DOI:10.33942/sit042263 **УДК 699.84**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ РАМНОЙ И РАМНО-СВЯЗЕВОЙ СИСТЕМЫ ПО ПРОГРАММЕ SEISMOSTRUCT

Матыева А. К.[1]., Эркинбек к. Г.[2]

[1]д.т.н., профессор, Международный университет инновационных технологий, Институт строительства и инновационных технологий. г.Бишкек, Кыргызстан. matyeva59@mail.ru
[2]магистр, преподаватель, Международный университет инновационных технологий, Институт строительства и инновационных технологий. г.Бишкек, Кыргызстан. guzi_95kg@mail.ru

Аннотация. *В данной статье был проведен сравнительный анализ рамной и рамно-связевой системы по программе SeismoStruct. Для анализа приняты 2 конструктивные решения железобетонной рамной и рамно-связевой системы.*

Ключевые слова: *железобетон, антисейсмический, расчет, диафрагмы жесткости, конструкция, несущие системы, железобетонные рамные и рамно-связевые системы.*

SEISMOSTRUCT ПРОГРАММА БОЮНЧА ТУТУМДУН ЖҮРҮМ-ТУРУМУНУН КАТУУЛУК ДИАФРАГМАСЫ ЖАНА КАТУУЛУК ДИАФРАГМАСЫ ЖОК САЛЫШТЫРМАЛУУ ТАЛДОО

Матыева А. К.,[1] Эркинбек к. Г.[2]

[1]т.и.д., профессор, Эл аралык инновациялык технологиялар университети , Курулуш жана инновациялык технологиялар институту. г.Бишкек, Кыргызстан.
matyeva59@mail.ru
[2]магистр, окутуучу, Эл аралык инновациялык технологиялар университети , Курулуш жана инновациялык технологиялар институту. г.Бишкек, Кыргызстан. guzi_95kg@mail.ru

Аннотация. *Бул макалада SeismoStruct программасы боюнча тутумдун жүрүм-турумунун катуулук диафрагмасы жана катуулук диафрагмасы жок салыштырмалуу талдоо жүргүзүлгөн. Талдоо үчүн темир-бетон каркас жана каркас-байланыш тутумунун 2 конструктивдүү чечими кабыл алынган*

Негизги сөздөр*: Жер титирөө, темир-бетон, эсептоо, антисейсмикалык, бекемдөөчү диафрагмалар, конструкциялар, подшипник системалары, темир-бетон каркас жана каркастык системалар.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF THE FRAME AND FRAME-LINK SYSTEM ACCORDING TO THE PROGRAM SEASMOSTRUCT

Matyeva A. K.[1]., Erkinbek k. G.[2]

[1]doctor of technical sciences, professor, International University of Innovative Technologies, Institute of Construction and Innovative Technologies. matyeva59@mail.ru
[2]undergraduate, teacher, International University of Innovative Technologies, Institute of Construction and Innovative Technologies. guzi_95kg@mail.ru

Annotation. *In this article, a comparative analysis of the frame and frame-link system was carried out according to the program SeasmoStruct. For the analysis, 2 design solutions of reinforced concrete frame and frame-link system were adopted.*

Keywords*: earthquake, reinforced concrete, self-protection, antiseismic, stiffening diaphragms, construction, bearing systems, reinforced concrete frame and frame-braced systems*

Введение. В последние годы все чаще обращаются к учету дефектов и повреждений, технологии строительства. В ряде работ показано, что нагрузки строительного периода могут достигать, а иногда и превышать эксплуатационные. Возникают значительные градиенты напряжений и перемещений. Отсюда необходимы технологические модели и модели мониторинга.

