

УДК 699.841:624.94.012.45:624.04

© Соснин Алексей Викторович

Смоленский филиал
ФГБОУ ВПО «Московский государственный
университет путей сообщения (МГУПС (МИИТ)),
Российская Федерация, Смоленск
Старший преподаватель,
кафедра «Здания и сооружения на транспорте»
E-mail: syabryauskas@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ДЕФИЦИТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ НЕЛИНЕЙНОГО СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В SAP2000

¹Памяти Григория Львовича Коффа

В статье рассматриваются результаты расчёта существующего жилого 15-этажного здания с железобетонным рамно-связевым каркасом (с диафрагмами жёсткости). При разработке проектного решения здания применялся только линейно-спектральный метод. Площадка строительства характеризуется сейсмичностью 7 баллов по шкале MSK-64. Параметры объекта исследования и основные расчётные положения приведены в статьях [8;22;23]. При выполнении сопоставительного расчёта использовался метод нелинейного статического анализа (по Freeman S.A.; 1975 [28]). При этом учитывались некоторые методологические принципы, приведённые в работах [3;5]. Только за счёт оценки упруго-пластической реакции объекта исследования выявлен дефицит сейсмостойкости в 1 балл. В качестве базового инструментария применялись алгоритмы,

¹ Статья посвящается памяти доктора геолого-минералогических наук, профессора Коффа Г.Л., под руководством которого автор статьи, направленный в составе группы от лаборатории Теории сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко ОАО «НИЦ «Строительство», работал в 2009 году при оценке дефицита сейсмостойкости 5-этажных жилых каркасно-каменных зданий серии 102с, возведённых в пгт. Ноглики Сахалинской области в период 1979-1986г.г. (более подробную информацию о научной и общественной деятельности Г.Л. Коффа можно получить по Интернет-адресу: <http://imgg.ru/ru/news/16>).

реализованные в комплексе ²SAP2000v.17.1 [29]. Показано влияние затухания, реализуемого в упруго-пластической стадии деформирования системы, на величину коэффициента редукции упругого спектра реакции. Предложены некоторые пояснения для пользователей комплекса.

Ключевые слова: многоэтажный железобетонный рамно-связевый каркас; дефицит сейсмостойкости; нелинейный статический диаграммный метод расчёта конструкции; точка упруго-пластических свойств системы; энергоёмкость системы; категория уязвимости сооружения; поправочный коэффициент к дополнительному затуханию в упруго-пластической стадии; программный комплекс SAP2000.

© **Sosnin Aleksei Viktorovich**

Moscow State University of Railway Engineering (МИИТ),
Smolensk Branch,
Russian Federation, Smolensk
Senior Lecturer,
department «Buildings and structures on transport»
E-mail: syabryauskas@mail.ru

EARTHQUAKE RESISTANCE SHORTAGE ESTIMATION FEATURES OF RC FRAME BUILDINGS USING NONLINEAR STATIC ANALYSIS AND SOFTWARE SAP2000

Estimate results of a 15-storey existing apartment RC braced (with shear walls) frame building are overviewed in the article. Response spectrum method was only used during engineering work. The building site is shown by 7 points

² Интегрированный программный комплекс SAP2000. Разработчик комплекса – компания Computers&Structures, Inc (CSI), основанная в 1975 году, признана лидером в области разработки инновационных программных продуктов для строительного проектирования и расчётов в области сейсмостойкого строительства. Программное обеспечение от компании CSI используют более 50 000 тысяч официальных пользователей в различных странах мира. Комплекс SAP2000 считается базовым инструментарием, применяемым Министерством обороны США для расчётов зданий и сооружений на устойчивость к прогрессирующему обрушению.

Официальный дистрибьютор CSI на территории России – ООО «НИП-Информатика»; юридический адрес: г. Санкт-Петербург; ул. Фучика, д. 4, лит. К (<http://www.nipinfor.ru/>).

on MSK-64 scale seismic motion. The parameters of the object and basic computational requirements are given in the issues [8;22;23]. Nonlinear static (Pushover) analysis (by S.A. Freeman; 1975 [28]) was used as a basic method. Some methodological conceptions given in the work [3;5] were applied in the research. An earthquake resistance shortage equal to 1 point of MSK-64 scale was elucidated in RC frame members only with control of hinge zones location taken into account. General solutions had been got with software SAP2000v.17.1 [29]. Hysteretic damping influence by the elastic spectrum reduction (modification) factor was indicated. Some explanations for software users were provided.

Keywords: multi-story RC braced-frame system; earthquake resistance shortage; nonlinear static relationship-diagram method; performance (target) point; energy consumption; structural behaviour type; damping modification factor; software SAP2000.

