

**Б.Т. Еримбетов¹, Б.М. Чалабаев¹, Я.Б. Кунанбаева^{1*},
Ж.А. Усенкулов¹, Ф.Х. Аубакирова¹, Б.К. Дуйсенбеков¹**

Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Информация об авторах:

Еримбетов Баисбай Турабаевич – кандидат технических наук, доцент, НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова», Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-5835-0167>, email: baisbay@mail.ru

Чалабаев Берик Мырзабекович - кандидат технических наук, профессор, НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова», Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-4737-7951>, email: chalabayev_b@mail.ru

Кунанбаева Яйрахан Бекайдаровна – доктор PhD, доцент, НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова», Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-9465-6980>, email: aira.kunaeva@mail.ru

Усенкулов Женисбек Амантаевич – кандидат технических наук, доцент, НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова», Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-3404-1153>, email: alem505@mail.ru

Аубакирова Фарида Хабиевна – кандидат технических наук, доцент, НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова», Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-4687-1528>, email: faraub1011@mail.ru

Дуйсенбеков Болат Камбарович – доктор PhD, старший преподаватель, НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова», Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-3476-5218>, email: bolat003@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ СРЕДНЕЙ ЭТАЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ ЗОНАХ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы численного исследования работы 5-ти этажного каркасного здания на действие нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия. На основании полученных результатов в процессе численного исследования работы зданий выданы рекомендации, учет которых в процессе проектирования здания позволит снизить эффект сейсмического воздействия на здание.

Ключевые слова: каркасное здание регулярной формы в плане, жесткость здания на кручение, крутильно-податливая система, эффект сейсмического воздействия.

Введение

При проектировании зданий и сооружений в сейсмических зонах РК широко применяется железобетонные каркасные здания, в том числе каркасные здания средней этажности, состоящие из вертикальных несущих конструкций в виде обстроенных колонн вокруг стен лестничных клеток, и объединенных для совместной работы горизонтальными дисками перекрытий.

При разработке проектной документации зданий различных конструктивных схем, проектируемых в сейсмических зонах, действующие нормы сейсмостойкого строительства [1- 6], наряду с требованиями расчетного характера, предъявляют также определенные требования объемно-планировочного и конструктивного характера. Нормы рекомендуют применять планировочные и

конструктивные схемы зданий, способных противостоять сейсмическим воздействиям в любом направлении и ограничивать крутильные колебания в плане. Так, например, невыполнение требований норм в части соблюдения определенных планировочных и конструктивных решений здания может привести, в частности, к принятию конструктивной схемы здания с недостаточной жесткостью на кручение. Выполнение требований норм в части соблюдения конструктивных решений, имеет особо важный смысл для обеспечения сейсмостойкости при проектировании каркасных зданий с вертикальными устоями жесткости, так как именно каркасные здания с вертикальными устоями жесткости в большей степени подвержены скручиванию относительно вертикальной оси ядра жесткости при действии горизонтальных составляющих сейсмических воздействий. В соответствии с требованиями действующих норм конструктивные решения здания с недостаточной жесткостью на кручение классифицируются как крутильно-податливые конструктивные системы. Если принятое при проектировании конструктивное решение здания соответствует крутильно-податливой системе, то его конструктивная схема в соответствии с требованиями норм [1] подлежит пересмотру или проектированию по специальным техническим условиям. Таким образом, крутильно-податливую систему могут образовывать и здания каркасной конструктивной схемы. В таких зданиях несущие вертикальные конструкции в плане расположены нерегулярно, то есть когда эти конструкции в плане здания расположены таким образом, что в процессе землетрясения будут способствовать проявлению крутильных колебаний здания. Учитывая, что кручение – это наиболее опасный вид напряженно-деформированного состояния, при проектировании зданий в сейсмических зонах желательно принять конструктивные решения здания таким образом, чтобы вертикальные несущие конструкции здания при землетрясении не подвергались крутильным деформациям относительно вертикальной оси здания. Как показывает практика проектирования, соблюдение требований норм в части планировочного и конструктивного решений позволяет избежать проектирования здания крутильно-податливой системы.

Крутильно-податливую систему можно выявить уже на стадии проектирования здания на основании модального анализа. Если при модальном анализе первая форма колебания здания является крутильной в плане, то здание такой конструктивной системы в соответствии с требованиями норм [1, 2] классифицируется как крутильно-податливая система. В здании с крутильно-податливой системой, поступательное движение основания здания при землетрясении может привести к скручиванию здания относительно вертикальной оси здания. При этом в зданиях крутильно-податливой системы при землетрясении будет явно иметь место динамическое вращательное колебание что может усилить эффект сейсмического воздействия. Эффект сейсмического воздействия, связанный со скручиванием здания имеет место для зданий крутильно-податливой системы даже при поступательном характере сейсмического воздействия. Если учесть, что сейсмическое воздействие, наряду с поступательными составляющими, имеют и вращательные составляющие, тогда эффект сейсмического воз-

действия при землетрясении для несущих вертикальных конструкций здания крутильно-податливой системы может еще больше усилиться.

