

УДК 699.841

DOI [10.37153/2618-9283-2023-3-48-72](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-3-48-72)

Теоретические и экспериментальные исследования

Разработка рекомендаций по реализации политики снижения сейсмического риска в Российской Федерации на основе мирового опыта

Абаев Заурбек Камболатович¹, Валиев Азамат Джониевич², Кодзаев Марат Юрьевич³
^{1,2,3} Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)». Владикавказ. Российская Федерация

Аннотация: В работе рассматривается текущее состояние политики снижения сейсмического риска в следующих странах: Япония, США, Китай, Италия и Российская Федерация. В частности, в работе сравниваются политики сейсмоусиления существующих зданий и механизмы финансирования комплексного снижения сейсмического риска в контексте нормативно-правового поля каждой страны. Проведенный анализ текущей политики снижения сейсмического риска в Российской Федерации, позволяет сделать вывод о том, что она нуждается в серьезной модернизации и реорганизации, включая: 1) разработку нового поколения нормативных документов, регламентирующих методы расчета на сейсмические воздействия с учетом нелинейной работы материалов и повреждаемости сооружений и 2) разработку эффективных инструментов финансирования оценки сейсмостойкости и сейсмоусиления существующего жилого фонда.

Цель работы заключается в выявлении передовых практик и механизмов реализации процесса сейсмоусиления, которые могут быть полезны для внедрения и реализации в рамках комплексной политики снижения сейсмического риска в Российской Федерации на федеральном и региональных уровнях.

Результатом работы являются рекомендации, разработанные на основе наиболее эффективных инструментов политики снижения сейсмического риска в рассмотренных странах, сгруппированные по ключевым этапам процесса сейсмоусиления:

- оценка риска существующих зданий;
- обмен знаниями;
- установка приоритетов сейсмоусиления;
- реализация политики сейсмоусиления;
- мониторинг эффективности реализации политики сейсмоусиления.

Ключевые слова: сейсмический риск, политика сейсмоусиления, сейсмостойкость, безопасность зданий, снижение риска

Для цитирования: Абаев З.К., Валиев А.Дж., Кодзаев М.Ю. Разработка рекомендаций по реализации политики снижения сейсмического риска в Российской Федерации на основе мирового опыта // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2023. № 3. С. 48–72 DOI [10.37153/2618-9283-2023-3-48-72](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-3-48-72)

@ Z.K. Abaev, A.D. Valiev, M.Yu. Kodzaev, 2023

Theoretical and experimental studies

Development of recommendations for the implementation of seismic risk mitigation policy in the Russian Federation based on world experience

Zaurbek K. Abaev¹, Azamat D. Valiev², Marat Yu. Kodzaev³,

^{1,2,3} FSFEI HE North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University). Vladikavkaz, Russian Federation

Abstract: The current state of practice of seismic risk mitigation policy in the following countries is analyzed: Japan, USA, China, Italy and the Russian Federation. In particular, the paper compares seismic retrofit policies for existing buildings and financing mechanisms for comprehensive seismic risk mitigation in the context of each country's regulatory framework. The analysis of the current seismic risk mitigation policy in the Russian Federation leads to the conclusion that it needs serious modernization and reorganization, including: 1) development of a new generation of standards specifying nonlinear analysis methods and 2) development of effective financing mechanisms for the seismic evaluation and seismic modernization of the existing building stock.

The aim of this paper is to identify best practices in seismic retrofitting policy that may be useful for the implementation and adjustment of seismic risk mitigation policies in the Russian Federation at the federal and regional levels.

The result of the paper is a set of recommendations based on the most effective seismic risk mitigation policy instruments, grouped according to the key stages of the seismic amplification process:

- risk assessment of existing buildings;
- knowledge transfer;
- setting targets for the seismic modernization;
- implementation of the seismic strengthening policy;
- policy implementation monitoring.

Keywords: seismic risk, seismic retrofit policy, earthquake resilience, building safety, risk mitigation

For citation: Abaev Z.K., Valiev A.D., Kodzaev M.Yu. Development of recommendations for the implementation of seismic risk mitigation policy in the Russian Federation based on world experience. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2023, no. 3, pp. 48–72. [In Russian]

DOI [10.37153/2618-9283-2023-3-48-72](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-3-48-72)

Введение

Здания по всему миру подвержены повреждениям или обрушению в результате воздействия землетрясений, приводящих к человеческим жертвам и экономическим потерям [1]. Обрушение зданий является основной причиной смертей и травм во время землетрясений [2, 3]. В качестве ответной реакции на разрушительные землетрясения многие страны еще в начале 20 века начали разработку нормативных документов на проектирование зданий и сооружений в сейсмоопасных регионах [4]. Однако несмотря на постоянное развитие нормативной базы, на сегодняшний день многие здания по всему миру построены до внедрения актуальных норм и стандартов [5]. Более того, многие здания, поврежденные в результате предыдущих землетрясений, обладают дефицитом несущей способности и могут быть не в состоянии выдержать дополнительный ущерб, вызванный будущими землетрясениями [6]. Таким образом, во всем мире растет осознание

сейсмического риска и необходимости смягчения последствий для существующего жилого фонда [7].

В настоящем исследовании рассматриваются политики сейсмоусиления зданий и сооружений в наиболее сейсмоопасных странах. Цель работы заключается в выявлении передовых практик в области политики сейсмоусиления, которые могут быть полезны для внедрения и корректировки политики снижения сейсмического риска в Российской Федерации на федеральном и региональных уровнях. В работе представлена подробная информация об особенностях политики снижения сейсмического риска и эволюции нормативных документов каждой рассмотренной страны.

Старые здания обычно строятся с использованием саманной, бутовой или кирпичной неармированной кладки, бетона с недостаточным количеством арматуры, деревянных каркасов. Зачастую в таких зданиях нарушены основные принципы сейсмостойкого строительства: некорректное распределение масс и жесткостей, гибкие этажи и т.п., что делает их крайне уязвимыми к разрушению при колебаниях грунта. Данные недостатки были исправлены путем разработки современных норм на строительство в сейсмоопасных регионах. Однако нехватка инженерно-технических кадров, отсутствие регулирующих механизмов для обеспечения полного соответствия нового строительства сейсмическим нормам и экономические ограничения все еще существуют во многих странах и регионах, что приводит к недостаточной сейсмостойкости вновь построенных зданий.

