

DOI: 10.38054/IAEEE-202307

УДК 69.001.5

**КАЗАКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ
БИЙИК ИМАРАТТАРДЫ ДӨЛБӨӨРЛӨӨ**

Омаров Ж.А., т.и.к. «КазНИИСА» АҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы,
zomarov@kazniisa.kz

Шокбаров Э.М., т.и.к. «КазНИИСА» АҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы,
eshokbarov@kazniisa.kz

Шаймерденов Т.А., «КазНИИСА» АҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы,
timur@kazniisa.kz

Аннотация: Мақалада Қазақстан Республикасының сейсмикалық аймақтарында көп қабаттуу үйлерді дөлбөорлоого заманбап ықмалар берілген.

Негизгі сөздер: вибродинамикалық машина, ылдамдықтар, жылыштар, бұзулулар

**ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Омаров Ж.А., к.т.н. АО «КазНИИСА», г. Алматы, Республика Казахстан,
zomarov@kazniisa.kz

Шокбаров Е.М., к.т.н. АО «КазНИИСА», г. Алматы, Республика Казахстан,
eshokbarov@kazniisa.kz

Шаймерденов Т.А., АО «КазНИИСА», г. Алматы, Республика Казахстан,
timur@kazniisa.kz

Аннотация: В статье изложены современные подходы к проектированию высотных зданий в сейсмических районах Республики Казахстан.

Негизгі сөздер: көп қабаттуу имарат, стандарттуу, қурулуш

**DESIGN OF HIGH-RISE BUILDINGS IN SEISMIC AREAS OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN**

Omarov Zh.A., Ph.D. KazNIISA JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan,
zomarov@kazniisa.kz

Shokbarov E.M., Ph.D. KazNIISA JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan,
eshokbarov@kazniisa.kz

Shaimerdenov T.A., KazNIISA JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan, timur@kazniisa.kz

Annotation: The article presents modern approaches to the design of high-rise buildings in the seismic regions of the Republic of Kazakhstan.

Key words: high-rise building, standard, construction

Строительство многоэтажных и высотных зданий в сейсмических районах Казахстана пришлось на начало 2000-х годов, когда концепция строительства и экономические аспекты страны требовали новые методы и подходы. В городе Алматы, расположенном в районе сейсмичностью 9 баллов, за последние 15 лет было возведено примерно 200 зданий высотой более 12 этажей. Около 40% из указанного количества зданий имеет высоту 20 этажей и более, а самое высокое здание «Esentai Tower» 38 этажей (168 м).

Опыт проектирования и строительства этих объектов показал, что архитектурные и конструктивные решения высотных зданий, вполне согласующиеся с современными организационными и технологическими возможностями строительных организаций, зачастую, проблематично «подогнать» под некоторые нормативные требования, разработанные десятилетия назад и базирующиеся на принципе минимизации материальных затрат или на устаревших подходах к расчету конструкций.

Отмечается, что современные нормы всех стран, регламентирующие правила проектирования зданий в сейсмических районах, сформировались на основании результатов исследований и анализа поведения при реальных землетрясениях главным образом зданий малой и средней этажности. Расчетные и конструктивные мероприятия, обеспечивающие требуемую сопротивляемость сейсмическим воздействиям высотных зданий, представлены в нормах в недостаточном объеме или вообще не представлены.

Вместе с тем, высотные здания отличаются от зданий малой и средней этажности не только размерами и затратами на строительство. С увеличением высоты зданий:

- увеличиваются социально-экономические последствия их повреждений;
- повышается опасность хрупкого разрушения их конструкций;
- снижается их способность к диссипации энергии и уменьшаются резервы несущей способности конструкций по отношению к расчетным сейсмическим нагрузкам;
- повышается вклад высших форм колебаний зданий в эффекты сейсмических воздействий.

Не вдаваясь в подробности, отметим, что все высотные здания, возведенные в сейсмических районах РК, проектировались по специальным техническим условиям (СТУ), составленным в развитие действующих норм. В соответствии с этими СТУ интенсивность сейсмических воздействий на площадках строительства определялась по детерминистским картам ОСР, а сейсмостойкость зданий обеспечивалась преимущественно повышением несущей способности их конструкций, сочетающимся с некоторым повышением способности конструктивных систем к пластическому деформированию.

Esentai Tower

Проектирование и строительство здания осуществлялось в период с 2005 г. по 2007 г. Определение расчетных сейсмических нагрузок выполнялась по методике СНиП РК 2.03-04-2001 «Строительство в сейсмических районах».

