

#### УДК 699.841:624.042.7



**МУРАШКО О.В.**Канд. технічних наук, доц., Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса, Україна, е-mail alexeymurashko@gmail.com

e-mail:alexeymurashko@gmail.com, тел.: +38 (067) 773-35-03, ORCID: 0000-0002-2812-5951



ДОРОФЄЄВ В.С.

Д-р технічних наук, проф., Одеський національний морський університет, м. Одеса, Україна, е-mail: dorvs@ukr.net,

е-mail: dorvs@ukr.net, тел.: +38 (050) 415-39-94, ORCID: 0000-0002-2412-4134



**ГУБАНОВ О.С.**Провідний конструктор, ПП «Капітель-М», м. Одеса, Україна, е-mail: gubanov777@ukr.net, тел.: + 38 (095) 475-36-17



**БЕНРАДІ І.** Аспірант, Одеська державна академія будівництва та архітектури,

м. Одеса, Україна,

e-mail: ilham.ben91@gmail.com, тел.: + 38 (093) 558-79-55

# СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ БУДИНКІВ З БЕЗРИГЕЛЬНИМ КАРКАСОМ ПРИ РІЗНІЙ КОНФІГУРАЦІЇ ЗА ВИСОТОЮ

#### **КІДАТОНА**

Метою даного дослідження є вивчення впливу нерівномірності конфігурації по висоті чотириповерхових будинків з безригельним каркасом без діафрагм і ядер жорсткості. Основну увагу приділено цим будівлям через те що така поверховість цих будівель обмежена нормативними документами для зон сейсмічністю 7 балів.

Сейсмостійкість будівель оцінювали за допомогою нелінійного статичного методу розрахунку, реалізованого у програмному комплексі ЕТАВЅ 2016. Основний параметр, що розглядали на Pushover кривій - граничне спектральне прискорення. В основній частині роботи представлено форми планів поверхів і їх параметри. Робота є складовою частиною розроблюваної Української трирівневої системи оцінювання фактичної сейсмостійкості будівель.

У статті пропонується чисельний параметр, що дозволяє визначити ступінь нерегулярності будівлі: відсоток об'ємного вирізу - параметр, пов'язаний із загальними пропорціями плану поверху, висотою поверху і всієї будівлі, а також зменшенням загального об'єму шляхом відсікання від основної прямокутної моделі будівлі. За результатами аналізу видно, що зміна конфігурації будівлі по висоті дозволяє змінити його сейсмостійкість

більш ніж у 2 рази (граничне спектральне прискорення змінюється від 0,0736 до 0,1543 г). Також відслідковується чітка тенденція впливу запропонованої величини оцінки регулярності відсотки об'ємного вирізу.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** сейсмостійкість, безригельний каркас, нерегулярність по висоті, система оцінювання фактичної сейсмостійкості.

## СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ЗДАНИЙ С БЕЗРИГЕЛЬНЫМ КАРКАСОМ ПРИ РАЗНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ПО ВЫСОТЕ

**МУРАШКО А.В.** Канд. технических наук, доц., Одесская государственная академия строительства и архитектуры,

г. Одесса, Украина,

e-mail: alexeymurashko@gmail.com,

тел.: +38 (067) 773-35-03, ORCID: 0000-0002-2812-5951

**ДОРОФЕЕВ В.С.** Д-р технических наук, проф., Одесский национальный морской университет,

г. Одесса, Украина, e-mail: dorvs@ukr.net,

тел.: +38 (050) 415-39-94, ORCID: 0000-0002-2412-4134



ГУБАНОВ A.C. Ведущий конструктор,

ЧП «Капитель-М», г. Одесса, Украина,

e-mail: gubanov777@ukr.net, тел.: + 38 (095) 475-36-17

БЕНРАДИ И. Аспирант, Одесская государственная академия строительства и архитектуры,

г. Одесса, Украина,

e-mail: ilham.ben91@gmail.com,

тел.: + 38 (093) 558-79-55

#### **АННОТАЦИЯ**

Целью данного исследования является изучение влияния неравномерности конфигурации по высоте четырехэтажных зданий с безригельным каркасом без диафрагм и ядер жесткости. Основное внимание уделено зданиям с безригельным каркасом, по причине того, что такая этажность этих зданий ограничена нормативними документами для зон сейсмичностью 7 баллов.

