



УДК 624.3

DOI: 10.22227/2949-1622.2024.3.3-11

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH ARTICLE

Оценка степени повреждения зданий при землетрясениях методом статистического моделирования

А.Г. Тамразян^{1*}, Т.А. Мацевич^{1**}¹ *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
Москва, Российская Федерация*

* tamrazian@mail.ru

** MatseevichTA@mgsu.ru

Ключевые слова: сейсмостойкость, коэффициент допускаемых повреждений, железобетонная рама, статистическое моделирование, метод Монте-Карло

История статьи

Поступила в редакцию: 02.08.2024

Доработана: 22.08.2024

Принята к публикации: 27.08.2024

Аннотация. Предложен новый подход к оценке степени повреждения зданий при землетрясениях методом статистического моделирования. Методом Монте-Карло получены базы синтетических данных с заданными статистическими характеристиками повреждаемости железобетонных каркасных зданий. После преобразований элементов этих баз получены новые статистические характеристики повреждаемости уже со значениями коэффициентов вариации, меньшими 0,30. Результаты исследований могут быть использованы для определения сейсмической нагрузки через коэффициент допускаемых повреждений.

Для цитирования

Тамразян А.Г., Мацевич Т.А. Оценка степени повреждения зданий при землетрясениях методом статистического моделирования // Железобетонные конструкции. 2024. Т. 7. № 3. С. 3–11.

Estimation of Damage Degree of Buildings in Earthquakes by Statistical Modeling Method

Ashot G. Tamrazyan^{1*}, Tatyana A. Matseevich^{1**}¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russian Federation*

* tamrazian@mail.ru

** MatseevichTA@mgsu.ru

Ашот Георгиевич Тамразян, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARYSPIN-код: 2636-2447, Scopus: 55975413900, Researcher ID: T-1253-2017, ORCID: 0000-0003-0569-4788, E-mail: Tamrazian@mail.ru

Татьяна Анатольевна Мацевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры Железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARYSPIN-код: 1299-6980, Scopus: 51461741900, Researcher ID: AAB-2742-2020, ORCID: 0000-0001-6292-0759, E-mail: MatseevichTA@mgsu.ru

© Тамразян А.Г., Мацевич Т.А., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Keywords: seismic resistance, damage tolerance coefficient, reinforced concrete frame, statistical modeling, Monte Carlo method

Article history

Received: 02.08.2024

Revised: 22.08.2024

Accepted: 27.08.2024

For citation

Tamrazyan A.G., Matseevich T.A. Estimation of Damage Degree of Buildings in Earthquakes by Statistical Modeling Method. *Reinforced concrete structures*. 2024; 3(7):3-11.

Abstract. A new approach to assessing the degree of damage to buildings during earthquakes using statistical modeling is proposed. Using the Monte Carlo method, synthetic databases with specified statistical characteristics of damageability of reinforced concrete frame buildings were obtained. After transforming the elements of these databases, new statistical characteristics of damageability were obtained with variation coefficient values less than 0.30. The research results can be used to determine the seismic load calculation through the permissible damage coefficient.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно исследованиям по сейсмическому районированию, свыше четверти территории России с населением, превышающим 20 млн человек, подвержено потенциальным сейсмическим воздействиям, требующим проведения антисейсмических мероприятий в более чем 300 городах и населенных пунктах страны [1, 2]. Самыми опасными в сейсмическом отношении являются Северный Кавказ, весь юг Сибири и Дальний Восток, где интенсивность сейсмических сотрясений может достигать 8–10 баллов. Определенную угрозу представляют и 6–7-балльные зоны в густонаселенной европейской части Российской Федерации. Этим обусловлен интерес ученых и инженеров к обеспечению сейсмостойкости зданий, проектируемых в сейсмоопасных районах [3–7].

Во время землетрясения колебательное движение грунта в основании здания возбуждает кинематические колебания строительных конструкций. Для оценки влияния на здание в нормативных документах большинства стран в качестве базового используется линейно-спектральный метод [8]. При этом важен корректный учет пластической работы материалов, вследствие которой снижается сейсмическая нагрузка на конструктивные элементы здания.