Сейсмоусиление обычно не может добиться повышения несущей способности (*capacity*) и деформативности (*ductility*) старых зданий до уровня нового строительства. Существующие стандарты обычно требуют, чтобы усиленные здания имели достаточную несущую способность, для возможности безопасной эвакуации людей, однако такие здания могут быть повреждены до уровня, не подлежащего восстановлению. Текущие нормы для большинства новых зданий нацелены на сохранение жизни находящихся в здании людей за счет сведения к минимуму вероятности глобального коллапса здания при значительном сотрясении (*максимальное землетрясение, контрольное землетрясение*). Особо ответственные здания, такие как больницы, могут соответствовать более высоким стандартам, поскольку должны оставаться в рабочем состоянии после умеренного землетрясения (*проектное землетрясение, расчетное землетрясение*).

В некоторых странах наивысший приоритет при сейсмоусилении отдается критически важным зданиям (например, больницам, центрам управления чрезвычайными ситуациями), инфраструктуре жизнеобеспечения и зданиям, в которых находится большое количество людей (например, школы), обрушение которых может привести к массовым человеческим жертвам. В настоящее время только в нескольких странах (например, в Соединенных Штатах и Новой Зеландии) есть законодательные акты, требующие обязательного сейсмоусиления частных жилых зданий, поскольку реализацию подобных требований относительно трудно обеспечить, и она, как правило, сопряжена с большими затратами. Большинство стран поощряют добровольное сейсмоусиление и часто предоставляют финансовую и техническую помощь собственникам зданий.

Сейсмоусиление – это крупная финансовая инвестиция, не приносящая немедленных дивидендов, и ее стоимость во многом зависит от потенциального дохода от эксплуатации здания в будущем [8]. Кроме того, из-за недостаточного информирования о рисках собственники зданий зачастую полагают, что сильное землетрясение не произойдет в течение их жизни [1] или что их здание не подвержено риску [4]. Надлежащая политика стимулирования может мотивировать собственников зданий проводить сейсмоусиление и, таким образом, снижать сейсмический риск в рассматриваемой области.

На сегодняшний день разработано множество методов и приемов сейсмоусиления. Выбор того или иного метода обусловлен, как правило, преследуемой целью усиления, наличием материально-технической базы, опыта реализации и экономической целесообразностью. В рассматриваемых странах применяемые методы можно

классифицировать по цели сейсмоусиления: 1) увеличение несущей способности – *strength retrofit* (увеличение площади существующих стен, установка внутренних или внешних стальных рам, устройство внешних поддерживающих сооружений и др.), 2) увеличение деформативности – *ductility retrofit* (устройство железобетонных или стальных обоев, обмотка углеродным волокном), 3) избежание концентрации повреждений – *avoidance of damage concentration* (улучшение вибрационных характеристик сооружения, улучшение работы хрупких элементов), 4) снижение сейсмических сил – *reduction of seismic force* (снижение веса, сейсмоизоляция, контроль вибрации сооружения), 5) усиление фундаментов – *foundation retrofit*. Подробное описание особенностей проектирования и технической реализации данных методов выходит за рамки настоящей работы.

Настоящее исследование состоит из двух частей:

- 1) анализ особенностей политики сейсмоусиления в рассматриваемых странах;
- 2) разработка рекомендаций на основе наиболее эффективных инструментов политики снижения сейсмического риска.

1. Анализ особенностей политики сейсмоусиления в рассматриваемых странах

1.1. Япония

В Японии действуют единые государственные стандарты строительства, применяемые как национальными, так и местными органами власти. Строительные нормы определяются Законом о строительных стандартах (*Building Standard Law, BSL*), который облегчает соблюдение нормативных требований и контроль, обеспечивая также минимальные стандарты безопасности [9], в отличие от США, где строительные нормы разрабатываются неправительственными техническими ассоциациями и должны быть имплементированы отдельными штатами [10].

В 1971 году Япония внесла поправки в Закон о строительных стандартах и усилила требования сейсмического проектирования железобетонных конструкций после землетрясения Токачи 1968 года (М 8,3). Вскоре после этого произошло землетрясение в провинции Мияги 1978 года (М 7,7) в северном регионе Японии, которое вызвало обрушение многих зданий, построенных в соответствии с Законом о строительных стандартах от 1971 года. В ответ на это Япония изменила стандарты проектирования, чтобы не только предотвратить обрушение зданий, но и обеспечить безопасность людей внутри зданий во время землетрясений, что позволило зданиям, построенным после 1981 года, выдерживать землетрясения на один уровень выше (М 6) по сравнению с предыдущими требованиями (М 5).

1.1.1. Политика снижения сейсмического риска

Политика сейсмоусиления в Японии нацелена на здания в зависимости от их функционального назначения. Катализатором современной политики сейсмоусиления стало Великое землетрясение Хансин-Авадзи (г. Кобе) 1995 года (М 6,9), которое произошло в южном регионе Японии и привело к гибели 6 437 человек и разрушению более чем 100 000 домов. Исследование, проведенное после землетрясения, показало, что 76 % обрушившихся зданий были построены до 1971 года, а 21 % – в период с 1971 по 1981 год. Это продемонстрировало, что одного обновления стандартов проектирования недостаточно для обеспечения безопасности людей и имущества. В результате Япония приняла ряд положений, в том числе «Закон о содействии сейсмоусилению зданий» (1995 г.) и «Закон о поддержке восстановления жилого фонда жертв стихийных бедствий» (1998 г.), призванные поддерживать сейсмоусиление зданий, построенных до 1981 года [11].

Закон о сейсмоусилении 1995 г. предусматривал меры и рекомендации по выявлению и усилению зданий с дефицитом сейсмостойкости. Закон также содержал критерии

сейсмоусиления, разработанные национальным правительством, такие как увеличение доли сейсмостойких домов и специальных зданий (например, школ, больниц) до 75 % и 80 % к 2003 и 2008 годам соответственно. В 2005 году в Закон были внесены поправки, в соответствии с которыми в него были включены планы по сейсмоусилению зданий органов местного самоуправления. В полномочия органов местного самоуправления входят: 1) разработка общего плана и последовательности сейсмоусиления, 2) определение аварийных маршрутов и мест эвакуации на своих территориях. Кроме того, Министерство образования, культуры, спорта, науки и технологий (*МEXT*) разработало политику сейсмоусиления несущих и ненесущих элементов школьных зданий в Японии [11]. В 2013 году в Закон были внесены дополнительные поправки, требующие проведения оценки сейсмостойкости для крупных зданий, таких как больницы, гостиницы, школы и коммерческие объекты, требующие, чтобы результаты данной оценки были общедоступными.

