

АНАЛИЗ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ 14 –ЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ СО СВЕТОПРОЗРАЧНЫМ ФАСАДОМ

Давронов Олимбек

к.т.н., и. о. профессора кафедры «Строительство»

ТАШКЕНТСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КИМЁ

<https://orcid.org/0009-0005-2929-158X>

o.davronov@kiut.uz

Туляганов Азиз

Магистрант кафедры «Строительство»

ТАШКЕНТСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КИМЁ

azizjon1020@gmail.com

Аннотация: В работе исследовано влияние светопрозрачных фасадов на сейсмостойкость высотного здания, определена местная сейсмическая нагрузка, действующая на элементы светопрозрачного фасада и максимальное относительное горизонтальное смещение каркаса здания, влияющая на работу ячейки фасада. Выполнен сравнительный анализ результатов расчёта с аналогичными результатами такого здания с кирпичным заполнением.

Abstract: This paper examines the impact of translucent facades on the seismic resistance of a high-rise building. It determines the local seismic load acting on the translucent facade elements and the maximum relative horizontal displacement of the building frame, which affects the performance of the facade cell. A comparative analysis of the calculation results with similar results for a similar building with brick infill is performed.

Annotatsiya: Maqolada oynavand fasadlarni ko'p qavatli binoning zilzilabardoshligiga ta'siri tadqiq qilingan, oynavand fasadni elementlariga tushadigan mahalliy seysmik ta'sir aniqlangan va bino karkasining fasad yachaykasi ishiga ta'sir etuvchi maksimal gorizontal siljishi aniqlangan. Hisoblash natijalari g'isht to'ldiruvchili shunday binoni hisob-kitoblari bilan taqqoslangan.

Ключевые слова: светопрозрачные фасады, ограждающие конструкции, сейсмические силы, горизонтальные перемещения каркаса.

Key words: translucent facades, enclosing structures, seismic forces, horizontal frame movements.

Kalit so'zlar: oynavand fasadlar, to'siq konstruksiyalar, seysmik kuchlar, karkasni gorizontal ko'chishi.

Введение. Светопрозрачные фасады благодаря архитектурной выразительности, технологичности, энергоэффективности связанный с улучшением внутреннего освещения здания, находят широкое применение в строительстве общественных и промышленных зданиях.

Помимо выполнения ограждающей функции, данные конструкции воспринимают ветровые, эксплуатационные и иные нагрузки, которые передаются далее на несущие элементы здания. В сейсмоопасных районах, к которым относится большая часть территории нашей республики, они также участвуют в восприятии местных сейсмических воздействий. Как ограждающие конструкции они обладают определенными теплозащитными свойствами, которые являются немаловажным фактором, способствующим к их широкому применению. Подробный обзор работ посвященных анализу теплозащитных свойств этих конструкций приведен в работе [3]

Как отмечается в работе [2], одной из нерешённых проблем, связанных со светопрозрачными конструкциями, остаётся малая изученность их поведения в условиях сильных сейсмических колебаний, а также анализ их влияния на общую сейсмостойкость зданий. В отечественной научной литературе практически отсутствуют комплексные исследования, посвящённые этой теме.

Согласно действующим строительным нормативам [7], внедрение новых материалов и конструктивных решений в районах с высокой сейсмической активностью должно сопровождаться научным обоснованием и обеспечением необходимого уровня сейсмической безопасности проектируемых объектов.

Светопрозрачные фасады относятся к категории ненесущих

строительных элементов. По нормам [7], такие элементы, а также их узлы крепления, не должны снижать уровень сейсмостойкости здания и нарушать принятую расчетную модель. После воздействия землетрясения нормативной интенсивности, конструкция должна сохранять ремонтпригодность. Поскольку эти фасады являются ненесущими, их расчет на воздействие местных сейсмических нагрузок из плоскости ограждения должен выполняться по первому предельному состоянию.