Кроме того, необходимо иметь в виду и сопутствующее землетрясению такое событие, как пожар, и оценить риски [9–12].

Согласно СП 14.13330.2018 [13], расчетная сейсмическая нагрузка определяется следующим образом:

$$S_{ik}^j = K_0 K_1 S_{0ik}^j, \quad (1)$$

где K_0 — коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность;

K_1 — коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений;

S_{0ik}^j — сейсмическая нагрузка, определяемая по формуле:

$$S_{0ik}^j = m_k^j A \beta_i K_\psi \eta_{ik}^j, \quad (2)$$

где m_k^j — масса здания или момент инерции соответствующей массы здания, отнесенные к точке k по обобщенной координате j , определяемые с учетом расчетных нагрузок на конструкции;

Ashot G. Tamrazyan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures National Research Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26; eLIBRARYSPIN-code: 2636-2447, Scopus: 55975413900, Researcher ID: T-1253-2017, ORCID: 0000-0003-0569-4788, E-mail: Tamrazian@mail.ru
Tatyana A. Matseevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, eLIBRARYSPIN-code: 1299-6980, Scopus: 51461741900, Researcher ID: AAB-2742-2020, ORCID: 0000-0001-6292-0759, E-mail: MatseevichTA@mgsu.ru

A — значение ускорения в уровне основания;
 β_i — коэффициент динамичности, соответствующий i -й форме собственных колебаний зданий;
 K_Ψ — коэффициент, учитывающий способность зданий и сооружений к рассеиванию энергии;
 η_{ik}^j — коэффициент, зависящий от формы деформации здания или сооружения при его собственных колебаниях по i -й форме, от узловой точки приложения рассчитываемой нагрузки и направления сейсмического воздействия.

Коэффициент допускаемых повреждений K_1 является критерием предельного состояния сейсмостойких конструкций [14, 15]. Это существенным образом выделяет K_1 из всех других коэффициентов, применяемых при расчетах конструкций на сейсмические воздействия.

Величина коэффициента допускаемых повреждений K_1 зависит от вида несущих конструкций. В табл. 5.2 СП 14.13330.2018 [13] для зданий и сооружений, в конструкциях которых остаточные деформации и повреждения не допускаются, $K_1 = 1,0$. Для зданий и сооружений, в конструкциях которых могут быть допущены остаточные деформации и повреждения, $0,15 \leq K_1 \leq 0,4$. В частности, для каркасных железобетонных конструкций $K_1 = 0,35$. Для зданий и сооружений, в конструкциях которых могут быть допущены значительные остаточные деформации и повреждения, $K_1 = 0,12$.

Также величина коэффициента допускаемых повреждений зависит от уровня допустимых повреждений. В международной модифицированной сейсмической шкале MMSK-86 [16] рассматривается пять степеней разрушения зданий (легкая, умеренная, тяжелая, частичное разрушение и обвал), которые характеризуются значением средней степени повреждения d . Таким образом, после землетрясения поврежденное здание может быть в одном из пяти состояний или быть не поврежденным.

В работе [17] для зданий железобетонных, каркасных, крупнопанельных и армированных, крупноблочных домов были получены значения средней ожидаемой степени повреждения зданий $d_{cp}(I)$ при землетрясениях, приведенные в табл. 1, и значения математического ожидания M интенсивности землетрясения в баллах, вызывающего не менее определенных степеней повреждения зданий, приведенных в табл. 2.

Таблица 1

Значения средней ожидаемой степени повреждения зданий $d_{cp}(I)$ при землетрясениях
Values of mean expected degree of damage $d_{ave}(I)$ for buildings in earthquakes

Интенсивность землетрясений, балл / Earthquake intensity, score						
6	7	8	9	10	11	12
1,0	1,2	2,6	4,3	5,0	5,0	5,0

Таблица 2

Значения математического ожидания M интенсивности землетрясения в баллах, вызывающего не менее определенных степеней повреждения зданий

Mean values M of earthquake intensity in points, causing at least certain percent of damage to buildings

