

УДК 699.841

DOI [10.37153/2618-9283-2021-2-54-71](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-2-54-71)

Мониторинг и паспортизация зданий и сооружений

Вероятностная оценка величин надежности для крупнопанельных зданий по результатам паспортизации

Лапин В.А.¹, Алдахов Е.С.¹, Алдахов С.Д.¹, Али А.Б.¹
¹АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: По договору с городскими властями в 2017-2018 годы впервые проведена полная паспортизация жилого фонда многоквартирных зданий. Внесено в базу данных 2658 многоэтажных крупнопанельных зданий различной этажности от 2-х до 9-и этажей. По результатам паспортизации впервые получены количественные оценки величин вероятности отказа и надежности для крупнопанельных зданий различных типов. Учитывается повторяемость землетрясений согласно действующей «Карты сейсмического зонирования Республики Казахстан». Получена величина надежности по всей группе крупнопанельных зданий. Выявлено, что несейсмостойкими являются крупнопанельные здания с первым гибким или кирпичным этажом. Результаты оценок величин надежности и отказа используются для практических рекомендаций по уменьшению риска и ожидаемых потерь при возможных землетрясениях. Предлагается выполнить усиление крупнопанельных зданий с первым гибким или кирпичным этажом (33 здания). Способ усиления должен определяться по специальным исследованиям.

Ключевые слова: паспортизация, риск, крупнопанельное здание, гибкий этаж, надежность, повторяемость, ущерб

Благодарности: Исследование выполнено с использованием гранта АР 05130702 Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Для цитирования: Лапин В.А., Алдахов Е.С., Алдахов С.Д., Али А.Б. Вероятностная оценка величин надежности для крупнопанельных зданий по результатам паспортизации// *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2021. № 2. С.54-71

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-2-54-71](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-2-54-71)

Monitoring and certification of seismic constructions

Probabilistic estimation of reliability values for large-panel buildings based on the results of certification

Lapin V.A.¹, Aldakhov E.S.¹, Aldakhov S.D.¹, Ali A.B.¹
¹KazRDICA JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan

@ Лапин В.А., Алдахов Е.С., Алдахов С.Д., Али А.Б., 2021

Abstract: Under the agreement with the city authorities, in 2017-2018, for the first time, a full certification of the housing stock of apartment buildings was carried out. 2658 multi-storey large-panel buildings of various storeys from 2 to 9 floors were entered into the database. Based on the results of certification, quantitative estimates of the probability of failure and reliability for large-panel buildings of various types were obtained for the first time. The frequency of earthquakes is taken into account according to the current "Map of seismic zoning of the Republic of Kazakhstan". The reliability value is obtained for the entire group of large-panel buildings. It was revealed that large-panel buildings with the first flexible or brick floor are not earthquake-resistant. The results of the reliability and failure estimates are used for practical recommendations to reduce the risk and expected losses in possible earthquakes. It is proposed to strengthen large-panel buildings with the first flexible or brick floor (33 buildings). The method of strengthening should be determined by special studies.

Keywords: certification, risk, large-panel building, flexible floor, reliability, repeatability, damage.

Acknowledgements: The research was carried out using the grant AP 05130702 of the Ministry of education and science of the Republic of Kazakhstan.

For citation: Lapin V.A., Aldakhov E.S., Aldakhov S.D., Ali A.B. Probabilistic estimation of reliability values for large-panel buildings based on the results of certification. *Seismostoiikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2021, no. 2, pp. 54-71. (In Russian)

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-2-54-71](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-2-54-71)

1. Введение

Район мегаполиса – города Алматы является самой высокосейсмичной территорией в Центральной Азии. В городе проживает свыше 2-х миллионов человек. Сейсмичность города обусловлена сейсмогенными зонами Северного Тянь-Шаня. За последние 140 лет здесь произошло 3 сильных землетрясения с магнитудой 7-8 – Верненское (1887), Чиликское (1889), Кебинское (Кеминское) (1911). В данных природных условиях сейсмобезопасность города и его населения должна быть надежно обеспечена.

Крупнопанельные здания благодаря высокой степени индустриализации получили широкое распространение в сейсмических районах [1-10]. В таких зданиях наружные и внутренние стены воспринимают все вертикальные и горизонтальные нагрузки, действующие на здание. Первые панельные здания были запроектированы для сейсмических районов в конце 50-х годов. Было установлено, что крупнопанельные здания обладают высокой сопротивляемостью к сейсмическим воздействиям [7-12].

В городе Алматы первые крупнопанельные дома для строительства в условиях 9-балльной сейсмичности были запроектированы институтом «Казгорстройпроект» и уже в 1959-1960 гг. были построены два таких дома. В 1961-1962 г.г. этим же институтом была разработана типовая серия четырехэтажных крупнопанельных жилых домов I-464 АС. В работах института КазпромстройНИИпроект изучение сейсмостойкости крупнопанельных домов было выполнено исчерпывающим образом.

В 2017-2018 годы в городе Алматы проведена тотальная паспортизация многоквартирного жилого фонда [13-18], по результатам которой были созданы электронные паспорта обследованных зданий.

Ниже приводятся оценки надежности и риска таких зданий с использованием результатов паспортизации. Количественные данные по оценкам отказа и надежности крупнопанельных зданий для города Алматы получены впервые.

Вопросы оценки значений надежности и величин сейсмического риска являются актуальными и позволяют выполнить количественную оценку сейсмостойкости зданий [19-30].

2. Методы и объекты

2.1. Многоквартирные крупнопанельные дома

Массовое строительство крупнопанельных зданий в г. Алматы было начато в 1959 г. и продолжалось до 1992 года.