В связи с вышеизложенными замечаниями при проектировании зданий по возможности следует избегать применения в сейсмоактивных зонах зданий с конструктивной системой, не обладающей достаточной жесткостью на кручение. Наиболее уязвимы в этом отношении каркасные здания с ядром жесткости, в котором ядро жесткости расположено в центральной части в плане здания [7]. Как показали результаты наших исследований, конструктивная система каркасного здания с ядром жесткости, не обладает достаточной жесткостью на кручение в плане здания. Поэтому при проектировании каркасных зданий с ядром жесткости необходимо производить проверку на соответствие требованиям норм в части соблюдения планировочных и конструктивных решений с использованием результатов модального анализа.

Если на этапе проектирования каркасного здания с ядром жесткости принятая конструктивная система оказывается крутильно-податливой, в соответствии с требованиями действующих нормативных документов [1, 2] проектировщик имеет возможность выбрать один из вариантов конструктивной схемы проектируемого здания, описываемых в действующих нормах. При выборе первого варианта, проектировщику необходимо изменить предварительно принятую конструктивную систему здания таким образом, чтобы первая и вторая формы колебаний были не крутильными в плане. При выборе второго варианта, проектировщик, не меняя предварительно принятую крутильно-податливую конструктивную схему каркасного здания с ядром жесткости, проектирует здание крутильно-податливой конструктивной схемы, но на повышенное значение сейсмических нагрузок [1, 2]. Следует отметить, что выбор варианта конструктивного решения проектируемого здания в сейсмических зонах, соответствующей крутильно-податливой системе, должен сопровождаться соответствующим технико-экономическим обоснованием.

Материалы и методы

Рассматриваемое здание представляет собой 5-ти этажное железобетонное каркасное здание с вертикальным устоем жесткости. Вертикальный устой жесткости представляет собой замкнутую в плане железобетонную стену лестничной клетки. Пространственный вид несущего каркаса здания показан на рисунке 1. Конструктивная схема здания – каркас с ядром жесткости, в котором каркас выполнен в виде обстройки ядер жесткости. Размеры поперечного сечения колонн, расположенных вокруг ядра жесткости 40x40см. Толщина монолитных железобетонных плит междуэтажных перекрытий и покрытия 200мм. Здание прямоугольной формы в плане с размерами в осях 18.0мx28.0м. Высота этажей – 4.0м. Здание оборудовано одной лестничной клеткой, расположенной в центре плана здания. Наружное стеновое заполнение и внутренние ненесущие стены приняты из газобетонных блоков шириной 250 мм.

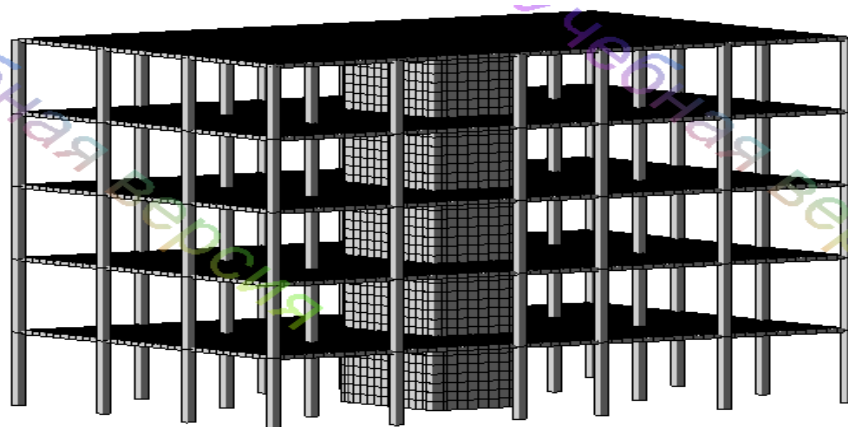


Рисунок 1 – Пространственный вид несущего каркаса здания [материал авторов]

Расположение основных вертикальных несущих конструкций в плане симметричное как в поперечном, так и в продольном направлении здания. Толщина стен ядер жесткости принималась на основании расчета здания на основное и особое сочетания нагрузок с учетом сейсмического воздействия расчетной величины. Схема расположения несущих конструкций здания в пределах этажа показана на рисунке 2.