Степень повреждения (разрушения) зданий d Degree of damage (destruction) of buildings d				
Легкая / Light $d = 1$	Умеренная Intermediate $d = 2$	Тяжелая / Severe $d = 3$	Частичное разрушение Partial Collapse $d = 4$	Разрушение Col- lapse $d = 5$
7,0	7,5	8,0	8,5	9,0

В работе [18] приведены статистические характеристики повреждаемости обследованных сейсмостойких зданий различных серий по Кишиневу в результате землетрясения 1986 г. Для гражданских и промышленных зданий серий ИИС-04 и ИИС-20 средний коэффициент вариации — 0,39. Высокий коэффициент вариации говорит о неоднородности данных, что не позволяет с достаточной обеспеченностью говорить о полученных значениях. В данной работе предлагается переоценить некоторое количество элементов из выборки, изменив их весовые доли. Критерием является приемлемый уровень коэффициента вариации $v < 0,30$.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Учитывая, что в свободном доступе находятся в основном только результаты обработки данных по повреждаемости сейсмостойких зданий, было принято решение о создании баз синтетических данных с наперед заданными значениями среднего значения степени повреждения и среднеквадратического отклонения, которые брались для различных типов зданий из литературных источников.

Инициализация базы синтетических данных осуществлялась по двум параметрам: количество элементов и тип элементов. Для всех баз данных выбранный тип элементов — целые числа, что продиктовано особенностью данных. Инициализированная база данных заполнялась случайно выбранным образом, после чего выполнялось ее преобразование.

Преобразование базы данных к виду с заданным средним значением и среднеквадратическим отклонением осуществлялось с помощью алгоритма, аналогичного алгоритму Монте-Карло, который можно разделить на 2 основных этапа: формирование выборки с заданным средним значением и формирование выборки с заданным среднеквадратичным отклонением.

На первом этапе выбирался случайный элемент выборки и увеличивался или уменьшался на единицу, при условии, что элемент не станет меньше нуля или больше пяти. Затем определялось среднее значение новой выборки и сравнивалось с предыдущим. Если в результате этого преобразования новое среднее значение было ближе к заданному, чем предыдущее, то этот шаг принимался, в противном случае — нет. Шаги продолжались до тех пор, пока невязка (разность между заданным значением среднего и текущим) не становилась меньше чем 0,001.

На втором этапе, когда выполнено условие первого этапа, выбирались 2 случайных элемента. Первый увеличивался на единицу, а второй уменьшался на единицу при условии, что они оба становились не меньше нуля и не больше пяти. Такое действие сохраняет среднее, но изменяет среднеквадратическое отклонение. Если в результате этого действия новое отклонение становилось ближе к заданному, чем предыдущее, то это шаг принимался, в противном случае — нет. Шаги продолжались до тех пор, пока невязка (разность между заданным значением отклонения и текущим) не становилась меньше чем 0,005.

Далее рассмотрим следующие формулы:

$$\langle d \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (d_i - \langle d \rangle)^2}{N - 1}}, \quad (3)$$

где $\langle d \rangle$ — среднее значение степени повреждения; d_i — степень повреждения i -го элемента массива размера N ; σ — среднеквадратическое отклонение. Поскольку известно, что d является дискретной величиной и может принимать значения $\{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$, то среднее значение $\langle d \rangle$ можно представить в следующем виде:

$$\langle d \rangle = \frac{0 \cdot n_0 + 1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + 3 \cdot n_3 + 4 \cdot n_4 + 5 \cdot n_5}{N},$$

где n_i — количество d , значения которых равны i , причем:

$$N = \sum_{i=0}^5 n_i.$$

Тогда формулу (3) можно представить в следующем виде:

$$\langle d \rangle = \frac{\sum_{i=0}^5 i \cdot n_i}{N}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^5 n_i (i - \langle d \rangle)^2}{N - 1}}. \quad (4)$$

Предполагая, что некоторые элементы в выборке являются завышенными, мы можем переоценить количество таких элементов, уменьшив значения некоторой их доли. Исходя из этого, выполним следующее преобразование n_i :

$$\tilde{n}_i = \sum_{j=0}^5 n_j p_{ji},$$

где коэффициент p_{ji} — доля элементов, соответствующих количеству элементов со значением j , значение которых переходит в значение i , при этом для коэффициентов p_{ji} выполняется равенство:

$$\forall i, \quad \sum_{j=0}^5 p_{ji} = 1,$$

так как сумма всех долей количества i -х элементов должна равняться единице.