Максимальные объемы возведения крупнопанельных зданий были достигнуты в 1985-1988 г.г. В этот период времени объемы ежегодно вводимых в эксплуатацию крупнопанельных зданий приближались к 400 тыс. м², что составляло примерно 70% от общего объема жилищного строительства в г. Алматы.

К настоящему времени общая площадь крупнопанельных зданий, возведенных в г. Алматы и на прилегающих территориях, составляет 9,7 млн. квадратных метров. В крупнопанельных зданиях проживает примерно 600 тыс. человек.

При застройке г. Алматы использовались в основном следующие серии крупнопанельных зданий: 1-464-АС; 1КЗ-464-ДС; 69; Э-147; 158.

Здания серии 464 были предназначены для строительства 4-5-этажных жилых домов, серии 69 – 5-этажных, серии Э-147 – 8-этажных, серии 158 – 9-этажных.

В основу конструктивных решений зданий всех указанных серий положены перекрестно-стеновые конструктивные схемы, образованные продольными и поперечными несущими стенами, объединенными для совместной работы вертикальными стыковыми соединениями и междуэтажными перекрытиями, смонтированными из сплошных плит размером на комнату. Четырехэтажные и пятиэтажные здания имели одну внутреннюю продольную стену, а восьми и девятиэтажные – две.

Первоначально в городе возводились только четырехэтажные здания серии 1-464-АС. Шаг поперечных стен в этих зданиях составлял 2,6 и 3,2 м. Наружные стены монтировались из трехслойных панелей размером на комнату. Толщина наружных панелей составляла 250 мм, в том числе толщина несущего слоя – 100 мм. Внутренние стены монтировались из панелей на комнату или две комнаты. Толщина железобетонных панелей внутренних стен составляла 120 мм. Соединения между панелями выполнялись на сварке закладных деталей.

С 1967 г. строительство зданий серии 1-464-АС было прекращено и в г. Алматы начали строиться крупнопанельные здания серии 1КЗ-464-ДС. Здания данной серии представляют собой модификацию зданий серии 1-464-АС. Наиболее существенные конструктивные различия между указанными сериями сводились к различиям в конструктивных решениях вертикальных стыковых соединений между панелями стен.

В зданиях серии 1КЗ-464-ДС панели наружных стен имели на боковых гранях шпоночные углубления и арматурные выпуски. Благодаря наличию углублений, между смежными в плане здания панелями, образуются так называемые «вертикальные колодцы», в которых размещаются вертикальные арматурные стержни, сквозные на всю высоту здания. Вертикальные колодцы, после сварки горизонтальных арматурных выпусков из панелей, замоноличиваются бетоном. Строительство зданий серии 1-464-ДС продолжалось до 1992 г.

Здания серий 69, Э-147 и 158 можно отнести к крупнопанельным зданиям следующего поколения. Комфортность этих зданий, определяемая качеством

планировочных решений, а также звукоизоляционными и теплотехническими свойствами стеновых конструкций, значительно превышала комфортность, имевшую место в зданиях серии 464.

Шаг поперечных стен в зданиях этих серий был увеличен до 3,6 м. Толщина панелей внутренних стен и перекрытий стала равной 160 мм, а толщина панелей наружных стен – 350 мм.

Существенные изменения претерпели и стыковые соединения между панелями. В зданиях серий 69, Э-147 и 158 все вертикальные стыковые соединения между панелями стен выполняются на сварке арматурных выпусков, с последующим замоноличиванием вертикальных колодцев, а горизонтальные стыковые соединения между панелями и стыковые соединения между панелями плит перекрытий – в виде армированных железобетонных шпонок.

При паспортизации было обследовано крупнопанельных многоквартирных жилых домов по районам:

Алатауский район – 2 дома серии 1Кз-464ДС;

Алмалинский район – 28 домов серии 1Кз-464АС, 283 дома серии 1Кз-464ДС, 71 дом серии 69, 3 дома серии Э147, 132 дома серии 158;

Ауэзовский район – 395 домов серии 1Кз-464АС, 418 домов серии 1Кз-464ДС, 13 домов серии 69, 6 домов серии Э147, 339 домов серии 158;

Бостандыкский район – 57 домов серии 1Кз-464АС, 376 домов серии 1Кз-464ДС, 17 домов серии 69, 16 домов серии Э147, 117 домов серии 158;

Жетысуский район – 1 дом серии 1Кз-464АС, 117 домов серии 1Кз-464ДС, 23 дома серии 69, 57 домов серии 158;

Медеуский район – 17 домов серии 1Кз-464АС, 64 дома серии 1Кз-464ДС, 3 дома серии Э147, 12 домов серии 158;

Наурызбайский район – 9 домов серии 1Кз-464ДС, 2 дома серии 158;

Турксибский район – 2 дома серии 1Кз-464АС, 18 домов серии 1Кз-464ДС, 18 домов серии 69, 2 дома серии 158.

В особый класс крупнопанельных зданий следует отнести крупнопанельные здания с «первыми гибкими этажами». Здания современной постройки с первыми гибкими этажами относятся к классу сейсмоопасных объектов, разрушение которых при сейсмическом воздействии расчетной интенсивности будет сопровождаться катастрофическими последствиями – обрушением зданий в целом.

2.2 Здания с системами сейсмоизоляции

В Алматы имеется значительное количество крупнопанельных зданий с различными системами сейсмоизоляции [11,12,31]:

- 5-этажное здание серии 69 на кинематических фундаментах (КФ);
- 5 и 9-этажные дома серии 158 на (КФ);
- 2-этажное здание серии 226 на площадке сейсмичностью 10 баллов на (КФ);
- 9-этажное здание серии 158 на фторопластовых прокладках (ФТ).