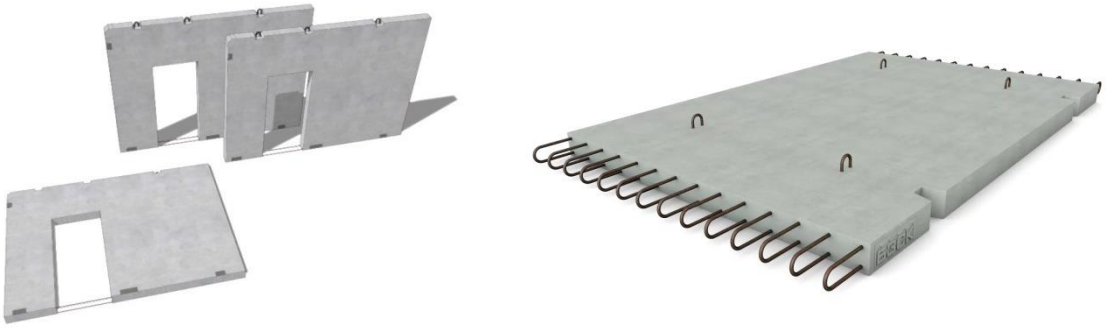
В связи с ростом нагрузок на основание и увеличением роли динамических возрастают требования к инженерно-геологическим, гидрологическим и климатическим изысканиям, а также к прогнозированию изменений в период эксплуатации [1,2].

Принципы проектирования в сейсмостойком строительстве для несущих элементов были включены в новых строительных нормах. В соответствии с этими нормами здания подразделяются на классы в зависимости их ответственности по назначению и этажности. Каждому сочетанию классов ответственности здания и этажности присваивается определенный коэффициент ответственности, который учитывается при определении расчетных сейсмических нагрузок. Конструктивные схемы зданий классифицированы на регулярные, умеренно нерегулярные и чрезмерно нерегулярные в плане или п высоте [3,4,5].

Диафрагмы жесткости незаменимы при строительстве многоэтажных зданий из сборных железобетонных блоков и монолитного железобетона, а также при возведении зданий сборно-монолитным способом.

Железобетонные (ЖБ) диафрагмы жесткости могут быть выполнены в самой различной форме, выбор которой зависит от назначения сооружения и особенностей проекта. Наиболее востребованными в современном строительстве являются такие формы диафрагм жесткости как: - плоские стены; - замкнутые сечения многоугольников.

ЖБ диафрагмы жесткости могут быть изготовлены с проемами и без них, также различают плоские железобетонные изделия и диафрагмы жесткости со специальными приставками, предназначенными для перекрытий.



В зависимости от толщины опирающихся на железобетонные диафрагмы жесткости плит, железобетонные изделия (ЖБИ) подразделяются на:

- легкие – предназначенные для перекрытий толщиной 220 мм;
- тяжелые – используемые в совокупности с перекрытиями толщиной 400 мм.

При строительстве одноэтажных сооружений широкое применение получили железобетонные диафрагмы жесткости, представляющие собой сборные ЖБИ.

При таком способе обеспечения сопротивления здания горизонтальным нагрузкам из-за гибкости каркаса возникают проблемы, связанные со взаимодействием конструктивных и архитектурных элементов. Возникает необходимость в устройстве специальных узлов соединений, чтобы предотвратить появление сколов и трещин в перегородках, и особом конструировании инженерных сетей, которые могут примыкать к несущим конструкциям.

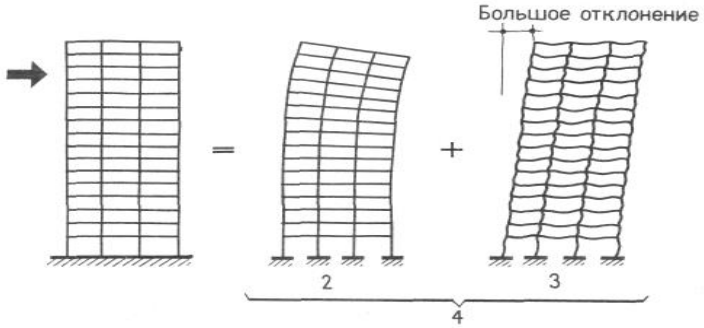


Рисунок – 1. Схема деформирования многоэтажного здания: 1 — большое отклонение; 2 — чистое консольное перемещение; 3 — перемещение многоэтажной рамы; 4 — общее перемещение