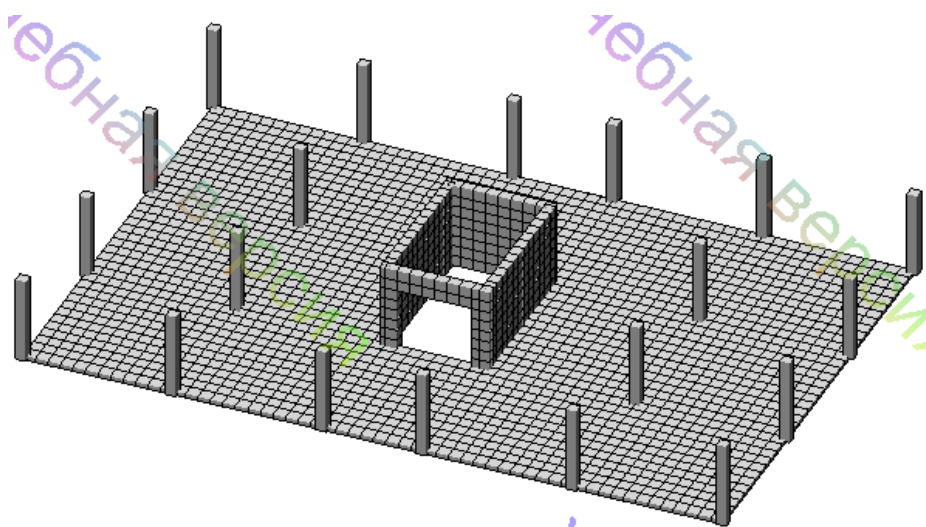


Рисунок 2 – Схема расположения несущих конструкций в пределах этажа [материал авторов]

Расчеты выполнены в соответствии с требованиями СП РК 2.03-30-2017 «Строительство в сейсмических зонах», по результатам которых принято армирование несущих железобетонных элементов здания (колонн, стен ядер жесткости, плит перекрытий и покрытия) продольной и поперечной арматурой.

Нагрузки, учтенные при расчете здания на действие нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия, отражены в таблице РСУ на рисунке 3.

Расчетные сочетания усилий

Номер таблицы РСУ: 2
 Имя таблицы РСУ: СНИП_2
 Строительные нормы: СНИП 2.01.07-85*
 Номер загрузки: 1 Собственный вес НК
 Вид загрузки: Постоянное(0) По умолчанию

Кoeffициенты для РСУ

#	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(бС)	5 сочет.	6 сочет.	7 сочет.	8 сочет.	9 сочет.	10 сочет.	11 сочет.	12 сочет.	13 сочет.	14 сочет.	15 сочет.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
3	1.00	0.95	0.80	0.95	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-0.30	0.00	0.00	0.00	0.00

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№	Имя загрузки	Вид	Параметры РСУ	Кoeffициенты РСУ
1	Собственный...	Постоянное(0)	0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00 0.00 0.00 0.90 0.00 0.00 0.00 0.90 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
2	Постоянная ...	Постоянное(0)	0 0 0 0 0 0 1.20 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00 0.00 0.00 0.90 0.00 0.00 0.00 0.00 0.90 0.00 0.00 0.00 0.00
3	Длительная ...	Временное д...	1 0 0 0 0 0 1.20 1.00	1.00 0.95 0.80 0.95 0.00 0.00 0.80 0.00 0.00 0.00 0.00 0.80 0.00 0.00 0.00 0.00
4	Полезная на...	Кратковреме...	2 0 0 0 0 0 1.20 0.35	1.00 0.90 0.50 0.80 0.00 0.00 0.50 0.00 0.00 0.00 0.00 0.50 0.00 0.00 0.00 0.00
5	Снеговая наг...	Кратковреме...	2 0 0 0 0 0 1.40 0.35	1.00 0.90 0.50 0.80 0.00 0.00 0.50 0.00 0.00 0.00 0.00 0.50 0.00 0.00 0.00 0.00
6	Сеймика по X	Сейсмическо...	5 0 1 0 0 0 1.00 0.00	0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.30 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
7	Сеймика по У	Сейсмическо...	5 0 1 0 0 0 1.00 0.00	0.00 0.00 0.30 0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

Рисунок 3 – Таблица расчетных сочетаний усилий [материал авторов]

Динамические характеристики рассматриваемого каркасного здания с ядром жесткости (частоты, периоды собственных колебаний и т.п.), полученные в результате модального анализа здания приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Частоты собственных колебаний

