

ТЕХНІЧНИЙ СТАН, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ПІДСИЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ, БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

УДК 699.841:624.042.7

**АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ЗЕМЛЕТРУСІВ ДЛЯ КАРКАСНО-КАМ'ЯНИХ
БУДІВЕЛЬ**

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ КАРКАСНО-
КАМЕННЫХ ЗДАНИЙ**

**ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF EARTHQUAKES ON THE
CONFINED MASONRY BUILDINGS**

Дорофеєв В.С., д.т.н., проф. (Одеська державна академія будівництва та архітектури), **Мурашко О.В., к.т.н., доц.** (Одеська державна академія будівництва та архітектури), **Михайлова Н.О., ас.** (Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Дорофеев В.С., д.т.н., проф. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры), **Мурашко А.В., к.т.н., доц.** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры), **Михайлова Н.А., ас.** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Dorofeev V.S., doctor of technical sciences, professor, (Odessa State Academy of Building and Architecture), **Murashko O.V., Associate professor, Ph.D.,** (Odessa State Academy of Building and Architecture), **Mikhaylova N.A., Doctoral student** (Odessa State Academy of Building and Architecture)

Стаття присвячена аналізу характерних руйнувань каркасно-кам'яних будівель після землетрусів. Розглядається поведінка основних конструктивних елементів каркасно-кам'яних будівель при сейсмічних впливах.

Статья посвящена анализу характерных разрушений каркасно-каменных зданий после землетрясений. Рассматривается поведение основных конструктивных элементов каркасно-каменных зданий при сейсмических воздействиях.

The article is devoted to the typical damage of the confined masonry buildings analysis after earthquakes. Behavior of confined masonry building's structural elements under seismic loads considered.

Ключеві слова:

Каркас, сейсмостійкість, руйнування, землетрус.
Каркас, сейсмостойкость, разрушения, землетрясения.
Frame, seismic resistance, destruction, earthquakes.

Состояние вопроса и задачи исследования. Землетрясениям подвержено около 10% суши, на которых проживает более половины человечества. Чтобы исключить опасные последствия землетрясений, необходимо возводить такие здания, которые устояли бы при сильных колебаниях поверхности земли без серьёзных повреждений[1].

На сегодняшний день от 26,85% до 95,98% территории Украины является потенциально опасными в сейсмическом отношении (соответственно для карт общего сейсмического районирования ОСР2004-А и ОСР2004-С). Значительное увеличение сейсмической опасности, обусловленное введением нового нормативного документа ДБН В.1.1-12:2006 «Строительство в сейсмических районах Украины», которая не была учтена в прежних нормативах, привело к тому, что значительная часть территории государства стали сейсмически опасными [2].

В рамках данной работы на примере каркасно-каменной конструктивной схемы были обобщены и проанализированы последствия землетрясений произошедших в различных точках земной поверхности.

Здания различных конструктивных систем по-разному ведут себя во время землетрясений. Известны случаи, когда одни конструктивные системы хорошо противостояли действию сейсмических волн, а другие – оказались не сейсмостойкими, и наоборот [3,4]. Главными причинами высокой или низкой сейсмостойкости конструктивных решений всегда являлись соотношения между параметрами спектра сейсмического воздействия и характеристиками собственных колебаний конструкций, а также характеристики грунтов оснований[5].



а)



б)

Рис.1. Каркасно-каменные здания после последних значительных землетрясений: а) 2000г. Маул, землетрясение в Чили (М.О. Moroni Yadlin); б) 2007г. Писко, Землетрясения в Перу (D. Quiun) [6]

Землетрясение интенсивностью 9 баллов (по шкале ММ) и магнитудой 5-5,7 произошло в Ливии 21 февраля 1963 г., оно разрушило г. Барка. Старые постройки из рваного камня на земляном растворе превратились в груды развалин. Однако хорошо противостояли землетрясению здания со стенами из камней правильной формы, усиленные железобетонными стойками (сердечниками) и поясами. Такая конструкция хорошо себя зарекомендовала в результате многих землетрясений.