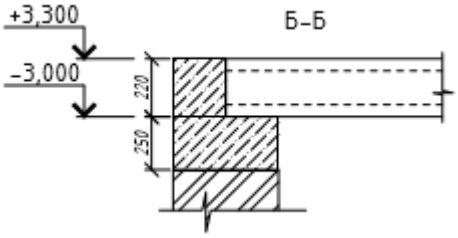
Актуальность темы и постановка задач. Несущие пространственные системы многоэтажных каркасных зданий состоят из стержневых (с точки зрения классической строительной механики) железобетонных элементов и обладают чаще всего регулярной структурой. Применяются три основные конструктивные системы каркасных зданий, которые отличаются характером работы (восприятием горизонтальных усилий) и конструкцией узлов соединения колонн и ригелей: рамная, связевая и рамно-связевая. Расчётные стержневые схемы вертикальных рам каркасных

зданий приведены в табл. 1. В рамной системе все вертикальные и горизонтальные нагрузки воспринимаются поперечными или продольными рамами каркасов с жесткими узлами ригелей перекрытий и колонн с замоноличиванием их стыков. В связевом каркасе стержневые элементы (колонны и ригели) рассчитываются только на действие вертикальных нагрузок, а вся горизонтальная нагрузка передается на систему продольных и поперечных диафрагм, связей жесткости, соединенную с примыкающими к ним колоннами, при этом соединение колонн и ригелей является шарнирным.

Устойчивость связевого каркаса без вертикальных связей жесткости (крестообразных, портальных и т.п.) или диафрагм жесткости (специальных железобетонных стен) невозможна. Соединенные между собой плиты перекрытия образуют жесткий горизонтальный плоский элемент здания. В рамно-связевом каркасе предусмотрены рамы с жесткими узлами в поперечном направлении и шарнирные в продольном направлении с установкой вертикальных связей жесткости между колоннами в продольном и поперечном направлениях на всю высоту каркаса, не менее чем в двух продольных рядах колонн. Каркас представляет собой пространственную систему, состоящую из плоских поперечных рам с жесткими узлами сопряжения ригеля с колонной, объединенных между собой с помощью плит междуэтажных перекрытий и покрытия, образующих жесткий в своей плоскости диск и элементов жесткости по колоннам продольного направления. Таким образом горизонтальные нагрузки воспринимаются как связевой системой диафрагм жёсткости, так и рамами каркаса [6,7,8,9].

Результаты исследования и рекомендации. Для анализа приняты 2 конструктивные решения железобетонной рамной и рамно-связевой системы. Размеры здания – в осях 36,00 Х 10,00 мм, Г-образной формы в плане, выступ в плане составляет 1.4 м.

Сечение колонн – 500х500 мм, поперечных ригелей – 400х600 (h) мм, продольных ригелей – 400х550 (h) мм, бетон- класса В25.



Сечение железобетонного перекрытия- ребристые кессонные опертые по контуру с толщиной основной плиты 150 мм, бетон класса В25,

- арматура класса А-400;
- лестницы монолитные железобетонные из бетона класса В25.

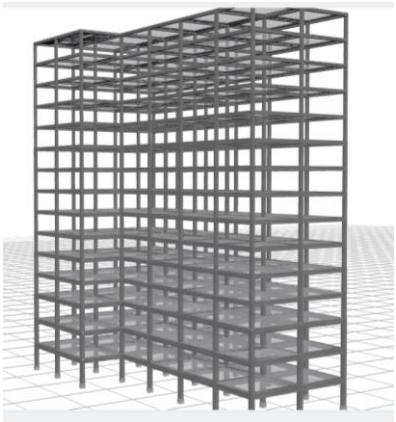
Высота этажа -3,300м.