№ загр.	№ форм	Собст. значения	Частоты		Период (с)	Кoeff. распред.	Мод. масса (%)	Сумма мод. масс (%)	Форма колебания
			Круг. частота, (рад/с)	Частота (Гц)					
6	1	0.134	7.489	1.192	0.839	0.775	16.965	16.965	крутильная
6	2	0.063	15.877	2.527	0.396	1.441	53.220	70.186	изгибная
6	3	0.050	20.045	3.190	0.313	0.000	0.000	70.186	изгибная

Как показывают результаты модального анализа принятой конструктивной схемы каркасного здания, первая форма колебания здания – крутильная, что означает недостаточную жесткость здания на кручение. Здание в силу недостаточности жесткости на кручение, считается подверженным вращательному крутильному движению при землетрясении относительно вертикальной оси здания. При указанных обстоятельствах должно быть учтено влияние крутильной формы в общей сейсмической реакции на здание. В дальнейшем была под-

вергнута численному исследованию работа здания с указанной конструктивной схемой, соответствующей крутильно-податливой системе.

Наряду с исследованием работы здания крутильно-податливой системы, была рассмотрена также работа здания с измененной конструктивной схемой, которая была получена посредством добавления дополнительных диафрагм жесткости, расставленных по контуру здания, с целью повышения жесткости рассматриваемого здания крутильно-податливой системы на кручение. Схема расстановки диафрагм жесткости, показанная на рисунке 4, позволила избежать первой и второй крутильных форм колебаний здания и получить конструктивную схему здания с регулярной формой в плане.

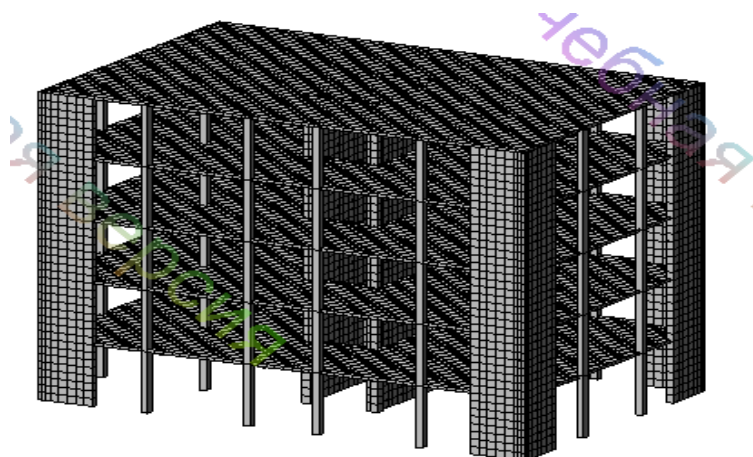


Рисунок 4 – Общий вид каркасного здания с ядром жесткости с измененной конструктивной схемой с добавленными диафрагмами жесткости по контуру здания [материал авторов]

Динамические характеристики каркасного здания с ядром жесткости с измененной конструктивной схемой с учетом добавления диафрагм жесткости по углам в плане здания (частоты, периоды собственных колебаний и т.п.) приведены ниже в таблице 2.

Таблица 2 – Частоты собственных колебаний

№ за-груз	№ форм	Собст. значения	Частоты		Пе-риод (с)	Коэф. рас-пред.	Мод. масса (%)	Сумма мод.мас с (%)	Форма колеба-ния
			Круго-вая частота (рад/с)	Ча-стота (Гц)					
6	1	0.071	14.166	2.255	0.444	1.646	67.056	67.056	изгибная
6	2	0.057	17.553	2.794	0.358	0.000	0.000	67.056	изгибная
6	3	0.049	20.384	3.244	0.308	-0.367	2.587	69.643	кру-тильная

Как показывают результаты модального анализа, изменение, введенное в конструктивную схему каркасного здания с ядром жесткости посредством добавления дополнительных несущих стен в виде диафрагм жесткости, позволило получить здание регулярной формы в плане, что позволило повысить жесткость

здания на кручение на две ступени по сравнению с жесткостью каркасного здания крутильно-податливой системы.

Ниже приводятся также результаты численного исследования здания с измененной конструктивной системой, полученных посредством добавления дополнительных несущих стен в виде диафрагм жесткости по углам в плане здания.

Численному исследованию подвергнута работа пятиэтажного железобетонного каркасного здания на действие нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия. При этом программа исследования предусматривала изучение работы железобетонного 5-ти этажного каркасного здания крутильно-податливой системы, а также 5-ти этажного каркасного здания регулярной формы в плане на действие сейсмических нагрузок расчетного значения, так и на значения сейсмической нагрузки, превышающие расчетные величины [7, 8]. Такая программа исследования составлена с целью выявления характера работы таких систем в случае превышения интенсивности землетрясения своей расчетной величины, предусмотренной нормами для данного региона.