Обзор литературы по теме. Одним из первых исследований, посвященных изучению поведения светопрозрачных ограждающих конструкций при сейсмическом воздействии, является работа, проведенное в 1960 году в Калифорнийском университете [11]. Авторы приходят к выводу, что конструкция рамы существенно влияет на сейсмическое поведение навесных ограждений и что стеклянные панели, использованные в испытаниях, имеют большой потенциал перемещения.

Анализы последствий землетрясений, прошедших в США [13], Новой Зеландии [14] и Японии [15] показали, что сейсмическая активность может оказать существенные влияния для надежности таких систем. После этих землетрясений в этих странах с высоким уровнем сейсмичности, были созданы нормы и правила для проектирования и испытания светопрозрачных ограждений. Хотя во время землетрясений в США 2001 [16], в Чили 2010 годах [17] эти конструкции показали себя достаточно надежными, повреждения в них все еще встречаются даже при землетрясениях умеренной интенсивности. Эти повреждения могут привести значительным экономическим потерям, так как, они часто являются не ремонтпригодными.

В работах [8, 9, 10, 12] исследуется напряженно-деформированное состояние элемента светопрозрачных фасадов под воздействием нагрузок типа сейсмических.

В нашей республике проблемы применения и сейсмостойкости зданий с светопрозрачными фасадами обсуждался в работах [1, 2, 3, 4, 5, 18].

Если в работе [3] обсуждается опыт и перспективы применения таких

фасадов в Узбекистане, в работах [1, 2, 4, 5, 18] рассматривается возможное влияние их, на ряду другими энергоэффективными ограждениями, на величину сейсмических нагрузок.

Анализ работ показывают, что несмотря на широкое распространение светопрозрачных фасадных систем в строительстве объектов различного назначения в нашей стране, до настоящего времени отсутствуют целенаправленные научные исследования, анализирующие их поведение в сейсмических условиях. Также не разработаны четкие нормативные рекомендации, регламентирующие их применение с учетом сейсмической безопасности.

Таким образом, проблема изучения поведения светопрозрачных фасадов в условиях сейсмического воздействия остается недостаточно исследованной. Это обуславливает необходимость проведения всесторонних теоретических и экспериментальных работ в данном направлении.

Методология исследования. В связи с этим, настоящей работе исследуется сейсмостойкость 14-этажного каркасного здания с светопрозрачным фасадом, анализируется влияние этого фасада на динамические характеристики здания и напряженно-деформированного состояния несущих элементов каркаса.

Определяется максимальное горизонтальное смещение здания и относительное смещение, которому подвергаются, элементы светопрозрачного фасада при воздействии сейсмической нагрузки.

Приводится сравнительный анализ с результатами расчёта аналогичного здания с кирпичным заполнением. Для этого, выполнен расчет железобетонного каркаса этих зданий с кирпичным заполнением и светопрозрачным фасадом на статические (постоянные, временные и кратковременные) и сейсмические нагрузки при помощи программы «Лира».

Анализ и результаты расчета. Конструктивно здание представляет собой пространственный железобетонный каркас, с жесткими узлами и диафрагмами жесткости, с заполнением из кирпичной кладки (1-вариант) и из светопрозрачного фасада (2-вариант), не участвующих в восприятии

сейсмических нагрузок.

План типового этажа и разрез рассматриваемого здания показаны на рисунках.1, 2.

Результаты расчетов здания с двумя вариантами ограждения и их сравнение приведены в таблицах 1, 2, 3 и графиках приведенных на рисунках 3, 4.

В таблице 1 приведены динамические характеристики зданий, такие как собственные частоты ω и периоды свободных колебаний T для первых трех основных форм колебаний 14-этажных каркасных зданий с светопрозрачным фасадом и с кирпичным заполнением.

Таблица 1.