Высота здания от уровня поверхности земли до верха парапета – 49,5м

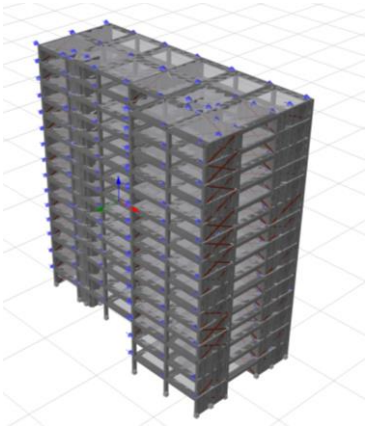
Одно и то же здание рассчитано дважды, во 2-случае усилено железобетонными стеновыми диафрагмами, расположенными симметрично [10].

Сравнительный анализ. В ходе научно- исследовательской работы был проведен сравнительный анализ рамной и рамно-связевой системы по программе SeismoStruct.

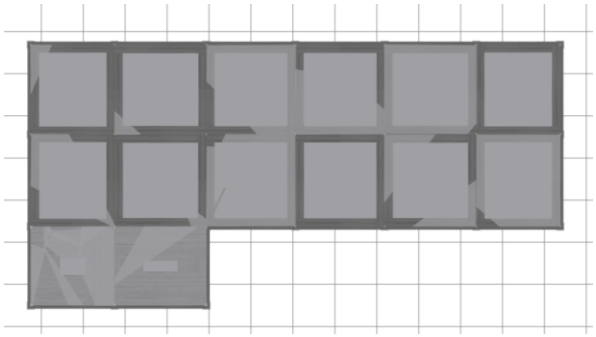
Предлагаемая схема сейсмоусиления подразумевает возведение новых, железобетонных стеновых диафрагм в отдельных участках внутри здания в обоих направлениях как показано на рисунке 2. Железобетонные стеновые диафрагмы жесткости были спроектированы в соответствии с требованиями СП 63.13330.2012.



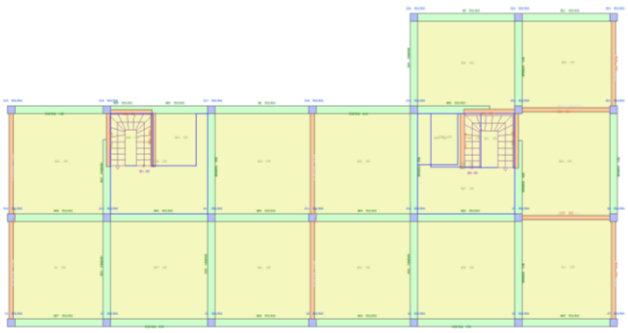
Рамная система



Рамно-связевая система



план этажа здания без железобетонных, стеновых диафрагм жесткости



план этажа здания, усиленного с железобетонными стеновыми диафрагмами жесткости

Рисунок 2 – Расчетные схемы и планы этажей зданий рамной и рамно-связевой системы

Принцип расположения усиливаемых стен заключается в том, чтобы проектировать наружные стены здания для минимизации разрушения во время строительства. Однако внутри здания необходимо расположить несколько новых стен. В идеале внутренние стены должны быть размещены в местах расположения существующих перегородок [6,11,12,14].

