УДК 666.982.2

DOI 10.37153/2687-0045-2021-14-114-117

**УЧЕТ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОЖАРА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЗДАНИЙ В СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНАХ**

**CONSIDERATION OF FIRE IMPACTS IN THE DESIGN OF REINFORCED
CONCRETE BUILDINGS IN EARTHQUAKE-PRONE AREAS**

Ашот Георгиевич ТАМРАЗЯН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ.

Владимир Игоревич ЧЕРНИК, старший преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ

Ashot Georgievich TAMRAZYAN, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures of the MGSU.

Vladimir Igorevich CHERNIK, assistant professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures of the MGSU

Аннотация: Обоснована актуальность проблемы сейсмостойкости зданий с железобетонным каркасом после пожара. Приведен обзор степени разработанности проблемы. Приведены возможные сценарии возникновения землетрясения после огневых воздействий. Выделены основные направления исследований, связанные с экспериментальными и численными испытаниями отдельных элементов или конструктивных систем. Изложена общая методология и основные результаты существующих исследований. Определены нерешенные аспекты рассматриваемой проблемы. Разрабатывается общая последовательность решения задачи как совокупность теоретических, численных и экспериментальных исследований. Приводятся результаты численного моделирования железобетонных колонн при различной продолжительности огневого воздействия. Исследуется влияние времени воздействия пожара на диссипативные свойства колонн. Даются результаты численного моделирования железобетонных многоэтажных зданий с рамным каркасом. На их примере исследуется влияние положения очага возгорания на сейсмический отклик рамы.

Ключевые слова: землетрясение, пожар, сейсмостойкость, огнестойкость, железобетон, безопасность

Abstract: The urgency of the problem of earthquake resistance of buildings with a reinforced concrete frame after a fire is substantiated. An overview of the degree of development of the problem is given. Possible scenarios of the occurrence of an earthquake after fire impacts are given. The main directions of research related to experimental and numerical tests of individual elements or structural systems are highlighted. The general methodology and the main results of existing studies are presented. The unsolved aspects of the problem under consideration are identified. The general sequence of solving the problem is developed as a set of theoretical, numerical and experimental studies. The results of numerical modeling of reinforced concrete columns with different duration of fire exposure are presented. The influence of the time of fire exposure on the dissipative properties of columns is investigated. The results of numerical

modeling of reinforced concrete multi-storey buildings are presented. Using their example, the influence of the position of the ignition source on the seismic response of the frame is studied.

Keywords: earthquake, fire, earthquake resistance, fire resistance, reinforced concrete, safety

1. Введение

Задача определения сейсмостойкости зданий после пожара относится к общей проблеме учета особых воздействий для систем, имеющих начальные повреждения. К этой проблеме также можно отнести, например, задачи определения сейсмостойкости или живучести зданий против прогрессирующего обрушения в условиях пожара [1], средовых воздействий при учете коррозии арматуры и бетона [2] и т.п.

Существуют два реальных сценария возникновения землетрясений после пожара:

1) В здании, находящемся в сейсмоопасном районе, сперва возникает пожар, а далее, по прошествии некоторого времени эксплуатации, происходит землетрясение.

2) После землетрясения возникает пожар, и по прошествии непродолжительного времени, на здание воздействуют повторные толчки (афтершоки), приводящие к полному исчерпанию несущей способности.

В настоящее время конкретных рекомендаций по учету этой комбинации воздействий в нормативной документации не содержится. Основные направления исследований представляют собой экспериментальные и численные испытания либо отдельных элементов конструкций и их узлов, либо большепропорциональных рам [3]. Наибольшее число работ посвящено экспериментальным испытаниям железобетонных колонн на воздействие малоцикловых нагрузок [4].

Методика экспериментального определения сейсмических характеристик железобетонных конструкций после пожара представляет собой последовательные огневые и малоцикловые динамические или квазистатические испытания.

Установлено, что воздействие пожара перед малоцикловым воздействием оказывает влияние не только на несущую способность, деформативность и свойства демпфирования железобетонного образца, но и изменяет механизм его разрушения (например, с изгибного на сдвиговой), увеличивает длину зон пластических деформаций.

Помимо натурных экспериментов при решении проблемы учета сейсмических сил после пожара ряд исследователей использовали метод численного моделирования.

Результаты расчета показывают, что основные сейсмические характеристики, а именно – предельная боковая нагрузка и пластичность, существенно снизились из-за воздействия огня.

2. Модели и методы

Особое внимание при изучении сейсмостойкости здания стоит обратить на учет истинных условий развития пожара. В результате воздействия пожара в одном из отсеков здания произойдет ослабление конструкций, которые находились в очаге возгорания. Поврежденные пожаром элементы почти сразу перейдут в пластическую стадию и частично выключатся из работы, а неповрежденные элементы за счет перераспределения усилий с ослабленных элементов окажутся перегруженными.

Таким образом, перед проектировщиком встают две задачи, а именно – обеспечить:

1. Требуемый ресурс пластической работы поврежденных огнем элементов на действие сейсмических сил и недопущение хрупкого разрушения.