№ формы колебаний		1		2		3	
Направление колебаний		по оси X	по оси Y	по оси X	по оси Y	по оси X	по оси Y
Здание с светопрозрачным фасадом	ω, c^{-1}	3,77929	4,34977	5,65723	21,4405	15,6228	84,3566
	T, c	1,66169	1,44376	1,11009	0,2929	0,40198	0,07445
Здание с кирпичным заполнением	ω, c^{-1}	3,93548	4,18112	18,1505	21,3787	40,9743	52,23281
	T, c	1,59574	1,50199	0,346	0,29375	0,15327	0,12023
Отношение Светопр. фасад Кирпич. запол.	ω, c^{-1}	0,96	1,04	0,31	1,003	0,38	1,62
	T, c	1,07	0,96	3,21	0,997	2,62	0,62

Анализ значений собственных частот и периодов колебаний каркасного здания, вычисленных в результате расчетов, показывают, что для первой формы колебаний эти характеристики в обоих направлениях практически совпадают. Для второй формы колебаний по направлению оси X в работу включаются кирпичные заполнения и увеличивают жесткость здания в этом направлении, по направлению оси Y они практически совпадают. Для третьей формы колебаний если по направлению X частота колебаний больше при кирпичном заполнении, то по направлению оси Y частота колебаний больше при светопрозрачном фасаде. Все это показывает, что, при второй и третьей формах колебаний, на значения собственных частот и периодов колебаний оказывают влияния вес кирпичных заполнений и светопрозрачных фасадов.

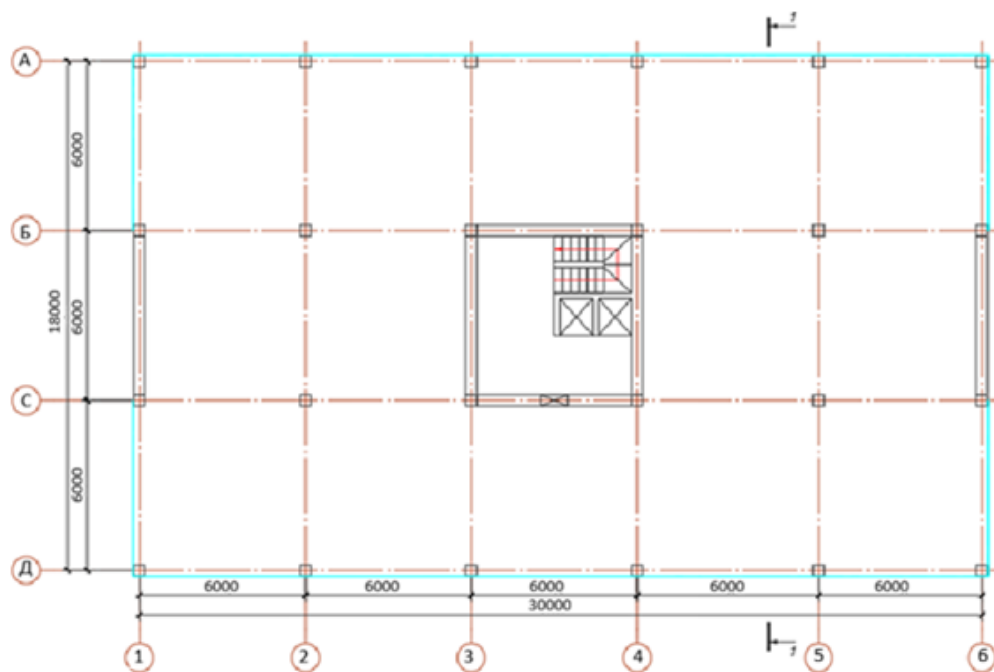


Рис.1. План типового этажа.