Толщина всех железобетонных стеновых диафрагм составляет 200 мм. Есть две конфигурации стен, как показано на рисунке 3.[1]

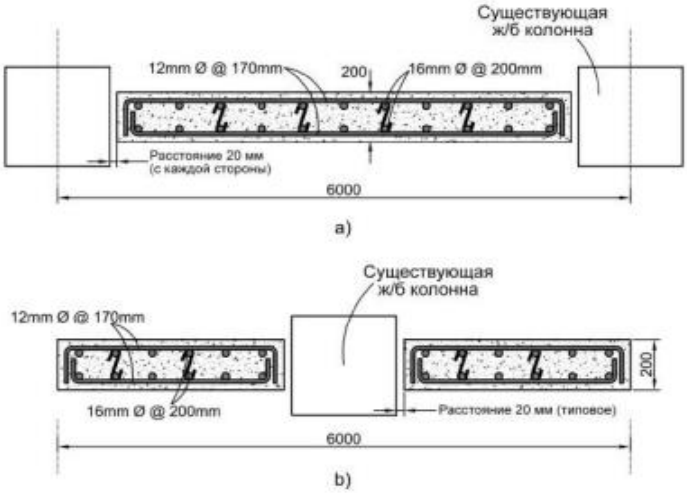


Рисунок 3. Геометрия и арматура типовой железобетонной стеновой диафрагмы жесткости: a) стена между двумя соседними колонами, длиной 6 м, и b) стены длиной 3 м на каждую сторону колонны

Работа выполнена по программе «SeismoStruct-2022» на основании требований Еврокодов 8, часть-3. При проектировании необходимо учитывать воздействие:

- осевые нагрузки;
- изгибающие моменты;
- сдвигающие силы.

Программа SeismoStruct на английском языке, поэтому некоторые слова в анализе отображены в оригинальном языке.

Eigenvalue Analysis – Анализ собственных значений;

No of converged EigenValues – Количество совпадающихся собственных значений – 10;

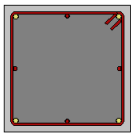
Коэффициент нагрузки от 1-24 узлов составила: 43,1243

Frame size: 1509x783

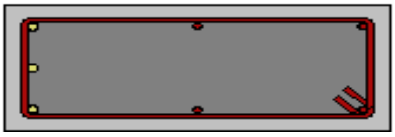
Frame Rate: 25:1

Displacement Norm: 0,00013588 / 0,0001

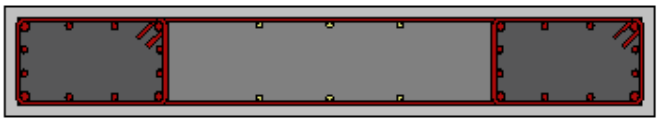
Rotation Norm: 0,00013247 / 0,0001



Армирование колонны. Продольная арматура колонны, Ptot=1,29% (Pmin = 0,20%, Pmax =8,00%)



Армирование балки. Ограничения по натяжению арматуры балки – EC2, 9.2.1.1, Pt (Start) = 0,43%, (Pmin = 0,13%, Pmax = 4,00%)

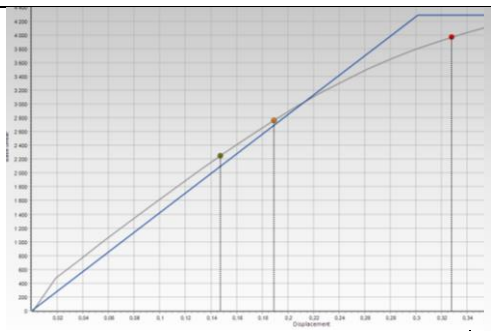
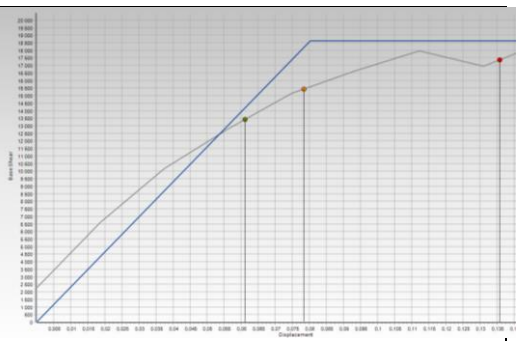


Армирование стены. Продольная арматура стены, p=3,75%, (Pmin = 0,2%, Pmax = 0,8%)

Значение сейсмической сдвигающей силы на основании для каждого направления сейсмической нагрузки было получено путем сложения опорных реакций расположения каждой колонны (таблица 1).