27 октября 1969 г. в Бане Луки (Югославия) произошло землетрясение интенсивностью 8-9 баллов. Кирпичные здания без антисейсмических мероприятий по сравнению со зданиями с железобетонными поясами получили сильные повреждения, а в зданиях с железобетонным каркасом и кирпичным заполнением повреждения были либо по контуру заполнений, либо диагональные трещины в самом заполнении с местными повреждениями колонн нижних этажей. Ремонт каркасных зданий не представлял особых трудностей [7].



Рис. 2. Землетрясение 27 октября 1969 г. в Бане Луки (Югославия)

Землетрясение интенсивностью 7-8 баллов произошло 25 марта 1978 г. в пос. Жаланаш и Тогуз-Булак Алма-Атинской области. Здание школы из двух- и трехэтажных корпусов, имеющих в плане форму буквы "Н", было выполнено в 1973 г. в монолитном каркасе с кирпичным заполнением. Благодаря принятым антисейсмическим мероприятиям школа сохранилась хорошо. Основные повреждения следующие: обрушение штукатурки вдоль антисейсмических швов и кое-где в кладке перегородок, а также образование косых трещин в перегородках и по их контуру. Эффективность усиления стен железобетонными включениями (комплексные конструкции) доказана, например, в школе-интернате на 520 учащихся, которая имела

гимнастический зал, запроектированный с применением этих конструкций. Отсутствие надежной связи стен в обоих направлениях привело к обрушению угла в котельной Средигоринской средней школы [8].

Сильное землетрясение произошло в Средней Азии 19 марта (20) 1984 г. [9]. Магнитуда составила 7,3, глубина очага 20-30 км. Эпицентр землетрясения находился в 30-40 км северо-западнее Газли. По микросейсмическим данным интенсивность сейсмического воздействия в Газли достигала 8,5-9 баллов, что превосходило для многих объектов их расчетную сейсмичность. Значительно пострадали при землетрясении 12- и 16-квартирные дома по типовым сериям 14-52-40С со стенами из кирпичной кладки, усиленные железобетонными включениями и обрамлениями (в частности, по наружным граням поперечных стен), расположенными с шагом 6 и 2,8 м. Эти дома были возведены после землетрясения 1976 г. Большинство зданий получило повреждения 3-ей степени. Это обусловлено низким качеством кирпичной кладки, плохой связью продольных и поперечных стен между собой и с кирпичными перегородками, отсутствие продольных внутренних стен, резко ухудшавшим условия работы наружных продольных стен с большим количеством проемов.

Землетрясение магнитудой 6,5-7,1 и глубиной очага 100-150 км произошло 31 августа 1986г. в Молдавии [10]. Эпицентр землетрясения находился в районе г.Вранча. Интенсивность землетрясения в южных и юго-западных районах Молдавии оценивалась в 7 баллов по шкале MSK - 64. Большой экономический ущерб получен в результате повреждения несущих элементов типа перегородок, стеновых заполнений каркаса, которые были выполнены с отступлениями от проектов. Отрицательную роль сыграли и грунты, приведшие при землетрясении к просадкам фундаментов и соответственно к существенным повреждениям зданий.

В 1968 г. на юго-востоке Армении в районе Зангезурского ущелья произошло два землетрясения интенсивностью 7-8 баллов, сопровождающихся многими афтершоками [11]. Особенно сильно пострадало много 1-2-этажные старые здания г. Каджаран, выполненных без мер сейсмозащиты, из бутового камня. Сейсмостойкими оказались 6-этажные здания с железобетонным каркасом, заполненным каменной кладкой. В них были только небольшие трещины.