При нелинейном расчете здания на действие нагрузок особого сочетания, сейсмическое воздействие имитировалось нагрузками, величина и направления которых соответствовали сейсмической нагрузке, полученной в процессе расчета здания спектральным методом в соответствии с требованиями норм. При нелинейном расчете учтено одновременное воздействие двух ортогональных компонентов сейсмического воздействия. Один из компонентов сейсмического воздействия представлял собой сейсмическую нагрузку, соответствующую форме собственного колебания здания, имеющего наибольший модальный вклад, а второй компонент сейсмического воздействия представлял собой 30% сейсмической нагрузки действующей в ортогональном направлении. При расчете учет свойств материалов конструкции осуществлялся посредством ввода нелинейных законов деформирования материалов. При этом закон деформирования для арматуры принят симметричным, а для бетона – несимметричным с различными пределами сопротивления растяжению и сжатию. Решение нелинейной задачи производился шаговым методом с использованием нелинейного процессора программного комплекса ЛИРА-САПР.

В целом процесс исследования работы здания на действие нагрузок особого сочетания с учетом физической нелинейности материалов конструкций с использованием программного комплекса ЛИРА САПР включал следующие этапы:

- создание пространственной расчетной схемы здания, в процессе которого для несущих конструкций зданий приняты конечные элементы, учитывающие физическую нелинейность;
- моделирование нелинейных загрузжений, в процессе которого задается информация о количестве шагов для каждого вида нагрузок, коэффициенты к нагрузкам, а также указывается формирование последовательности (истории) загрузжений;

- расчет, в результате которого на каждом шаге действия нагрузки вычисляются усилия (напряжения), для узлов – перемещения. Получается информация о состоянии материала в элементах конструкций;
- анализ результатов расчета, в результате которого принимаются заключение о сейсмостойкости рассматриваемого объекта исследования.

Результаты и обсуждение

Ниже приводятся результаты сравнения технико-экономических показателей каркасного здания с ядром жесткости крутильно-податливой конструктивной системы и каркасного здания с измененной конструктивной системой при сохранении одинаковых объемно-планировочных решений зданий в обоих вариантах конструктивной схемы.

Результаты исследования работы каркасного здания крутильно-податливой системы и каркасного здания регулярной формы в плане на действия нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия нормативной величины с учетом физической нелинейности материалов конструкций показали, что при величине сейсмической нагрузки, соответствующей расчетной величине:

- в сечениях несущих конструкций каркасного здания с ядром жесткости крутильно-податливой системы преобладали крутильные деформации, что повысило значение уровня сжимающих усилий в сечениях этих конструкций.
- в сечениях несущих конструкций каркасного здания с ядром жесткости регулярной формы в плане в основном преобладали изгибные деформации, в результате чего значения уровня сжимающих усилий в сечениях этих конструкций были низкими.

Как показывают результаты исследования работы здания крутильно-податливой системы на действия сейсмического воздействия, в сечениях элементов наиболее нагруженных стен ядра жесткости уровень сжимающих напряжений был больше, чем уровень сжимающих напряжений в сечениях элементов наиболее нагруженных стен и диафрагм жесткости регулярной формы в плане (табл. 3).

Таблица 3 – Уровень сжимающих напряжений в сечениях конструкций зданий различных вариантов

Конструктивное решение здания	Уровень сжимающих усилий в сечениях наиболее нагруженных стен ядра и диафрагм жесткости с учетом усилий от сейсмического воздействия при упругом расчете	Уровень сжимающих усилий в сечениях наиболее нагруженных стен ядра и диафрагм жесткости с учетом усилий от сейсмического воздействия при расчете с учетом физической нелинейности материалов бетона и арматуры
Здание крутильно-податливой системы (при значении коэффициента поведения η , равном 2)	0.96 (0.76)*	1.16 (0.91)
Здание регулярной формы в плане	0.60 (0.47)	0.56 (0.44)

Примечание. Значения уровня сжимающих усилий в скобках приведены для нормативных характеристик материалов и нагрузок.

При этом такой характер распределения сжимающих напряжений имело место, как при упругом расчете, так и при нелинейном расчете с учетом физической нелинейности материалов конструкций. Указанное обстоятельство свидетельствует о том, что несущие вертикальные стены ядра жесткости каркасного здания крутильно-податливой системы находятся в наиболее неблагоприятном напряженно-деформированном состоянии при действии горизонтальных сейсмических нагрузок. К такому состоянию, видимо, способствовало также низкая сопротивляемость здания к скручиванию вследствие низкой жесткости здания кручению по сравнению с изгибной жесткостью здания.

