились на плоских каркасах. В частности, недостаточно изучены изменчивости и перераспределение усилий в ригелях и колоннах монолитных каркасных зданий с кирпичными стенами заполнения [7].

Уже в 40 г. и 56 г. соответственно Л.И Онищик и С.В. Поляков указывали на то, что жесткость многоэтажных зданий со стеновыми заполнениями превышает в 10…20 раз жесткость железобетонного каркаса без заполнений при воздействии ветровых нагрузок. В последующих годах и до настоящего времени многие специалисты

DOI: 10.38054/iaeee-202225 2/2022(14)

занимались изучением влияния стеновых заполнений. Такие исследования отражаются в работах: на рисунке 1, представлен принцип экспериментальных исследований кирпичной кладки незаполненных рам и заполненных рам [8].

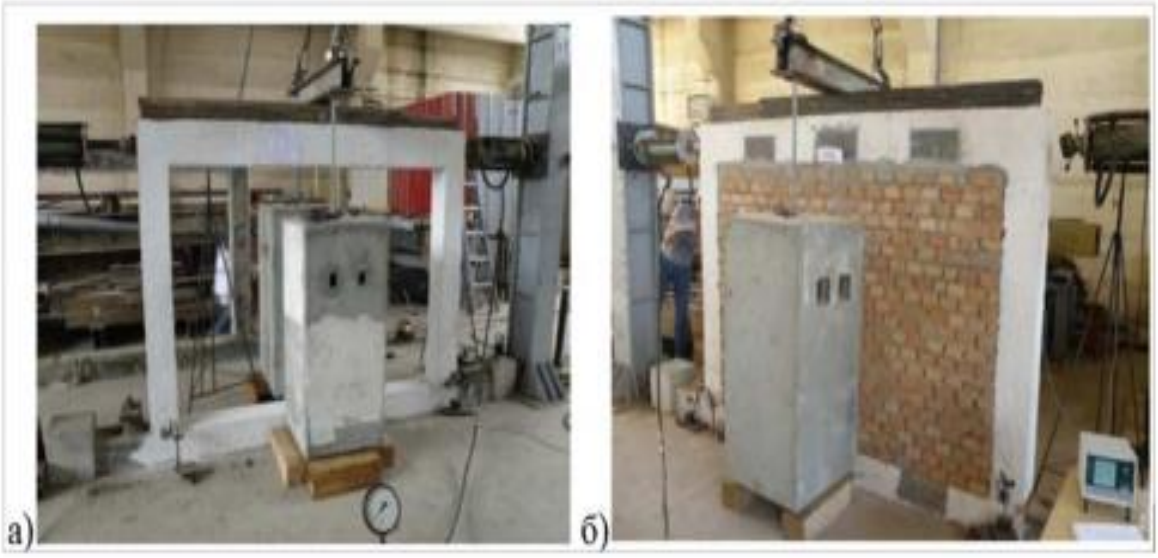

Рисунок 1. Экспериментальные исследования влияния кирпичной кладки заполнения а) рама без заполнения; б) рама с заполнением

Проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что кирпичные стены заполнения приводят к повышению жесткостных параметров, приводя к перераспределению внутренних усилий в элементах железобетонного каркаса. Установлено, что передача усилий в таких зданиях не происходит через узлы, а по определенной зоне контактной длины между железобетонными элементами с кирпичной стеной заполнения. В работе установлено, что кроме положительных эффектов кирпичные стены заполнения могут привести к нежелательным эффектам при силовых воздействиях. Например, указывается, что при сдвиговых воздействиях нерегулярное расположение кирпичных стен заполнения в плане здания приводит к увеличению скручивающего эффекта. При этом, в работе указано, что кирпичные стены заполнения в монолитных конструкциях преимущественно работают на сжимающие усилия. В работах охарактеризован механизм разрушения кирпичной стены заполнения при горизонтальных воздействиях как процесс, происходящий в 3 стадии. При первой стадии деформации носят упругий характер. Конструкция работает как анизотропное монолитное тело. Продолжительность этой стадии зависит от прочности сцепления между кладочным элементом и раствором. С ростом нагрузки при второй стадии прогрессирует разрушение кирпичной стены и появляются первые трещины в направлении сжатой диагонали. При третьей стадии кирпичная стена расслаивается по растворным швам и наступает разрушение отдельных элементов из-