Архитектурное и конструктивное проектирование исследуемого здания выполнялось международной группой компаний, представленной:

- Skidmore, Owings & Merrill LLP (New York, USA, Design Consultant);
- Leslie E. Robertson Associates RLLP (New York, USA, Structural Engineering Consultant);
- Dizayn Grup (Istanbul, Turkey, Structural Construction Documents Consultant);
- Bureau Veritas Kazakhstan LLP (Алматы, Республика Казахстан, Project Manager).

В процессе проектирования принимали участие РГП КазНИИССА (научно-техническое сопровождение и контроль), а также ПА «Казгор» и ТОО «GMI & Design» (адаптация проекта и авторский надзор).

Комплекс ***Esentai Tower*** состоит из нескольких высотных зданий трех зданий по 20 этажей и один 38 этажей.

Сейсмичность площадки строительства составляет 9 баллов.

Категория грунтов по сейсмическим свойствам – I (первая)

В здании «ESENTAI TOWER» предусмотрены 4 подземных и 37 надземных этажей, с различными высотами.

Фундаментная конструкция исследуемого здания предусмотрена в виде сплошной плиты, сложной формы в плане и с переменной толщиной от 3,4 м до 6,8 м.

Наружные стены подземной части здания предусмотрены толщиной 800 мм.



Рисунок 1 Общий вид

В уровнях покрытия и перекрытия над 27 этажом, предусматривается изменение конфигурации здания по высоте (изменение формы и площади горизонтальной проекции плана).

Наибольшие размеры здания в плане в уровнях подземных этажей (по контуру внешних стен) составляют примерно 34,8 x 57,1 м.

Наименование конструкций	Класс бетона по прочности на сжатие	Начальный модуль упругости по СНиП 2.03.01-84
Стены ядра жесткости	B60	$E=40,0 \times 10^3$ МПа
Колонны и ригели периферийных моментных рам; раскосы (диагонали) в ростверковом этаже.	B60	$E=40,0 \times 10^3$ МПа
Фундаментная плита	B50	$E=39,0 \times 10^3$ МПа
Наружные стены подземной части здания	B50	$E=39,0 \times 10^3$ МПа
Балки перекрытий, стенки бассейнов	B40	$E=36,0 \times 10^3$ МПа
Плиты перекрытий и днища бассейнов, лестничные марши	B40	$E=36,0 \times 10^3$ МПа

Продольные стены ядра жесткости предусмотрены толщиной:

- в уровнях В4-В1 – 1500 мм;
- в уровнях 1-4 этажей – 1500 мм;
- в уровнях 5-17 этажей – 1100 мм;
- в уровнях 18-27 этажей – 750 мм;
- в уровнях 28 этажа и выше – 500 мм.

Крайние (торцовые) поперечные стены ядра жесткости предусмотрены толщиной:

- в уровнях В4-В1 – 800 мм;
- с 1 по 17 этаж – 800 мм;
- с 18 этажа и выше – 500 мм.

Внутренние поперечные стены центрального вертикального ядра (ствола жесткости) предусмотрены постоянной по высоте толщиной – 500 и 250 мм.

Сечения колонн в нижних этажах составляло от 1600x1600 до 1400x1400 мм, в средних этажах от 1400x1400 до 1000x1000 мм и в верхних этажах от 1000x1000 мм до 800x800 мм.

Междуэтажные перекрытия предусмотрены разных типов: плоские, балочные и кессонного типа.

Наибольшая высота здания от уровня планировочной отметки земли до верха основных вертикальных несущих конструкций, объединенных плитами покрытия, переменная, и составляет примерно 161-162 м.

Конструктивная схема здания классифицирована (по терминологии, принятой в нормах США - UBC 1997) как «двойная». «Двойная» конструктивная система представлена ядром жесткости (системой стен-диафрагм) и каркасной обстройкой (системой моментных рам).

На данном объекте предусмотрена инженерно-сейсмометрическая станция, которая фиксирует все землетрясения, которые происходят на территории города Алматы.