Выявлено:

- Упруго-нелинейный характер диаграммы деформирования фундаментов в осях «сила – перемещение»;
- повышенная диссипативная способность, отмеченная по декременту свободных колебаний сейсмоизолированного здания.

По результатам испытаний были сделаны выводы:

- крупнопанельные здания на кинематических фундаментах при интенсивных динамических и сейсмических воздействиях работают как одномассовые упруго-нелинейные системы;
- при виброиспытаниях не отмечено образование трещин в панелях стен и плитах перекрытия;
- расчетная схема сейсмоизолированного здания ввиду малых деформаций надфундаментной части дома хорошо описывается одномассовой нелинейной системой;
- сейсмические силы снижаются в 2 и более раз в зависимости от преобладающего периода сейсмического воздействия;
- экономический эффект от применения КФ достигается за счет повышения этажности зданий или использования типовых серий, рассчитанных на меньшую сейсмичность.

Применение систем сейсмоизоляции позволяет снижать до 2-х раз расчетные сейсмические нагрузки, уменьшить на 5-7% расход стали и на 3-5% сметную стоимость здания.

3. Результаты

В таблице 1 приведены результаты паспортизации по сериям крупнопанельных зданий. Несейсмостойкими здесь являются крупнопанельные здания с первым гибким или кирпичным этажом. Это 1.24 % от всего количества крупнопанельных зданий. Поэтому группа крупнопанельных зданий в целом соответствует нормам сейсмостойкого строительства и представляется достаточно безопасной для проживания. Группа крупнопанельных зданий наиболее многочисленная в городе Алматы.

Полагая критерием надежности факт отнесения здания к множеству сейсмостойких домов получим величину вероятности безотказной работы (надежности)

$$W=1 - (33/2658)=0,9876. \quad (1)$$

Таблица 1 – Многоквартирные крупнопанельные жилые дома по сериям

Table 1 – Multi-apartment large-panel residential buildings by series

№	Серии крупнопанельных зданий	Количество зданий	Сейсмостойкие здания	Несейсмостойкие здания
1	464-ДС	1287	1287	-
2	464-АС	500	500	-
3	69	142	142	-
4	Э147	28	28	-
5	158	661	661	-
6	Остальные типы КПД	40	7	33
	Всего	2658	2625	33

Оценка (1) есть интегральная оценка надежности группы крупнопанельных зданий без учета повторяемости землетрясений, которую удобно использовать для сопоставления

оценки надежности различных конструктивных типов – крупнопанельные, кирпичные, каркасные и т.д.

На рисунках 1-3 приведены сейсмоопасные дома, а на рисунках 4-8 – сейсмостойкие крупнопанельные дома.



Рисунок 1 – Ул. Ауэзова, дом 65 (сейсмоопасный дом)

Figure 1 – st. Auezov, house 65 (earthquake-prone house)



Рисунок 2 – Мкр. Орбита-2, дом 2 (сейсмоопасный дом)

Figure 2 – Mkr. Orbita-2, building 2 (earthquake-prone house)



Рисунок 3 – Мкр. Орбита-2, дом 6 (сейсмоопасный дом)

Figure 3 – Mkr. Orbita-2, building 6 (earthquake-prone house)



Рисунок 4 – Мкр. Мамыр-1, дом 9 (сейсмостойкий дом)

Figure 4 – Mkr. Mamyр-1, building 9 (earthquake-resistant house)



Рисунок 5 – Мкр. Мамыр-2, дом 15 (сейсмостойкий дом)

Figure 5 – Mkr. Mamyр-2, building 15 (earthquake-resistant house)



Рисунок 6 – Мкр. Тастак-1, дом 6 (сейсмостойкий дом)

Figure 6 – Mkr. Tastak-1, building 6 (earthquake-resistant house)



Рисунок 7 – Мкр. Тастак-1, дом 11 (сейсмостойкий дом)

Figure 7 – Mkr. Tastak-1, house 11 (earthquake-resistant house)



Рисунок 8 – Мкр. Тастак-1, дом 13 (сейсмостойкий дом)

Figure 8 – Mkr. Tastak-1, house 13 (earthquake-resistant house)

3.1. Экспериментальное изучение сейсмостойкости крупнопанельных зданий

Первая серьезная проверка сейсмостойкости крупнопанельных зданий была выполнена в 1967 г. в г. Алматы во время строительства селезащитной плотины в урочище Медео. Возведение селезащитной плотины выполнялось с помощью мощных взрывов, при которых сотрясения грунта на территории в радиусе до 2 км от места взрывов оценивались в 7-8 баллов по шкале MSK-64 [1].

Комплекс исследований выполнялся на площадке, расположенной на расстоянии 800 м от места взрыва. На этой площадке было возведено шесть натуральных фрагментов зданий различных конструктивных схем, в том числе крупнопанельное, кирпичное и каркасные. Все здания были запроектированы в соответствии с требованиями действовавших норм, исходя из условий строительства в районах с сейсмичностью 9 баллов.

Во время взрыва (общий вес взрывчатого вещества составил 3900 т) максимальные горизонтальные ускорения в уровне верха фундаментов зданий достигали 0,4-0,6g, а ускорения в уровне покрытий кирпичного и крупнопанельного зданий – 0,9g и 0,6g соответственно. Осмотр зданий показал, что после сейсмозрывных воздействий кирпичное здание получило сильные повреждения, а крупнопанельное – незначительные.

Результаты сейсмозрывных испытаний на Медео впервые наглядно продемонстрировали высокую сопротивляемость крупнопанельных зданий интенсивным динамическим воздействиям и позволили объективно сопоставить сейсмостойкость крупнопанельных и кирпичных зданий.