DOI: 10.38054/iaeee-202225 2/2022(14)

за среза и изгиба. В этих работах также установлено, что кирпичная стена заполнения разрушается либо по сжатой диагонали, либо по горизонтальным швам, либо раздроблением кладочных элементов в сжатых углах, раздавливанием раствора, либо потерей устойчивости стенки пустотелых кладочных элементов стены. Также установлено, что после появления трещин кирпичные стены заполнения продолжают выдерживать нагрузку в пределах 85%…90% от общей разрушающей нагрузки. Экспериментальными исследованиями установлены также недостатки экспериментальных подходов к исследованию влияния кирпичных стен заполнения [9]. Эти недостатки, описываемые в работе, заключаются в высокой стоимости, трудоемкости и невозможности исследовать образцы в натуральном масштабе, а также в невозможности многообразно варьировать исходные параметры на одном исследуемом образце.

В случае строгих стандартов, предлагаемый вклад показан поражениями с типичным X-образным внешним видом, которые указывают разрушение при сдвиге при переменных циклических нагрузках. Обоснование этой тенденции обосновывается тем, что голые рамы спроектированы с учетом изгибных режимов с образованием пластиковых шарниров в соответствие узлов под действием боковых нагрузок, в то время как в буферизованных кадрах установлен механизм стойки в панели с эффектом связи и тяги в столбах [3].

Рисунок 2. Сдвиговое разрушение стеновой панели, подверженной переменным циклическим нагрузкам

Жесткость заполненного каркаса отличается от жесткости пустого каркаса из-за заполнения. Используемая нами схема расчета - заменить стеновую панель эквивалентным диагональным раскосам. С этой целью механизм раскоса срабатывает после увеличения горизонтальных воздействий, когда происходит разделение между

DOI: 10.38054/iaeee-202225 2/2022(14)

стеновой панелью и каркасом, что сопровождается скольжением как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении [1, 2].

Добавим раскос согласно схеме расчета:

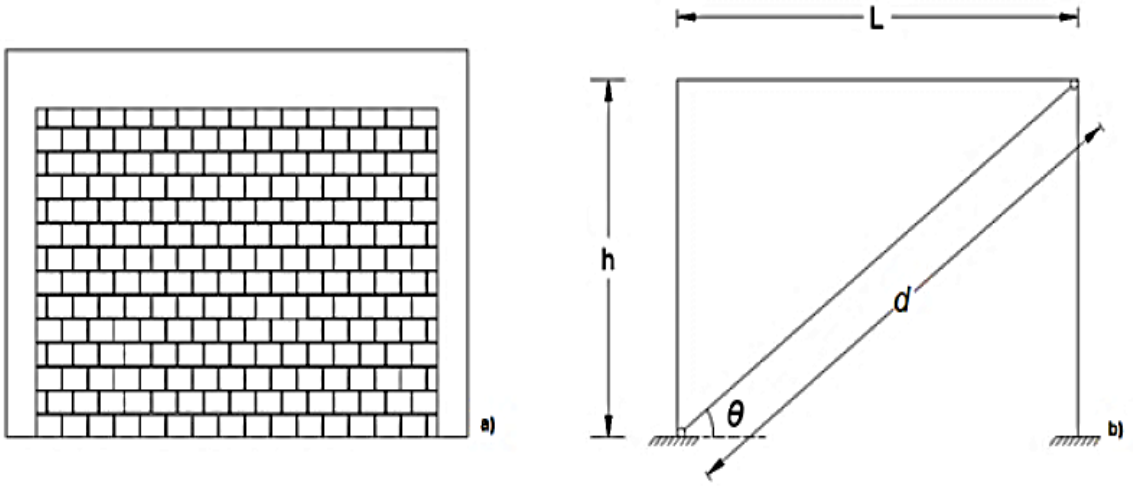

Рисунок 3: Заполненная несущая стена (а) и соответствующая схема расчета (б)

и для вычисления общей жесткости каркаса мы вынесем сумму жесткости каркаса, состоящего только из балок и опор, и жесткости раскоса:

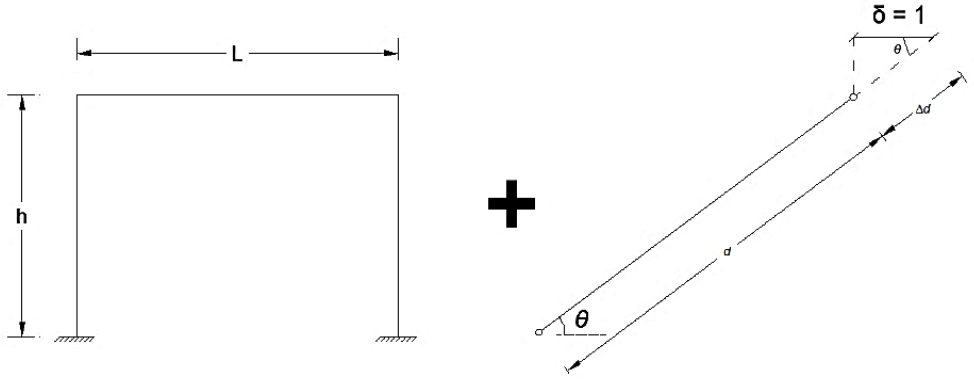

Рисунок 4: Разбивка расчетной модели на сумму двух элементов

Для первого слагаемого используем предыдущий результат, а для второго можем наблюдать, что для деформированного шатуна осевая жесткость равна следующему:

$$K_{\text{осевой}} = \frac{E_W \cdot A_W}{d} \cdot \Delta d$$

где:

Ew - модуль упругости заполнения;

Aw - площадь поперечного сечения раскоса;

θ - угол наклона раскоса относительно горизонтали;

d - длина шатуна;

Δd, - осевая деформация, соответствующая унитарному горизонтальному смещению, равная произведению *Δd = 1 · cosθ*;

DOI: 10.38054/iaeee-202225 2/2022(14)

Вернув осевую жесткость обратно в глобальную систему координат каркаса, мы получаем:

$$K_{\text{раскос}} = \frac{E_W \cdot A_W}{d} \cdot 1cos\theta \cdot cos\theta = \frac{E_W \cdot A_W}{d} \cdot cos^2\theta$$

Из чего следует, что:

$$A_{Wi} = 0{,}1 \cdot d_i \cdot t_i$$

$$A_W = \frac{0{,}1 \cdot t_1 \cdot cos^2\theta_1 + 0{,}1 \cdot t_2 \cdot cos^2\theta_2}{cos^2\beta} \cdot d$$

Используя круглое сечение, мы можем вывести его радиус как:

$$\mathrm{r} = \sqrt{\frac{\mathrm{A}}{\pi}}$$

$$K_T = K_{\text{каркас}} + K_{\text{раскос}} = \frac{12\,EI_t}{h^3} + \frac{E_W \cdot A_W}{d} \cdot cos^2\theta$$

Что касается расчета жесткости раскоса, мы видим, как A_w, площадь поперечного сечения заполнения, определяется как произведение двух измерений:

- *толщина раскоса t*, равная толщине самого заполнителя;
- *ширина раскоса w*, значение которой оказывает большое влияние на общее значение жесткости и оценка которой различается в зависимости от выбранной модели.

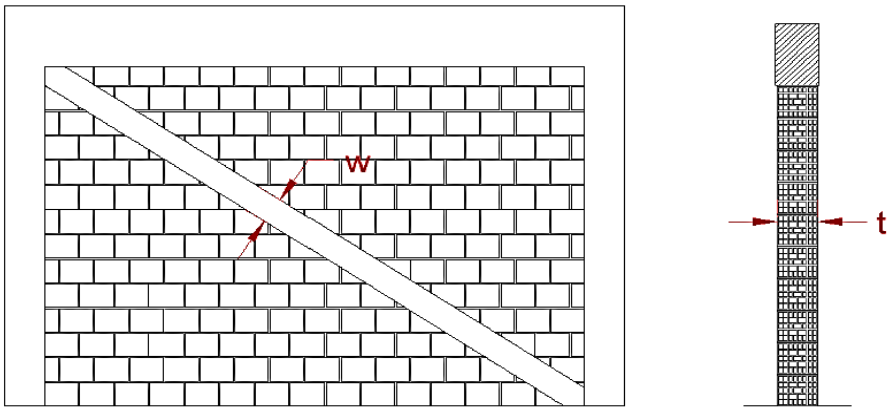

Рисунок 5: Геометрические параметры сечения диагонального эквивалентного раскоса

В случае панели с проемами можем оценить расчет жесткости двумя различными способами:

