

тирных перегородок с конструкциями каркаса. При этом стеновое ограждение заменялось стержневыми КЭ общего вида, шарнирно закрепленными в узлах каркаса. При назначении жесткости стержневым КЭ, моделирующим каменное заполнение, модуль упругости принимался по результатам испытаний опытных образцов кладки. Площадь поперечного сечения КЭ определялась как произведение толщины заполнения на высоту СА, устанавливаемую по графикам на рисунках 2,3.

Статический расчет каркаса выполнялся на основные сочетания воздействий, включающие постоянные и переменные воздействия, в линейно-упругой постановке с помощью программного комплекса STARK ES.

Расчеты показали, что учет в статическом расчете каркаса его совместной работы с каменным заполнением за счет уменьшения количества вертикальных диафрагм жесткости привел к снижению общего расхода бетона на каркас здания на 8%, а арматурной стали на 5,5%.

В заключение следует отметить, что учет взаимодействия каменного заполнения с каркасом при проектировании зданий без каких-либо дополнительных затрат позволяет уменьшить количество вертикальных железобетонных диафрагм жесткости, за счет чего расширяются возможности свободной планировки этажей, обеспечивается экономия материалов и снижение трудоемкости монтажа. Уменьшение количества вертикальных диафрагм жесткости в свою очередь приводит к более рациональному армированию дисков перекрытий, так как смягчает негативное влияние рамно-связевого эффекта, обусловленного резкой разницей в жесткости вертикальных элементов каркаса.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Онищик, Л.И. Прочность и устойчивость каменных конструкций / Л.И. Онищик. - М.: ОНТИ, 1937. – 291 с.
2. Поляков, С.В. Каменная кладка в каркасных зданиях / С.В. Поляков. - М: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956. – 189с.
3. Поляков, С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий / С.В. Поляков. – М: Высшая школа, 1983. – 304с.
4. Деркач, В.Н. Несущая способность каменного заполнения каркасных зданий / В.Н. Деркач // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: М.Ф. Марковский [и др.]. – Минск, 2013. – Вып. 5. – С. 56 – 67.
5. Деркач, В.Н. Исследования сдвиговой жесткости каркаса со сплошным заполнением из ячеистобетонных блоков на тонкослойных клеевых швах / В.Н. Деркач // Строительная наука-2014: теория, образование, практика, инновации (посвящается 55-летию ИСиА САФУ): сборник трудов междунар. научно-техн. конф., г.Архангельск, 22-23 мая 2014г. /Под ред. Лабудина Б.В. – Архангельск: Изд-во ООО «Типография «ТОЧКА», 2014.- С. 120-127.

УДК 699.841:624.042.7

Дорофеев В.С., Мурашко А.В.

РАСЧЕТ ЗДАНИЙ С БЕЗРИГЕЛЬНЫМ КАРКАСОМ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ ПОСЛЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

В статье приведено обоснование необходимости расчета существующих зданий с безригельным каркасом на прогрессирующее обрушение после землетрясения в рамках разрабатываемой системы оценки фактической сейсмостойкости зданий. Приведен перечень наиболее уязвимых к землетрясениям конструк-

тивных элементов, для которых необходимо производить расчет на прогрессирующее обрушение. Предложена методика расчета здания для программного комплекса ЛИРА. Также приведен пример расчета жилого здания с безригельным каркасом, диафрагмами и ядрами жесткости.

ВСТУПЛЕНИЕ

На сегодняшний день анализу прогрессирующего обрушений зданий в результате землетрясений уделяется большое внимание [1,2,3]. Однако зачастую такого рода анализ весьма трудоемок и выполняется только для уникальных объектов класса последствий СС3, а для реализации таких расчетов применяются программные комплексы типа ANSYS, Nastran или др. Такие программные комплексы позволяют в рамках единой расчетной схемы выполнить последовательный расчет на все виды вертикальных воздействий с приложением сейсмического воздействия с учетом нелинейной работы материала конструкций и с анализом возможности образования последующего прогрессирующего обрушения.