Землетрясение в Ашхабаде 6 октября 1948г оценивается 9 баллами. Серьезные повреждения получили некоторые железобетонные сооружения, так, например, полностью обрушились каркасные здания мясокомбината и мельницы [12]. Последнее здание по своей конструкции было каркасным с заполнением, оно имело много проемов. Эти сооружения, прежде всего, объясняются низким качеством бетона элементов каркаса (часто марка его была значительно ниже 100), отсутствием хомутов на участках стыков и другими дефектами конструкции. Хорошо перенесли землетрясение

железобетонные каркасные здания с кирпичным заполнением стен стекольного завода, текстильного комбината, винодельческого завода.

При землетрясении в Скопле (Югославия) 26 июля 1963г. по паспортизации нанесенного городу ущерба установлено, что полностью было обрушено 8,5% зданий, 33,7% зданий получили столь серьёзные повреждения, что не подлежат восстановлению [13]. Современные здания высотой до 14 этажей (включительно) с монолитным железобетонным каркасом и кирпичным заполнением достаточно хорошо перенесли землетрясение, особенно если учесть, что ни одно из этих зданий не проектировалось специально для восприятия сейсмических сил. Несомненно, положительно сказалось на их прочности то, что они рассчитывались на ветровую нагрузку 100 кг/м^2 поверхности стены.

В большинстве случаев повреждения ограничивались отслоением штукатурки, появлением трещин по контуру заполнения (рис. 3а). В некоторых случаях, кроме контурных трещин, появились трещины в кладке междуоконных поясов и диагональные в сплошных панелях. В единичных случаях повреждению подвергались железобетонные элементы каркаса. Такие повреждения отмечались в зоне сильного ослабления стен проемами и в выступающих частях.

Каркасные здания с кирпичным заполнением хорошо перенесли землетрясение даже в тех случаях, когда они имели сложную конфигурацию плана (рис. 3б).

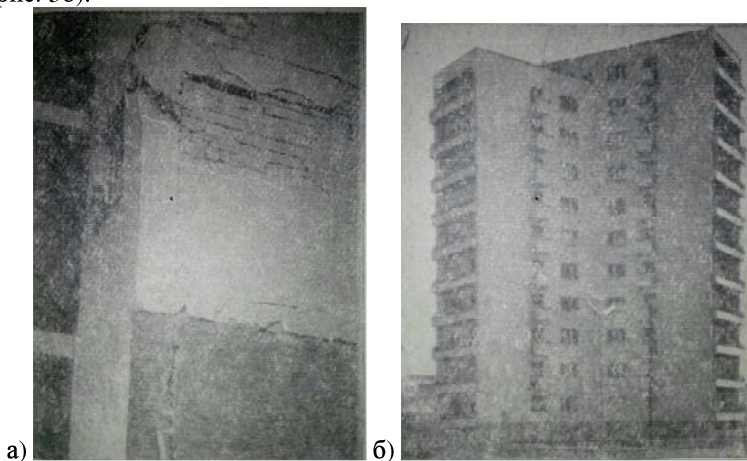


Рис 3. Последствия землетрясения в Скопле (Югославия) 26 июля 1963г; а) повреждение каркаса и контурных швов в выступающей части здания; б) уцелевшее здание со сложным планом

Иначе вели себя здания, в пределах первого этажа которых заполнение каркаса в большом количестве панелей отсутствовало. Такие здания близки по своей жесткости к так называемым зданиям с гибким первым этажом. На рис.4а показано одно из таких зданий после землетрясения. Можно

утверждать, что от полного обвала здание спасли небольшие участки заполнения внутренней стены. Верхние и нижние узлы железобетонных колонн в этом здании оказались раздробленными (рис. 4б).