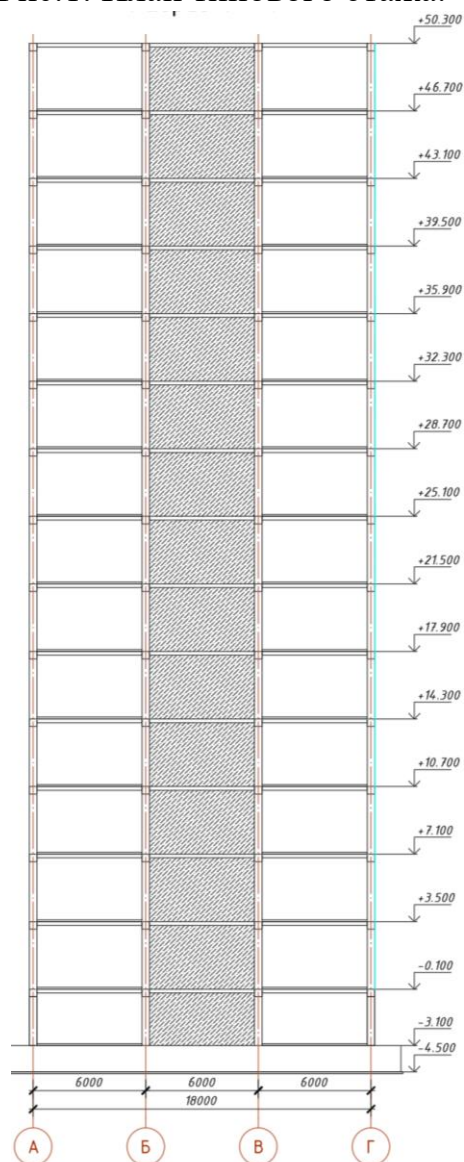


Рис.2. Разрез здания.

В таблице 2 приведены максимальные значения внутренних усилий и перемещений, возникающих в элементах каркаса от статической нагрузки (постоянных, временных и кратковременных нагрузок) и от сейсмических нагрузок действующих по направлениям осей X и Y, определенных по результатам расчетов здания со светопрозрачным фасадом и кирпичным заполнением и их сравнение.

Сравнение максимальных и минимальных значений внутренних усилий и перемещений, возникающих в элементах каркаса

Таблица 2.

Тип Здания		Со светопрозрачным фасадом			С кирпичным заполнением			Отношение Светопроз. фасад Кирпич.заполнение в %		
Вид Нагрузки		Статичес. нагрузка	Сейсмич. нагр. по оси X	Сейсмич. нагр. по оси Y	Статичес. нагрузка	Сейсмич. нагр. по оси X	Сейсмич. нагр. по оси Y	Статичес. нагрузка	Сейсмич. нагр. по оси X	Сейсмич. нагр. по оси Y
M_x	max (+)	5,36	14,68	9,85	7,14	17,45	11,66	75	84	85
	min (-)	5,39	14,53	10,01	7,08	17,27	11,85	75	84	85
M_y	max (+)	19,62	83,33	86,41	27,67	99,16	103,56	71	84	83,5
	min (-)	28,76	96,66	86,33	42,0	113,88	103,48	68,5	85	83,4
M_z	max (+)	19,84	46,49	82,53	28,41	55,76	98,94	70	83,4	83,4
	min (-)	19,25	47,4	52,17	27,74	56,81	61,12	69,4	83,4	85,4
Q_y	max (+)	33,12	85,41	145,35	41,8	103,43	174,28	72,9	82,6	83,4
	min (-)	32,42	87,33	24,4	41,14	104,6	29,26	78,8	83,4	83,4
Q_z	max (+)	44,77	71,0	60,54	61,57	85,12	72,44	72,7	83,4	83,6
	min (-)	44,85	92,89	198,48	61,68	111,68	237,86	72,7	83,2	83,4
N	max (+)	32,8	589,6	785,79	43,14	706,41	941,41	76	83,4	83,1
	min (-)	444,68	578,13	789,32	576,03	692,8	945,51	72,4	83,4	83,5
F		18,99	255,3	226,5	24,66	304,0	269,39	77	84	83,1