Однако для массовой оценки сейсмостойкости существующих зданий, особенно если речь идет об объектах классов последствий СС1 и СС2, такой подход представляется нереализуемым. Так как после введения нормативного документа ДБН В.1.1. 12-2006 «Строительство в сейсмических районах Украины» территория, подверженная сейсмическим воздействиям по сравнению со СНИП П-7-81** «Строительство в сейсмических районах» увеличилась, и вместо прежних 21,4% (СНИП П-7-81**) составляет от 26,9 до 43,7% (соответственно для классов последствий СС1 и СС2). А с учетом введенного недавно ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 «Определение класса последствий» [4] для ряда зданий с учетом количества проживающих в них людей расчетная интенсивность сейсмических воздействий должна быть увеличена на 1балл.

Поэтому в сложившейся ситуации в рамках разрабатываемой авторами данной работы системы оценки фактической сейсмостойкости зданий [5, 6] необходима упрощенная методика расчета на устойчивость зданий к прогрессирующему обрушению после землетрясения, чтобы определить те здания, которые не соответствуют требованиям нормативных документов, и какого уровня последствия будут в том случае если произойдет землетрясение, на которое объект не был рассчитан.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКОЙ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ

Система является трехуровневой и охватывает методы оценки сейсмостойкости от визуальной оценки, до нелинейного анализа в сочетании с методами инженерной сейсмометрии

Оценка фактической сейсмостойкости 1-го уровня (ОФС-1). Для оценки сейсмического риска территорий и разработки плановых мероприятий по повышению сейсмостойкости для обеспечения необходимого уровня надежности, а также разработки комплекса мероприятий по ликвидации последствий землетрясений в мировом опыте применяются методики в виде формы, составляемой на основании результатов визуального обследования. На данном уровне о здании собирается минимальный объем информации, который включает в себя оценку геометрической формы, этажности, выступающих частей и остальных элементов, существенно влияющих на сейсмостойкость. На этом этапе также анализируются дефекты обусловленные техническим состоянием. Исходя из этого минимального объема информации экспертом делается вывод о сейсмостойкости объекта. Если на этом этапе сейсмостойкость объекта является недостаточной, то необходимо уточнить сейсмостойкость с позиций второго уровня.

Оценка фактической сейсмостойкости 2-го уровня (ОФС-2) представляет собой формализованный подход к оценке сейсмостойкости в форме паспортизации, вибродиагностики и линейных методов расчета для объектов массового строительства. Этот этап обязателен для объектов, которые не соответствуют требованиям нормативных документов. На основании результатов, полученных на этом этапе, дается заключение с рекомендациями о необходимом уровне конструктивных мероприятий по обеспечению сейсмостойкости. Для особо ответственных объектов, которые относятся к классу последствий СС3, необходим дополнительный объем информации, который может быть получен при помощи третьего уровня системы.

Оценка фактической сейсмостойкости 3-го уровня (ОФС-3). Для объектов экспериментального строительства, особо ответственных и уникальных объектов необходимо не только проведение инженерно-сейсмометрических испытаний, но также и расчетная проверка работы конструкций здания при помощи численного моделирования нелинейной работы конструкций здания при сейсмическом воздействии, которое описывает его при помощи акселерограмм, записанных на площадке строительства. Исходя из описанного сочетания экспериментально-расчетных операций, можно сделать заключение о том, какова фактическая сейсмостойкость конкретного объекта с учетом реальных характеристик конструкций и воздействия, которое было записано на площадке, где находится объект. На данном этапе для анализа рассматривается максимально-доступный объем информации об объекте [6].

В том случае, если объект в результате ОФС 1-го и 2-го уровня обладает дефицитом сейсмостойкости, необходим расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению. Для объектов класса последствий СС1 и СС2 и предлагается данная упрощенная методика расчета, которую можно реализовать, например, в программном комплексе ЛИРА.

ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ, ПОВРЕЖДЕНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ КОТОРЫХ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ

Ввиду ограниченного объема данной статьи анализ характерных повреждений в полном объеме не описывается (приведен в статье, которая готовится к публикации).