Введение. Постановка задачи.

Выявление резервов несущей способности сооружений, подвергнутых действию сейсмических сил, является одной из важнейших проблем теории сейсмостойкости [4]. Одна из особенностей, влияющих на интенсивность сейсмических нагрузок, действующих на всякую реальную систему, – способность к рассеиванию энергии землетрясения [13;17]. Обрушения зданий, произошедшие в Ленинкане (Гюмри), Спитаке (1988), на острове Итуруп (1994) и в Нефтегорске (1995), показали, что важной задачей, с позиции обеспечения безопасности населения, является выявление дефицита сейсмостойкости объектов типового жилищного строительства. Кофф Г.Л. в своём интервью для Новой газеты [19] отметил, что *«...землетрясения с высокой интенсивностью (более 6 баллов) вероятны на 60% территории нашей страны, но мы к ним совершенно не готовы...»*. По данным карт ОСР-97, площадь сейсмических районов Российской Федерации с интенсивностью 7 баллов по шкале MSK-64 составляет не менее 2млн. км², в которых опасности подвергаются не менее 20 млн. человек [2]. Минимальные материальные убытки собственников зданий, построенных без должных антисейсмических мероприятий (или с явным отступлением от таких

мероприятий) на площадках с указанной сейсмичностью, прогнозируются в интервале от 14 до 25% от их первоначальной стоимости [11].

Очевидно, что при редких событиях несущие конструкции работают в пластической стадии деформирования, поэтому здания и сооружения просто не могут не повреждаться. Для анализа работы конструкций при действии сейсмических нагрузок в регламентах Европы, стран Азии и США применяется адаптированный диаграммный метод нелинейного статического анализа (далее по тексту – НСМ) [5;7;22;23]. В отечественной практике проектирования НСМ используется редко, как правило, только в качестве расчётного компенсирующего мероприятия при разработке специальных технических условий (например, [16]). Важнейшей особенностью указанного метода является учёт понятия энергоёмкости. Критерии оценки сейсмостойкости сооружения в НСМ связаны с расположением на кривой спектра несущей способности точки, характеризующей упруго-пластическое состояние (свойства) системы в момент реализации допусаемых повреждений [5;14,23].

При выборе частного примера, рассмотренного в [22;23] предварительно учитывались результаты сопоставительной оценки ТЭП многоэтажных жилых домов, спроектированных, из монолитного железобетона по индивидуальным проектам, и с применением известных строительных серий (например, 90, 111, КУБ2М, КУБ2.5, Б1.020.1-7, Б1.020.1-9) [26]. Установлено, что при проектировании объекта исследования учитывались сейсмические нагрузки, определённые по линейно-спектральному методу (далее по тексту – ЛСМ) в соответствии требованиями пункта 2.2(а) ³СНиП II-7-81* [20]. Для учёта реализации зон пластичности в несущих конструкциях принимался коэффициент K_1 к интенсивности сейсмических сил, равный 0,25. Определено, что армирование несущих элементов каркаса объекта исследования, спроектированного для рассматриваемой площадки строительства (по ЛСМ), почти полностью получено из результатов расчётов на основные сочетания нагрузок [22;23]. Методом нелинейного статического анализа было выявлено, что сейсмостойкость здания в целочисленных значениях

³ Все расчёты с применением линейно-спектрального метода выполнялись по пункту 2.2(а) СНиП II-7-81* в связи с тем, что проектное решение объекта исследования разработано до официального опубликования Постановления Правительства №1521 от 26.12.2015г

шкалы MSK-64 составила 6 баллов, вместо 7, установленных проектом. Рассчитываемая система оказалась способна выдержать сейсмические нагрузки, составляющие не более 50% от учтённых нагрузок, соответствующих условиям площадки строительства. Получается, что при оценке отклика многоэтажного рамно-связевого каркаса на действие редкого землетрясения только по ЛСМ, уже на стадии проектирования можно получить здание с дефицитом сейсмостойкости [6;12;23]. На рисунке 1 представлены некоторые результаты сравнительного расчёта объекта исследования с применением НСМ.

