

Научная статья

Original article

УДК 69



**ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЯ В
ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ**

**ASSESSMENT OF THE SEISMIC CHARACTERISTICS OF THE
BUILDING IN THE PROCESS OF ASSESSING ITS TECHNICAL
CONDITION**

Илья Валерьевич Соргутов, Доцент, Кафедра строительных технологий,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Пермский государственный аграрно-технологический
университет им. Акад. Д.Н. Прянишникова

Ilya Valeryevich Sorgutov, Associate Professor, Department of Construction
Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D.N.
Pryanishnikov

Аннотация: В статье рассмотрены особенности оценки сейсмических характеристик здания в процессе проведения оценки его технического состояния. Автор указывает, что изменчивость механических входных переменных приводит к существенной изменчивости реакции и ожидаемого повреждения строительного образца. Эта изменчивость, понимаемая как степень неопределенности, помогает частично объяснить различия в

наблюдаемых повреждениях зданий URM в недавних пост-сейсмических сценариях.

Abstract: The article discusses the features of assessing the seismic characteristics of a building in the process of assessing its technical condition. The author points out that the variability of the mechanical input variables leads to a significant variability of the reaction and the expected damage to the building sample. This variability, understood as a degree of uncertainty, helps to partially explain the differences in observed damage to URM buildings in recent post-seismic scenarios.

Ключевые слова: сейсмические характеристики здания, техническое состояние, оценка, мониторинг.

Keywords: seismic characteristics of the building, technical condition, assessment, monitoring.

Значительное количество зданий располагается на сейсмоопасных территориях [1]. Часть указанного фонда состоит из зданий из неармированной кладки (URM), а возраст отдельных сооружений и зданий достаточно солидный, соответственно, при их возведении не всегда учитывались последствия сейсмических воздействий.

Существующие железобетонные (ЖБ) конструкции могут не соответствовать текущим сейсмическим требованиям. Это может быть связано с тем, что:

- 1) они были построены до введения сейсмостойких строительных норм и правил;
- 2) они были спроектированы таким образом, чтобы выдерживать горизонтальные нагрузки, но без ограничения принципов проектирования;
- 3) они расположены в местах, где была проведена повторная оценка сейсмической опасности [4].

Тем не менее, путем их сейсмической модернизации можно улучшить их сейсмические характеристики, чтобы противостоять ожидаемым

сейсмическим нагрузкам. При этом с социально-экономической точки зрения сейсмическая модернизация сооружений (до события) более удобна, чем снос или реконструкция зданий. Однако следует отметить, что если затраты на ремонт (после происшествия) здания на 50% и более превышают затраты на замену, то ремонт невозможен [2].

Сейсмическая модернизация зданий является сложной задачей, изученной в многочисленных работах. Большинство исследований было выполнено только с учетом улучшения структурных характеристик. Однако эти стратегии могут существенно отличаться, если иметь в виду некоторые другие аспекты, такие как социальные и экономические. Поэтому выбор наиболее оптимального решения по модернизации зависит от других аспектов, а не только от оценки безопасности конструкции.

Фактически, эти вышеупомянутые аспекты становятся очень важными, когда речь идет о зданиях стратегического значения, таких как школы. В этих случаях на решение влияют такие аспекты, как нарушение использования, воздействие на архитектуру, строительство и затраты на техническое обслуживание. Следовательно, настоятельно рекомендуется, чтобы выбор наилучшего решения основывался на последовательной оценке различных аспектов путем всестороннего и комплексного сравнения решений.

Для оценки сейсмической уязвимости сооружений разработаны различные методы, в которых сейсмическое воздействие и способность реагирования сооружений определяются на основе различных подходов. Метод индекса уязвимости (VI) определяет сейсмическое воздействие по макросейсмическим интенсивностям, детализированным по шкале EMS-98, а поведение конструкции описывается индексом уязвимости.

Метод, основанный на спектре мощности (CSBM), определяет сейсмическое воздействие через спектры упругой реакции и уязвимость здания по кривой мощности здания, рассчитанной с помощью пошагового нелинейного статического анализа, известного как слабый анализ (PA).

Инкрементальный динамический анализ (IDA) использует масштабированные акселерограммы для определения сейсмического воздействия. Этот метод позволяет получить меру повреждения конструкции за счет увеличения интенсивности действия путем масштабирования записей для последовательных уровней ускорения. Как в методах PA, так и в методах IDA нагрузка, приложенная к конструкции, увеличивается, а реакция системы измеряется с точки зрения управляющей переменной, состоящей из максимального зарегистрированного смещения, обычно на крыше [3].