•в первом случае мы можем схематизировать панель с проемами как сумму трех частей: центральной области, где имеются отверстия, и двух полных половинчатых панелей справа и слева от отверстия. Таким образом, в целом, исключая центральную область, мы можем оценить пользу полной панели как сумму полезности двух

DOI: 10.38054/iaeee-202225 2/2022(14)

устойчивых неполных панелей, размещенных по бокам отверстия, моделируя каждую вспомогательную панель как сжатое диагональное стропило;

- однако был реализован второй подход, путем замены на панели, диагональное напряженное стропило, характеристики которого определяются без учета наличия отверстия, чтобы затем соответствующим образом уменьшить размер ширины стропила посредством редуктивного коэффициента, соответствующим образом, откалиброванным на отношениях между отверстием и панелью;

Также как и было предложено в некоторых проанализированных моделях, о заменить панель эквивалентной моделью, которая включает в себя два раскоса разумной геометрической конфигурации, соответствующей части заполнения по бокам отверстия [1, 2].

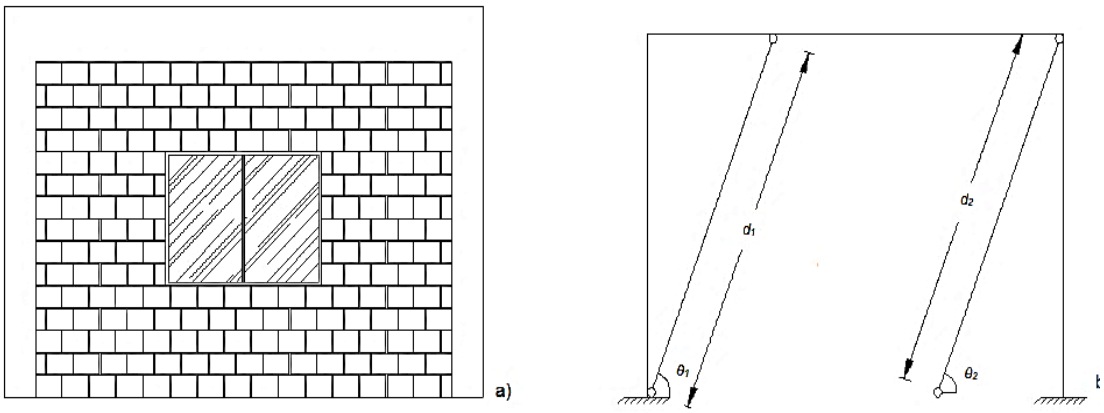

Рисунок 6: Каркас, заполненный с отверстием (а) и модель для расчета жесткости (б).

Каждое стропило будет иметь свои собственные геометрические размеры, аналогичные геометрическим размерам, указанным в предыдущем абзаце. Таким образом, общая жесткость определяется суммой жесткости структурного каркаса и двух эквивалентных стропил:

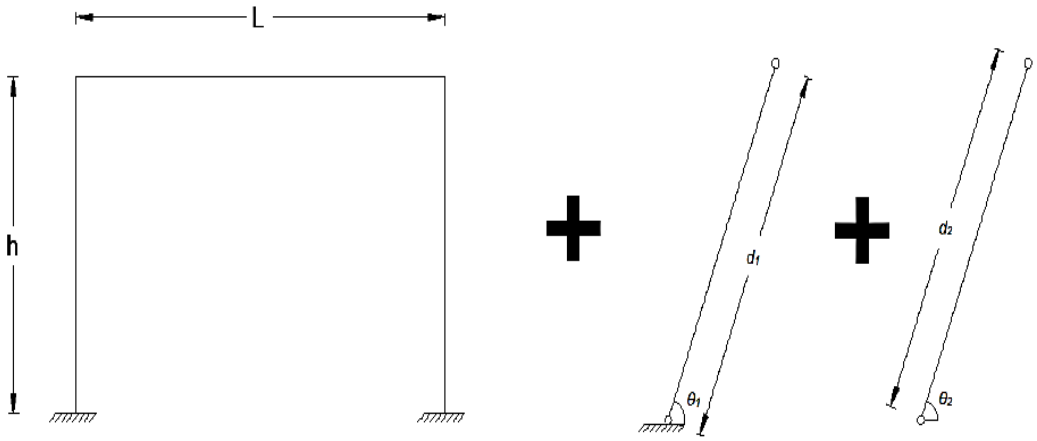

Рисунок 7: Общая жесткость как сумма нескольких элементов

DOI: 10.38054/iaeee-202225 2/2022(14)

Для каждого стропила применяется приведенная выше формулировка:

$$K_{\text{раскос}} = \frac{E_W \cdot A_W}{d_i} \cdot cos^2\theta_i = \frac{E_W \cdot t_W \cdot b_{Wi}}{d_i} \cdot cos^2\theta_i$$

Где, толщина панели t_W;

модуль упругости кладки E_W; E_W = 900 Н/мм2; G = 300 Н/мм2;

одинаковы для обоих стропил, поскольку являются механическими и геометрическими характеристиками, которые не изменяются в пределах одной и той же панели. В то время как длина шатуна и его наклон зависят от геометрических характеристик отверстия. Если штамповка отцентрирована относительно панели, у нас будет две одинаковые диагональные стойки, но, тем не менее, у нас могут быть разные конструктивные ситуации, поэтому общая жесткость каркаса будет равна [1]:

$$K_T = K_{\text{каркас}} + K_{\text{раскос.1}} + K_{\text{раскос.2}} + \ldots$$

Таблица 1: Механические характеристики существующей кладки

Tipologia di muratura	f_m (N/cm²) Min-max	τ_0 (N/cm²) min-max	E (N/mm²) min-max	G (N/mm²) min-max	w (kN/m³)
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18

Таблица 2: Форма и расположение на фасаде стропил (раскос), схематическая кладка заполнителя и расчет жесткости кладки

Случай	d_w (m)	$d_{w,1}$ (m)	$d_{w,2}$ (m)	θ	θ_1	θ_2	E_W (KN/m²)	$A_{(площ)}$ (m²)	$A_{(площадь шатуна)}$	r	$K_{раскос}$ (KN)
1	5,94	3,39	3,46	33,66	71,03	72,01	900000	2,145	0,108	0,186	110009
2	5,82	3,14	3,14	32,05	72,49	72,49	900000	2,145	0,094	0,173	110665
3	4,28	3,05	3,05	45	78,69	78,69	900000	2,145	0,033	0,103	37977
4	5,52	3,38	3,38	37,3	81,5	81,5	900000	2,177	0,023	0,087	24346
5	5,83	3,12	3,08	30,96	73,64	76,52	900000	1,950	0,068	0,147	75206
6	5,83	3,24	3,81	30,96	67,71	51,93	900000	1,950	0,269	0,293	252497
7	6,23	-	-	28,74	-	-	900000	2,145	0,404	0,359	237981
8	6,38	-	-	31,1	-	-	900000	2,145	0,414	0,363	221795
9	6,44	-	-	31,86	-	-	900000	2,145	0,418	0,365	216132
10	6,89	-	-	29,54	-	-	900000	2,145	0,447	0,377	211822

DOI: 10.38054/iaeee-202225 2/2022(14)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проектировании каркасно-монолитных зданий с каменным заполнением необходимо учитывать взаимодействие заполнения с элементами каркаса. В одних случаях это позволяет сэкономить материальные ресурсы при возведении здания, снизить энергозатраты и стоимость строительства, а в других – предотвратить непрогнозируемое наступление предельных состояний заполнения или элементов каркаса [4].