Сейсмостойкость зданий оценивалась с помощью нелинейного статического метода расчета, реализованного в программном косплексе ETABS 2016. Основной параметр, который рассматривался на Pushover кривой - предельное спектральное ускорение. В основной части работы приведены формы планов этажей с их параметрами. Работа является составной частью разрабатываемой Украинской трехуровневой системы оценки фактической сейсмостойкости зданий.

В статье предлагается численный параметр, который позволяет определить степень нерегулярности здания: процент объемного выреза - параметр, связанный с общими пропорциями плана этажа, высотой этажа и всего здания, а также уменьшением общего объема путем отсечения от основного прямоугольного модельного здания. По результатам анализа видно, что изменение конфигурации здания по высоте позволяет изменить его сейсмостойкость более чем в 2 раза (предельное спектральное ускорение изменяется от 0,0736 до 0,1543 г). Также отслеживается четкая тенденция влияния предлагаемой величины оценки регулярности – процента объемного выреза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сейсмостойкость, безригельный каркас, нерегулярность по высоте, система оценки фактической сейсмостойкости.

#### RESISTANCE **SEISMIC** OF FLAT **SLAB** FRAMEWORK BUILDINGS WITH DIFFERENT VERTICAL CONFIGURATIONS

MURASHKO O.V. PhD, Ass. Prof., Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine,

e-mail: alexeymurashko@gmail.com,

tel.: +38 (067) 773-35-03, ORCID: 0000-0002-2812-5951 **DOROFEYEV V.S.** Dr, Prof., Odessa National

Maritime University, Odessa, Ukraine,

e-mail: dorvs@ukr.net, tel.: +38 (050) 415-39-94,

ORCID: 0000-0002-2412-4134

**GUBANOV O.S.** Lead designer, PE «KAPITEL-M»,

Odessa, Ukraine,

e-mail: gubanov777@ukr.net, tel.: + 38 (095) 475-36-17

BENRADI I. PG student, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,

Odessa, Ukraine,

e-mail: ilham.ben91@gmail.com,

tel.: + 38 (093) 558-79-55

#### **ABSTRACT**

The purpose of this study is to analyze the effect of vertical irregularity in four-story buildings with a reinforced concrete flat slab frame without diaphragms and cores. The main attention is paid to buildings with a flat slab frame, for which such amount of stories is limited by building codes for zones with seismicity 7 grade.

Seismic resistance of buildings was estimated using a nonlinear static Pushover method implemented in the ETABS 2016 software package. Main parameter that was considered from the pushover curve is the ultimate spectral acceleration. A table with the shapes of floor plans, their parameters and analysis are presented in the main part of the work. The work is an integral part of the developed Ukrainian three-tiered system for assessing the actual seismic resistance of buildings.

The paper proposes a numerical parameter that allows to determine the degree of building's irregularity: the percentage of the volume cutoff. It is the parameter associated with the overall proportions of the floor plan, the height of the floor and the whole building, and also reducing the overall volume by cutting off from the basic rectangular model building. According to the results of the analysis, it can be seen that the change in the configuration of the building in height makes it possible to change its seismic resistance more than 2 times (the limiting spectral acceleration varies from 0.0736g to 0.1543g). A clear trend is also observed for the proposed value of the regularity estimate, i. e. the percentage of the volume cutoff.

KEY WORDS: seismic resistance, flat slab frame, vertical irregularity, system of actual seismic resistance assessment.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Существующий мировой опыт свидетельствует о многообразии методик оценки фактической сейсмостойкости зданий: от упрощенных методик,





до расчетно-экспериментальных систем оценки. Многообразие существующих методов оценки сейсмостойкости зданий и сооружений в сложившейся в Украине ситуации можно разделить на три уровня [1-2].

Оценка фактической сейсмостойости 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.

Хорошо известными являются зарубежные системы [3-6]. Для такого рода оценки зданий необходимо развить собственную методику оперативной оценки с учетом Украинской специфики строительства.

Оценка фактической сейсмостойости 2-го уровня (ОФС-2). Формализованный подход к оценке сейсмостойкости в форме паспортизации для объектов массового строительства, который должен реализовываться в соответствии с требованиями ДБН В. 1.1-12:2006 и международным нормативным опытом.