Определение целесообразности усиления или сноса здания происходит на стадии диагностики – здание с сейсмостойкостью, эквивалентной или превышающей 60 % требований для нового строительства, не требует усиления.

На решение о сейсмоусилении также влияют:

- 1) потребность в сохранении усиливаемого здания,
 - 2) целевой уровень сейсмоусиления,
 - 3) доступность методов сейсмоусиления,
 - 4) затраты на сейсмоусиление / снос,
 - 5) уровень удовлетворенности обеспечением функциональных требований здания,
- а также –
- б) план будущего использования здания.

1.1.2. Механизмы финансирования снижения сейсмического риска

Япония внедрила систему финансового стимулирования для поощрения владельцев сейсмоусиляемых зданий. Для частных домов субсидия федерального правительства и местных органов власти покрывает 66,6 % стоимости оценки сейсмостойкости и 23 % стоимости сейсмоусиления, а остальные расходы оплачивают домовладельцы. Кроме того, для домов, усиленных до 2019 года, были предложены ограниченные по времени акции: центральные и местные органы власти предложили субсидию от 83,4 до 100 % на оценку сейсмостойкости и субсидию от 45,8 до 66,7 % на сейсмоусиление. В случае, если местные органы власти не предлагали никакого финансирования, на центральное правительство приходилось 33,3 % расходов на оценку и 11,5 % расходов на сейсмоусиление [10]. Наконец, местные органы власти получили доступ к субсидиям и дополнительному финансированию для оценки сейсмостойкости и сейсмоусиления школ [11].

Правительство регулярно проводит мониторинг реализации политики снижения сейсмического риска для ее последующей корректировки, в том числе анализ жилого фонда и земли, анализ динамической статистики зданий, комплексное обследование условий жизни и обследование тенденций рынка жилья [10]. Например, Законы 1995 и 2005 гг. о содействии сейсмоусилению обязывают правительство увеличить долю сейсмостойких домов до 75 % к 2003 г., 80 % к 2008 г. и 90 % к 2015 г. Обследование 2008 г. выявило разрыв в 2 % между запланированной целевой ставкой и фактической ставкой, что побудило правительство предложить меры для устранения данного разрыва.

Помимо поощрения собственников зданий к соблюдению действующих строительных стандартов сейсмоусиления, Япония предоставляет дополнительные гранты при достижении уровня сейсмоусиления, превышающего обязательный стандарт. Государственная жилищная кредитная корпорация, которая предоставляет долгосрочные ссуды под низкие проценты для нового строительства, реконструкции и сейсмоусиления, установила собственные

технические критерии, выходящие за рамки обязательного минимального стандарта. Это позволяет зданиям достигать более высоких показателей сейсмостойкости, без дополнительной финансовой нагрузки на собственников, поскольку средства на повышение качества строительного процесса поступают со стороны частных банков, эффективно заполняя пробелы в финансировании для завершения строительства.

1.2. США

Более 80 % ежегодных потерь и разрушений от землетрясений в США приходится на наиболее сейсмоопасные штаты – на Калифорнию, Орегон и Вашингтон [12]. Последние крупные землетрясения в США произошли в Калифорнии, поскольку только через Южную Калифорнию проходит более сотни сейсмических разломов, а население Южной Калифорнии составляет более 20 миллионов человек, благодаря чему данный регион является более сейсмически уязвимым по сравнению с другими.

Одним из важнейших отличий США от других стран является то, что политика снижения сейсмических рисков в первую очередь является непосредственной обязанностью правительств штатов и местных органов власти, поскольку в стране нет федерального мандата (*federal mandate*) на принятие единых строительных норм и стандартов на территории всей страны.

Международный строительный стандарт (*International Building Code, IBC*) и Международные строительные нормы и правила (*International Existing Building Code, IEBС*) являются основой для большинства строительных норм и стандартов в США, но их адаптация на уровне отдельных штатов или на местном уровне приводит к существенным отличиям в требуемом уровне сейсмической безопасности на территории США. Однако активная работа Федерального агентства по чрезвычайным ситуациям (*Federal Emergency Management Agency, FEMA*) и реализация федеральной Национальной программы снижения опасности землетрясений (*National Earthquake Hazards Reduction Program, NEHRP*), помогают обеспечить эффективное руководство и разработку рекомендаций для местных органов власти. В свою очередь, региональные инициативы также могут влиять на изменение федеральных нормативных документов.

1.2.1. Политика снижения сейсмического риска

Политика сейсмоусиления в отдельных штатах США базируется на учете специфических особенностей различных конструктивных схем зданий. Исключением является законопроект Сената Калифорнии (*California Senate Bill, SB*) 1953 г., поправка 1994 г. к Закону о сейсмической безопасности больничных учреждений (*Hospital Facilities Seismic Safety Act*) от 1983 г., требующий проведения сейсмоусиления больниц в Калифорнии. Данный законопроект относительно уникален, поскольку ориентируется на функциональное назначение здания и является непосредственной реакцией на разрушительное землетрясение в Нортридже в 1994 году [13]. Другой важной особенностью данного документа является установление целевых показателей для несущих и ненесущих элементов здания, необходимых для обеспечения функционирования больниц после землетрясения [14].

В нормативных документах США представлены методики оценки сейсмостойкости и сейсмоусиления следующих конструктивных типов зданий:

- здания из неармированной кладки (*Unreinforced Masonry Buildings*);
- здания с гибкими этажами (*Soft-Story Buildings*);
- здания из хрупкого бетона (*Non-Ductile Concrete Buildings*);
- здания с металлическим каркасом (*Steel Moment-Frame Buildings*).