В исследованиях делается акцент на важности измерения уязвимости конструкций с учетом изменчивости задействованных механических переменных. За счет использования процедур, включенных в CSBM, и вероятностного подхода возможно получение кривых хрупкости, содержащих и выявляющих случайность, передаваемую изменчивостью параметра.

Указано также, что изменчивость свойств материалов создает важные неопределенности в сейсмической реакции этих зданий URM, что приводит к завышению или занижению оценки ущерба, когда анализ выполняется для конкретных зданий и без вероятностного подхода.

Уровень повреждений, которые представляет сооружение после землетрясения, можно определить и классифицировать с помощью так называемых состояний повреждения (*DS*). Состояние повреждения напрямую связано с реакцией конструктивных элементов, и, следовательно, могут быть приняты различные переменные измерения в соответствии с масштабом, в котором выполняется оценка повреждения (например, от одного конструктивного элемента до сложной конструктивной системы) [4].

Правильная интерпретация этих индикаторов может быть использована для определения уровня производительности (PL) конструкции и принятия любого обоснованного решения и/или действия. Уровни производительности, с которыми коррелируют состояния повреждения,

напрямую связаны с такими результатами, как статус занятости, безопасность людей, затраты на ремонт, вероятность обрушения или остаточная грузоподъемность структуры.

В литературе существуют различные варианты определения предельных состояний (порогов) поврежденности. Поскольку повреждение конструкции носит непрерывный характер, состояния повреждения должны быть определены как дискретные значения. Каждый из доступных подходов разработан на основе строительной инспекции, теоретических исследований, экспериментальных испытаний и экспертизы с учетом таких аспектов, как типология конструкции, строительные материалы, местоположение, год постройки, уровень строительных норм и реакция конструкции на повреждающие факторы.

Вероятность того, что система (т. е. интересующее здание) достигает или превышает ранее определенный порог повреждения из-за внешнего воздействия или возбуждения (например, ускорения движения грунта), может быть представлена так называемыми функциями хрупкости или кривыми хрупкости. Эти кривые хрупкости можно использовать в качестве альтернативы функциям повреждений, которые предназначены для перевода интенсивности опасности в потери, связанные с функциональностью, безопасностью жизни или затратами на ремонт.

Кривые хрупкости могут значительно различаться в зависимости от принятого подхода к определению предельных состояний повреждения.

Общий вывод заключается в том, что изменчивость механических входных переменных приводит к существенной изменчивости реакции и ожидаемого повреждения строительного образца. Эта изменчивость, понимаемая как степень неопределенности, помогает частично объяснить различия в наблюдаемых повреждениях зданий URM в недавних пост-сейсмических сценариях. В частности, делается также вывод о том, что для землетрясений от слабых до умеренных, при которых MS, в данном случае

смещения, относительно невелики, изменчивость реакции и повреждения достаточно низки, и оба они хорошо коррелируют с механическими свойствами [3].

Методы многокритериального принятия решений (MCDM) могут быть полезны для оценки решений по модернизации. Они могут позволить принимать обоснованные решения относительно того, являются ли решения выгодными и / или подходящими для конкретного здания с учетом различных критериев. Процедуры MCDM широко используются в различных областях исследований. Среди них метод TOPSIS (Техника предпочтения порядка по сходству с идеальным решением) был определен как наиболее подходящий для оценки модернизации зданий. Это связано с ясностью результатов и способностью метода адаптировать суждение [3].

Метод TOPSIS был впервые применен к сейсмической модернизации зданий группой авторов, которые приняли во внимание экономические/социальные и технические критерии для оценки различных решений по модернизации. В технической части анализировалась только сейсмобезопасность. Однако некоторые другие аспекты могут влиять на характеристики конструкции, такие как пластичность. Фактически, в зданиях из железобетона это может позволить конструкциям подвергаться значительным деформациям без существенного снижения прочности. В ряде случаев за счет повышения пластичности можно предотвратить механизмы хрупкого разрушения. Они характерны для зданий, спроектированных без учета сейсмостойкости. Более того, в некоторых случаях пластичность может привести к уменьшению сейсмического ущерба. Следовательно, это параметр, который необходимо учитывать, чтобы предлагать конкретные решения по модернизации.

Кроме того, поскольку предполагается уменьшить потребность в поперечном смещении за счет модернизации зданий, можно уменьшить повреждение несущих элементов.