На сегодняшний день крупнопанельные здания можно считать наиболее экспериментально исследованными конструктивными системами. За последние 30 лет только институтами ЦНИИЭПжилица и КазНИИСА были проведены динамические испытания примерно 50 натуральных крупнопанельных зданий [1,2,7,8]. Еще около 20 натуральных зданий было испытано специалистами институтов ЦНИИСК им. Кучеренко, ТбилЗНИИЭП, АрмНИИСА, ТашЗНИИЭП, ТИСС и др. Многие из экспериментальных объектов подвергались динамическим воздействиям, в 2-3 раза превышающим расчетные сейсмические нагрузки, а некоторые доводились до предельного состояния.

Стоит отметить испытание двух крупнопанельных зданий серии I-464 УС в городе Навои в 1978 году [11,12]. Одно здание было возведено на обычных ленточных фундаментах, другое на сейсмоизолирующих кинематических. Динамическое воздействие создавалось вибрационной машиной инерционного действия ВЗ. Здание на кинематических фундаментах не получило повреждений. Здание на ленточных фундаментах получило повреждение примерно третьей степени. Результаты испытаний следует признать успешными, так как повреждения здания на ленточных фундаментах не несло угрозы для жильцов, а испытания дома на КФ показало эффективность применения системы сейсмоизоляции.

Многочисленные динамические испытания крупнопанельных зданий показали, что в зданиях высотой от 5 до 9 этажей преобладают сдвиговые деформации.

Эффективность разработанных антисейсмических мероприятий была неоднократно подтверждена последствиями сильных землетрясений. Наиболее наглядным доказательством высокой надежности крупнопанельных зданий следует считать тот факт, что даже во время таких разрушительных землетрясений как Кайраккумское (1986 г.) и Спитакское (1988 г.), среди жильцов крупнопанельных зданий отсутствовали погибшие или получившие существенные травмы, а сами здания были вполне пригодны к дальнейшей эксплуатации.

Анализ состояния крупнопанельных зданий, подвергшихся сейсмическим воздействиям, свидетельствует, что такие здания обладают существенными резервами

прочности по отношению к расчетным нагрузкам и способностью к развитию значительных пластических деформаций. При этом, большую роль в обеспечении сохранности крупнопанельных зданий при сейсмических воздействиях играют конструктивные решения и состояние стыковых соединений между панелями.

Проблемы состояния стыковых соединений между панелями являются наиболее актуальными для крупнопанельных зданий серии 1-464-АС, смонтированных более 30-40 лет назад.

В 1978 и 1990 г.г. в рамках комплекса научно-исследовательских работ, связанных с оценкой сейсмостойкости зданий существующей застройки и изучением возможности модернизации некоторых из них, специалистами КазНИИСА было выполнено детальное обследование двух крупнопанельных зданий серии 1-464-АС, возведенных в 1960 г.

Результаты обследования зданий серии 1-464-АС показали, что более 30% стыковых соединений между панелями внутренних стен, ограждающих лестничные клетки и примыкающих к санузлам и кухням, подвержены коррозии. Остаточная толщина стальных элементов, расположенных в этих местах, составляет не более 60% от первоначальной. Все остальные стыковые соединения, расположенные между панелями, удаленными от помещений с мокрыми процессами, находятся в удовлетворительном состоянии.

Значительная коррозия части стыковых соединений между панелями внутренних стен представляет несомненную опасность для крупнопанельных зданий серии 1-464-АС. Для обеспечения безопасности проживающих в этих домах людей необходимо провести детальные обследования этих зданий и разработать проекты усиления поврежденных стыков. Такие работы были начаты в 1989 г., но затем, из-за отсутствия необходимого финансирования, были прерваны.

3.2. Обсуждение

В качестве гипотезы будем считать приведенные результаты истинными и полученными при реализации принятого критерия отказа. Отказ Q есть событие, состоящее в том, что при землетрясении интенсивностью 9 баллов степень повреждения объекта будет такой, при которой будет исключено его дальнейшее функционирование. Отнесение здания к классу не сейсмостойких выполняется группой экспертов, которые на основе предыдущего опыта и объективной информации относят его к указанному классу.

Предположим, что условные вероятности отказов при заданных по СП РК 2.03-30-2017* значениях ускорения одинаковы, т.е. сейсмостойкие здания являются таковыми и при указанных величинах ускорения. Реализуется схема или землетрясение с повторяемостью 1 раз в 475 лет, или 1 раз – в 2475 лет. Срок службы здания принят 50 лет.

В таблице 2 здания с первым гибким или кирпичным этажом отнесены к остальным типам КПД, вероятность отказа таких зданий значительная. В последней строке таблицы 2 приведены суммарные вероятности отказов по всем крупнопанельным зданиям $Q_{475}=0,0866$ и $Q_{2475}=0,0165$.

Таблица 2 – Характеристики вероятности отказа Q для крупнопанельных зданий

Table 2 – Characteristics of the probability of failure Q for large-panel buildings

№	Конструктивное решение	Величина отказа по типам крупнопанельных зданий	Величины отказа при повторяемости 475 лет	Величина отказа при повторяемости 2475 лет
1	464-ДС	0	0	0
2	464-АС	0	0	0
3	69	0	0	0
4	Э147	0	0	0
5	158	0	0	0
6	Остальные типы КПД	0,825	0,0866	0,0165
	Итого		0,0866	0,0165

Тогда общая величина $Q_{\text{кар}}=Q_9 P_{475}+ Q_9 P_{2475}$.

Тогда величина общей надежности по группе крупнопанельных жилых зданий

$$W_{\text{kpd}} = 1 - 0,0866 - 0,0165 = 0,8969. \quad (2)$$

Полученная величина общей надежности W_{kpd} есть объективная количественная характеристика состояния группы крупнопанельных многоэтажных жилых зданий в г. Алматы с учетом повторяемости сейсмического воздействия и разделения на серии. Дальнейшие действия могут изменять указанную величину W_{kpd} .