1.1.2. Механизмы финансирования снижения сейсмического риска

В Соединенных Штатах ответственность за сейсмоусиление несет собственник здания. Однако есть ряд программ, предоставляющих финансовую поддержку. К примеру, в 2013 г. Калифорния запустила пилотную программу под названием *Earthquake Brace and Bolt*, в рамках которой штат предоставляет домовладельцам гранты в размере 3 000 долларов в некоторых сейсмоопасных районах. На сегодняшний день программа охватывает более сотни районов. Усиливаются, как правило, деревянные каркасные дома. С 2017 года появился новый тип финансирования под названием *Property Assessed Clean Energy (PACE)*. Программа предоставляет 100 % финансирование, покрывающее расходы на получение разрешений, проведение изыскательских работ, проектирование и строительство для всех типов зданий. Период погашения займа составляет от 5 до 30 лет, процентная ставка от 6,5 до 8,5 % [15]. Кроме того, Калифорнийское управление по борьбе с землетрясениями предлагает скидку до 25 % на страховые взносы по страхованию от землетрясений для деревянных каркасных домов, которые были усилены в соответствии с Калифорнийскими строительными нормами.

Города Калифорнии реализуют собственные политики стимулирования сейсмоусиления в дополнение к программам штата. К примеру, город Альмеда предлагает освобождение от платы до 100 % за подготовку инженерного отчета и получение разрешения на строительство для зданий с гибкими этажами. Город Беркли предоставляет грант на сейсмоусиление, который покрывает до 75 % стоимости проектирования и 40 % стоимости строительства для зданий из хрупкого и сборного бетона и зданий с гибкими этажами с тремя или четырьмя секциями. Здания из неармированной кладки и здания с гибкими этажами с пятью и более секциями могут получить грант, покрывающий до 75 % и 30 % затрат на проектирование и строительство, соответственно. Город Сан-Франциско разрешает собственникам малоэтажных зданий передавать оплату 100 % общей стоимости сейсмоусиления жильцам в течение 20 лет, в то время как город Лос-Анджелес ограничивает эту сумму 50 % общей стоимости, передаваемой жильцам в течение 10 лет.

1.3. Китай

Строительные нормы в Китае, как и в Японии, определяются законом для обеспечения строгости соблюдения их положений. Первые сейсмические нормы вступили в силу в 1989 г. и с тех пор обновлялись каждые десять лет с незначительными поправками. В период с 1950-х по 1980-е годы было построено большое количество каменных и железобетонных зданий, спроектированных только на восприятие вертикальных нагрузок, без учета сейсмических воздействий. Сегодня эти старые здания не только не отвечают требованиям сейсмостойкости, но и непригодны из-за физического и морального износа [16].

Китай – одна из самых сейсмически активных стран мира, так как он расположен на нескольких активных тектонических плитах. Самое разрушительное землетрясение за последние десятилетия, Таншаньское землетрясение 1976 года (М 7,6), ударило по одному из самых густонаселенных регионов страны. Умерло более 242 000 человек, 85 % зданий рухнули или стали непригодными для использования в городе Таншань, и 10 % зданий рухнули в столице г. Пекине. В ответ Пекин учредил Совет по снижению риска землетрясений для ремонта поврежденных зданий и усилению уязвимых строений в своем районе [16]. Недавно Китай внес поправки в сейсмические нормы с целью обеспечить достаточную несущую способность школ и других социально значимых зданий, способных противостоять землетрясениям более высокой магнитуды, в связи с землетрясением в Вэньчуане в 2008 году (М 7,9).

1.3.1. Политика снижения сейсмического риска

Политика сейсмоусиления в Китае ориентирована на здания в зависимости от функционального назначения и потенциального риска землетрясения. В Китае за соблюдение строительных норм и правил отвечает Департамент строительства и развития, который выпускает Национальный план по снижению опасности землетрясений каждые пять лет. План на 2016 г. включал в себя задачи совершенствования системы регулирования, выявления зданий с высокой степенью риска, сейсмоусиления или нового строительства опасных общественных и жилых зданий, укрепления исторических зданий, использования информационных инструментов для поддержки управления сейсмическими рисками, а также содействия в разработке и внедрению методов повышения сейсмостойкости зданий [16].

1.3.2. Механизмы финансирования снижения сейсмического риска

В Китае расходы на сейсмоусиление, а также расходы на повышение энергоэффективности зданий и модернизацию несущих компонентов полностью финансируются местными органами власти. Здания усиливаются на основе государственных планов и бюджетов, что экономит время и деньги владельцев зданий при представлении планов усиления, а также подаче заявок на получение разрешений на строительство. Однако эта политика значительно увеличивает финансовую нагрузку на правительство, отчего она реализована лишь в ограниченном числе провинций. К концу 2017 года Пекин усилил более двух миллионов квадратных метров жилья [16].

В 2021 году центральное Правительство Китая разработало пятилетний план развития страны, частью которого является План развития национальной системы управления чрезвычайными ситуациями (*National Emergency Management System Plan*). Предыдущий план 2016 г., включавший в себя План по повышению сейсмической безопасности зданий по всей стране, позволял выделение финансирования и ресурсов на реализацию срочных проектов, таких как усиление наиболее уязвимых зданий, или помощь слаборазвитым районам, где местные органы власти не могли позволить себе крупномасштабное сейсмоусиление [16]. Кроме того, план позволял координировать работу различных ведомств, строительного сектора и собственников, что значительно повысило эффективность работ по сейсмоусилению. Однако, в тоже время, это увеличило нагрузку на местные органы власти и существенно снизило желание собственников играть активную роль в повышении сейсмической безопасности.

1.4. Италия

С 1905 по 2016 год в Италии произошло пятнадцать крупных землетрясений. Аквильское землетрясение 2009 года (М 6,3) унесло более 300 жизней, а в регионах Аквила и Абруццо было повреждено 10 000 зданий [6]. Последовательность землетрясений в Центральной Италии в 2016 году (между августом и октябрём 2016 года) привела к гибели 299 человек, 386 получили ранения, и почти 5000 человек остались без жилья в регионах Абруццо, Лацио, Марке и Умбрия [17].

Первые сейсмические нормы в Италии были утверждены в 1909 году после сильного землетрясения в Мессинском проливе. Данный документ несколько раз пересматривался, и редакцию 1974 года можно считать первой современной. После землетрясения в Ирпинии в 1980 г. (М 6,9) был принят новый метод сейсмической классификации, который был внесен в нормативный документ. На основе этого метода около 45 % территории страны относится к сейсмическим зонам 1, 2 и 3.