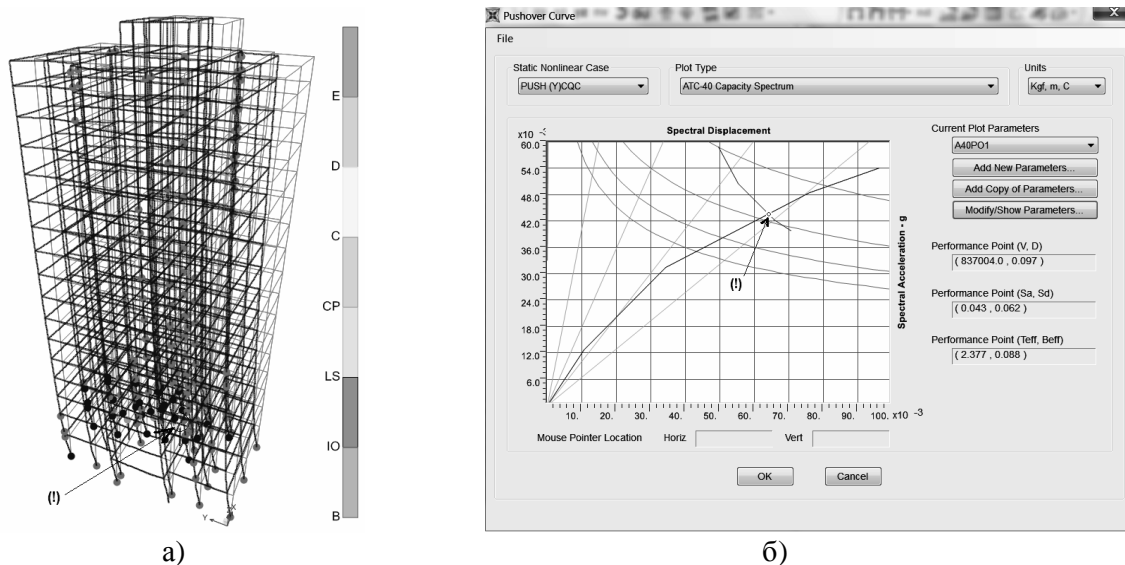


Рис. 1. Механизм деформирования конструктивной системы объекта исследования с визуализацией образовавшихся шарниров пластичности (а), и соответствующий ему спектр несущей способности (б), полученные в комплексе SAP2000 при направлении сейсмического воздействия вдоль здания.

Примечания

- 1 На рисунке (а) стрелочкой специально указана зона пластичности, деформации которой не удовлетворяют принятому в [23] критерию сейсмостойкости;
- 2 На рисунке (б) стрелочкой указана точка упруго-пластических свойств системы, расположение которой характеризует степень повреждения системы (при SF=0,5).

Основной характеристикой, определяющей величину сейсмической нагрузки на сооружение, является показатель демпфирования колебаний [25]. В настоящей статье приведены особенности учёта затухания при оценке сейсмической реакции с применением базовой процедуры метода нелинейного статического анализа, реализованной в SAP2000v.17.1.

Обсуждение проблемы

О рассматриваемой ситуации стоит серьёзно задуматься, ведь Буйнакское (1970), Спитакское (1988), а также Нефтегорское (1995) землетрясения произошли на площадках, относившихся до указанных событий к 7-балльным.

Прежде, чем перейти к основному содержанию, обозначим основные термины, применяемые в статье:

1) метод нелинейного статического анализа – диаграммный метод адаптированного расчёта конструкций на динамические воздействия, в котором, при учёте нелинейного характера работы зон упруго-пластических деформаций, используются редуцированный спектр отклика и кривая равновесных состояний (кривая несущей способности), полученная пошаговым статическим нагружением системы в результате численного или натурного эксперимента;

2) спектр несущей способности – ⁴кривая несущей способности, с помощью математических преобразований переведённая в формат «спектральное ускорение – спектральное перемещение»;

3) реальный дефицит сейсмостойкости – расхождение между требуемым уровнем сейсмостойкости, соответствующим расчетной сейсмичности площадки строительства (в баллах сейсмической интенсивности), и экспертным значением уровня сейсмостойкости сооружения с фиксированным значением коэффициента допускаемых повреждений [9].

Важно отметить, что представленная формулировка дефицита сейсмостойкости полностью согласуется с базовыми принципами методологии нелинейного статического анализа (см. рисунок 3). Особенностью метода является возможность учёта энергоёмкости. Отношение количества энергии, поглощаемой неупругими процессами в системе за один цикл, к полной энергии колебания этого цикла – есть величина относительной (или удельной) потери энергии. Хорошее теоретическое обоснование этого важного нюанса, например, представлено в работе [17]. На рисунке 2 автором работы приведена

⁴ Кривая несущей способности – графическая зависимость горизонтальной сейсмической реакции (сдвигающей силы в уровне низа системы) от перемещения её верхней массы (как правило, в расчётах выбирается характерный узел основного покрытия системы).

обобщённая графическая интерпретация алгоритма, применяемого для определения энергий в процедурах НСМ.