Отметим, что оценка вероятности отказов по сериям зданий весьма удобна для управления надежностью.

Если усилить все здания с первым гибким этажом или кирпичным этажом (33 здания), то в этом случае по всем типам крупнопанельных зданий вероятность отказа $Q_9=0$. Тогда надежность по всем сериям крупнопанельных зданий будет равна $W=1$.

Следует отметить, что вероятность отказа может быть также определена с помощью других методов определения вероятности отказа и надежности [19-30], разработанных отечественными и зарубежными специалистами.

Интересно оценить повреждаемость крупнопанельных зданий по результатам анализа последствий сильных землетрясений. В работах [7,8] приведены матрица повреждаемости крупнопанельных зданий, полученная на основе анализа последствий сильных землетрясений. Повреждаемость крупнопанельных зданий при землетрясении можно характеризовать средней величиной или математическим ожиданием степени повреждения d_{ij} здания расчетной интенсивности i баллов при сейсмическом воздействии интенсивностью J баллов. Матрица была получена на основе анализа последствий 13 сильных землетрясений (таблица 3).

Таблица 3 – Матрица повреждаемости крупнопанельных зданий

Table 3 – Damage matrix for large-panel buildings

Расчетная сейсмичность здания I, баллов	Степень повреждения d_{ij} здания при сейсмическом воздействии интенсивностью J баллов		
	7 баллов	8 баллов	9 баллов
6	1,67	2,60	3,53
7	1,35	2,13	2,91
8	1,03	1,66	2,29
9	0,71	1,19	1,68

Матрица повреждаемости представляется достаточно удобной. По расчетной сейсмичности зданий можно определить степень повреждения при землетрясении заданной интенсивности J. Для города Алматы расчетная интенсивность построенных крупнопанельных зданий 9 баллов. Следовательно, математическое ожидание степени повреждения здания $d_{99} = 1,68$. Примерно вторая степень повреждения означает, что имеют место небольшие (хорошо заметные) трещины в отдельных конструктивных элементах и соединениях между ними. Это также небольшие (хорошо заметные) трещины во многих несущих и самонесущих элементах и их соединениях между собой. Возможны также сквозные трещины в отдельных несущих и самонесущих элементах.

Известна эмпирически полученная связь между степенью повреждения здания и ущербом (стоимостью восстановительных работ), таблица 4. Указанная шкала разработана в 1983 году специалистами научно-исследовательского института организации и управления в строительстве при МИСИ им. В.В. Куйбышева (ныне МГСУ).

Таблица 4 – Величина ущерба (стоимости восстановительных работ) в зависимости от степени повреждения

Table 4 – Amount of damage (cost of restoration work) depending on the degree of damage

Степень повреждения	1	2	3	4	5
Величина ущерба в процентах от первоначальной стоимости	7,5	15	30	60	90

При полученном значении математического ожидания степени повреждения ущерб составит порядка 11% от первоначальной стоимости объекта.

В заключение необходимо сказать, что в городе Алматы имеется порядка десятка крупнопанельных зданий на сейсмоизолирующих кинематических фундаментах [11,12]. В дальнейшем можно применять и другие сейсмоизолирующие системы [31-34].

4. Выводы

1. Крупнопанельные здания с «первым гибким этажом» или кирпичными стенами на первом этаже не соответствуют требованиям действующих норм и являются сейсмоопасными. Здания с указанным первым этажом требуют детального обследования с

расчетно-аналитической оценкой несущей способности конструкций и разработке рекомендаций по способу усиления;

2. Получены вероятностные оценки надежности крупнопанельных зданий по результатам паспортизации как с учетом повторяемости землетрясений, так и без нее.

3. Крупнопанельные жилые здания не являются достаточно комфортными для проживания, желателен комплекс работ по их реновации.

4. Приемлемыми методами усиления крупнопанельных зданий с «первым гибким этажом» или кирпичными стенами на первом этаже является подведение под них различных систем сейсмоизолирующих конструкций [31-34].

5. Не отмечены в последние 5 лет случаи повреждения крупнопанельных зданий ввиду деформаций основания.

Список литературы

1. Жунусов Т.Ж. Основы сейсмостойкости сооружений. Алматы: РАУАН. 1990. 272 с.
2. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Киев. 2008. 499 с.
3. Таубаев А.С. Аналитическая записка о сейсмическом режиме города Алматы и сейсмостойкости его застройки. Алматы: КазНИИСА. 2008. 28 с.
4. Жунусов Т.Ж., Мусиенко В.Л., Чечелев В.В. Прочность и деформативность натурального отсека крупнопанельного дома при действии горизонтальных сил типа сейсмических // Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций. 1967. Вып.1(9). С.57-80.
5. Жунусов Т.Ж., Ашимбаев М.У., Бучацкий Е.Г., Жусупбеков Б. Вибрационные испытания 5-этажного экспериментального жилого дома серии 69 // Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций. 2017. Вып.25(35). С.36-48.
6. Шахнович Ю.Г., Ажибеков А.Д. Исследования натуральных фрагментов наружных стен крупнопанельных зданий серии Э147 // Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций. 2017. Вып.25(35). С.56-64.
7. Ципенюк И.Ф. Повреждаемость и надежность крупнопанельных зданий при сейсмических воздействиях. Исследования по сейсмической опасности // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 29. М.: Наука.1988.С.141-153.
8. Ципенюк И.Ф. Оценка надежности и учет повторяемости землетрясений при расчетах крупнопанельных зданий на сейсмические воздействия. В сб.: Развитие методов расчета на сейсмостойкость. М.1987. С.138-152.
9. Денисов Б.Е. Исследование работы крупнопанельных зданий на основе информации инженерно-сейсмометрических станций. В сб.: Развитие методов расчета на сейсмостойкость. М.1987. С.153-159.
10. Жунусов Т.Ж., Аубакиров А.Т., Ашимбаев М.У., Буданов В.И., Бучацкий Е.Г. Повреждения зданий и сооружений в Джамбуле при землетрясении 10 мая 1971 года. Алматы: Казахстан. 1974. 139 с.
11. Черепинский Ю.Д. Сейсмоизоляция жилых зданий. Алматы: КазГАСА. 2003. 158 с.
12. Черепинский Ю.Д., Филиппов О.Р., Шершнева А.В. Оценка сейсмостойкости крупнопанельных домов на кинематических (КФ) фундаментах // Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций.1982. Вып.13(23). С.82-99.
13. Лапин В.А., Алдахов Е.С., Алдахов С.Д., Али А.Б. Вероятностная оценка величин надежности и риска по результатам паспортизации // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2020. №3. С.53-68. DOI 10.37153/2618-9283-2020-3-53-68