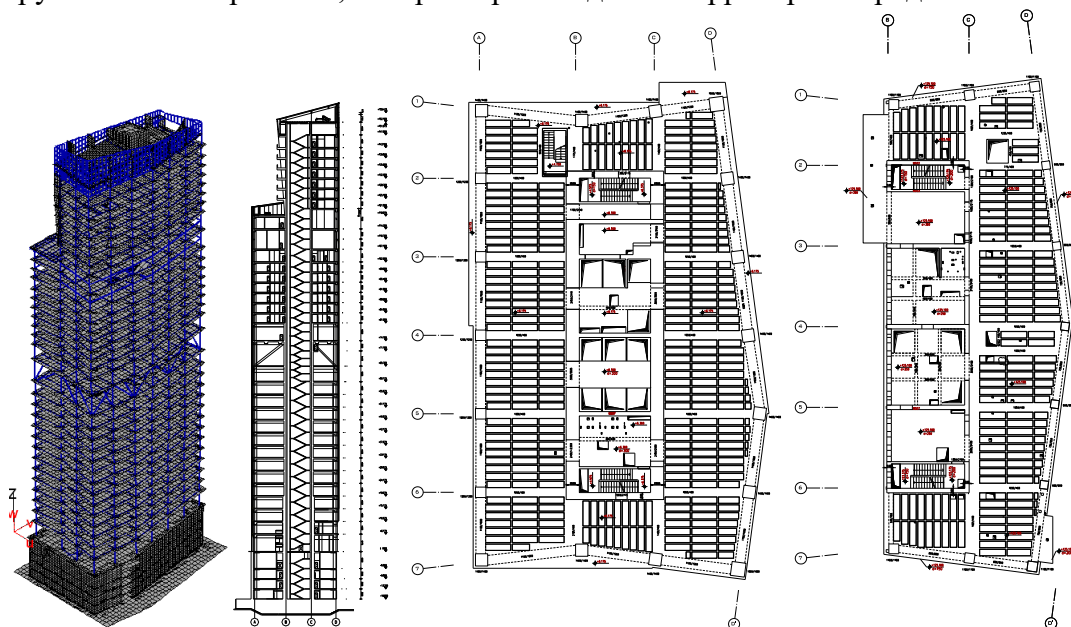


Рисунок 2 Общая расчетная схема, разрез и планы здания

Нурлы Тау – 30 этажный жилой дом

Здание возведено на площадке сейсмичностью 9 баллов. Категория грунтов по сейсмическим свойствам – I. Условия, усложняющие сейсмологические или инженерно-геологические условия площадки строительства не выявлены.

Здание запроектировано с 3-мя подвальными этажами, 29-ю надземными жилыми этажами и 6-этажной купольной частью, в которой расположены смотровые площадки и технические помещения. Здание имеет Y-образную форму в плане и отделено от примыкающих объектов антисейсмическими швами. Проектная высота здания от подошвы фундамента до верха здания (без учета шпиля) 134,12 м.

В конструктивном отношении изучаемый объект представляет собой пространственную каркасно-стеновую систему.

Толщина основных железобетонных стен рассматриваемого здания принята переменной по высоте – от 600..700 мм в уровнях нижних этажей до 300 мм в уровнях верхних этажей.

Размеры поперечного сечения колонн также приняты переменными по высоте здания – от 700х700 мм в уровнях нижних этажей до 400х400 мм в уровнях верхних этажей.

При горизонтальных воздействиях совместная работа колонн каркаса и железобетонных стен обеспечивается горизонтальными дисками перекрытий. Перекрытия здания выполнены монолитными железобетонными и имеют толщину 20 см.

Фундаментная плита имеет толщину 200 см, а в местах расположения прямиков для лифтов – 400 см.

Проектная прочность бетона фундаментной плиты принята В25, стен (кроме стен подвала лифтовых шахт) и колонн: до отм. 13,02 – В45, от отм. 13,2 до 25,62 – В40, от отм.

25,62 до отм. 60, 25 – В30, выше – В25. Стены подвала, лифтовых шахт и плиты перекрытий предусмотрены из бетона В25.

Проектирование 30-этажного здания осуществлялось в соответствии с требованиями норм Республики Казахстан СНИП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах» и «Технических условий на проектирование многоэтажного жилого здания» (площадка строительства: г. Алматы, Полифункциональный центр «Нурлы тау, пятно 5а).