В качестве примера рассмотрим преобразование количества элементов со значением 1:

$$\tilde{n}_1 = n_0 p_{01} + n_1 p_{11} + \dots + n_5 p_{51}.$$

Поскольку в результате преобразования общее количество элементов N не изменилось, мы можем пользоваться формулой (4):

$$\langle d' \rangle = \frac{\sum_{i=0}^5 \tilde{n}_i i}{N} = \frac{\sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^5 n_j p_{ji} i}{N}, \quad (5)$$

что в матричном виде можно представить следующим образом:

$$\langle d' \rangle = \frac{1}{N} (n_0 \quad \dots \quad n_5)_{1 \times 6} \begin{pmatrix} p_{00} & \dots & p_{05} \\ \dots & \dots & \dots \\ p_{50} & \dots & p_{55} \end{pmatrix}_{6 \times 6} \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 5 \end{pmatrix}_{6 \times 1} = N^T P I. \quad (6)$$

Для среднеквадратического отклонения получаем:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^5 n_j p_{ji} (i - \langle d' \rangle)^2}{N - 1}}. \quad (7)$$

Соответственно, в матричном виде можно представить следующим образом:

$$\sigma'^2 = \frac{1}{N - 1} (n_0 \quad \dots \quad n_5)_{1 \times 6} \begin{pmatrix} p_{00} & \dots & p_{05} \\ \dots & \dots & \dots \\ p_{50} & \dots & p_{55} \end{pmatrix}_{6 \times 6} \begin{pmatrix} \langle d' \rangle^2 \\ \dots \\ (5 - \langle d' \rangle)^2 \end{pmatrix}_{6 \times 1}. \quad (8)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Расчеты были проведены при помощи написанной ЭВМ программы «Оценка степени повреждения зданий при землетрясениях методом статистического моделирования “С-ТАТМ”», в которой использовался разработанный авторами алгоритм, описанный в раздел Методы и материалы. Использовался высокоуровневый язык программирования Python 3.12.5.

Не ограничивая общности, рассматривались железобетонные каркасные здания разных типов.

Для каждого типа зданий, используя метод Монте-Карло, были созданы по 100 баз синтетических данных, состоящих из 200 элементов, характеризующихся значениями средней степени повреждений d , стандарта σ и значениями коэффициента вариации v , взятыми из работы [18]. Отметим, что для рассматриваемых типов каркасных зданий коэффициенты вариаций имеют большие значения. Далее, используя метод статистического моделирования, получили усредненные значения d и σ с меньшими значениями коэффициентов вариации.

На рисунке приведены диаграммы распределения элементов: *a* — семи произвольных исходных баз синтетических данных при значениях $\langle d \rangle = 2,2$ и $\sigma = 0,83$ и *b* — семи этих баз синтетических данных после их преобразований (при усредненных значениях $\langle d \rangle = 1,81$ и $\sigma = 0,53$).