14. Лапин В.А., Ержанов С.Е. Проблемы определения сейсмического риска для населенных пунктов Республики Казахстан // Вестник АО КазНИИСА. 2016. Вып.7. С.20-24.
15. Лапин В.А., Ержанов С.Е. Алгоритмы определения сейсмического риска для зданий и сооружений в Республике Казахстан // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. №3. С.31-39.
16. Алдахов Е.С. Способы оценки сейсмического риска применительно к мегаполису города Алматы // Вестник АО КазНИИСА. 2019. Вып.7 (95). С.35-46.
17. Тулеев Т.Д., Алдахов С.Д., Алдахов Е.С., Битимбаев А.Т., Али А.Б., Тажикенов А.Б., Лободрыга Т.Д. Паспортизация объектов недвижимости города Алматы // Вестник АО КазНИИСА. 2018. Вып.2 (78). С.6-10.
18. Шокбаров Е.М. Паспортизация зданий и сооружений города Алматы // Вестник АО КазНИИСА. 2020. Вып.1(1-3). С.93-96.
19. Хакимов Ш.А. Некоторые вопросы оценки сейсмического риска и антисейсмического усиления зданий // Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций». 2001. Вып. 20 (30). С.167-184.
20. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. М.: Издательство «АСВ». 2010. 384 с.
21. Сейсмический риск и инженерные решения. Сб. статей/Под ред. Ломниц У., Розенблют Э. М.: Наука. 1981. 86 с.
22. Джинчвелашвили Г.А., Дзержинский Р.И., Денисенкова Н.Н. Количественные оценки сейсмического риска и энергетические концепции сейсмостойкого строительства // Компьютерные исследования и моделирование. 2018. Т.10. №1. С.61-76.
23. Айзенберг Я.М. Модели сейсмического риска и методологические проблемы планирования мероприятий по смягчению сейсмических бедствий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2004. № 6. С.31-37.
24. Кофф Г.Л., Гусев А.А., Воробьев Ю.Л., Козьменко С.Н. Оценка последствий чрезвычайных ситуаций. М.: ИПК РЭФИА. 1998. 364 с.
25. Напетваридзе Ш.Г. Вероятностные задачи инженерной сейсмологии и теории сейсмостойкости. Издательство «Мецниереба». Тбилиси.1985.110 с.
26. Liu Xiao-Xiao, Wang Yuan-Sheng. A New Formulation on Seismic Risk Assessment for Reinforced Concrete Structures with Both Random and Bounded Uncertainties. *Discrete dynamics in Nature&Society*, 11(1)2018, pp.1-15. DOI:10.1155/2018/5027958.
27. Fathi-Fazi Reza, Jacques Eric, Cai Zhen, Kadhom Bessam. Development of a preliminary seismic risks screening tool for existing building in Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2018, Vol.45, Issue 9, pp.717-727. DOI:10.1139/cjce-2017-0504
28. Bunea Geordina, Doniga Cornel, Atanasiu Gabriela M. Study Concerning the Level of Seismic Risk in Iasi Municipality. *Advanced Engineering Forum*. 2017, Vol.21, pp.86-93. DOI 10.4028/www.scientific.net/AEF.21.86.
29. Ahmad Naveed, Ali Qaisar, Adil Muhammad, Khan Akhtar Naeem. Developing Seismic Risk Prediction Functions for Structures. *Shock&Vibration*. 4/29/2018, pp.1-22. DOI:10.1155/2018/4186015.
30. Hare H. John. A different way of thinking about seismic risk: a call for debate. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*. Sep.2019, Vol.52, Issue 3, pp.141-149. DOI:10.5459/BNZSEE.52.3.141-149
31. Lapin V. A., Yerzhanov S. E., Aldakhov Y. S. (2020) Statistical modeling of a seismic isolation object under random seismic exposure. *Journal of Physics: Conference Series* 1425 012006 doi:10/1088/1742-6596/1425/1/012006
32. Dyrda V., Kobets A., Bulat I., Lapin V., Lysytsia N., Ahaltsov H., Sokol S. (2019)

Vibro seismic protection of heavy mining machines, buildings and structures. *E3S Web of Conferences*, 109, 00022. <http://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900022>

33. Bulat A. F., Dyrda V. I., Lysytsya M. I., Grebenyuk S. M. (2018). Numerical Simulation of the Stress-Strain State of Thin-Layer Rubber-Metal Vibration Absorber Elements Under Nonlinear Deformation. *Strength of Materials*, 50(3), pp. 387–395. <http://doi.org/10.1007/s11223-018-9982-9>