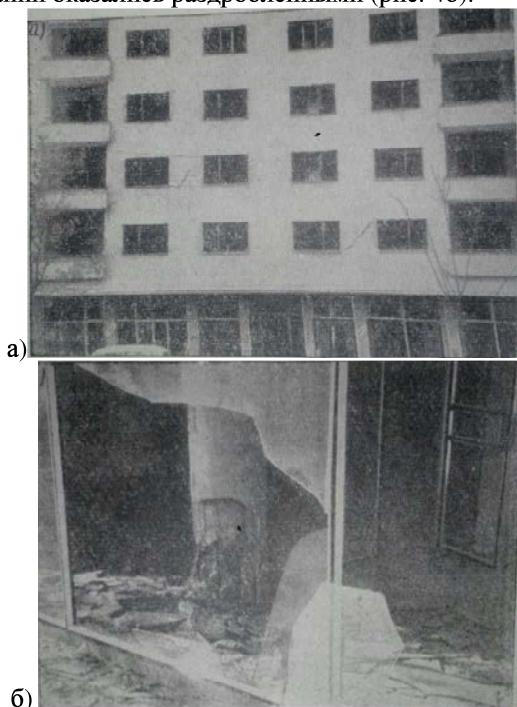


Рис. 4. Последствия землетрясения в Скопье (Югославия) 26 июля 1963г; а) наклон каркаса первого этажа с сильно ослабленным заполнением; б) разрушение опорных участков колонн этого этажа

Наблюдались многочисленные разрушения торцовых частей зданий, при землетрясениях в Турции, Румынии, Бухаресте, Лос-Анжелесе, Кобе. Это подтверждают и авторы статьи, проводившие макросейсмические обследования сейсмических событий в г. Петропавловске-Камчатском, в зоне бедствия Спитакского землетрясения, в г. Нефтегорске, и выполнявшие их анализ. Во многих случаях это вызвано поворотом перекрытий зданий относительно вертикальной оси, когда центры сил инерции и упругости не совпадают. Тем не менее, эффект кручения наблюдается также и в зданиях с идеальным архитектурно-планировочным решением, в которых предусмотрено симметричное во всех направлениях распределение масс и жесткостей [14]. Это и представлено на рис. 5.



а) Турция, 1998 г., фото из статьи Егупова К. В.; б) Ленинакан, 1988 г., фото Клячко М. А.

Таковы сведения о поведении каркасно-каменных зданий во время некоторых землетрясений интенсивностью от 7 до 10 баллов. Пользуясь этими данными, можно сделать некоторые общие выводы о сейсмостойкости этих зданий.

На сейсмостойкость здания существенное влияние оказывают несущие конструкции. Кладка заполнения, жестко примыкающая к несущим конструкциям, существенно меняет распределение сейсмических сил, влияя на общую их величину [15].



Рис. 6. Последствия землетрясения в г.Спитак,1989г



Рис. 7. Последствия землетрясения в г.Спитак, 1989г

Как отмечается в работах [16,17,18] и др., повреждения несущих стен зданий находятся в прямой зависимости от деформативности перекрытий. При этом наибольшие повреждения наблюдаются в тех случаях, когда антисейсмический пояс проходит только по наружному контуру здания. При горизонтальном нагружении перекрытия инерционной нагрузкой в нём возникают нормальные и касательные напряжения.

В сборных железобетонных перекрытиях восприятие нормальных и касательных напряжений зависит от способов замоноличивания панелей в единый диск. С целью повышения изгибной жесткости сборного перекрытия с поперечной раскладкой панелей обычно устраивают антисейсмические обвязки или пояса по наружному контуру перекрытия.

Вместе с тем, как отмечается в работах [1,16], устройство железобетонных антисейсмических поясов по всему периметру перекрытия позволяет отказаться от специальных конструкций, воспринимающих не только нормальные, но и сдвигающие усилия.

В работе [19] особое внимание уделено разрушению железобетонных колонн каркасных зданий, как основной причине обрушения сооружений в целом. При этом отмечается, что причины разрушений каркасно-каменных зданий и механизм разрушения железобетонных колонн до конца не исследован.