Рисунок 3 Общий вид здания до и после строительства

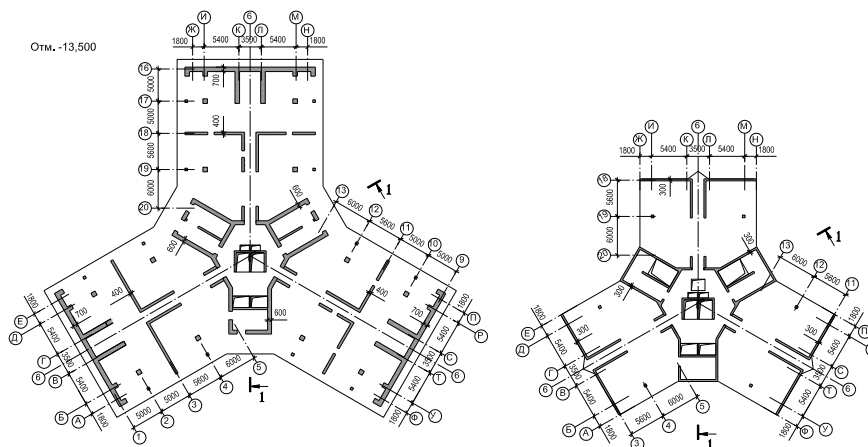


Рисунок 4 Планы здания

Дополнительно данный объект подвергался вибродинамическим испытаниям. Общее количество этапов составило семь. Максимальный период колебаний на 6 этапе составил 1,48 сек. Максимальные ускорения, полученные на покрытии, составили 0,34g. Максимальные перемещения составили по 2-й форме 13,2 мм.

Mega Towers Almaty

Здание возведено на площадке, расположенной ул. Малахова восточнее р. Алматинка. Сейсмичность площадки строительства 9 баллов. Категория грунтов по сейсмическим свойствам – I. Условия, усложняющие сейсмологические или инженерно-геологические условия площадки строительства не выявлены.

Здание запроектировано с 2-мя подвальными этажами, 25-ю надземными жилыми этажами и верхним техническим этажом. Проектная высота здания от подошвы фундамента до верха здания (без учета шпиля) 134,12 м.

В конструктивном отношении изучаемый объект представляет собой пространственную каркасно-стенную систему.

Толщина основных железобетонных стен рассматриваемого здания принята переменной по высоте – от 600..800 мм в уровнях нижних этажей до 240 мм в уровнях верхних этажей. Размеры поперечного сечения колонн также приняты переменными по высоте здания – от 600х600 мм в уровнях нижних этажей до 400х400 мм в уровнях верхних этажей.

При горизонтальных воздействиях совместная работа колонн каркаса и железобетонных стен обеспечивается горизонтальными дисками перекрытий. Перекрытия здания выполнены монолитными железобетонными и имеют толщину 20 см. Фундаментная плита имеет толщину 240 см, а в местах расположения приемков для лифтов – 365 см.

Проектная прочность бетона фундаментной плиты принята В25, стен и колонн: до 14 этажа – В30, выше – В25.



Рисунок 5 Общий вид Mega Towers

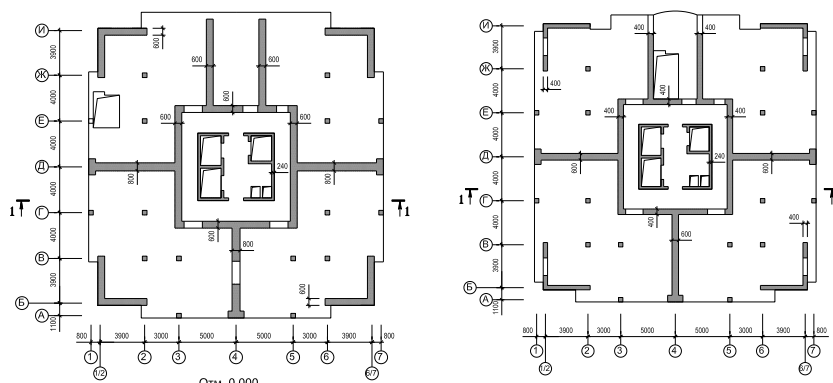


Рисунок 6 Планы этажей

Проектирование 25-этажного здания осуществлялось в соответствии с требованиями норм Республики Казахстан СНИП РК 2.03-04-2001 «Строительство в сейсмических районах» и «Технических условий на проектирование многоэтажного жилого комплекса» (от 1 декабря 2004 года).

Дополнительно данный объект подвергался вибродинамическим испытаниям. Общее количество этапов составило десять. Максимальный период колебаний на 9 этапе составил 1,18 сек. Максимальные ускорения, полученные на покрытии, составили 0,46g. Максимальные перемещения составили по 1-й форме 15,7 мм.

ЖК EVEREST

Здание в надземной части имеет – 19 этажей. В подземной части – два этажа. Наибольшие размеры в плане здания составляют – 27,4х25,3 м.

Согласно НТП РК 08-01.3-2012 конструктивная система рассматриваемого здания классифицирована как **стенная система, образованная в обоих главных направлениях преимущественно связанными стенами**.

Проектирование здания осуществлялось в соответствии с требованиями НТП к СП РК EN 1998-1 т.е. по требованиям Еврокодов и Специальных технических условий на проектирование многоэтажного жилого комплекса» от 12.12.2022 г. Также еще одной чертой при проектировании данного объекта применялся региональный норматив СП РК 2.03-31-2020 «Застройка территории города Алматы с учетом сейсмического микроразонирования».