Таблица 1.

№	Сравнение результатов	Рамные системы	Рамно-связевые системы
1	**Количество совпадающихся собственных значений**	10	10
2	**Постоянная загрузка**	LF= 0,00000, LF_incr= (Iter: 32 => Diverge)LF= 1,00000, LF_incr= 1,00000 (Iter: 8 => Adp_Cnv) Analysis Curve Load Factor / Displacement / Base Shear 0,00 / 0,00110824 / -4,2915248E- 4,77554 / 0,01872 / 477,5536 7,35214 / 0,03744 / 735,2119 10,08153 / 0,05616 / 1008,152 12,70274 / 0,07488 / 1270,272 15,23852 / 0,0936 / 1523,869 17,80374 / 0,11232 / 1780,501 20,35126 / 0,13104 / 2034,928 22,80341 / 0,14976 / 2280,146 25,13543 / 0,16848 / 2513,679 27,37598 / 0,1872 / 2736,778 29,49619 / 0,20592 / 2949,251 31,47759 / 0,22464 / 3147,582 33,3207 / 0,24336 / 3331,501 35,00238 / 0,26208 / 3499,887 36,51053 / 0,2808 / 3651,096 37,8741 / 0,29952 / 3787,488 39,10981 / 0,31824 / 3911,033 40,20754 / 0,33696 / 4020,911 41,11235 / 0,35568 / 4111,301 41,92954 / 0,3744 / 4193,09 42,53083 / 0,39312 / 4253,278 42,84092 / 0,41184 / 4284,17 43,12428 / 0,43056 / 4277,468	LF= 0,00000, LF_incr= (Iter: 32 => Diverge) LF= 1,00000, LF_incr= 1,00000 (Iter: 8 => Adp_Cnv) Analysis Curve Load Factor / Displacement / Base Shear 0,00 / -0,00970474 / -0,00097854 71,20586 / 0,01872 / 6595,083 102,3651 / 0,03744 / 10170,952 127,8289 / 0,05616 / 12801,073 148,5369 / 0,07488 / 15139,592 165,4436 / 0,0936 / 16647,181 179,2173 / 0,11232 / 17959,963 165,7532 / 0,13104 / 16940,928 183,5049 / 0,14976 / 18611,019

3	**Деформирование элемента в диаграмме (перемещение, сдвиг основания)**	 сдвиг основания – 2,2; 2,8; 4.0 перемещение -0.14; 0,19; 0,33	 сдвиг основания – 13.5; 15,5; 17,5 перемещение -0,06; 0,08; 0,13
4	**Связность элемента (жесткие смещения ригеля)** пример одного из элементов	B8_3 -0,07601965 -0,25 class_B8_3 -0,26216874 n3_C24up -0,07601965 0,25 n3_C23up -0,26216874 deg=0	B40_5 -2,1458299E-006 -0,25 class_B40_5 -0,22878896 n5_C3up -2,1458299E-006 0,25 n5_C12up -0,22878896 deg=0

Визуализация деформированной формы двух моделей здания рамной и рамно-связевой конструктивной системы на каждом этапе анализа приведены на рисунках 4 и 5.