Инженерный анализ поведения зданий с несущими конструкциями в виде железобетонного каркаса с каменным заполнением, приведенный в работе, позволил сделать следующие, общие для указанной конструктивной схемы выводы, сведенные в таблицу характерных повреждений (табл.).

Таблица 1.

Характерные повреждения конструкций зданий

Регион	Конструктивная схема здания	Характер повреждений зданий	Степень разрушения*
Ливия г. Барка	Постройки из камня	Полное разрушение	5
	Каркасно-каменные здания	-	2
Югославия г. Бане Луки	Кирпичные здания	-	3
	Каркасно-каменные здания	Повреждения по контуру заполнения, диагональные трещины в заполнении, местные повреждения колонн нижних этажей	2
Алма-Ата пос. Жаланаш пос. Тагуз-Булак	Каркасно-каменные здания	Обрушение штукатурки вдоль антисейсмических швов и в кладке перегородок. Образование косых трещин в перегородках и по их контуру. Обрушение углов зданий	1
Средняя Азия г. Газли	Каркасно-каменные здания	Разрушения неконструктивных элементов здания: обвалы частей перегородок, карнизов	3
Молдавия г. Вранча	Каркасно-каменные здания	Повреждения несущих элементов типа перегородок, стеновых заполнений каркаса	3
Турция г. Бингёль	Каркасно-каменные здания	Разрушения зданий в результате не качественного производства работ	4
Юго-восток Армении, г. Каджаран	1-2-х этажные каменные здания	-	4
	6-ти этажные здания из железобетонного каркаса с заполнением	Небольшие трещины, откалывание небольших кусков штукатурки	1

Регион	Конструктивная схема здания	Характер повреждений зданий	Степень разрушения*
Ашхабад	Здания с железобетонным каркасом	Обрыв торцевых частей зданий, разрушение и обрушение заполнений	5
Югославия г. Скопле	Здания с монолитным железобетонным каркасом с кирпичным заполнением	Отслоением штукатурки, появлением трещин по контуру заполнения, трещины в кладке междуоконных поясов и диагональные в сплошных панелях. Разрушение кладки в стенах с проемами и с выступающими частями	1
Спитак г. Нефтегорск	Различные конструктивные схемы	Разрушение торцевых частей зданий, смещение плит перекрытия и лестничных маршей. Обрушение конструкций по вертикальным плоскостям среза	4

*Степень разрушения зданий указана в соответствии с ДСТУ Б В.1.1-28:2010 «Шкала сейсмической интенсивности» п. 3.10

Исходя из приведённых выше данных, можно выделить наиболее характерные разрушения каркасно-каменных зданий при сейсмических воздействиях. Ими являются: диагональные трещины элементов кладки, разрушение кладки в стеновых панелях с проемами, смещение плит перекрытия и нарушение совместной работы кладки и железобетонных элементов.

Выводы: Каркасно-каменные здания обладают в целом высокой сейсмостойкостью, при этом анализ последствий землетрясений выявил следующее:

1) Повреждения каркасно-каменных зданий связано в основном с разрушением каменных элементов и реже с разрушением железобетонных элементов..

2) Каркасно-каменные здания с железобетонными несущими элементами имеют высокую чувствительность к качеству производства работ.

3) Повышение жесткости зданий или сооружений (устройство антисейсмических швов и поясов, армирование кирпичных стен, предварительное напряжение арматуры в стыках, применение материалов повышенной прочности, усиление армирования железобетонных конструкций и др.) увеличивает сейсмостойкость каркасно-каменных зданий.

4) Столь значительно различающийся уровень повреждений каркасно-каменных зданий, возведенных в соответствии с действующими нормами, при реальном землетрясении свидетельствует о недостаточно полном понимании процесса реакции сооружения на сейсмическое воздействие и необходимости проведения дальнейших исследований.