Уровень сжимающих усилий в сечениях стен ядра жесткости здания крутильно-податливой системы, приведенные в таблице 3, отражает результаты расчета на действие нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия расчетной величины. Относительно высокий уровень сжимающих усилий в сечениях элементов вертикальных несущих конструкций здания крутильно-податливой системы, соответствующий расчетному значению сейсмической нагрузки, способствует к исчерпанию несущей способности этих наиболее нагруженных элементов при превышении величины сейсмической нагрузки расчетной величины, вследствие чего приводит к накоплению локальных разрушений местного характера. Учитывая знакопеременный и повторный характер сейсмического воздействия, такой высокий уровень сжимающих усилий будет также способствовать накоплению повреждений местного характера даже при значении сейсмической нагрузки, не превышающей расчетной величины.

Следует отметить, что приведенные в таблице 3 данные, отражает результаты расчета на действие нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия поступательного характера. Учитывая, что в действительности при землетрясениях сейсмическое воздействие имеет и вращательную составляющую, проектирование каркасного здания крутильно-податливой системы в сейсмоактивных зонах является явлением нежелательным с точки зрения обеспечения сейсмостойкости, так как вращательная составляющая сейсмического воздействия в совокупности со слабой жесткостью здания крутильно-податливой системы на кручение будет увеличивать отрицательный эффект сейсмического воздействия. Как показывает результаты настоящего исследования, проектирование каркасного здания крутильно-податливой системы в сейсмоактивных зонах является неоправданным и с точки зрения расхода материалов. В таблице 4 приведены результаты расчетов зданий различных конструктивных систем с указанием расхода материалов. Как следует из данных таблицы 4, проектирование каркасного здания регулярной формы в плане является приемлемым также с точки зрения расхода арматуры. В таблице 4 приводятся результаты расчета зданий двух вариантов с указанием расхода материалов.

Исследования работы каркасного здания с ядром жесткости регулярной формы в плане на действия нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия расчетной величины показывают, что здание такой системы благодаря повышенной жесткости на кручение достаточно хорошо сопротивляется действию нагрузок особого сочетания. Для здания регулярной формы в плане,

как было отмечено выше, отсутствует скручивающий эффект сейсмического воздействия. Поэтому относительно низкий уровень сжимающих напряжений в сечениях несущих вертикальных конструкций здания от действия нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия расчетной величины является результатом того, что в сечениях элементов несущих вертикальных конструкций возникают в основном изгибные напряжения. Указанное обстоятельство показало, что каркасное здание регулярной формы в плане выдержало сейсмическую нагрузку расчетной величины без локального разрушения наиболее нагруженных элементов. Достаточно хорошую сопротивляемость показало каркасное здание регулярной формы в плане также при действии нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия, превышающего расчетную величину.

Таблица 4 – Результаты расчета арматуры для каркасного здания различных вариантов

Конструктивное решение здания	Расход арматуры по результатам расчета, кг				Расход арматуры с учетом унификации элементов, кг			
	на плиты	на колонны	на ядро и диафрагмы жесткости	всего	на плиты	на колонны	на ядро и диафрагмы жесткости	всего
Здание крутильно-податливой системы (при значении коэффициента поведения η , равном 2)	19244	1515	17234	37993	112479	7235	24267	143981
Здание регулярной формы в плане	16191	1301	18402	35894	68167	5520	29612	103299

Примечание. Расход бетона на здание с конструктивной схемой соответствующей крутильно-податливой системе: на плиты перекрытия и покрытия – 471 м^3 , на колонны - 78 м^3 , на стены ядра жесткости - 139 м^3 . Расход бетона на здание с конструктивной схемой соответствующей регулярной формы в плане: на плиты перекрытия и покрытия – 476 м^3 , на колонны – 78 м^3 , на стены ядра и диафрагм жесткости – 259 м^3 .

Как показывают результаты настоящего исследования, из двух вышерассмотренных вариантов каркасных зданий с ядром жесткости наибольшей надежностью обладает здание, если конструктивная схема здания не является крутильно-податливой. К тому же по расходу материалов наиболее экономичной является также вариант каркасного здания регулярной формы в плане по сравнению с вариантом каркасного здания крутильно-податливой системы.

На основании вышеизложенного, при проектировании зданий в сейсмоактивных зонах проектировщикам надо отдать предпочтение зданию с конструктивной схемой регулярной формы в плане.

Заклучение

На основании выполненного численного исследования установлено, что при проектировании зданий в сейсмоактивных зонах по возможности следует избегать применения зданий конструктивной системы, не обладающей достаточной жесткостью на кручение. Поэтому на стадии проектирования зданий необходимо проверить принятую конструктивную схему здания на соответствие требованиям норм в части соблюдения конструктивных решений, выполнение которых позволит избежать конструктивной схемы здания со слабой жесткостью на кручение.