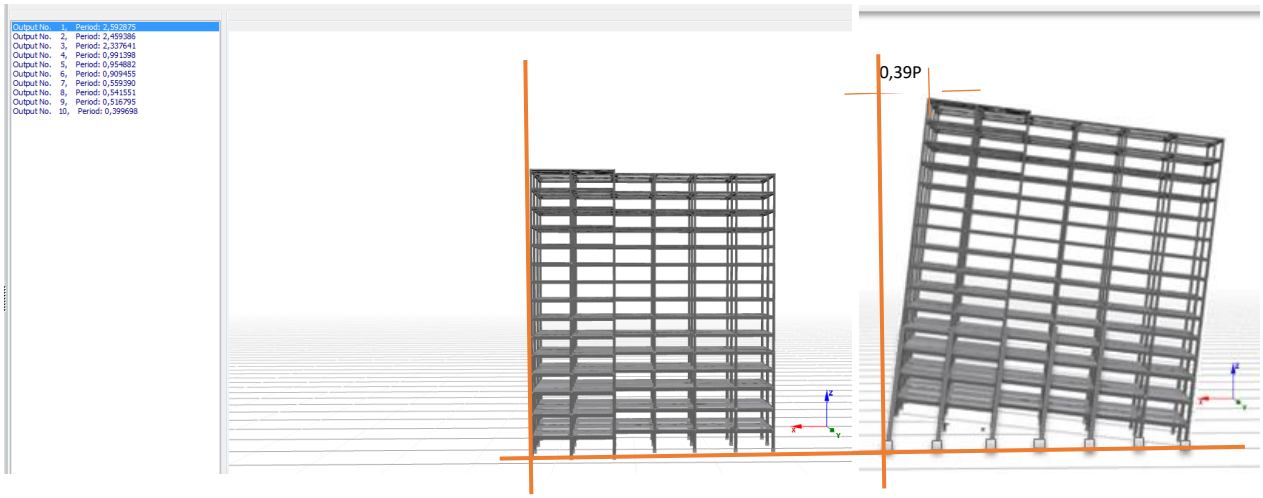


Рисунок 4 – Визуализация деформированной формы модели рамной конструктивной системы на каждом этапе анализа

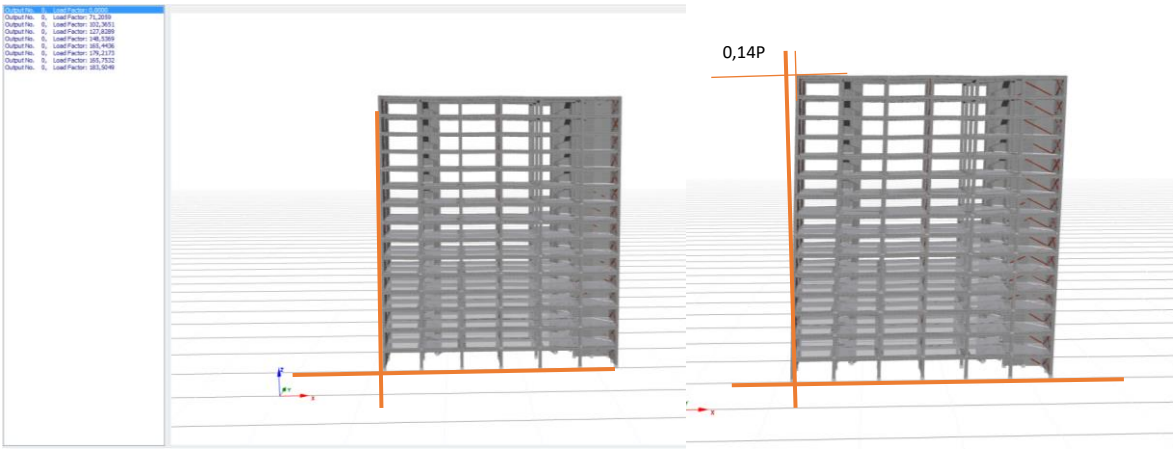


Рисунок 5 – Визуализация деформированной формы модели здания рамно-связевой конструктивной системы на каждом этапе анализа (здания с железобетонными стеновыми диафрагмами жесткости)

Заключение

1. В ходе расчета были получены значения межэтажных сейсмических перемещений в направлении горизонтальных осей X и Y на уровне перекрытия каждого этажа. Эти значения были сопоставлены с предельными значениями, предусмотренными Eurocode 8, Part-3.[2]

2. Максимальное перемещение составляет от 0,39 мм - рамной конструктивной системы и 0,14 мм - рамно-связевой конструктивной системы, максимальный сдвиг основания рамной конструктивной системы - 4,0 и максимальный сдвиг основания рамно-связевой конструктивной системы- 17.5.