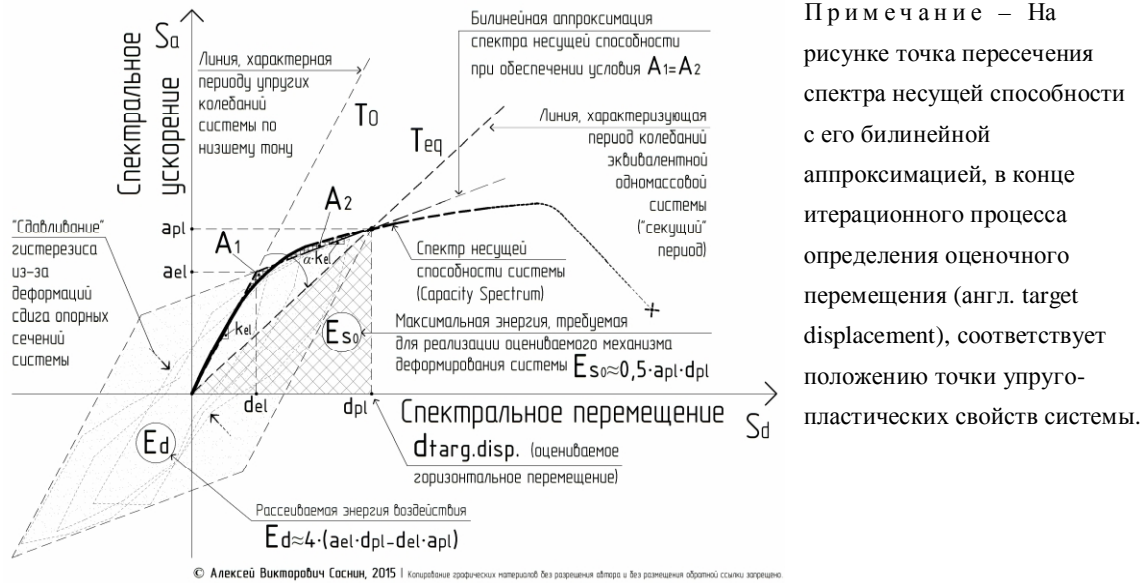


Рис. 2. Схема определения удельной потери энергии в упруго-пластической стадии работы системы

Энергия воздействия E_d , рассеиваемая за счёт неупругого сопротивления в элементах системы, определяется из выражения:

$$E_d = 4 \cdot (a_{el} \cdot d_{pl} - d_{el} \cdot a_{pl}) \quad (1)$$

здесь,

a_{el}, a_{pl} – ординаты (спектральные ускорения) графика спектра несущей способности, характерные пределу упругости и расположению точки упруго-пластических свойств системы, соответственно (см. рисунок 2);

d_{el}, d_{pl} – абсциссы (спектральные перемещения) графика спектра несущей способности, характерные пределу упругости и расположению точки упруго-пластических свойств системы, соответственно (см. рисунок 2).

Максимальная потенциальная энергия E_{s0} , требуемая для реализации оцениваемого (например, на рисунке 1а) механизма деформирования системы, определяется как:

$$E_{s0} = 0,5 \cdot (a_{pl} \cdot d_{pl}) \quad (2)$$

Примечание – Следует отметить, что в описании метода расчёта, рекомендуемого к использованию Приложением В Еврокода 8 [27], представлена несколько иная графическая интерпретация полной энергии колебательного процесса.

Тогда дополнительное затухание колебаний в системе в упруго-пластической стадии (удельная потеря энергии), учитывающее, как гистерезисное затухание, так и внутреннее вязкое демпфирование, определяется следующим образом:

$$x_0 = \frac{1}{p \cdot 4} \cdot \frac{E_d}{E_{s0}} = \frac{0,637 \cdot (a_{el} \cdot d_{pl} - d_{el} \cdot a_{pl})}{a_{pl} \cdot d_{pl}} \quad (3)$$

Суммарный коэффициент (эффективного) затухания (в %), применяемый для редуцирования упругого спектра реакции, с учётом выражения (3) принимает вид:

$$x_{eff} = x_{el} + \frac{k \cdot 63,7 \cdot (a_{el} \cdot d_{pl} - d_{el} \cdot a_{pl})}{a_{pl} \cdot d_{pl}} \quad (4)$$

здесь,

- k – поправочный коэффициент к затуханию, характеризующему работу системы в упруго-пластической стадии;
- x_{el} – коэффициент затухания конструкции, работающей в упругой стадии (затухание, заложенное при конструировании системы); как правило, во всех регламентах принимается стандартным, – 5% от критического затухания.

В этом выражении коэффициент k учитывает класс пластичности и другие важные характеристики системы. Для получения графических результатов в базовой процедуре НСМ, реализованной в SAP2000, такие характеристики определяются настройками вкладки Damping Parameters Definition. В представленной ниже таблице 1, специально сформированной автором работы с применением [30], приведены параметры, выбор которых влияет на величину k .