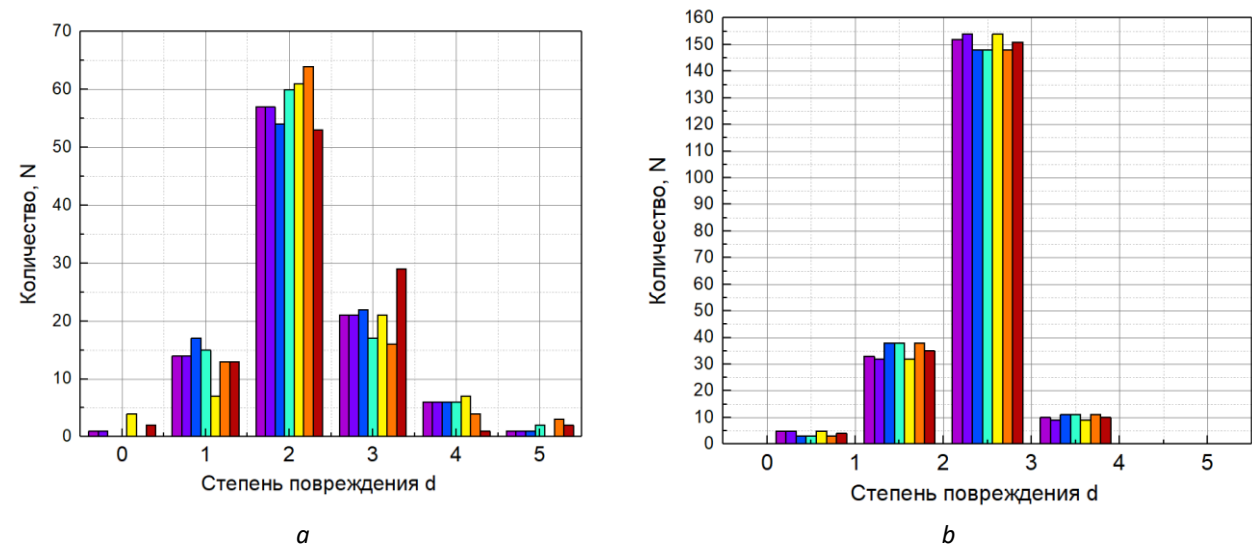


Диаграмма распределений элементов 7 баз данных при исходных значениях $\langle d \rangle = 2,2$ и $\sigma = 0,83$ (*a*); после преобразований ($\langle d \rangle = 1,81$ и $\sigma = 0,53$) (*b*)

Diagram of distributions of elements of 7 databases with initial values $\langle d \rangle = 2.2$ and $\sigma = 0.83$ (*a*); after transformations ($\langle d \rangle = 1.81$ and $\sigma = 0.53$) (*b*)

Приведем в табл. 3 оценки степеней повреждения при землетрясениях каркасных зданий некоторых типов, полученных при помощи компьютерной программы «С-ТАТМ».

Таблица 3

Повреждаемость сейсмостойких зданий / Damage tolerance of earthquake-resistant buildings

Тип зданий Type of buildings	Исходные значения Initial values [18]			Полученные значения / The values obtained		
	Средняя степень повреждений Moderate damage <i>d</i>	Стандарт Standard σ	Коэффициент вариации / Coefficient of variation <i>v</i>	Усредненное значение средней степени повреждений Averaged value of the mean degree of damage $\langle d \rangle$	Усредненное значение стандарта Averaged value of the standard σ'	Усредненное значение коэффициента вариации Averaged value of the coefficient of variation v'
Каркасные гражданские здания типа ИИС-04 Framed civil buildings of IIS-04 type	2,2	0,83	0,38	1,81	0,53	0,26

Продолжение таблицы 1

Тип зданий Type of buildings	Исходные значения Initial values [18]			Полученные значения / The values obtained		
	Средняя	Стан-	Коэффици-	Усредненное	Усредненное	Усреднен-

	степень повреждений Moderate damage <i>d</i>	дарт Standard σ	ент вариации / Coefficient of variation <i>v</i>	значение средней степени повреждений Averaged value of the mean degree of damage < <i>d</i> >	значение стандарта Averaged value of the standard σ'	ное значение коэффициента вариации Averaged value of the coefficient of variation v'
Каркасные промышленные здания типа ИИС-04 Framed industrial buildings of IIS-04 type	2,2	0,97	0,44	1,82	0,57	0,30
Каркасные гражданские здания типа ИИС-20 Framed civil buildings of IIS-20 type	2,3	0,86	0,38	1,83	0,54	0,29

ДИСКУССИЯ

В результате получены понижающие коэффициенты значений *d* по соответствующим сериям:

- для гражданских зданий типа ИИС-04 — в 1,22 раз;
- для промышленных зданий типа ИИС-04 — в 1,21 раз;
- для гражданских зданий типа ИИС-20 — в 1,26 раз.