Выбор варианта конструктивного решения проектируемого здания в сейсмоактивных зонах соответствующей крутильно-податливой системе должен сопровождаться соответствующим технико-экономическим обоснованием, которое должно предусматриваться при принятии специальных технических условий.

При проектировании зданий в сейсмических зонах наряду с выполнением расчета в соответствии с требованиями действующих норм также необходимо выполнить численное исследование работы запроектированного здания с учетом физической нелинейности свойств материалов несущих конструкций на действие нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия как расчетной величины, так и на сейсмическое воздействие, превышающее расчетную величину. Такие исследования работы здания должно выполняться не только для выбора варианта конструктивного решения здания, но и для технико-экономического обоснования выбранного варианта конструктивной схемы проектируемого здания.

Литература:

1. СП РК 2.03-30-2017 *Строительство в сейсмических зонах*. Алматы, комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан, 2019.
2. СП РК EN 1998-1:2004/2012 *Проектирование сейсмостойких конструкций. Часть 1. Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий*. Астана: Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан, 2015.
3. НТП РК 08-01.3-2012 (к СП РК EN 1998-1:2004/2012) *Проектирование сейсмостойких зданий. Часть. Здания из монолитного железобетона*. Астана: Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан, 2017.
4. НТП РК 8-01.2-2012 (к СП РК EN 1998-1:2004/2012) *Проектирование сейсмостойких зданий Часть. Проектирование гражданских зданий. Общие требования*. Астана: Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан, 2015.
5. EN 1990: *Basis of structural design. Basis of structural design*.
6. EN 1998: *Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*.
7. Еримбетов Б.Т., Самжан О.И. *Исследование работы каркасного здания с вертикальным устоем жесткости на действие нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия*. Вестник науки Южного Казахстана. 2020, 2(10), 72-80. (в казахско-, русско-, англоязычном журнале)

8. Ерімбетов Б.Т., Сатжан О.И. Исследование работы каркасного здания регулярной формы в плане на действие нагрузок особого сочетания с учетом сейсмического воздействия. Научные труды ЮКГУ им. М. Ауэзова. 2020, 2 (54), 44-54. (в казахско-, русско-, англоязычном журнале)

References:

1. SP RK 2.03-30-2017 Stroitelstvo v seismicheskikh zonah [SP RK 2.03-30-2017 "Construction in Seismic Zones"] Almaty, Committee for Construction and Housing and Communal Services of the Ministry of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan, 2019. (in Russ.)
2. SP RK EN 1998-1:2004/2012 Proektirovanie seymstoykih konstruksiy. Chast 1. Obschie pravila, seymicheskie vozdeystviya i pravila dlya zdaniy [SP RK EN 1998-1:2004/2012 Design of earthquake-resistant structures. Part 1. General rules, seismic impacts and rules for buildings] Astana, Committee for Construction and Housing and Communal Services and Land Management of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan, 2015. (in Russ.)
3. NTP RK 08-01.3-2012 (k SP RK EN 1998-1:2004/2012) Proektirovanie seymstoykih zdaniy. Chast. Zdaniya iz monolitnogo zhelezobetona [NTP RK 08-01.3-2012 (to JV RK EN 1998-1:2004/2012) Design of earthquake-resistant buildings. Part. Buildings made of monolithic reinforced concrete] Astana, Committee for Construction and Housing and Communal Services and Land Management of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan, 2017. (in Russ.)
4. NTP RK 8-01.2-2012 (k SP RK EN 1998-1:2004/2012) Proektirovanie seymstoykih zdaniy Chast. Proektirovanie grazhdanskih zdaniy. Obschie trebovaniya [NTP RK 8-01.2-2012 (to JV RK EN 1998-1:2004/2012) Design of earthquake-resistant buildings Part. Design of civil buildings. General requirements] Astana, Committee for Construction and Housing and Communal Services and Land Management of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan, 2015. (in Russ.)
5. EN 1990: Basis of structural design. Basis of structural design. (in Eng.)
6. EN 1998: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. (in Eng.)
7. Erimbetov B.T., Satzhan O.I. Issledovanie raboty karkasnogo zdaniya s vertikalnyim ustom zhestkosti na deystvie nagruzok osobogo sochetaniya s uchetom seymicheskogo vozdeystviya [Study of the work of a frame building with a vertical rigidity abutment on the effect of loads of a special combination, taking into account seismic effects] Vestnik nauki Yuzhnogo Kazakhstana = Bulletin of Science of Southern Kazakhstan. 2020, 2-10, 72-80 (in Russ.)
8. Erimbetov B.T., Satzhan O.I. Issledovanie raboty karkasnogo zdaniya regulyarnoy formy v plane na deystvie nagruzok osobogo sochetaniya s uchetom seymicheskogo vozdeystviya [Study of the work of a regular-shaped frame building in terms of the effect of loads of a special combination, taking into account seismic effects] Nauchnyye trudy YuKGU im. M. Auezova = Scientific works of SKGU named M. Auevov. 2020, 2 -54, 44-54 (in Russ.)