1. Корчинский И.Л. Сейсмостойкое строительство зданий, Москва, 1971. 2. V.Dorofeev, K.Yegupov, A.Murashko, O.Adamov "A new approach to buildings seismic resistance assessment in Ukraine", Proceedings of the 2-nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, August 24-29, 2014, Istanbul, Turkey pp. 138-143. 3. Есенберлина Д.И., к.т.н., проф. Проблемы сейсмостойкости жилых зданий существующей застройки города Алматы. *Казахская Головная Архитектурно-Строительная Академия*, 2009. 4. Сафаргалиев С.М. Сейсмостойкие каменные конструкции, Республика Казахстан, 1992. 5. Довлетханов Довлетхан Фамилоглы. Усовершенствование нормативной базы в области сейсмического строительства с учетом опыта проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах стран СНГ, Государственного комитета по градостроительству и архитектуре Азербайджанской Республики, Минск, 2012. 6. Svetlana Brzev, Roberto Meli International Guideline for Seismic Design of Low-Rise Confined Masonry Buildings in Regions of High Seismic Risk. Lisboa 2012, 15 WCEE. 7. Поляков С. В. Последствия сильных землетрясений. М.:Стройиздат, 1978. 311 с. 8. Сафаргалиев С. М., Аубакиров Г. Т., Кравченко А. А. Анализ поведения общественных и жилых зданий, а также вспомогательных строений при Жаланащтыпском землетрясении/ Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций: Труды КазпромстройНИИпроекта. Вып.11(21)/Под ред. Т. Ж. Жунусова. Алма-Ата:Казахстан, 1979. С.36-47. 9. Поляков С. В., Жунусов Т. Ж., Килимник Л. Ш. Предварительные результаты инженерного анализа последствий Газлийского землетрясения 19 (20) марта 1984 г. //Экспресс-информ. ВНИИ Госстроя СССР. Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Вып.9. М., 1984. С.1-6. 10. Андреев О. О. и др. Результаты предварительного инженерного анализа последствий Карпатского землетрясения 31 августа 1986 г. на территории Молдавской ССР/Андреев О. О., Бургман И. Н., Жаров А. М., Алексеевков Д. А. //Экспресс-информ. ВНИИ Госстроя СССР. Сер.14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Вып.2. М., 1987. С.24 - 29. 11. Nazarov A.G., Karapetian B.K., Karapetian N.K., Mnatsakanian V.L. et. al. Results of Engineering – Seismological Studies of the Zanghezour Earthquake in 1968. 12. Поляков С.В., Сейсмостойкие конструкции зданий, Учеб. Пособие для студентов инж. Строит. Вузов. М. «Высшая школа», 1969. 13. Джабуа Ш.А., Поляков С.В. Повреждение зданий при землетрясении в г. Скопле. «Жилищное строительство», 1965, № 2. 14. Егупов К.В. Проблемы проектирования на сейсмостойкость протяженных и несимметричных сооружений // Сейсмостойкое строительство. 2000. № 1. С.23-30. 15. Поляков С.В., Сейсмостойкие сооружения и теория сейсмостойкости, Москва, Стройиздат, 1978. 16. Ашрабов А.Б., Рассказовский В.Т. и Мартемьянов А.И. – «Проектирование, возведение и восстановление зданий в сейсмических районах». Ташкент, 1968. 17. Быховский В.А., Корчинский И.Л. и Павлык В.С. – «Землетрясение в г. Петропавловске на Камчатке 4 мая 1959г.», Сб. Исследование по сейсмостойкости зданий и сооружений. Выпуск 6. Москва, 1961. 18. Егупов В.К., Командрина Т.А. – «Расчет зданий на сейсмические воздействия». Киев, 1969. 19. Айзенберг Я.М. Уроки последних разрушительных землетрясений. Совершенствование антисейсмического проектирования и строительства. Центр исследований сейсмостойкости сооружений. ЦНИИСК, Госстрой России, - М., 2000