Анализ результатов показывают существенное влияние применения светопрозрачных фасадов на величины внутренних усилий и перемещений, возникающих в несущих элементах каркаса. Так, внутренние усилия и перемещения, от постоянных и временных нагрузок уменьшаются на 21-31%, а от сейсмических нагрузок на 15-17%. Это означает, что уменьшение веса здания за счет применения светопрозрачных фасадов, хотя и влияет на

динамические характеристики здания при второй и третьей форме колебаний, практически приводит снижению максимальных значений внутренних усилий и перемещений каркаса здания от статических и сейсмических нагрузок. Соответственно уменьшаются значения максимальных усилий, по которым подбирается площадь рабочей арматуры колонн и ригелей каркаса. А это в свою очередь приводит уменьшению процента армирования несущих элементов и снижению расхода материалов.

Характерные максимальные усилия и процент армирования элементов
конструкции здания

Таблица 3.

Максимальные по модулю значения	Схема с светопрозрачным фасадом	Схема с кирпичным заполнением	Расхождение, %
Сжимающие продольные силы в колоннах, кН	785,788	941,435	16,53
Изгибающие моменты в плоскости ригеля, кН·м	86,407	103,560	16,56
Изгибающие моменты в колоннах в поперечном направлении, кН·м	34,173	40,865	16,38
Изгибающие моменты в колоннах в продольном направлении, кН·м	82,527	98,944	16,59
Поперечные силы в плоскости ригеля, кН	18,698	22,299	16,15
Поперечные силы в колоннах в поперечном направлении, кН	82,527	98,944	16,59
Поперечные силы в колоннах в продольном направлении, кН	145,350	174,276	16,60
Процент армирования ригелей	1,69	2,14	21,03
Процент армирования колонн	2,22	3,15	29,52

Графики деформаций каркаса приведенные в рисунках 3 и 4 показывают, что максимальные значения их в обоих вариантах ограждений достигаются по направлению оси X. При этом разница между этими значениями показывает что перемещение верхней части здания при светопрозрачном фасаде по оси X на 48 мм, а по оси Y на 44 мм меньше чем здания с кирпичным заполнением.