1.4.1. Политика снижения сейсмического риска

Италия имеет один из старейших в мире фонд зданий с большим количеством зданий из неармированной кладки (*URM*) и железобетонных (*RC*). Например, в северных городах Конкордия-делла-Секкья и Мирандола на здания из неармированной кладки приходится около 87 % и 70 % фонда зданий соответственно [18]. Очевидно, что данные сооружения не были спроектированы в соответствии с современными нормами и подвержены значительному риску сейсмических повреждений. К примеру, поскольку до 2009 года соблюдение положений о сейсмостойкости не было обязательным, старые здания из железобетона имеют серьезные конструктивные недостатки и нуждаются в усилении [6].

Первый нормативный документ, относящийся к существующим зданиям, был опубликован в 1986 году и существенно не менялся до 2003 года, когда был разработан и введен в действие новый свод правил, основанный на Еврокоде 8. Еврокод 8 представляет собой согласованные технические правила, которые применяются к проектированию и строительству зданий и инженерных сооружений в сейсмических районах. Он состоит из шести частей, касающихся различных типов сооружений, а *EN 1998-3* содержит технические стандарты для оценки сейсмостойкости и усиления существующих зданий. Данный документ определяет основные требования и критерии работоспособности конструкций в трех предельных состояниях (незначительные, умеренные и существенные повреждения). Он также содержит необходимую информацию о методах расчета зданий на сейсмические воздействия, а также критерии проверки безопасности железобетонных конструкций [19].

В редакции от 2008 г. был представлен метод «локального усиления» как для общественных, так и для частных зданий, позволяющий усиливать отдельные несущие элементы или части конструкции без изменения общего поведения сооружения. Кроме того, была принята новая карта сейсмической опасности, созданная с использованием метода микрорайонирования [6, 27]. Первоначально только ответственные общественные здания (например, больницы, школы) и объекты инфраструктуры (например, автомагистрали, железные дороги) должны были соответствовать сейсмическим нормам того времени. После землетрясения в Абруццо в 2009 г. (М 6,3) нормы сейсмостойкости были распространены на все типы сооружений.

Вскоре после вступления в силу норм 2003 года, Постановление № 3274 потребовало от местных органов власти в течение пяти лет завершить оценку сейсмостойкости для всех ответственных общественных зданий и объектов инфраструктуры в регионах со средней и высокой степенью опасности. Закон № 326, принятый в том же году, выделил фонд в размере 200 миллионов евро для поддержки оценки и сейсмоусиления зданий, признанных неудовлетворительными. К 2012 году количество проверенных зданий было намного меньше запланированных 35 000, поэтому правительство решило использовать список зданий, подлежащих проверке, для поддержки текущей Национальной программы по предупреждению сейсмической опасности [20]. Основная причина относительно медленного процесса оценки заключается в том, что для определения класса сейсмостойкости здания требуется проведение полевых изысканий, испытания материалов и численного моделирования [21].

1.4.2. Механизмы финансирования снижения сейсмического риска

После землетрясения в Абруццо в 2009 году, закон № 77 предоставил Департаменту гражданской защиты 1 миллиард евро на семилетнюю Национальную программу по предупреждению сейсмической опасности. В рамках программы финансировались исследования по сейсмическому микрорайонированию, усилению или реконструкции ответственных общественных зданий и объектов инфраструктуры, усилению или реконструкции частных зданий, в которых проживает большое количество людей. В рамках

программы также были разработаны инструменты и планы управления чрезвычайными ситуациями для городских сообществ [20]. К 2018 году в общей сложности было профинансировано 4 521 работ для общественных и частных зданий, из них 1 249 завершённых, общей стоимостью 665 миллионов евро.

В 2017 году Италия приняла программу «*Sisma-bonus*» («бонус за землетрясение»), политику налоговых стимулов призванную мотивировать владельцев зданий усиливать свои сооружения [18]. Данная инициатива позволяет возмещать налоги до 85 % стоимости сейсмоусиления несущих и ненесущих элементов, в зависимости от степени улучшения класса сейсмостойкости здания, с вычетом, равномерно распределенным от пяти до десяти лет [21]. Класс сейсмостойкости определяется либо с использованием 1) ожидаемого годового убытка (*expected annualized loss, EAL*), либо 2) индекса безопасности (*safety index, IS-V*). Метод *EAL* рассчитывает соотношение прямого экономического ущерба, связанного с ущербом вследствие землетрясения, и затрат на ремонт несущих и ненесущих элементов, к стоимости нового строительства. Метод *IS-V* вычисляет отношение между расчетными и требуемыми пиковыми ускорениями грунта для предельного состояния соответствующему безопасности жизнедеятельности. Пороговое значение, обычно используемое в процессах сейсмоусиления, составляет 60 % [28, 30].

Итальянское правительство предоставляет возмещение налогов владельцам зданий следующим образом: 1) 70 % для отдельных домов или производственных зданий при повышении класса риска на один уровень; 2) 80 % для отдельных домов или производственных зданий при повышении класса риска на два или более уровня; 3) 75 % для квартир при улучшении класса риска на один уровень; 4) 85 % для квартир при повышении класса риска на два или более уровня.

Сумма возмещения налога не может превышать 96 000 евро за каждую единицу недвижимости [22]. Несмотря на интерес общественности к снижению сейсмического риска было отмечено, что собственникам часто не хватает необходимой информации и инструментов для понимания преимуществ программы «*Sisma-bonus*» [18]. Наконец, Италия также призывает владельцев зданий повышать энергоэффективность наряду с сейсмоусилением [6]. Как и «*Sisma-bonus*», программа «*Ecobonus*» предполагает налоговое возмещение за повышение энергоэффективности до 65 % в течение десяти лет [23]. На сегодняшний день рассматривается потенциальная польза для общества от реализации комбинированной политики. Например, в работе [23] был представлен индекс глобальной производительности, учитывающий сейсмические, энергетические и экономические выгоды от комбинированной политики.