**Б.Т. Ерімбетов¹, Б.М. Чалабаев¹, Я.Б. Құнанбаева^{1*}, Ж.А. Үсенқұлов¹,
Ф.Х. Аубакирова¹, Б.Қ. Дүйсенбеков¹**

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

Авторлар жайлы ақпарат:

Ерімбетов Баисбай Турабаевич – техника ғылымының кандидаты, доцент, КЕАҚ «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті», Шымкент, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0001-5835-0167>, email: baisbay@mail.ru

Чалабаев Берик Мырзабекович – техника ғылымының кандидаты, профессор, КЕАҚ «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті», Шымкент, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0002-4737-7951>, email: chalabayev_b@mail.ru

Құнанбаева Яйрахан Бекайдаровна – PhD доктор, доцент, КЕАҚ «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті», Шымкент, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0001-9465-6980>, email: aira.kunaeva@mail.ru

Усенкулов Женисбек Амантаевич – техника ғылымының кандидаты, профессор, КЕАҚ «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті», Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-3404-1153>, email: alem505@mail.ru

Аубакирова Фарида Хабиевна – техника ғылымының кандидаты, доцент, КЕАҚ «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті», Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-4687-1528>, email: faraub1011@mail.ru

Дуйсенбеков Болат Камбарович – PhD докторы, аға оқытушы, КЕАҚ «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті», Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-3476-5218>, email: bolat003@mail.ru

СЕЙСМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІ АЙМАҚТАРДА ЖОБАЛАУ КЕЗІНДЕ ОРТАША ҚАБАТТЫ ҚАҢҚАЛЫ ҒИМАРАТТАРДЫ ҚОЛДАНУ

Аңдатпа. Бұл мақалада айналмалы-иілмелі жүйелі және тұрақты нұсқалы конструктивтік схемалы қаңқалы бес қабатты ғимараттың сейсмикалық әсерді есепке ала отырып, ерекше үйлесім жүктемелерінің әрекетіне сандық зерттеу мәселелері қарастырылған. Алынған нәтижелердің негізінде, қаңқалы ғимараттарды жобалау барысында ғимаратқа сейсмикалық әсер ету әсерін төмендетуге мүмкіндік беретін ұсыныстар берілді.

Түйін сөздер: жоспардағы тұрақты пішінді рамалық ғимарат, бұралу кезіндегі ғимараттың қаттылығы, бұралу жүйесі, сейсмикалық әсердің әсері.

**В.Т. Erimbetov¹, В.М. Chalabaev¹, Ya.B. Kunanbayeva^{1*},
Zh.A. Usenkulov¹, F.Kh. Aubakirova¹, B.K. Duysenbekov¹**

¹М. Auevov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan

Information about authors:

Yerimbetov Baisbai Turabayevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, NPJSC «M. Auevov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-5835-0167>, email: baisbay@mail.ru

Chalabaev Berik Myrzabekovich – Candidate of Technical Sciences, Professor, NPJSC «M. Auevov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-4737-7951>, e-mail: chalabayev_b@mail.ru

Kunanbayeva Yayrakhan Bekaydarovna – Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor, NPJSC «M. Auevov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-9465-6980>, email: aira.kunaeva@mail.ru

Usenkulov Zhenisbek Amantayevich – Candidate of Technical Sciences, Professor, NPJSC «M. Auevov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-3404-1153>, email: alem505@mail.ru

Aubakirova Farida Khadievna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, NPJSC «M. Auevov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-4687-1528>, email: faraub1011@mail.ru

Duysenbekov Bolat Kambarovich – Doctor of Philosophy (PhD), Senior Lecturer, NPJSC «M. Auevov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-3476-5218>, email: bolat003@mail.ru

THE USE OF FRAME BUILDINGS OF MEDIUM HEIGHT WHEN DESIGNING IN SEISMICALLY ACTIVE ZONES

Abstract. This article deals with the numerical study of the work of a 5-story frame building with a core of torsion-malleable system rigidity, as well as a regular form in terms of the action of loads of a special combination, taking into account the seismic impact. Based on the results obtained in the process of numerical research of buildings, recommendations were issued, which are taken into account in the process of building design, to reduce the effect of seismic impact on the building.

Keywords: Frame building of regular shape in plan, torsional rigidity of the building, torsional-pliable system, the effect of seismic impact.