Проведенный на сегодняшний день обзор и анализ последствий землетрясений свидетельствует о том, что характерными повреждениями несущих элементов каркасных зданий являются приведенные в таблице 1 повреждения колонн, диафрагм жесткости и плит перекрытий.

Также при анализе последствий землетрясений было выявлено, что катастрофические разрушения зданий полностью происходят в том случае, если сейсмическая опасность не учитывалась вообще, либо если интенсивность воздействия превышала проектную на 2 и более балла. Во всех остальных случаях большинство зданий получало умеренные повреждения, которые можно было устранить капитальным ремонтом.

Если рассмотреть методику расчета на прогрессирующие обрушения, которая приведена нормативных документах Украины и России [7, 8], то вне зависимости от вида аварийного воздействия они обладают следующими рекомендациями: «в качестве локального (гипотетического) обрушения следует рассматривать обрушения (удаление) вертикальных конструкций одного (любого) этажа дома, ограниченного вокруг площадью до 80 м² (диаметр 10 м), площадь обрушаемых элементов не должна превышать 0,9 м²» (приложение Е ДБН В.2.2-24:2009).

Таблица 1 – Характерные последствия землетрясений для основных конструктивных элементов и рекомендуемые гипотетические обрушения

№ п/п	Конструктивные элементы	Участок	Последствия землетрясений	Рекомендуемые гипотетические обрушения
1	2	3	4	5
1	Колонны	Узлы примыкания к фундаменту и перекрытиям	Разрушение верхней и нижней третей элементов [9, 10]	Обрушение (удаление) отдельной колонны (пилона) или колонны (пилона) с прилегающими к ним участками стен, расположенных на одном этаже на площади локального обрушения
		Колонны, которые выходят на периметр здания		
2	Диафрагмы и ядра жесткости	Участки над проемами	Частичное и полное разрушение	Обрушение (удаление) двух стен, пересекающихся на участках от места их пересечения (например, от угла дома) в ближайшем отверстии в каждой стене или до следующего вертикального сечения со стеной другого направления
		Диафрагмы, которые выходят на периметр здания	Диагональные трещины	
		Торцы протяженных диафрагм	Частичное разрушение	
		Стыки диафрагм		
3	Плиты перекрытий	- Опорные узлы.	Трещины, обрушения [11]	Обрушение участка перекрытия одного этажа на площади локального обрушения (80 м ²)
		- В зданиях с «входящими» углами отверстия большого размера.	Трещины и разделение на части, обрушение части здания	
		- Участки примыкания к диафрагмам жесткости, между близко расположенными диафрагмами	Трещины, частичные обрушения	

В предлагаемых нормативными документами способах учета прогрессирующего обрушения не учитывается один важный эффект для плит перекрытий – от сейсмического воздействия, который наблюдался как в результате обследования поврежденных землетрясениями зданий, так и при численных исследованиях (0) [12].

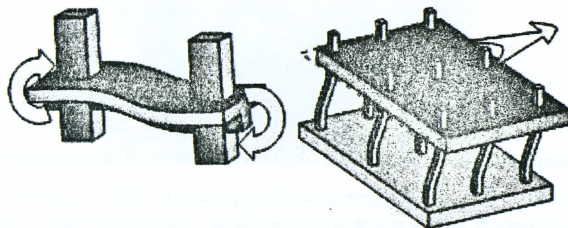


Рисунок 1 – Схема деформации перекрытия в местах примыкания к вертикальным несущим элементам

Учет перечисленных выше характерных повреждений при расчете на прогрессирующее обрушение будет выполнен в последней части данного исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Ниже приведены результаты расчета на устойчивость прогрессирующему обрушению одного из реальных объектов, на котором апробировалась данная методика.

Здание является 18-этажным. Конструктивная система – безригельный каркас с диафрагмами и ядрами жесткости, толщина перекрытия 23 см, толщина диафрагм жесткости от 30 до 50 см (0, 0). Для создания расчетной схемы в ПК «ЛИРА» применены физически и геометрически нелинейные конструктивные элементы. Армирование задано в соответствии с чертежами раздела «КЖ».