В работах [9;10] среди критериев, влияющих на величину дефицита сейсмостойкости, отмечают: степень повреждения сооружения по шкале MSK-64; оценка величины периода колебаний по низшему тону T_1 ; соответствие проектного решения здания требованиям действующих в тот момент норм сейсмостойкого строительства. Специально указывается на эффект редуцирования сейсмической нагрузки, обусловленный малой вероятностью поражения сооружения расчетным землетрясением в период его остаточного ресурса. Указанный выше эффект автор работы предлагает учитывать при определении коэффициента k .

Таблица 1 – Значение поправочного коэффициента k к дополнительному затуханию в системе в упруго-пластической стадии деформирования в зависимости от категории уязвимости сооружения

Частотный состав воздействия / тип землетрясения; пример землетрясения	¹ Тип здания в зависимости от пластичности системы категория уязвимости здания (А, В или С)				
	² Дополнительное затухание в системе в упруго-пластической стадии x_0 (в %) ³ коэффициент k (в долях единицы)				
	тип 1		тип 2		тип 3
короткопериодное; например, Газли (1976); Паркфилд (1966); Эль-Центро (1940).	А		В	С	
	x_0	k			
	$\leq 16,25$	1,0			
	$> 16,25$	$1,13 - 0,008 \cdot x_{eq} \geq 0,77$			
длиннопериодное; например, события в зоне Вранча (1977, 1986).	В		С		С
	x_0	k	x_0	k	
	≤ 25	$\frac{2}{3}$	любое значение	$\frac{1}{3}$	
	> 25	$0,845 - 0,007 \cdot x_{eq} \geq 0,53$			

Примечания

1 В таблице обозначены следующие типы зданий (сооружений):
тип 1 – сейсмостойкие здания, конструктивная система которых содержит незначительное количество элементов, сконструированных без необходимых антисейсмических мероприятий; при этом система обладает хорошей способностью к рассеянию энергии землетрясения (сейсмостойкость системы соответствует расчётной сейсмичности площадки);
тип 2 – здания, конструктивная система которых включает, как несущие элементы, удовлетворяющие требованиям сейсмостойкого строительства, так и элементы, сконструированные без соблюдения необходимых антисейсмических мероприятий; при этом система обладает умеренной способностью к рассеянию энергии землетрясения;
тип 3 – здания, конструктивная система которых обладает низкой способностью к рассеянию энергии землетрясения (сейсмостойкость системы допускается считать не соответствующей расчётной сейсмичности площадки строительства).

2 Коэффициент x_0 учитывает, как гистерезисное затухание, так и внутреннее вязкое демпфирование.

3 Коэффициент k – есть поправочный коэффициент к затуханию, характеризующему работу системы в упруго-пластической стадии, – обозначен на стр. 179 [15] и стр. 82 [12].

Тогда выражение (4) примет следующий вид:

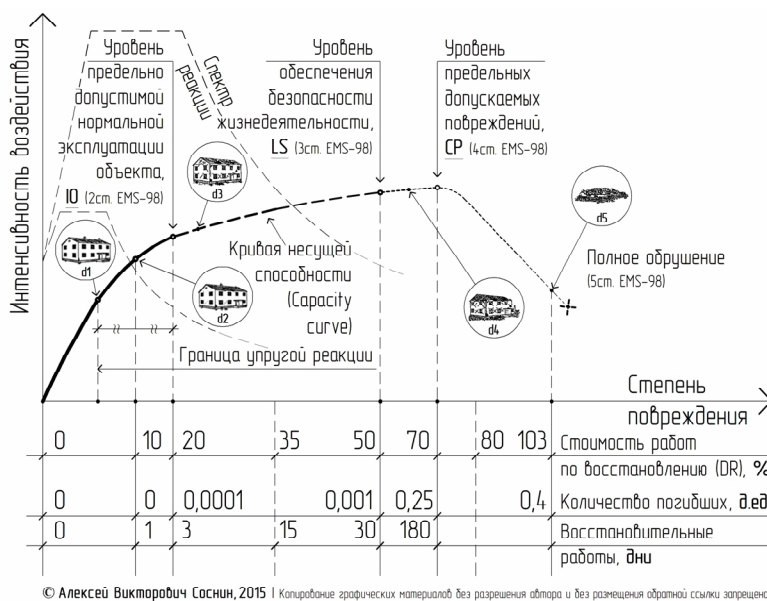
$$x_{eff} = x_{el} + \left(\frac{63,7 \cdot (a_{el} \cdot d_{pl} - d_{el} \cdot a_{pl})}{a_{pl} \cdot d_{pl}} \right) \cdot \left[\frac{k}{\left(1 - \frac{T_{exist}}{100}\right)^{\frac{1}{2}}} \right] \text{ при } \frac{k}{\left(1 - \frac{T_{exist}}{100}\right)^{\frac{1}{2}}} \leq 1,0 \quad (5)$$

здесь,

T_{exist} – фактический срок эксплуатации рассматриваемого здания (в годах).