1.5 Российская Федерация

С начала прошлого века на территории России и Республик Советского Союза произошло несколько крупных землетрясений:

1. *Крымское землетрясение 12 сентября 1927 года.* Землетрясение магнитудой 6,7 балла. Погибло более трех тысяч человек. Было разрушено 70 % зданий города Ялты. Экономический ущерб оценивался в 25 миллионов рублей в ценах 1925 года.
2. *Ашхабадское землетрясение 6 октября 1948 года.* Землетрясение магнитудой 7,3 балла в столице Туркменской ССР Ашхабаде разрушило около 90 % строений города, а также унесло жизни 176 тысяч человек.
3. *Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 года.* Землетрясение магнитудой 5,2 балла в Ташкенте разрушило 36 тысяч строений города, оставив без крова свыше 300 тысяч людей, а также унесло жизни 8 человек.
4. *Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года.* Землетрясение интенсивностью до 10 баллов и магнитудой 7 унесло жизни 25 тысяч человек, полностью разрушив город

Спитак и 58 сел, а также частично разрушив более 300 населенных пунктов, оставив без крова 514 тысяч людей.

5. *Нефтегорское землетрясение 27 мая 1995 года.* Землетрясение магнитудой 7,6 балла на Сахалине уничтожило поселок Нефтегорск в 30 км от эпицентра, унесло жизни 2 040 человек при общем населении поселка 3197 человек. Ущерб оценивали в 400 миллиардов рублей в ценах 1995 года.

Первые нормативные документы на строительство в сейсмических регионах в Советском Союзе появились еще в 40-х годах прошлого столетия в виде инструкций и технических условий, начиная с конца 50-х годов была введена система строительных норм (СН), в дальнейшем переименованная в строительные нормы и правила (СНиП). На сегодняшний день актуальным нормативным документом является свод правил (СП) СП 14 13330 2018 Строительство в сейсмических районах. Следует также отметить, что в 2020 году вышло Изменение 1 данного СП, которое вызвало противоречивую реакцию научного и инженерного сообществ, в результате чего Приказом Минстроя России от 29 января 2021 года №27/пр данное изменение было отменено.

Следует отметить значительный вклад отечественных ученых в развитие современной теории сейсмостойкого строительства, в частности, существенные результаты приведены в трудах таких специалистов как (список далеко не полный): Абакаров А.Д., Айзенберг Я.М., Амбарцумян В.А., Амосов А.А., Болотин В.В., Гольденблат И.И., Джинчвелашвили Г.А., Завриев К.С., Коренев Б.Г., Корчинский И.Л., Лужин О.В., Масленников А.М., Мкртычев О.В., Назаров А.Г., Назаров Ю.П., Немчинов Ю.И., Николаенко Н.А., Овечкин А.М., Перельмутер А.В., Петров В.В., Поляков С.В., Ржевский В.А., Саргсян А.Е., Сеницын Ю.Э., Смирнов А.Ф., Смирнов В.И., Сорокин Е.С., Тяпин А.Г., Уздин А.М., Черепинский Ю.Д. и др.

Методика оценки экономической эффективности сейсмостойкого строительства на основе теории риска была разработана лауреатом нобелевской премии, академиком Канторовичем Л.В. и его учениками. При этом ими введено понятие «сейсмический риск» R , который рассматривался, как математическое ожидание ущерба D [24].

Большой вклад в разработку отечественной нормативно-технической документации внес Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В. А. Кучеренко, на сегодняшний день являющийся одним из структурных подразделений АО «НИЦ «Строительство».

В новейшей истории России проблема снижения сейсмического риска решалась путем реализации целевых программ. В таблице 1 представлен список целевых программ различного уровня (федерального, регионального и муниципального), а также общий объем средств, направленных на их реализацию.

Представленные данные свидетельствуют об актуальности и важности решения вопросов снижения сейсмического риска в Российской Федерации, однако несмотря на внушительный объем финансирования и продолжительную историю реализации программ, эффективная методология оценки сейсмостойкости и последующего сейсмоусиления существующего жилого фонда, также как и специальные механизмы финансирования данного процесса, до сих пор не предложены, хотя необходимость их разработки неоднократно подчеркивалась в целях и задачах указанных программ.

Таблица 1– Целевые программы снижения сейсмического риска в РФ

Table 1– Seismic risk mitigation federal programs at the Russian Federation

<i>Федеральный уровень</i>			
<i>№</i>	<i>Наименование</i>	<i>Период реализации</i>	<i>Общий объем средств, млрд руб.</i>
1.1	Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации. Сейсмика.	2019–н.в.	28004
1.2	Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009 – 2018 годы	2009–2018	49390
1.3	Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года	2011–2015	8614
1.4	Сейсмобезопасность территории России	2002–2010	28783,9
1.5	Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года	2006–2010	1264,163
1.6	Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2005 года	1997–2005	3046
1.7	Развитие федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений на 1995 – 2000 годы	1995–2000	19339
<i>Региональный уровень</i>			
2.1	Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в Камчатском крае. Государственная программа Камчатского края	2014–2018	4,223
2.2	Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Амурской области на 2011 – 2014 годы	2011–2014	79,857
2.3	Сейсмобезопасность территории Республики Ингушетия на 2007–2010 годы	2007–2010	1,066
<i>Муниципальный уровень</i>			
3.1	Обеспечение доступным жильем и развитие дорожной сети в г. Улан-Удэ	2019–2025	12,3
3.2	Обеспечение жильем населения городского округа «город Якутск»	2018–2022	2,818
3.3	Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Кемеровской области на территории Беловского городского округа	2017–2019	0,251
3.4	Обеспечение населения МО «Южно-Курильский городской округ» качественным жильем	2014–2020	0,35
3.5	Проведение мероприятий по сейсмоусилению жилых домов микрорайона Верхние Черемушки г. Красноярск	2011–2013	0,042
3.6	Проведение работ по сейсмоусилению жилых домов в Петропавловск-Камчатском городском округе	2009–2013	0,611

На рисунке 1 представлено распределение общего объема финансирования программ федерального уровня.