При этом усредненное значение коэффициента вариации — $v' = 0,28$.

Таким образом, для рассматриваемых типов зданий предлагается понизить значения степени повреждений зданий *d* в среднем на 23 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В среднем расчеты показывают [19], что для железобетонных каркасных зданий коэффициент *K1* примерно в 1,5 раза больше коэффициента, предложенного в СП 14.13330.2018 и в более ранних СНиП. Необоснованное назначение уровня допускаемых повреждений для железобетонных конструктивных систем является причиной недооценки усилий, возникающих в конструкциях на стадии проектирования. Полученные в данной работе статистические характеристики повреждаемости железобетонных каркасных зданий различных серий подтверждают это.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска / под ред. Г.А. Соболева. М. : Центр БСТС, 1997. 54 с.

2. СНиП. Строительство в сейсмических районах. Комплект карт ОСР-97-А, В, С и другие материалы для Строительных норм и правил. М. : ОИФЗ, 1998.

3. Айзенберг Я.М. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года. Некоторые уроки и выводы // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. № 1. С. 6–9.

4. Мкртычев О.В., Джинчелашивили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). М. : МГСУ, 2012. 192 с.

5. Александров А.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Единая методология анализа риска чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2015. № 1. С. 112–130.

6. Tamrazyan A., Matseevich T. The Criteria for Assessing the Safety of Buildings with a Reinforced Concrete Frame during an Earthquake after a Fire // Buildings. 2022. No. 12 (10). 1662 p. DOI: 10.3390/buildings12101662

7. Tamrazyan A., Kabantsev O., Matseevich T., Chernik V. Estimation of the Reduction Coefficient When Calculating the Seismic Resistance of a Reinforced Concrete Frame Building after a Fire // *Buildings*. 2024. No. 14. 2421 p. DOI: 10.3390/buildings14082421
8. Шаторная А.М., Тарасов В.А., Барабаш А.В., Жувак О.В., Рыбаков В.А. Российские и зарубежные нормы сейсмического проектирования зданий и сооружений // *Alfabuild*. 2018. № 4 (6). С. 92–114.
9. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative Analysis of Analytical and Experimental Results of the Strength of Compressed Reinforced Concrete Columns under Special Combinations of Loads // *MATEC Web of Conferences*. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. P. 01029.
10. Тамразян А.Г. Огнеударостойкость несущих железобетонных конструкций высотных зданий // *Жилищное строительство*. 2005. № 1. С. 7.
11. Тамразян А.Г. К оценке риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружение // *Бетон и железобетон*. 2001. № 5. С. 8–10.
12. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and Theoretical Study of Reinforced Concrete Elements under Different Characteristics of Loading at High Temperatures // XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. “Procedia Engineering”. 2016. Pp. 721–725.
13. СП 14.13330.2018. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81 (утв. и введ. в действие Приказом Минстроя России от 24.05.2018 № 309/пр.). М. : Минстрой России, 2018. 122 с.
14. Кабанцев О.В., Усеинов Э.С., Шарипов Ш. О методике определения коэффициента допускаемых повреждений сейсмостойких конструкций. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2 (55). С. 117–129.
15. Соснин А.В. Об алгоритме уточнения коэффициента допускаемых повреждений К1 по кривой несущей способности для оценки сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий массового строительства // *Жилищное строительство*. 2017. № 1–2. С. 60–70.
16. Шебалин Н.В., Еришов И.А., Шестоперов Г.С. и др. Улучшенный вариант шкалы сейсмической интенсивности (MMSK-86) на базе шкал MSK-64 и МСССС-73 (заключительный). М. : МСССС, ИФЗ, 1986. 61 с.
17. Александров А.А., Ларионов В.И., Суцев С.П., Фролова Н.И., Гумеров Р.А. Методы анализа сейсмического риска для населения и урбанизированных территорий // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки». 2015. № 2 (59). С. 110–124.
18. Друмя А.В., Шебалин Н.В., Складнев В.В., Графов С.С., Ойзерман В.И. Карпатское землетрясение 1986 г. Кишинев : Штиинца, 1990. 334 с.
19. Tamrazyan A., Matseevich T. Seismic Resistance of Reinforced Concrete Building Frames Based on Interval Assessment of The Coefficient of Permissible Damage // *Buildings*. 2024.