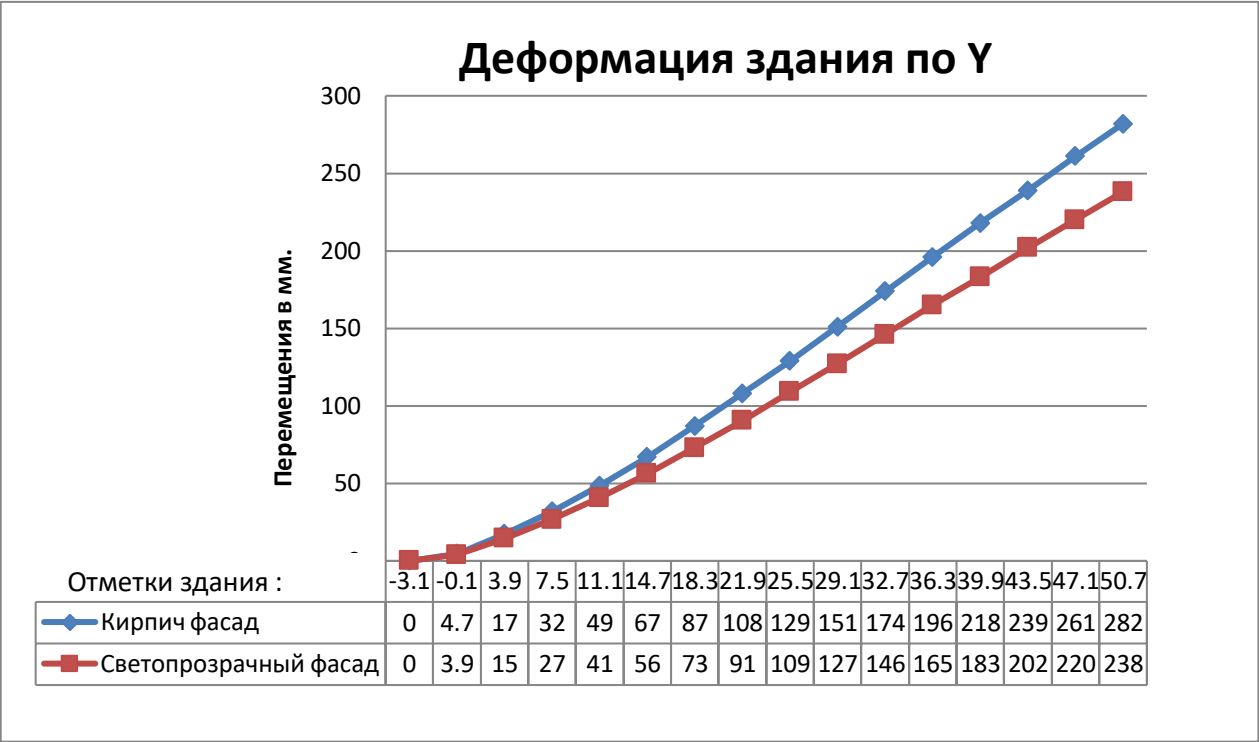


Рис. 3

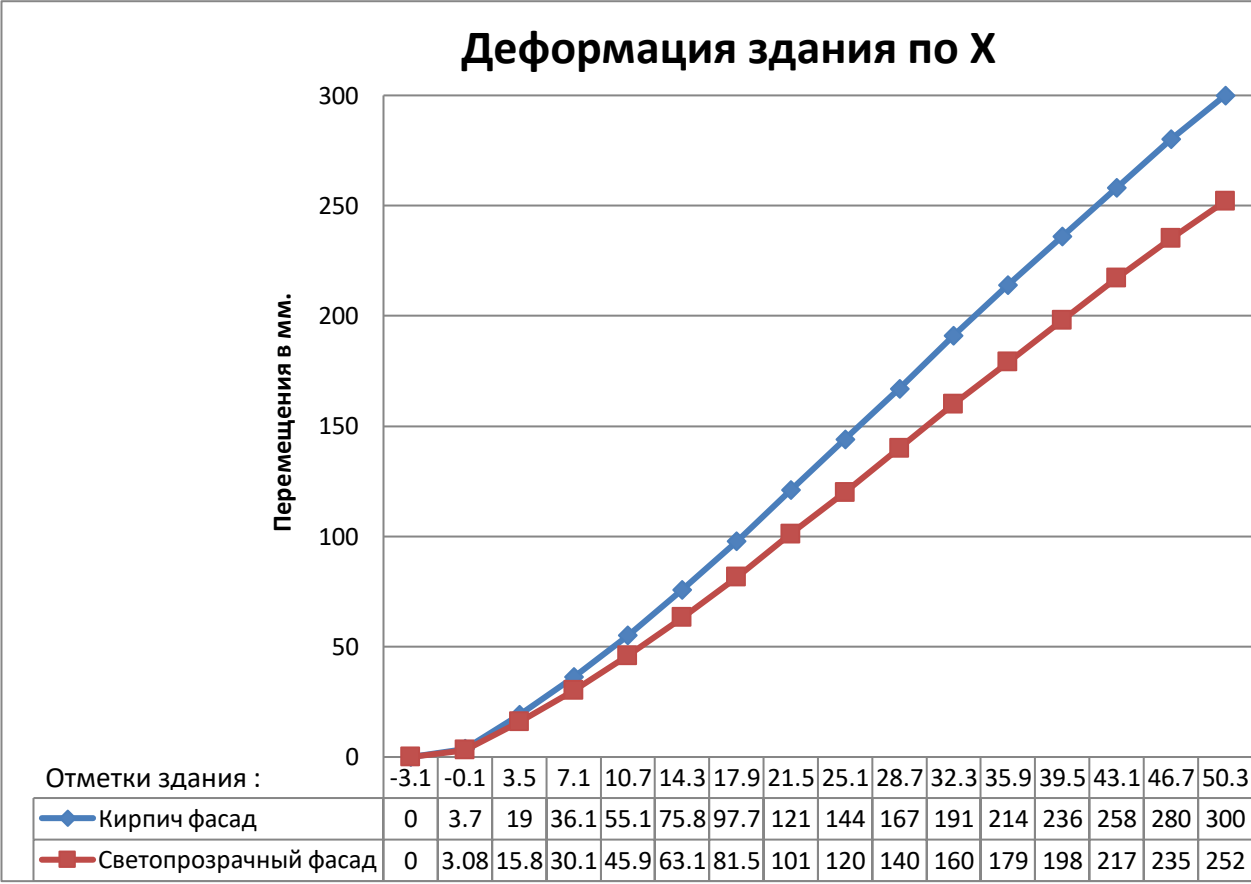


Рис. 4

Максимальные относительные перемещения междуэтажных пространств составляют по оси X на первом этаже для здания с кирпичным заполнением составляет 15,3 мм, а для здания светопрозрачным фасадом равен 12,7 мм. Максимальные значения относительных перемещений имеет место на уровне 9-го этажа и достигает для 1-го варианта величину 24 мм, а для второго варианта 20 мм. Поэтому кирпичную кладку заполнения и раму светопрозрачного фасада необходимо проверить на эти горизонтальные смещения.

Выводы и предложения: По результатам анализа можно сделать следующие выводы:

1. Вид ограждающих конструкций оказывает определенное влияние на динамические характеристики здания. Она проявляется в изменениях величин собственных частот и амплитуды колебаний во второй и третьей формах колебаний. Это происходит как следствии увеличения пространственной жесткости здания из-за учета пространственной работы ограждающих конструкций в расчете. Однако, такое изменение динамических характеристик практически не оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние несущих элементов каркаса здания.

2. Снижение веса здания за счет применения светопрозрачных фасадов приводит к значительному уменьшению величин внутренних усилий и перемещений от статических и сейсмических нагрузок в сравнении с зданием с кирпичным заполнением.