Оценка фактической сейсмостойости 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 описывавет 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.

Данная работа является составной частью первого и второго уровней разрабатываемой системы ОФС.

## мировой опыт

В рамках существующих систем оценки фактической сейсмостойкости, применяемых в сейсмических районах разных государств, нормативными документами регламентируется учет такого фактора, как «влияния неравномерности распределения жесткостей». Так, для широко известной американской FEMA-154 [3] степень влияния этого фактора составляет до 92% (в зоне максимумов для зон с высокой сейсмичностью), для Швейцарской системы [4] - до 100% (как в зоне

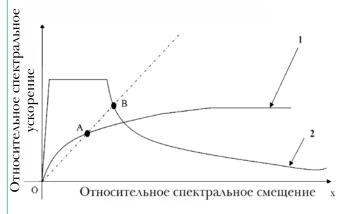
минимума, так и в зоне максимума), а для новозеландской [5-6] этот параметр также изменяется в довольно широких пределах, однако в этом случае он служит для определения нормативной величины риска, с которой и будут сравниваться обследуемые здания. Таким образом, опираясь на мировой опыт, при разработке Украинской системы оценки фактической сейсмостойкости возникла необходимость в анализе влияния неравномерности распределения жесткостей.

В данной работе внимание уделено зданиям с безригельным каркасом с диафрагмами и ядрами жесткости, для которых этажность нормативно ограничена четырьмя этажами в зонах с сейсмичностью 7 баллов.

**Цель работы:** выполнить обобщенный анализ сейсмостойкости четырехэтажного здания с безригельным каркасом без диафрагм и разной конфигурацей по высоте и предложить количественный критерий оценки нерегулярности.

## ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОДХОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Современная теория сейсмостойкости предлагает два основных метода расчета: спектральный метод и прямой динамический. Существует еще один метод, называемый нелинейным статическим (Pushover Analysis), который, с одной стороны является инженерным, с другой, позволяет в той или иной степени учесть нелинейные свойства конструкций не в виде коэффициента к инерционным силам (как это сделано в спектральном методе), а непосредственно из запасов сооружения. Данный метод позволяет оценить поведение конструкции при сейсмических воздействиях за пределом упругости. Этот метод связывает несущую способность, представленную как зависимость перемещения верха здания от силы сдвига в основании, с сейсмическим требованием, представленным в виде спектра реакции. Вычисляется точка пересечения графиков несущей способности и спектра реакции - динамического равновесия, по которой определяется ожидаемое поведение конструкции (рис. 1).



**Рис. 1.** Наложение спектра несущей способности на спектр воздействия и определение точки состояния: 1 – кривая несущей способности; 2 – кривая «Сейсмического требования»



При этом можно построить как кривую несущей способности, наложенную на график сейсмического требования, так и проанализировать работу конструкций в нелинейной постановке на каждой стадии приложения нагрузки. В результате расчета нелинейным статическим методом (Pushover analysis), инженер-исследователь оценивает реальные запасы конструкции в результате учета пластических и других неупругих свойств конструкций здания.

#### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исследование конфигурации плана. Численное исследование представлено в виде оценки эффекта влияния конфигурации плана на сейсмический ответ здания. 22 модели (R1 – R22) были разработаны с использованием программного комплекса ETABS 2016. Форма выреза была выбрана прямоугольной. Классификация параметров формы включает размеры и общее соотношение сторон, форму плана, относительная величина объемного выреза (далее по тексту OBOB):

$$V_{p} = (c \cdot d \cdot h_{pm})/(a \cdot b \cdot h_{pm}) \cdot 100\%,$$

где  $V_p$  — параметр, связанный с общими пропорциями перекрытия, высоты этажа и всего здания, а также уменьшения объема отрезанной от основной прямоугольной модели здания (a×b×h), покрывающей всю область плана. Для заданного набора значений, изменение  $V_p$  дает различные формы плану, расположение вырезов и, следовательно, эксцентриситет между центром жесткости и центром масс здания.