34. Bulat A. F., Dyrda V. I., Grebenyuk S. N., Klimenko M. I. (2019). Determination of effective characteristics of the fibrous viscoelastic composite with transversal and isotropic components. *Strength of Materials*, 51(2), pp. 183-192. <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00064-x>

References

1. Zhunusov T. Zh. Osnovy seismostoikosti sooruzhenii. Almaty: RAUAN. 1990. 272 p. [In Russian]

2. Nemchinov Yu.I. Seismostoikost' zdaniy i sooruzhenii. Kiev. 2008. 499 p. [In Russian]

3. Taubaev A.S. Analiticheskaya zapiska o seismicheskom rezhime goroda Almaty i seismostoikosti ego zastroiki. Almaty: KazNIISA. 2008. 28 p. [In Russian]

4. Zhunusov T.Zh., Musienko V.L., Chechelev V.V. Prochnost i deformativnost' naturnogo otseka krupnopanelnogo doma pri deistvii gorizontallykh sil tipa seismicheskikh. Issledovanie seismostoikosti sooruzhenii i konstruktssii. 1967, vyp.1(9), pp.57-80. [In Russian]

5. Zhunusov T.Zh., Ashimbaev M.U., Buchaczkiy E.G., Zhushupbekov B. Vibratsionnye ispytaniya 5-etazhnogo eksperimental'nogo zhilogo doma serii 69. Issledovanie seismostoikosti sooruzhenii i konstruktssii». 2017, vyp. 25(35), pp.36-48. [In Russian]

6. Shakhnovich Yu.G., Azhibekov A.D. Issledovaniya naturnykh fragmentov naruzhnykh sten krupnopanelynykh zdaniy serii E147. Issledovanie seismostoikosti sooruzhenii i konstruktssii. 2017, vyp. 25(35), pp.56-64. [In Russian]

7. Tsipeniuk I.F. Povrezhdaemost' i nadezhnost' krupnopanelynykh zdaniy pri seismicheskikh vozdeistviyakh. Issledovaniya po seismicheskoi opasnosti. Voprosy inzhenernoi seismologii. Vyp. 29. M.: Nauka. 1988, pp.141-153. [In Russian]

8. Tsipeniuk I.F. Otsenka nadezhnosti i uchet povtoriaemosti zemletriaseniya pri raschetakh krupnopanelynykh zdaniy na seismicheskie vozdeistviya. V sb.: Razvitie metodov rascheta na seismostoikost. M. 1987, pp.138-152. [In Russian]

9. Denisov B.E. Issledovanie raboty krupnopanelynykh zdaniy na osnove informatsii inzhenerno-seismometricheskikh stantsii. V sb.: Razvitie metodov rascheta na seismostoikost. M. 1987, pp.153-159. [In Russian]

10. Zhunusov T.Zh., Aubakirov A.T., Ashimbaev M.U., Budanov V.I., Buchaczkiy E.G. Povrezhdeniya zdaniy i sooruzhenii v Dzhambule pri zemletriaseniya 10 maia 1971 goda. Almaty: Kazakhstan. 1974, 139 p. [In Russian]

11. Cherepinskiy Yu.D. Seismoizolyatsiya zhilykh zdaniy. Almaty: KazGASA. 2003, 158 p. [In Russian]

12. Cherepinskiy Yu.D., Filippov O.R., Shershnev A.V. Otsenka seismostoikosti krupnopanelynykh domov na kinematicheskikh (KF) fundamentakh. Issledovanie seismostoikosti sooruzhenii i konstruktssii. 1982, vyp.13 (23), pp. 82-99. [In Russian]

13. Lapin V.A., Aldakhov E.S., Aldakhov S.D., Ali A.B. Veroyatnostnaya otsenka velichin nadezhnosti i riska po rezul'tatam pasportizatsii. Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii. 2020, no. 3, pp. 53-68. doi 10.37153/2618-9283-2020-3-53-68 [In Russian]

14. Lapin V.A., Erzhanov S.E. Problemy opredeleniya seismicheskogo riska dlya naselennykh punktov Respubliki Kazakhstan. Vestnik AO KazNIISA. 2016, vyp.7, pp. 20-24. [In Russian]

15. Lapin V.A., Erzhanov S.E. Algoritmy opredeleniya seismicheskogo riska dlya zdaniy i sooruzhenii v Respublike Kazakhstan. Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii. 2017, no.3, pp. 31-39. [In Russian]

16. Aldakhov E.S. Sposoby otsenki seismicheskogo riska primenitelno k megapolisu goroda Almaty. Vestnik AO KazNIISA. 2019, vyp.7 (95), pp. 35-46. [In Russian]