Был проведен ряд расчетов, в ходе которых были исключены из работы поочередно все колонны, участки диафрагм жесткости и обрушены элементы перекрытий.

Наиболее сильное влияние оказало «обрушение» колонн, расположенных в углах здания (колонны в осях «1»-«Д» и «Б» - «8») вертикальные деформации составили до 580 мм(0). Прогрессирующего обрушения не произошло.

При локальных обрушениях отдельных перекрытий на площади 80 м² максимальные деформации составили до 100 мм.

Прогрессирующего обрушения не произошло.

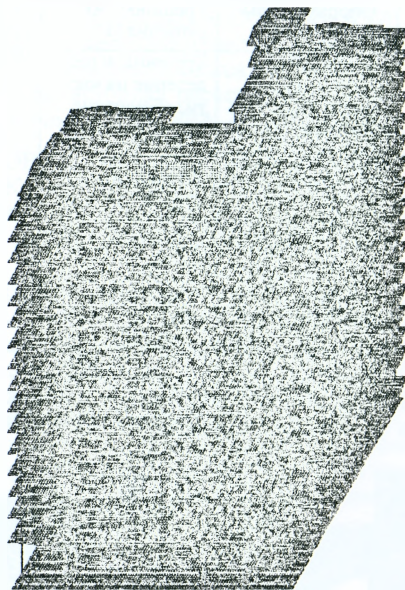


Рисунок 2 – Общий вид трехмерной компьютерной модели здания

Однако если учесть предысторию загрузки, моделирующего обрушение перекрытия, которой является землетрясение, то происходит прогрессирующее обрушение на участке с предшествующими максимальными деформациями (близко расположенные диафрагмы жесткости).