3. В дальнейшей эксплуатации здания путем периодических проверок его динамических характеристик можно будет оценивать стабильность состояния его строительных конструкций

4. Установлено сокращение перемещения по высоте здания с сейсмоусилением по двум горизонтальным направлениям, следовательно, не превышены предельные значения перемещений, установленные Еврокод 8, часть-3. [10,11]. Применение схемы сейсмоусиления позволяет регулировать поперечные перемещения в здании.[3]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ***В. И. Леденёв D.B.*** *Расчетные модели для проектирования конструкций и зданий: монография для научных и инженерно-технических работников, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей /* ***В. В. Леденёв, П. В. Монастырёв, Г. М. Куликов, С. В. Плотникова. – Тамбов*** *: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 296 с.*
2. *СН КР 20-02:2018. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Государственное агентство по архитектуре и строительству при Правительстве Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызская Рессубликка.*
3. *. СН КР 20-02:2009. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Государственный институт сейсмостойкого строительства и инженерного проектироввания Госстроя Кыргызской Республики и Международная Ассоциация экспертов по сейсмостойкому строительству, Бишкек, Кыргызская Республика.*
4. ***Бржев С.Н., Бегалиев У.Т****. Состояние проектирования и конструирования сейсмоусиления зданий в Кыргызской Республике. – Бишкек: Наука и инновационные технологии, №1/2019(10), С.3-19.*
5. ***Светлана Б., Бегалиев У.*** *- «Всемирный Банк. 2018. Практическое пособие по проектированию и конструированию сейсмоусиления зданий школ в Кыргызской Республике». (5-62 стр.)*
6. ***Плотников А.Н.*** *П39 Проектирование железобетонного многоэтажного рамного каркаса : учебное пособие для вузов / А. Н. Плотников, Н. Н. Аринина, О. С. Яковлева; Чувашский гос. ун-т им.И. Н. Ульянова. – Чебоксары: ИД «Среда», 2021. – 132 с.*
7. ***Байков В.Н., Сигалов Э.Е****. Железобетонные конструкции: общий курс: учебник для вузов, – 6-е изд., репр. – М.: Бастет, 2009. – 767 с.*

8. . *Евстифеев В.Г. 4 Железобетонные и каменные конструкции: учебник для вузов: в 2 ч. Ч. 1: Железобетонные конструкции: – М.: ИЦ «Академия», 2011. – 432 с.*

9. ***Кумпяк О.Г., Галяутдинов З.Р, Пахмурин О.Р., Самсонов В.С.*** *Железобетонные конструкции: учебное издание. Часть 2. – Томск: STT, 2008. – 332 с.*

10. ***Бондаренко В.М., Римшин В.И****. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций: учебн. – М.: Высш. шк., 2007. – 567с.: ил. – (Для высших учебных заведений. Строительство). – ISBN 978-5-06-004437-9.*

11. *Еврокод 8. Проектирование конструкций устойчивых к землетрясениям. Часть 1. Основные правила, сейсмические акции и правила для зданий.*

12. *СНиП КР 20-02:2018 «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования»;*

13. *СП430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования.-М.: Минстрой России, 2018. - 64 с.*

14. *СП 267.1325800.2016 Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. – М.: Минстрои России, 2016. - 122 с.*

Рецензент: Бегалиев У. Т. – *д.т.н., профессор- Международный университет инновационных технологий, Институт строительства и инновационных технологий. г.Бишкек, Кыргызстан.* **utbegaliev@mail.ru**