В выражении (5) составляющая, указанная в квадратных скобках, является поправочным коэффициентом, при редуцировании упругого спектра реакции учитывающим (в запас) также и зависимость категории технического состояния многоэтажного здания от срока его эксплуатации. В случае причисления объекта исследования, поочередно, к категориям уязвимости А и С (см. таблицу 1), при всех специально оговоренных выше условиях и предложениях работы [1], коэффициенты эффективного затухания x_{eff} получились равными 15% и 7% (при SF равном 0,5 [22]), а коэффициенты редукции к упругому спектру реакции SR_A в базовой расчётной процедуре HCM – 0,65 и 0,89, соответственно (разница в 20%).

Учитывая вышеуказанные особенности и применяя установленный критерий наступления предельного состояния системы, по кривой несущей способности можно оценить дефицит сейсмостойкости, и если понадобится, то до десятой доли g (для пояснения ситуации автор составил рисунок 3).



Примечания

- 1 Величине дефицита сейсмостойкости будет соответствовать разность между значениями коэффициентов масштабирования SF к расчётному спектру реакции.
- 2 Настоящий рисунок смотреть совместно с рисунком 2, представленным в работе [22].
- 3 Верхний спектр реакции здесь, в постановке *ceteris paribus*, характерен категории уязвимости С, нижний – А.

Рис. 3. Графическая ⁵зависимость между величиной дефицита сейсмостойкости и уровнем повреждения основных несущих конструкций здания

⁵ В статье [21] на рисунке 2 допущена техническая ошибка автора работы, в части указания единицы измерения количества погибших при землетрясении (ранее было указано в %). В настоящей статье эта опечатка автором исправлена; приведены дополнительные пояснения.

Благодарность автора

В работе использованы некоторые результаты, полученные совместно с доктором технических наук, профессором кафедры «Сопротивление материалов» Московского государственного строительного университета (МГСУ) Джинчвелашвили Гурамом Автандиловичем. Автор выражает ему искреннюю благодарность за дружескую поддержку и наставления.

Выводы

1) Дефицит сейсмостойкости сооружения, спроектированного с учётом должных мероприятий, компенсирующих действие сейсмических сил, помимо прочих причин, формируется неточным учётом демпфирования колебаний системы.

2) Графические результаты метода нелинейного статического анализа позволяют, так сказать, «пальпировать» дефицит сейсмостойкости, – что может быть полезно для заказчиков при оценке гипотетических убытков при прогнозируемом землетрясении [21].

3) Критерии выбора коэффициента k , характеризующего работу системы в упруго-пластической стадии, соответствуют основным параметрам факторно-аналитической оценки остаточной сейсмостойкости, представленной в [9;10]. Учитывая результаты работ [8;22;23], в поверочных расчётах многоэтажных железобетонных рамно-связевых систем с диафрагмами жёсткости, спроектированных только с применением ЛСМ (с учётом $K_1 \leq 0,3$) в южных районах России, – поправочный коэффициент k , при использовании рассматриваемой в [23] процедуры НСМ, рекомендуется принимать равным не более 0,35.

Положения настоящей работы могут быть применены в качестве обоснования для доработки и/или поверочной оценки технических решений зданий повторного применения, выполненных, например, в конструкциях строительной серии 1.020.1-2с/89 [18].