Статический расчет каркаса с учетом его взаимодействия с каменным заполнением может быть реализован с применением упрощенных моделей заполнения, основанных на стержневой аналогии (замене заполнения сжатыми раскосами). При этом модуль упругости стержневых подкосов назначается таким же, как модуль упругости каменной кладки, а площадь поперечного сечения зависит от ряда факторов, главными из которых являются жесткостные характеристики кладки, геометрические размеры панели заполнения, размеры и положение проемов, параметры контактной зоны.

Действующие нормативные документы требуют корректировки в части предельных значений углов перекоса панелей каркаса, заполненных каменной кладкой, а также прогибов перекрытий, на которые опираются каменные стены и перегородки [6].

В рассмотренной научной литературе достаточное количество публикаций посвящено влияние наружных стен с проемами и без них на каркасные здания. Исследования проводились в основном на плоских каркасах. Недостаточно изучено влияние наружных стен с проемами и без них на пространственную работу монолитных каркасных зданий. Не исследовано перераспределение усилий в ригелях и колоннах при наличии и отсутствии наружных стен с проемами и без никакого-либо этажа. Однако из анализа проведенного обзора литературы можно сформулировать следующие основные выводы:

Установлено, что не проведены исследования прочностных характеристик влияние наружных стен с проемами и без них на каркасные здания при сейсмических воздействиях для исследования их влияния на пространственную работу монолитных каркасных зданий, возводимых в Кыргызстане;

Существующие результаты исследований указывают на то, что наружные стены с проемами и без них при землетрясениях приводят к увеличению жесткостных параметров. В тоже время указано, что наружные стены с проемами могут привести к положительным или отрицательным эффектам.

DOI: 10.38054/iaeee-202225 *2/2022(14)*

Признана целесообразность применения численных подходов к исследованию влияния наружных заполнения, как альтернативный подход для исключения дорогостоящих и трудоемких экспериментальных исследований;

Установлено, что колонны и кирпичные стены заполнения монолитных каркасных зданий преимущественно работают на сжатие;

Установлено, что вопрос исследования влияния стеновых заполнений является комплексным в связи с невозможностью одновременно исследовать возможные факторы, способные влиять на результаты исследования;

Установлена недостаточность информации о влиянии наружных стен с проемами и без них на каркасные здания при сейсмических воздействиях. На основе применения результатов экспериментально-теоретических исследований наружных стен с проемами и без них на каркасные здания, восполнению указанного недостатка и посвящено данное исследование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ***Энсебеков А.Э.,*** *«Предложение по сейсмической модернизации исторического здания инженерного факультета в г. Аквила» PhD диссер.*
– Аквила, Италия, 2016.
2. ***Энсебеков А.Э., Исиев Т.Ж.*** *«Изучение системы базовой изоляции зданий и сооружений» Наука и инновационные технологии, МУИТ, №1(14). С.253-263 – Бишкек, 2020.*
3. ***Smith B., Carter C.*** *«A method of analysis for infilled frames», Proceedings of the Institution of Civil Engineers vol.44: 31-48. – London, 1969.*
4. ***Bonardi A.,*** *«Influenza della modellazione strutturale sulla risposta sismica si edifici in cemento armato» 2004.*
5. ***Bazzurro P., Mollaioli F., Bruno S.*** *«Influenza delle tamponature sul rischio sismico degli edifici in calcestruzzo armato», 2009 De Sortis.*
6. ***Calvi G.M., Bolognini D.*** *«Risposta sismica di telai in c.a. tamponati con pannelli in muratura debolmente armati».*
7. ***Pujol S., Benavent-Climent A., Rodriguez M., Smith-Pardo J. Masonry*** *infill walls: An effective alternative for seismic strengthening of low-rise reinforced concrete building structures // Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China, 2008. p. 1–8.*
8. ***Алявдин П.В.*** *«Расчет железобетонных рам с учетом пластического и хрупкого разрушения элементов» / П.В. Алявдин, Г.В. Буланов // Сборник научных трудов. СтроиМедиаПроект. – Минск. – 2013. – Выпуск 5.*
9. ***Белов В.В.*** *«Экспертиза и технология усиления каменных конструкции» /В. В Белов, В.Н. Деркач // Инженерно-строительный журнал. СПБ., – 2010. –№7. – С. 14–20.*