3. Вследствии уменьшения величин внутренних усилий и перемещений соответственно уменьшаются значения максимальных усилий, по которым подбираются площади рабочей арматуры несущих элементов каркаса. Процент армирования колонн и ригелей при применении светопрозрачных фасадов уменьшаются соответственно на 16,6 и 21,3 процента в сравнении с кирпичным заполнением.

4. Абсолютное максимальное перемещение каркаса при кирпичном

заполнении достигает величину 300 мм по оси X, 282 мм по оси У. Соответствующие перемещения каркаса при светопрозрачном фасаде равны 252 мм и 238 мм. Разница составляет соответственно 48 мм и 44 мм, что является достаточно существенным для высотного здания.

5. Максимальное значение относительного смещения межэтажного пространства в горизонтальном направлении составляет для здания кирпичным заполнением 24 мм, для здания с светопрозрачным фасадом 20 мм, что на 20 процентов меньше. Так как эти смещения происходят в основном от воздействия сейсмических нагрузок, то кирпичную кладку и раму светопрозрачного фасада расположенного в ячейке каркаса необходимо рассчитать на эти местные сейсмические воздействия.

Авторы считают, что, для полного анализа влияния светопрозрачного фасада на сейсмостойкость каркасных зданий и оценки напряженно-деформированного состояния ячейки светопрозрачного фасада одних теоретических исследований недостаточно. Для этого необходимо проведение экспериментальных исследований, путем моделирования работы рамы каркаса с монтированным на него ячейки светопрозрачного фасада, на сейсмические силы и относительное смещение этажа здания, возникающего при землетрясении.