REFERENCES

1. *Evaluation of seismic danger and seismic risk*. Sobolev G.A., ed. Moscow, Tsentr BSTS Publ., 1997; 54. (in Russian).
2. SNiP. Construction in seismic areas. Set of maps OSR-97-A, B, C and other materials for Building Codes and Regulations. Moscow, OIFZ Publ., 1998. (in Russian).
3. Eisenberg Ya.M. Spitak earthquake on December 7, 1988. Some lessons and conclusions. *Earthquake-resistant construction. Safety of structures*. 1999; 1:6-9. (in Russian).
4. Mkrtychev O.V., Dzhinchvelashvili G.A. *Problems of non-linearities in earthquake resistance theory (hypothesis and misconceptions)*. Moscow, MGSU Publ., 2012; 192. (in Russian).
5. Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. United methodology of the risk analysis for man-caused and natural emergency situations. *Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.* 2015; 1:112-130 (in Russian).
6. Tamrazyan A., Matseevich T. The Criteria for Assessing the Safety of Buildings with a Reinforced Concrete Frame during an Earthquake after a Fire. *Buildings*. 2022; 12(10):1662. DOI: 10.3390/buildings12101662
7. Tamrazyan A., Kabantsev O., Matseevich T., Chernik V. Estimation of the Reduction Coefficient When Calculating the Seismic Resistance of a Reinforced Concrete Frame Building after a Fire. *Buildings*. 2024; 14:2421. DOI: 10.3390/buildings14082421
8. Shatornaya A.M. et al. Russian and foreign standards of seismic design of buildings and structures. *Alfabuild*. 2018; 4(6):92-114. (in Russian).
9. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative Analysis of Analytical and Experimental Results of the Strength of Compressed Reinforced Concrete Columns under Special Combinations of Loads. *MATEC Web of Conferences*. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016; 01029.

10. Tamrazyan A.G. Fire and impact resistance of load-bearing reinforced concrete structures of high-rise buildings. *Housing construction*. 2005; 1:7. (in Russian).
11. Tamrazyan A.G. To assess the risk of emergency situations based on the main signs of its manifestation on a structure. *Concrete and reinforced concrete*. 2001; 5:8-10. (in Russian).
12. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and Theoretical Study of Reinforced Concrete Elements under Different Characteristics of Loading at High Temperatures. XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. “Procedia Engineering”. 2016; 721-725.
13. SP 14.13330.2018. Construction in seismic areas. SNiP II7–81. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2018; 122. (in Russian).
14. Kabantsev O.V., Useinov E.S., Sharipov Sh. Determination of allowable damage factor of antiseismic structures. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016; 2(55):117-129. (in Russian).
15. Sosnin A.V. About refinement of the seismic force-reduction factor (K_1) and its coherence with the concept of seismic response modification in formulation of the spectrum method (in order of discussion). *Bulletin of Civil Engineers*. 2017; 1(60):92-114. (in Russian).
16. Shebalin N.V., Ershov I.A., Shestoporov G.S. *Improved version of the seismic activity scale (MMSK-86) based on the scales MSK-64 and MCCCC-73 (final version)*. Moscow, MSSSS, IFZ Publ., 1986; 61. (in Russian).
17. Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Sushchev S.P., Frolova N.I., Gumerov R.A. Methods for analyzing seismic risk for the population and urban areas. *Bulletin of Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. Series “Natural Sciences”*. 2015; 2(59):110-124. (in Russian).
18. Drumea A.V., Shebalin N.V., Scladnev N.N., Graphov S.S., Oizerman V.I. *The Carpathian earthquake of 1986*. Kishinev, Shtiinets, 1990; 334. (in Russian).
19. Tamrazyan A., Matseevich T. Seismic Resistance of Reinforced Concrete Building Frames Based on Interval Assessment of The Coefficient of Permissible Damage. *Buildings*. 2024.