17. Tuleev T.D., Aldakhov S.D., Aldakhov E.S., Bitimbaev A.T., Ali A.B., Tazhikenov A.B., Lobodryga T.D. Pasportizatsiia obektov nedvizhimosti goroda Almaty. Vestnik AO KazNIISA. 2018, vyp.2 (78), pp. 6-10. [In Russian]
18. Shokbarov E.M. Pasportizatsiia zdaniy i sooruzheniy goroda Almaty. Vestnik AO KAZNIISA. 2020, vyp.1 (1-3), pp. 93-96. [In Russian]
19. Khakimov Sh.A. Nekotorye voprosy otsenki seismicheskogo riska i antiseismicheskogo usileniya zdaniy. Issledovanie seismostoikosti sooruzheniy i konstruksii. 2001, vyp.20 (30), pp.167-184. [In Russian]
20. Raizer V.D. Teoriia nadezhnosti sooruzheniy. M.: Izdatelstvo «ASV». 2010, 384 p. [In Russian]
21. Seismicheskii risk i inzhenernye resheniia. Sb. statei / Pod red. Lomnits U., Rozenblyut E. M.: Nauka, 1981. 86 p. [In Russian]
22. Dzhinchvelashvili G.A., Dzerzhinskii R.I., Denisenkova N.N. Kolichestvennye otsenki seismicheskogo riska i energeticheskie kontseptsii seismostoikogo stroitelstva. Kompiuternye issledovaniia i modelirovanie. 2018, T.10, no.1, pp. 61-76. [In Russian]
23. Eizenberg J.M. Modeli seismicheskogo riska i metodologicheskie problemy planirovaniia meropriyatii po smiagcheniiu seismicheskikh bedstvii. Seismostoikoe stroitelstvo. Bezopasnost' sooruzheniy. 2004, no. 6, pp. 31-37. [In Russian]
24. Koff G.L., Gusev A.A., Vorob'ev Yu.L., Koz'menko S.N. Otsenka posledstviy chrezvychainykh situatsii. M.: IPK REFIA. 1998. 364 p. [In Russian]
25. Napetvaridze Sh.G. Veroiatnostnye zadachi inzhenernoi seismologii i teorii seismostoikosti. Izdatelstvo "Meczniereba", Tbilisi.1985, 110 p. [In Russian]
26. Liu Xiao-Xiao, Wang Yuan-Sheng. A New Formulation on Seismic Risk Assessment for Reinforced Concrete Structures with Both Random and Bounded Uncertainties. Discrete dynamiks in Nature&Society, 11(1)2018, pp.1-15. DOI:10.1155/2018/5027958. [In English]
27. Fathi-Fazi Reza, Jacques Eric, Cai Zhen, Kadhom Bessam. Development of a preliminary seismic risks creening tool for existing building in Canada. Canadian Journal of Civil Engineering, 2018, vol.45, Issue 9, pp. 717-727. DOI:10.1139/cjce-2017-0504 [In English]
28. Bunea Geordina, Doniga Cornel, Atanasiu Gabriela M. Study Concerning the Level of Seismic Risk in Iasi Municipality. Advanced Engineering Forum. 2017, Vol.21, pp. 86-93. DOI 10.4028/www.scientific.net/AEF.21.86. [In English]
29. Ahmad Naveed, Ali Qaisar, Adil Muhammad, Khan Akhtar Naeem. Developing Seismic Risk Prediction Functions for Structures. Shock&Vibration. 4/29/2018, pp.1-22. DOI:10.1155/2018/4186015.
30. Hare H. John. A different way of thinking about seismic risk: a call for debate. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Sep2019, Vol.52, Issue 3, pp.141-149. DOI:10.5459/BNZSEE.52.3.141-149 [In English]
31. Lapin V. A., Yerzhanov S. E., Aldakhov Y. S. (2020) Statistical modeling of a seismic isolation object under random seismic exposure. Journal of Physics: Conference Series 1425 012006 doi:10/1088/1742-6596/1425/1/012006 [In English]
32. Dyrda V., Kobets A., Bulat I., Lapin V., Lysytsia N., Ahaltsov H., Sokol S. (2019) Vibroseismic protection of heavy mining machines, buildings and structures. *E3S Web of Conferences*, 109, 00022. <http://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900022> [In English]
33. Bulat A. F., Dyrda V. I., Lysytsya M. I., Grebenyuk S. M. (2018) Numerical Simulation of the Stress-Strain State of Thin-Layer Rubber-Metal Vibration Absorber Elements Under Nonlinear Deformation. *Strength of Materials*, 50(3), pp. 387–395. <http://doi.org/10.1007/s11223-018-9982-9> [In English]
34. Bulat A. F., Dyrda V. I., Grebenyuk S. N., Klimenko M. I. (2019). Determination of effective characteristics of the fibrous viscoelastic composite with transversal and isotropic components. *Strength of Materials*, 51(2), pp. 183-192. <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00064-x> [In English]

Сведения об авторах / Information about the authors

Лапин Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, Директор Центра научных исследований строительной отрасли, ученый секретарь, член-корреспондент НИА РК и МИА, академик Казахской академии архитектуры и строительных наук, АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан

lapin_1956@list.ru

Vladimir A. Lapin, Candidate of Technical Sciences, Director of the Center for Scientific Research of the Construction Industry, Scientific Secretary, Corresponding member of the NIA RK and MIA, academician of the Kazakh Academy of Architecture and Construction Sciences, KazRDICA JSC. Almaty, Republic of Kazakhstan

lapin_1956@list.ru

Алдахов Еркин Серикович, Директор Центра сейсмостойкости, обследования зданий и сооружений, АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан

ealdakhov@kazniisa.kz

Yerkin S. Aldakhov, Director of the Center for Earthquake Resistance, Inspection of Buildings and Structures, KazRDICA JSC. Almaty, Republic of Kazakhstan ealdakhov@kazniisa.kz

Алдахов Серик Джумаханович, заведующий лабораторией системного анализа последствий землетрясений, стихийных бедствий и сейсмического мониторинга АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан

saldakhov@kazniisa.kz

Serik D. Aldakhov, Head of the Laboratory for System Analysis of the consequences of Earthquakes, Natural Disasters and Seismic Monitoring KazRDICA JSC. Almaty, Republic of Kazakhstan

saldakhov@kazniisa.kz

Али Алимжан, ведущий инженер лаборатории системного анализа последствий землетрясений, стихийных бедствий и сейсмического мониторинга, АО «КазНИИСА». Алматы, Республика Казахстан

aali@kazniisa.kz

Ali Alimzhan, Leading Engineer of the Laboratory for System Analysis of the consequences of Earthquakes, Natural Disasters and Seismic Monitoring, KazRDICA JSC. Almaty, Republic of Kazakhstan

aali@kazniisa.kz

Поступила в редакцию / Received – 18.03.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised – 20.04.2021

Принята к публикации / Accepted – 23.04.2021