Численное моделирование на данном этапе необходимо, чтобы учесть отдельно влияние неравномерной конфигурации планов этажей, а также для углубленного анализа всего многообразия подобного рода нерегулярности, так как при натурных исследованиях вычленить влияние именно этого вида нерегулярности довольно сложно по причине того, что часто в зданиях присутствуют две и более нерегулярности одновременно (например, неуравновешенные жесткости, вызванные большими отверстиями (проемы под лестничные

клетки и лифтовые шахты) нерегулярное расположение нагрузок и т.д.). Учет влияния наружных и внутренних стен заполнения, перегородок не производили.

Параметры численной модели. Горизонтальные элементы состоят из монолитных железобетонных перекрытий. Сейсмические массы сосредоточены на уровне каждого перекрытия с равномерным распределением по площади. Постоянная нагрузка на перекрытие принята 3,0 кH/м², а временная нагрузка –  $2,0 \text{ кH/м}^2$ . Основной моделью для данного исследования является четырехэтажное здание с безригельным каркасом без диафрагм, прямоугольной формы,  $36 \times 36$  м. Высота этажа – 3,0 м. В численную модель здания были заложены материалы со следующими характеристиками: колонны – бетон B25 (C20/25), арматура - 4Ø16A400 (угловые стержни), Ø8A400 (хомуты); перекрытия - бетон B25 (C20/25), арматура - Ø12A400 (фоновая, нижний и верхний ряды в продольном и поперечном направлениях), Ø16А400 (дополнительная). План и разрез расчетной модели приведены на рис. 2 и 3.

Сравнение характеристик моделей основано на оценке максимального значения спектраль-

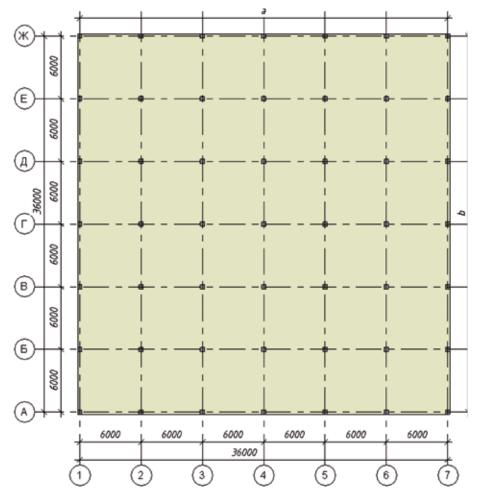


Рис. 2. План эталонной расчетной модели здания



ного ускорения в уровне основания, полученного при анализе. Есть множество возможных конфигураций плана для жилых домов, но не все из них обычно используются в дизайне зданий. Таким образом, на первом шаге необходимо было определить наиболее часто используемые конфигурации плана (формы) для каркасных зданий.

В качестве эталонной была выбрана квадратная форма плана здания с R=36/36=1, в которой жесткости распределены симметрично, т.е. жесткости в двух направлениях в плоскости плана подобны. В зданиях с тем же базовым прямоугольником (a×b), изменение выреза (по сравнению с базовым прямоугольником) непосредственно влияет два фактора, которые отражаются на сейсмических характеристиках здания: эксцентриситет и сейсмическая масса. В табл. 1 приведен перечень рассмотренных вариантов нерегулярности по высоте здания.

По результатам проведенного анализа видно, что наибольшей сейсмостойкостью обладаяет схема R13 (одна из контрольных точек исследования), в которой было полностью удалено два верхних этажа, а наименьшей R19 с симметричным вырезом в уровне только верхнего 4-го этажа. Также анализируя рис. 4 и 5 можно отметить, что изменение конфигурации здания по высоте позволяет изменять его сейсмостойкость в 2 раза (предельное спектральное ускорение изменяется от 0,0736 до 0,1543 г.).

При этом на рис. 5 отслеживается четкая тенденция влияния предлагаемой величины оценки регулярности - относительной величины объемного выреза. Можно также отследить, что при равных величинах процента объемного выреза спектральное ускорение может изменяться в довольно больших пределах (20-25)%. Это объясняется тем, что на данном этапе исследования не учитывается еще один параметр нерегулярности по высоте - относительный эксцентриситет выреза. Влияние данного параметра находится в разработке и будет освещено в последующих публикациях.