⁶ Значение коэффициента K_1 для рассматриваемого объекта исследования в актуализированной редакции СНиП II-7-81* [24] увеличено на 20% – составляет 0,3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашимбаев, М.У. Современные подходы к проектированию сейсмостойких зданий повышенной этажности / М.У. Ашимбаев, И.Е. Ицков. – Алматы: РГП «КазНИИССА». – Режим доступа: http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/Bud_kon/2010_73/Ashimb.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
2. Басин, Е.В. Сейсмическая опасность и сейсмостойкое строительство в Российской Федерации (Состояние, проблемы, решения) / Минстрой России / Е.В. Басин [и др.]. – М.: ГУП ЦПП, 1996. – С. 9 – 10.
3. Бедняков, В.Г. Оценка повреждаемости высотных и протяжённых зданий и сооружений железнодорожного транспорта при сейсмических воздействиях / В.Г. Бедняков, С.С. Нефедов, Т.З. Югай // Транспорт. Наука. Техника. Управление. – 2003. – №12. – С. 24 – 32.
4. Гольденблат, И.И. Проблема «инженерного риска» в сейсмостойком строительстве / И.И. Гольденблат, С.В. Поляков // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1975. – №6. – С. 41 – 44.
5. Джинчвелашвили, Г.А. Анализ некоторых особенностей учёта нелинейной работы конструкций в нормативных документах по сейсмостойкому строительству / Г.А. Джинчвелашвили, А.В. Соснин // Подсекция «Строительная механика и теория надёжности конструкций (с международным молодёжным участием) 71-й Научн.-методич. и научн.-исслед. конф. Тез. докл., 29 января – 7 февраля 2013г. – М.: МАДИ, 2013. – С. 67 – 69. – URL: <http://pandia.ru/text/78/586/49138-2.php>
6. Джинчвелашвили, Г.А. Анализ основных положений СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах» / Г.А. Джинчвелашвили, О.В. Мкртычев, А.В. Соснин // О возможных принципиальных ошибках в нормах проектирования, приводящих к дефициту сейсмостойкости сооружений в 1–2 балла. Сб. тр. семинара, 15 сентября 2011г. – М.: МГСУ, 2011. – С. 19 – 27.
7. Джинчвелашвили, Г.А. Оценка резервов сейсмостойкости многоэтажного здания с каркасно-стеновой конструктивной системой из железобетона с применением нелинейного статического метода / Г.А. Джинчвелашвили, А.В. Соснин, Е.В. Савченкова // Инновационные

технологии в развитии строительства, машин и механизмов для строительства и коммунального хозяйства, текущего содержания и ремонта железнодорожного пути. Сб. тр. (Том 2) II Международн. научно-практич. конф., 11 апреля 2014г. – Смоленск: СФ МИИТ, 2014. – С. 32 – 41.

8. Джинчвелашвили, Г.А. Методика построения спектров с учетом грунтовых условий / Г.А. Джинчвелашвили, В.Г. Бедняков, Д.В. Канев // Экспериментальные исследования сейсмостойкости зданий и развитие теории сейсмостойкости. – Тез. докл. конф. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ФГУП «НИЦ «Строительство», 2009. – С. 158 – 183.

9. Инженерно-сейсмическое обследование жилых домов в пгт. Ноглики Сахалинской области: Научно-технический отчёт / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко ОАО «НИЦ «Строительство» / Г.А. Джинчвелашвили, Г.Л. Кофф, А.В. Колесников, А.В. Соснин; Руководитель Г.А. Джинчвелашвили. – М., 2009. – 54 с.

10. Кофф, Г.Л. Применение факторного анализа для оценки остаточной сейсмостойкости и сейсмического риска застройки городов о. Сахалин / Г.Л. Кофф, Г.А. Джинчвелашвили, А.В. Колесников, А.В. Соснин // Инновационные технологии в строительстве и подготовке отраслевых инженерных кадров. Сб. тр. Региональн. научно-практ. семинара, 28 мая 2010г. – Смоленск: СФ МИИТ, 2010. – С. 169 – 182.

11. Курмаев, А.М. Сейсмостойкие конструкции зданий / А.М. Курмаев. – Кишинёв: Картя Молдовеняскэ, 1989. – 453 с.

12. Мкртычев, О.В. Проблемы учёта 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». – М.: изд-во МГСУ, 2012. – 192 с. (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ).

13. Ньюмарк, Н. Основы сейсмостойкого строительства / Н. Ньюмарк, Э. Розенблюэт; Сокр. пер. с англ. Г.Ш. Подольского; под ред. Я.М. Айзенберга. – М.: Стройиздат, 1980. – 344 с. – Перевод изд.: Fundamentals of earthquake Engineering / N.M. Newmark, E. Rozenblueth. – New York: Prentice-Hall, Inc.

14. Применение нелинейного статического (Pushover) метода для оценки поведения конструкций при сейсмическом воздействии / К.Т. Чхиквадзе [и др.] // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2010. – №2. – С. 48 – 52.

15. Пэйфу, С. Проектирование современных высотных зданий / С. Пэйфу, Ф. Суеи, В. Цуйкунь, С. Цунчжень; Под ред. С. Пэйфу: Пер. с китайского Ж. Фэй, С. Цзенью; Под ред. В.И. Колчунова, О.А. Ветровой, Н.В. Ключевой, М.В. Моргунова. – М.: АСВ, 2008. – 469 с.