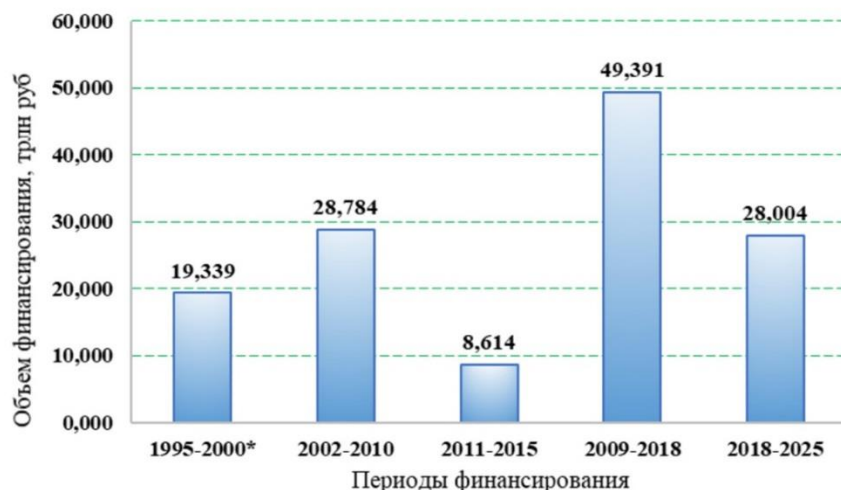


Рисунок 1 – Объем финансирования федеральных целевых программ

Figure 1 – Funding for federal target programs

Очевидно, что важнейшим элементом политики сейсмоусиления является развитая нормативно-техническая база, регламентирующая различные стадии процесса. Существующие нормативные документы должны быть взаимоувязаны друг с другом, лишены двусмысленностей и противоречий [25] и полностью удовлетворять нормативным запросам, начиная с момента проведения оценки сейсмостойкости и заканчивая мониторингом эффективности реализации политики сейсмоусиления.

На сегодняшний день в РФ можно выделить лишь два нормативных документа в явном виде регламентирующих задачи оценки сейсмостойкости и обследования последствий землетрясений:

– СП 442.1325800.2019 Здания и сооружения. Оценка класса сейсмостойкости (далее – СП 442);

– СП 322.1325800.2017 Здания и сооружения в сейсмических районах. Правила обследования последствий землетрясения (далее – СП 322).

На рисунках 2–3 представлена взаимосвязь данных сводов правил с другими нормативными документами в области строительства.



Рисунок 2 – Взаимосвязь СП 442.1325800.2019 с другими нормативными документами

Figure 2 – SP 442.1325800.2019 relationship with other normative documents



Рисунок 3 – Взаимосвязь СП 322.1325800.2017 с другими нормативными документами

Figure 3 – SP 322.1325800.2017 relationship with other normative documents

Подробный анализ указанных документов вызывает ряд вопросов по части их практической реализации.

К примеру, в пункте 4.6. СП 422 говорится об обязанности собственника выполнять мероприятия по оценке класса сейсмостойкости, однако в настоящий момент в РФ нормативно-правовая база, регулирующая данное обязательство и отношения между участниками процесса, недостаточно разработана и зачастую противоречива.

Приложение «А» СП 422, а также п. 7.8 СП 322 требуют проведение расчетов с учетом физических несовершенств, повреждаемости сооружений и нелинейной работы строительных материалов, ссылаясь, в свою очередь, на СП 14.13330.2018 который регламентирует два метода расчета: 1) линейно-спектральный метод расчета и 2) расчет во временной области с использованием акселерограмм, однако не предоставляет дальнейших рекомендаций и критериев для учета отмеченных дефектов. Очевидно, что выбор расчетной схемы и методика учета дефектов целиком определяется инженером и его предпочтениями. Для устранения данного обстоятельства необходимо наличие строгой методологии с подробными критериями и параметрами для различных типов сооружений, которая позволит избежать потенциальных ошибок и разночтений, а также создать возможность для эффективной экспертизы и контроля проектов.

В качестве примера успешной реализации подобной методологии можно отметить стандарт США *ASCE 41-17*, который определяет процедуры и критерии оценки сейсмостойкости существующих зданий, мостов, туннелей и других инфраструктурных объектов. Данный стандарт выделяет три уровня оценки, называемых *Tier 1*, *Tier 2* и *Tier 3*, каждый из которых представляет собой последовательно более детальный и точный уровень оценки сейсмостойкости сооружений. *Tier 1* представляет собой быструю предварительную оценку, на которой основываются дальнейшие исследования и более подробная оценка на уровне *Tier 2*. *Tier 3* – наиболее подробная и точная оценка, проводимая в случае необходимости комплексных исследований и детального анализа. Данная методология позволяет проводить эффективную оценку сейсмостойкости зданий и сооружений и определять необходимые меры по их усилению в зависимости от уровня риска и заданного уровня безопасности.

Пункт 5 СП 322 регламентирует использование общегородской системы мониторинга, однако на сегодняшний день, успешные прецеденты реализации подобной системы в РФ, а

также методики ее практической имплементации и внедрения в существующую систему управления населенными пунктами освещены недостаточно подробно и носят единичный характер [26]. Пункт 9 данного документа посвящен корректировке прогностических карт последствий землетрясений, однако также не регламентирует методику расчета, необходимые критерии и параметры для построения данных карт.

Наиболее известным примером решения похожей задачи является программное обеспечение *Hazus FEMA* [57, 58], разработанное в США для моделирования и анализа последствий природных катастроф, таких как землетрясения, ураганы, наводнения и т.д. Оно используется для оценки уязвимости и рисков объектов инфраструктуры, включая здания, дороги, мосты, водопроводы и электростанции, и определения потенциальных последствий катастроф на экономику и население. *Hazus FEMA* основано на методологии, которая включает в себя сбор и анализ данных о физических, экономических и социальных характеристиках региона. Эти данные используются для создания моделей и сценариев катастроф, которые могут помочь определить наиболее уязвимые области и объекты инфраструктуры, а также оценить потенциальные экономические и социальные последствия.

В таблице 2 представлены нормативные требования, налагаемые рассматриваемыми сводами правил и необходимые атрибуты их реализации. Выявленные противоречия и несовершенства данных документов как нельзя лучше подтверждают отмеченную ранее необходимость разработки строгой и последовательной нормативной документации, обеспечивающую надежное основания для реализации политики сейсмоусиления в Российской Федерации.

Резюмируя анализ текущей политики снижения сейсмического риска в Российской Федерации, можно сделать вывод о необходимости серьезной модернизации и реорганизации основных принципов ее реализации, включая: 1) разработку нового поколения нормативных документов, регламентирующих методы расчета на сейсмические воздействия с учетом нелинейной работы материалов и 2) разработку эффективных инструментов финансирования оценки сейсмостойкости и сейсмоусиления существующего жилого фонда.

Ниже предложен ряд практических рекомендаций, основанных на наиболее эффективных мировых практиках.