Литература

1. О. Давронов. Проблемы сейсмостойкости каркасных зданий с легкими (энергоэффективными) ограждениями и пути их решения. “Bino va inshootlarning seysmik xavfsizligi, energiya samaradorligi, zamonaviy qurilishda innovatsion texnologiyalar” xalqaro ilmiy-texnik anjuman. TAQU. Toshkent 2024 y.
2. Давронов О. «О сейсмостойкости каркасных зданий с энергоэффективными ограждениями». Вестник международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству №2/2022(14). Бишкек 2022. 33-36 стр.
3. Давронов О.Д., Инамов Б.Н. Светопрозрачные ограждения в Узбекистане:

опыт и перспективы. Central Asian Journal of Stem. Annual Republican Scientific and Practical Conference «Current state and prospects for the development of architecture, construction and alternative energy», November 19-21, 2021.

4. Давронов О. Матякубов Д. «Сейсмостойкость зданий с светопрозрачными фасадами». Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в строительстве». Toshkent arxitektura-qurilish universiteti. 2023 yil, 25- may. Part 2 134-135 стр.

5. М. М. Миралимов, О. Давронов, Э. Отамурастов. «Оценка сейсмостойкости каркасного здания с энергоэффективным ограждением». The Scientific-Practice Journal of Architecture, Construction and Design №3. Тошкент архитектура-қурилиш институти. Тошкент 2022. 137-141 стр.

6. Подковырина К. А., Подковырин В. С. Энергоэффективные светопрозрачные ограждающие конструкции (современная историография вопроса) // Урбанистика. - 2016. - №3 – с.49-60.

7. «Строительство в сейсмических районах». QMQ 2.01.03-2019. Ташкент-2019.

8. Behr. R.A, Belarbi A. (1996). Seismic test methods for a rechitectural glazing systems. Earthquake Spectra, Vol. 12.

9. Behr R.A. (1998) Seismic Performance of Architectural Glass in Mid-Rise Curtain Wall. Journal of Architectural Engineering, Vol. 4(3).

10. Hutchinson, T.C., Eva, C. (2009). Experimental evaluation of the in-plane seismic behavior of store-front window systems. University of California, San Diego La Jolla.

11. Bouwkamp, J. G. (1960). Behavior of window panels under in-plane forces. Structures Material Research Series, University of California, Berkeley, California

12. Mircea Bârnaure, Mihai Voiculescu – “The seismic behavior of curtain walls: an analysis based on numerical modelling” Mathematical Modelling in Civil Engineering Vol. 9-No. 4-2013 Doi: 10.2478/mmce-2013-0013.

13. Earthquake Engineering Research Institute (1990). Loma Prieta earthquake

reconnaissance report. Earthquake Spectra Vol. 6(1).

14. Earthquake Engineering Research Institute (1995). Northridge earthquake reconnaissance report. Earthquake Spectra Vol. 11(2).

15. Earthquake Engineering Research Institute (1995). The Hyogo-ken Nanbu Earthquake January 17, 1995: Preliminary Reconnaissance Report. Earthquake Engineering Research Institute Report Nr. 95-04.

16. Earthquake Engineering Research Institute (2001). The Nisqually, Washington, Earthquake February 28, 2001: Preliminary Reconnaissance Report. Earthquake Engineering Research Institute Report Nr. 2001-01.

17. Earthquake Engineering Research Institute (2010). The Mw8.8 Chile Earthquake of February 27, 2010, Earthquake Engineering Research Institute Special Earthquake Report, 2010.

18. Turdaliyeva M. K. Arslanov I. K. Optimization of The Connection Node of The External Wall, Interfloor Slab, Balcony Slab and Seismic Belt for Improving Thermal Efficiency KJO Ugli - Emerging Frontiers Library for The American Journal of Interdisciplinary Innovations and Research. Tom 8, Homep3. Ctp. 9-14