2. Резерв несущей способности неповрежденных элементов для восприятия перераспределенных на них нагрузок.

3. При полном выключении из работы элементов, поврежденных пожаром, во время землетрясения необходимо обеспечить устойчивость здания против прогрессирующего обрушения.

Важным также является вопрос применимости линейно-спектрального метода расчета, который составляет основу отечественных норм проектирования в сейсмоопасных районах СП 14.13330.2018. Здесь основное внимание стоит обратить на учет нелинейной работы, который осуществляется путем введения коэффициента допускаемых повреждений K_1 , который, как показывают многочисленные исследования, во многих случаях не отражает специфику нелинейной работы железобетонных зданий.

Предлагается следующая последовательность решения поставленной задачи:

1) Разработка теоретической методики расчета железобетонных колонн и балок с учетом реальной картины трещинообразования.

2) Получение в аналитическом виде расчетных проверок и конструктивных рекомендаций для предотвращения нежелательных механизмов разрушения: хрупкого разрушения по бетону, потери устойчивости сжатой арматуры, сдвиговое разрушение и т.п.

3) Сопоставление теоретических моделей с результатами экспериментальных малоцикловых испытаний железобетонных колонн, поврежденных огнем.

4) Разработка КЭ моделей для сейсмического расчета зданий нелинейным динамическим методом с учетом повреждения от локального пожара. Нелинейность учитывается с помощью диаграммы «момент – кривизна».

5) Получение формул для определения коэффициента допускаемых повреждений K_1 .

6) Разработка конструктивных рекомендаций.

3. Предварительные результаты

3.1. Для изучения закономерности изменения свойств демпфирования железобетонных колонн при различной продолжительности огневого воздействия было проведено численное моделирование в ПК Ansys.

Диссипативные свойства конструкций описываются с помощью коэффициента вязкого демпфирования, который представляет собой сумму двух параметров: коэффициента упругого демпфирования и коэффициента гистерезисного демпфирования.

Образцы колонн имели высоту 1500 мм (высота этажа – 3000 мм). Сечение имеет размеры 400х400 мм и армировано четырьмя стержнями Ø20 мм, класс арматурной стали – А400. Колонны выполнены из бетона класса В25. Описание работы бетона производится с помощью модели Друкра – Прагера.

При численном моделировании рассматривались пять колонн. Температурные поля по сечению колонн приняты в зависимости от продолжительности пожара, которая принимает значения 0, 30, 60, 90 и 120 мин.

По результатам численного моделирования было установлено, что общая энергия, которую способна рассеивать колонна, а также ширина петель гистерезиса, уменьшаются с увеличением времени горения.

Коэффициент гистерезисного демпфирования при различной продолжительности пожара может быть либо больше, либо меньше его начального значения.

3.2. Был проведен численный анализ сейсмического отклика здания при различном положении очага возгорания в плане и по высоте здания на примере трехпролетной пятиэтажной рамы. Рассматриваются три варианта возникновения пожара для каждого этажа, а именно – в центральном, крайнем и угловом пролете. Сечение колон – 400х400 мм, балок – 250х500 мм, толщина плит – 150 мм.

По результатам численного расчета получены следующие результаты:

- 1) Частоты собственных колебаний железобетонных рам после пожара изменились незначительно и во всех случаях были меньше, чем для рамы, не поврежденной огнем.
- 2) Огневое воздействие во всех случаях снизило жесткость рам в горизонтальном направлении. Наибольшее уменьшение жесткости наблюдалось при возникновении пожара на первом этаже в угловом пролете рамы.
- 3) Усилия в колоннах, поврежденных пожаром, снижаются, тем самым соседние колонны, наоборот, догружаются.

4. Заключение

Проблема сейсмостойкости железобетонных конструкций после пожара не нова и разрабатывается уже относительно длительное время рядом авторов. Однако степень разработанности этой проблемы пока недостаточно глубока для формирования конкретной расчетной методики, которую возможно было бы включить в нормативные документы.

В связи с этим в настоящей статье предлагается план по решению поставленной задачи, который представляет собой совокупность теоретических, экспериментальных и численных исследований. Приводятся предварительные результаты численного моделирования.

5. Список литературы

1. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures // *Procedia Engineering*. – 2016. – № 153. – С. 721–725.
2. Тамразян, А.Г., Попов Д.С. Напряженно-деформированное состояние коррозионно-поврежденных железобетонных элементов при динамическом нагружении // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2019. – № 2. – С. 19–26. DOI 10.33622/0869-7019.2019.02.19-26.
3. Тамразян А.Г., Черник В.И. Сейсмостойкость железобетонных конструкций после пожара // *Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения*. – 2020. – С. 123–130.
4. Тамразян А.Г., Черник В.И. Анализ результатов экспериментального определения сейсмических характеристик железобетонных колонн после пожара // *Сборник материалов XXII Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии»*. – 2021. – С. 177–184.