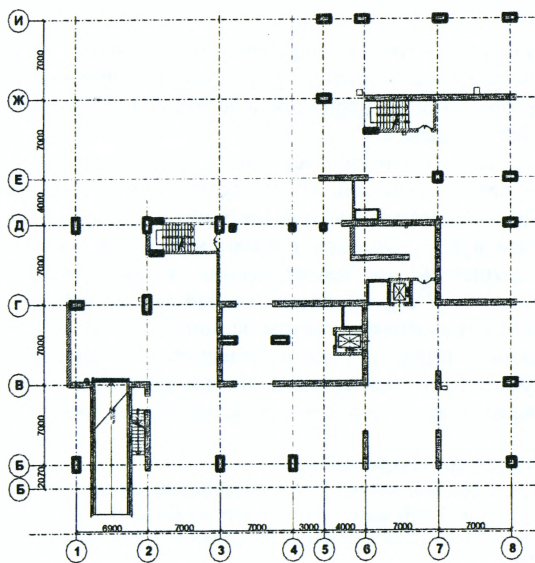


Рисунок 3 – Схема расположения вертикальных несущих элементов

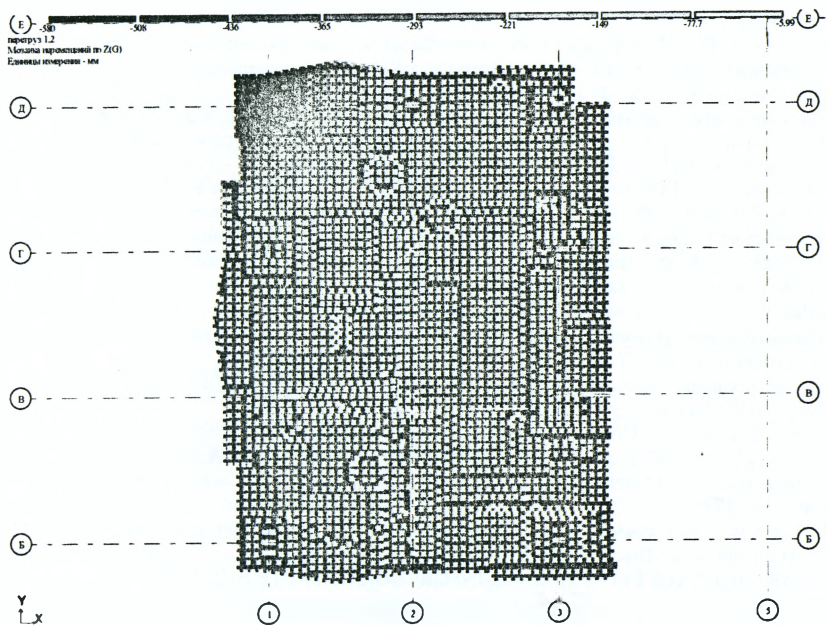


Рисунок 4 – Деформации здания при обрушении колонны Д-1

ВЫВОДЫ

1. Предложена упрощенная методика определения устойчивости к прогрессирующему обрушению зданий с безригельным каркасом. Предложенная методика необходима для разработки сценария последствий землетрясений для районов и населенных пунктов в целом.

2. Такой расчет является заключительным этапом второго уровня разрабатываемой системы оценки фактической сейсмостойкости. Применение такого расчета возможно при дефиците сейсмостойкости объекта не более одного балла.

3. Подход заключается в том, что расчет выполняется для элементов, которые наиболее часто разрушаются при землетрясении, и при этом нет необходимости для объектов массового строительства создавать расчетную схему для расчета на динамические воздействия с учетом нелинейной работы.

4. Предлагаемые для моделирования гипотетического обрушения рекомендации нормативных документов относительно колонн и диафрагм жесткости подходят и для моделирования обрушения вследствие землетрясения.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Xinzheng Lu, Xuchuan Lin, Yuhu Ma, and oth., " Numerical Simulation for the Progressive Collapse of Concrete Building due to Earthquake ". Proceedings of the 14th World Conference on earthquake engineering, October 24-28, 2008, Beijing, China, №0044 - http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_14-0044.PDF
2. Xinzheng Lu , Xiao Lu , Hong Guan and oth., " Earthquake-induced collapse simulation of a super-tall mega-braced frame-core tube building" Journal of Constructional Steel Research № 82, 2013 p 59-71
3. Мкртычев, О.В. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения): монография / О.В. Мкртычев, Г.А. Джинчвелашвили; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». – Москва : МГСУ, 2012. – 192 с. (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ). ISBN 978-5-7264-0662-6
4. Определение класса последствий (ответственности) и категории сложности объектов строительства: ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013. - К.: Мінрегіон України. - 37 с.
5. Murashko, O. A New Approach To The Dynamic Certification In Ukraine / O. Murashko, O. Adamov / GEODESY, ARCHITECTURE & CONSTRUCTION: Proceedings of the 5th International Conference of Young Scientists. – November 21–23, 2013. – Lviv, Ukraine. – P. 112-113.
6. Dorofeev, V. A new approach to buildings seismic resistance assessment in Ukraine / V. Dorofeev, K.Yegupov, A.Murashko, O.Adamov // Proceedings of the 2-nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, August 24-29, 2014. – Istanbul, Turkey. – P. 138-143.
7. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения / Москомархитектура, ГУП НИИАЦ. – М.: 2005. – 72 с.
8. Проектирование высотных жилых и общественных зданий: ДБН В.2.2-24:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 133 с.
9. Мартемьянов, А.И. Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмических районах: учеб. пособие для вузов / Мартемьянов А.И. – М.: Стройиздат, 1955. – 255 с., ил.
10. Ржевский, В.А. Сейсмостойкость зданий в условиях сильных землетрясений / В.А. Ржевский. – М., 1990.
11. Поляков, С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий. (Основы теории сейсмостойкости) / С.В. Поляков. – М.: Высшая школа, 1983. - 304 с.
12. EARTHQUAKES EFFECTS ON REINFORCED CONCRETE BUILDINGS <http://theconstructor.org/earthquake/earthquakes-effects-reinforced-concrete-buildings/3790/>
13. Brunnet Brian. «Progressive Collapse: Overview and Lessons Learned », Penn State, 2012 <http://failures.wikispaces.com/Progressive+Collapse+Overview>