Средние значения скоростей распространения поперечных волн в в 10-ти метровой толще грунтов изменяются от **380 до 430 м/с**, а в 30-метровой толще – от **620 до 670 м/с**, что соответствует **ИБ (первому)** типу грунтовых условий по сейсмическим свойствам.

Таким образом, исходная сейсмичность зоны строительства по Карте общего сейсмического зонирования территории Казахстана (ОСЗ-2₄₇₅) равна 9-ти (девяти) баллам. Тип грунтовых условий по сейсмическим свойствам в пределах площадки строительства многофункционального жилого комплекса **ИБ (первый)**. Уточненное значение сейсмичности равно 9 (девяти) баллам.

Значение расчетного горизонтального ускорения a_g для территории с **ИБ (первым)** типом грунтовых условий по сейсмическим свойствам будет равно **0,5g**, а значение расчетного вертикального ускорения a_{gv} будет равно **0,45g**.

Наибольшая высота надземной части здания, достигает примерно 63-64 м

Рассматриваемое здание было запроектировано в соответствии с принципами и правилами СП РК EN 1998-1:2004/2012, соответствующими классу пластичности «DCM» - среднему классу пластичности с дополнительными требованиями класса пластичности «DCH».

по функциональному назначению – к классу ответственности II;

по этажности – к классу ответственности V (высотные здания).

Класс бетона по прочности на сжатие рекомендуется принять:

– для вертикальных несущих конструкций и перекрытий здания от обреза фундамента до 4 этажа – по результатам расчетов, но не менее C32/40 (B40), с 4 этажа и выше – по результатам расчетов, но не менее C25/30 (B30);

– для фундаментных конструкций здания – C20/25 (B25).

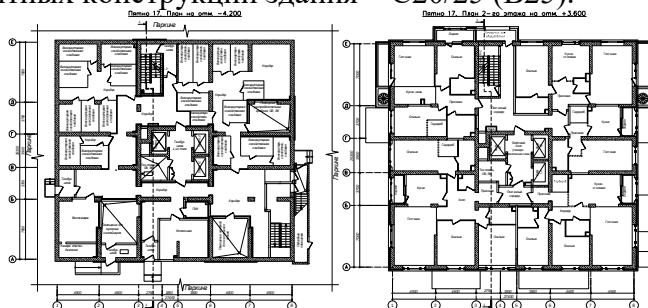


Рисунок 7 Планы этажей



Рисунок 8 Расчетная схема и общий вид зданий

Заключение

Высотные здания являются композиционными доминантами современных городов и символами научно-технического прогресса, поэтому все требования к их проектным решениям невозможно формализовать в рамках нормативных документов. Учитывая этот факт, на сегодняшний день в НТП рекомендовано сохранить практику проектирования высотных зданий с использованием адресных технических условий, в которых положения НТП должны быть конкретизированы исходя из фактических условий строительства, конструктивно-планировочных особенностей зданий и вида используемых материалов.

В НТП представлена только одна из возможных концепций обеспечения сейсмической безопасности высотных зданий, но не исключена возможность применения альтернативных концепций, основанных на признанных научных положениях, апробированных технических решениях и результатах соответствующих испытаний.

Разработанное НТП апробируется в настоящее время при проектировании нескольких реальных объектов. Предполагается, что в зависимости от результатов апробации в НТП, при необходимости, могут быть внесены некоторые уточнения.

Список использованной литературы

1. Ашимбаев М.У., Ицков И.Е. Проблемы обеспечения надежности зданий повышенной этажности, возводимых в сейсмических районах. Сейсмостойкое строительство и безопасность сооружений. №4, 2005.
2. Recommendations for the Seismic Design of High-rise Buildings. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. 2008.
3. EN 1998-1: 2004 Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.
4. S. Pampanin. Reality-Check and Renewed Challenges in Earthquake Engineering: Implementing Low-Damage Structural Systems – from Theory to Practice. 15WCEE in Lisbon, Portugal, September 2012.
5. Manual for the seismic design of steel and concrete buildings to Eurocode 8. 2010.
6. E. Booth, Z. Lubkowski. Creating a vision for the future of Eurocode 8. 15WCEE in Lisbon, Portugal, September 2012.
7. СП РК 2.03-30-2017* «Строительство в сейсмических зонах».
8. СНиП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах».
9. СНиП РК 2.03-04-2001 «Строительство в сейсмических районах».
10. СТУ разработанный АО «КазНИИСА».