16. Разработка специальных технических условий на проектирование, в части обеспечения сейсмической безопасности, концертного комплекса с залами на 1200 и 500 посадочных мест объекта капитального строительства Кавказский музыкально-культурный центр Валерия Гергиева по адресу: г. Владикавказ, Пл. Свободы, набережная р. Терек, ул. Ч. Баева, ул. Коцоева: Специальные технические условия (Рег. вх. номер Госстроя РФ №9342/ГС от 20.05.2013г.; согласованы НТС Госстроя РФ исх. №5334-БМ/03/ГС от 14.06.2013г.) / Смоленский филиал МИИТ; Директор Н.Н. Денисенкова, руководитель темы Г.А. Джинчвелашвили, отв. исполнитель А.В. Соснин. – Смоленск, 2013. – 27 с.

17. Сейсмостойкое строительство зданий: Учебное пособие для ВУЗов / И.Л. Корчинский [и др.]; под ред. И.Л. Корчинского. – М.: Высшая школа, 1971. – 320 с.

18. Серия 1.020.1-2с/89. Конструкции каркаса межвидового применения многоэтажных общественных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий для строительства в районах сейсмичностью 7,8 и 9 баллов и в несейсмических районах, с изготовлением изделий каркаса в единых опалубочных формах / ТбилЗНИИЭП Госгражданстроя, НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Госкомархитектуры, 1990. – Вып. 4-2: Диафрагмы жёсткости. Арматурные и закладные изделия. Рабочие чертежи. – 48 с.

19. Смирнов, К. У России огромный дефицит сейсмостойкости (интервью с Коффом Г.Л.) [Электронный ресурс] / К. Смирнов // Новая газета. – 20011. – 15 апреля (№40). – М.: Новая газета, 2011. – режим доступа: <http://www.novayagazeta.ru/society/6231.html>, свободный. – Загл. с экрана.

20. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах (с изм. 2000г.). – М.: ЦНС, 2003. – 48 с.

21. Соснин, А.В. О применении результатов метода нелинейного статического анализа для прогнозирования убытков от повреждений зданий при землетрясениях / А.В. Соснин // Проблемы безопасности российского общества.– 2015. – №3. – С. 92 – 102.

22. Соснин, А.В. Применение метода нелинейного статического анализа в оценке влияния сдвиговой несущей способности диафрагм жёсткости на сейсмостойкость многоэтажного железобетонного рамно-связевого каркаса (в среде SAP2000) / А.В. Соснин // Ежегодн. междунардн. академ. Чтения Российской академии архитектуры и строительных наук «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения», 19-20 ноября 2015 года. – Курск: КГУ, 2015.

23. Соснин, А.В. Расчётная оценка сейсмостойкости многоэтажного железобетонного рамно-связевого каркаса по критерию необрушения методом спектра несущей способности (в среде SAP2000) / А.В. Соснин // Научные исследования и разработки молодых учёных: Сб. матер. VI Международной молодёжной научно-практической конференции, 16 октября 2015 / Под общ. ред. С.С Чернова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – С. 76 – 89. – <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=144302>

24. СП 14.13330.2014. СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ОАО «НИЦ «Строительство» – М.: ОАО «ЦПП», 2014. – 126 с.

25. Уздин, А.М. Что скрывается за линейно-спектральной теорией сейсмостойкости / А.М. Уздин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2009. – №2. – С. 18– 22.

26. Эффективные конструктивные системы многоэтажных жилых домов и общественных зданий (12...25 этажей) для условий строительства в Москве и городах Московской области, наиболее полно удовлетворяющие современным маркетинговым требованиям: Отчёт о НИР / НИЭП УП "Институт БелНИИС"; директор А.И. Мордич. – УДК 624.043.2(075.8):721.011.25. – Минск, 2002. – 117 с.

27. EN 1998-1:2004. Eurocode-8: Design of Structures for Earthquake Resistance // Brussels: European Committee for Standardization.

28. Freeman S.A. Prediction of Response of Concrete Buildings to Severe Earthquake Motion // Douglas McHenry International Symposium on Concrete and Concrete Structures, American Concrete Institute, Detroit, Michigan. – 1978. – PP. 589 – 605.

29. SAP2000. Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures Detailed: Tutorial Including Pushover Analysis. – Berkeley, California: Computers and Structures, Inc, 1995. – 169 p.

30. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Volume 1: ATC-40 Report. – Applied Technology Council. – Redwood City, California, 1996. – 334 p.

I-я Международная научно-практическая конференция «Повышение надежности и безопасности транспортных сооружений и коммуникаций», 18-19 ноября 2015. – Саратов: СГТУ им. Ю.А. Гагарина, 2015.

Секция 5: Совершенствование методик расчёта прочности и надёжности строительных конструкций и оснований сооружений