Таблиця 1. Таблица параметров формы для каркасного здания

<b>№</b> π/π	Форма плана этажа		овов,	Относи-	
	третьего	четвертого	$C_p$ ,%	тельное ускорение	Бальность
R1			0.0	0.0931	6.859
R2			4.2	0.0843	6.687
R3			8.3	0.081	6.623
R4			12.5	0.0816	6.634
R5			16.7	0.084	6.681
R6			20.8	0.0887	6.771
R7			25.0	0.1178	7.382
R8			8.3	0.0962	6.922
R9			16.7	0.0824	6.650
R10			25.0	0.0906	6.808
R11			33.3	0.097	6.938
R12			41.7	0.112	7.256
R13			50.0	0.1543	8.046
R14			12.5	0.0793	6.592
R15			20.8	0.0855	6.709
R16			29.2	0.0936	6.868
R17			37.5	0.1066	7.140
R18			45.8	0.1106	7.226
R19			8.3	0.0737	6.487
R20			25.0	0.0859	6.716
R21			37.5	0.1234	7.502
R22			45.8	0.1353	7.743



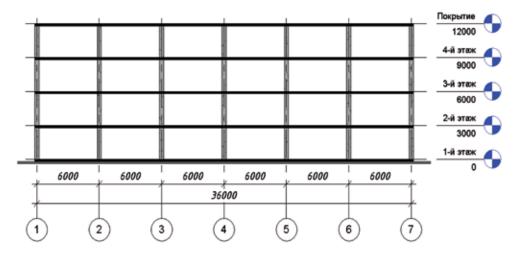


Рис. 3. Разрез эталонной расчетной модели здания

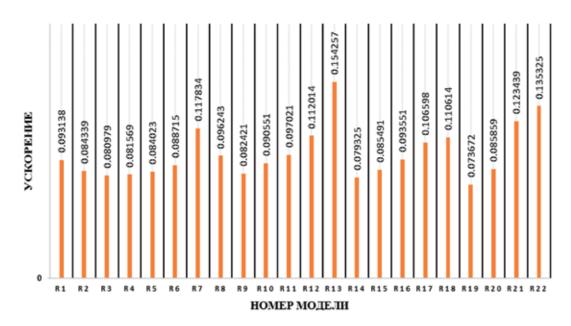
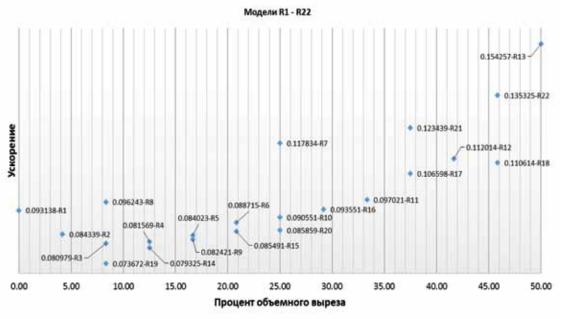


Рис. 4. Гистограмма полученной сейсмостойкости для моделей R1 – R22



**Рис. 5.** Влияния относительной величины объемного выреза  $V_p$  на предельную величину спектрального ускорения



### выводы

- 1. Выполнено исследование сейсмостойкости четырехэтажных зданий различной конфигурации по высоте с безригельным каркасом без диафрагм.
- 2. Предложен подход к классификации параметров формы выреза и оценке влияния выреза на сейсмостойкость здания.
- 3. Выполнен расчет 22 моделей (R1 R22) с использованием программного комплекса ETABS 2016. Расчет выполнен с применением нелинейного статического метода (Pushover Analysis), который позволяет учесть нелинейные свойства конструкций непосредственно из запасов сооружения.
- 4. Прослеживается тенденция влияния OBOB на сейсмостойкость здания, что позволяет таким образом давать оценку нерегулярности зданий, возводимых в сейсмических районах.
- 5. Результаты данного исследования могут быть использованы для разрабатываемой системы оценки фактической сейсмостойкости существующих зданий с безригельным каркасом.
- 6. На сегодняшний день ведутся работы по численному анализу влияния различных форм выреза: L-форма, Т-форма, U-форма, Z-форма, а также влияние стен-диафрагм и их расположения в конструктивной схеме здания.

Статья поступила в редакцию 15.08.2017 г.