Можно найти несколько примеров применения метода TOPSIS для сейсмической модернизации железобетонных зданий. Группой авторов общий метод был впервые адаптирован для модернизации очень простой структуры RC. К конструкции были добавлены четыре традиционных метода модернизации, и был предложен первый рейтинг. Эти авторы продолжали применять процедуры MCDM для учета ожидаемых потерь, которые должны быть реализованы в информационных моделях зданий (BIM) или для снижения риска.

Был сделан вывод, что метод TOPSIS может обеспечить надежный ранг решений по модернизации. Фактически было указано, что этот метод может обеспечить последовательную основу для управления строительством и принятия решений.

Также решения по модернизации были экспериментально оценены и сравнены с методом MCDM. Был сделан вывод, что присвоение весов критериям является одним из наиболее важных решений для выбора оптимального решения [4].

В этих работах решения по переоснащению не были тщательно отобраны ни с учетом влияния на эстетику здания, ни с анализом их эффективности. Что касается первой проблемы, то архитектурное воздействие, которое эти решения могут оказать на здание, не оценивалось. В этом смысле неинвазивные методы модернизации могут помочь преодолеть ограничения пространства, предотвратить хрупкое разрушение и улучшить прочность элементов, будучи минимально инвазивными. Так обстоит дело с добавлением оберты из армирующих волокон полимеров (FRP) или стальных раскосов в соединениях балки и колонны. Что касается второго вопроса, то в большинстве работ эти авторы считают, что решения были просто добавлены случайным образом, без предварительного анализа недостатков здания. Поэтому решения не были добавлены в наиболее

оптимальные позиции для получения максимального повышения производительности и снижения повреждений.

Методы улучшения грунта могут позволить свести к минимуму их влияние на функциональность и конфигурацию ЖБ зданий. Тем не менее, взаимодействие грунт-конструкция (SSI) часто не учитывается при анализе сейсмической уязвимости зданий. Тем не менее, было доказано, что это может ухудшить сейсмические характеристики железобетонных зданий при определенных обстоятельствах: нелинейное моделирование систем, мягкие грунты и здания средней и высокой этажности. Такие решения, как добавление микросвай в фундаменты или улучшение свойств грунта с помощью инъекций, широко использовались при модернизации железобетонных зданий.

В этом контексте, несмотря на наличие многих стратегий модернизации, основанных либо на структурных улучшениях, либо на улучшении грунта, они не подвергались количественному сравнению с помощью различных критериев. Также эти вмешательства должны быть тщательно проанализированы, чтобы выбрать наиболее эффективное для конкретного случая. В этом смысле исследования по модернизации зданий РС были в некоторой степени основаны на искусственных и нечетких моделях, а не на реальных зданиях.

Список литературы

1. Достанова С.Х., Токпанова К.Е., Сахи С.Г. Проблемы теории и практики сейсмостойкости зданий и сооружений // Евразийский Союз Ученых. 2020. №11-7 (80).
2. Шахраманьян М. А., Нигметов Г. М., Прошляков М. Ю. Технология оценки устойчивости и сейсмостойкости зданий и сооружений // Технологии гражданской безопасности. 2004. №2.

3. G.J. O'Reilly, T.J. Sullivan Probabilistic seismic assessment and retrofit considerations for Italian RC frame buildings Bull Earthq Eng, 16 (3) (2018), pp. 1447-1485 M.-V. Requena-Garcia-Cruz, A. Morales-
4. Esteban, P. Durand-Neyra, B. Zapico-Blanco Influence of the constructive features of RC existing buildings in their ductility and seismic performance Bull Earthq Eng, 19 (1) (2021), pp. 377-401

List of literature

1. Dostanova S.H., Tokpanova K.E., Sakhi S.G. Problems of theory and practice of seismic resistance of buildings and structures // Eurasian Union of Scientists. 2020. №11-7 (80).
2. Shakhramanyan M. A., Nigmatov G. M., Proshlyakov M. Yu. Technology for assessing the stability and seismic resistance of buildings and structures // Technologies of civil safety. 2004. No.2.
3. G.J. O'Reilly, T.J. Sullivan Probabilistic seismic assessment and Modernization Considerations for Italian RC frame buildings, Earthq Eng, 16(3) (2018), pp. 1447-1485 M. - V. Requena-Garcia-Cruz, A. Morales-
4. Esteban, P. Duran-Neira, B. Sapico-Blanco The influence of structural features of existing RC buildings on their plasticity and seismic characteristics Bull Earthq Eng, 19 (1) (2021), pp. 377-401

© *И.В. Соргутов, 2021 Международный журнал прикладных науки и технологий "Integral" №1/2022.*

Для цитирования: И.В. Соргутов Оценка сейсмических характеристик здания в процессе проведения оценки его технического состояния// Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №1/2022