2. Разработка рекомендаций на основе наиболее эффективных инструментов политики снижения сейсмического риска

Основной вывод, который можно сделать из проведенного анализа, заключается в том, что любые изменения политики снижения сейсмического риска исторически обусловлены последствиями крупных землетрясений. Страны, рассматриваемые в данном исследовании, недавно столкнулись или продолжают переживать последствия разрушительных землетрясений, в то время как на территории бывшего Советского Союза последнее разрушительное землетрясение произошло в 1988 в городах Спитак и Ленинакан.

Очевидно, что федеральным, региональным и муниципальным органам власти не следует ждать очередной катастрофы, чтобы снизить риск сейсмических воздействий. Инженерные и практические знания, необходимые для эффективных мер по сейсмоусилению, доступны и могут предотвратить множество смертей и травм в неизбежных будущих землетрясениях. На примере Японии стала очевидной необходимость тщательного мониторинга и регулярного обновления политики снижения сейсмического риска: Япония не только вносит изменения в строительные нормы после каждого крупного землетрясения, но и проводит периодические обследования существующего жилого фонда. Правительство также корректирует политику стимулирования сейсмоусиления, чтобы устранить критический разрыв между запланированными и фактическими темпами выполнения работ [10].

Отечественная нормативно-правовая база и процесс разработки и принятия новых стандартов сильно отличается от процедур в других странах. Тем не менее, их опыт может оказаться полезными для федерального и региональных правительств, реализующих политику повышения сейсмостойкости. Ниже представлены рекомендации (см. рис. 4), разработанные на основе сравнительного анализа политик снижения сейсмического риска, рекомендации сгруппированы по ключевым этапам процесса сейсмоусиления. Важно отметить, что данный процесс не следует рассматривать как единоразовый и линейный, а вместо этого он должен быть частью повторяющегося цикла от оценки рисков до мониторинга для дальнейшего повышения сейсмостойкости зданий [29].

Таблица 2– Нормативные требования СП 442.1325800.2019 и СП 322.1325800.2017

Table 2– Regulatory demands of SP 442.1325800.2019 и SP 322.1325800.2017

СП 322.13225800.2017	
<i>Нормативное требование</i>	<i>Необходимый/отсутствующий атрибут реализации</i>
п. 5 Общегородская система мониторинга	– Пример реализации – Структура и требуемые элементы – Методика внедрения в существующую систему управления
п. 5.3.2 Прогностические карты последствий землетрясений	– Методика построения – Критерии оценки
п. 7.2 Выявление общих для широкого класса зданий тенденций	– Единая классификация – Критерии оценки – Методология оценки
п. 7.8 Учет нелинейной работы материалов, дефектов, неоднородностей	– Критерии моделирования и оценки – Методы расчета
п. 8.5 Экономические потери от землетрясений	– Методика определения экономического ущерба
п. 9 Прогностические карты последствий землетрясений	– Примеры реализации – Методика построения
СП 442.1325800.2019	
<i>Нормативное требование</i>	<i>Необходимый атрибут реализации</i>
п. 4.6 Обязанность собственника выполнять мероприятия	– Нормативно-правовая база
п. 8.3 Меры по повышению класса сейсмостойкости	– Нормативно-правовая база – Методология количественной оценки
п. 9 Конструктивная уязвимость	– Количественные показатели – Методика определения
Приложение А. Поверочные расчеты	– Критерии оценки – Методология определения показателей

2.1. Оценка риска существующих зданий

Первым шагом в разработке политики сейсмоусиления является выявление проблемы.

Можно выделить следующие передовые методы оценки риска:

– *Поддержка оценки сейсмостойкости:* к примеру, японский закон о содействии сейсмоусилению сейсмостойких зданий предоставляет щедрые субсидии собственникам зданий на проведение мероприятий по оценке сейсмостойкости, которая является менее дорогостоящей и, следовательно, местным органам власти легче частично или полностью ее финансировать, чем обеспечить само сейсмоусиление [6, 12]. Кроме того, Турция ввела в свои нормы новые методы оценки, позволяющие быстро проверять и оценивать существующие здания [6, 30]. Это подчеркивает необходимость постоянного

совершенствования руководящих принципов и стандартов оценки сейсмостойкости для повышения точности и снижения стоимости методов оценки. Как было отмечено ранее, последнее является особенно важным в контексте реализации в Российской Федерации.

– *Информация о потенциальном риске*: сведения о потенциальном риске, создаваемом зданиями, должны быть доступными для населения, например, как в Японии и в некоторых городах штата Калифорния.

– *Повышение осведомленности общества*: крайне важно объяснить не техническим специалистам риски, связанные с сейсмическими явлениями, ясным и простым образом. К примеру, в Италии класс сейсмостойкости используется для описания уровня риска здания [21], а закон Новой Зеландии о строительстве использует процент от требований норм для нового строительства (*% new building standard, NBS*) для обозначения сейсмического риска [1].

2.2. Обмен знаниями

Федеральные и региональные органы власти могут воспользоваться техническими знаниями и поддержкой экспертов в области оценки сейсмостойкости и сейсмоусиления. Кроме того, обмен информацией на региональном, национальном и международном уровнях является важным механизмом, с помощью которого развивается данная область знаний.

– *Инструменты принятия решений*: например, Индия, Япония [10] и Новая Зеландия [1] разработали инструменты для принятия решений по сейсмоусилению, включающие в себя технико-экономическую оценку. Разработка нормативного документа для принятия решений по сейсмоусилению, позволяющему провести экономическую оценку различных вариантов сейсмоусиления, поможет исполнительной власти определить наиболее оптимальный план сейсмоусиления, а собственникам зданий – более эффективно отреагировать на него.

– *Расширение партнерства государственного и частного секторов*: партнерство с частным сектором (проектно-изыскательские организации, строительные компании) и академическими сообществами может быть бесценным для расширения базы знаний конкретного региона, просвещения общественности и повышения уровня технической подготовки. В Турции процедуры сейсмической оценки в рамках закона о городском преобразовании были разработаны совместно сотрудниками министерства и учеными в этой области [30]. Такие партнерства также были важной частью политики сейсмоусиления в Иране [31]. В США город Сизтл в партнерстве с некоммерческой организацией разработал стратегии финансирования для своей программы сейсмоусиления. Кроме того, большинство комитетов по нормативным документам в США включают экспертов как из научных кругов, так и из практикующих инженеров.

– *Использование местного опыта*: никто не понимает риск для конкретного региона лучше, чем само общество данного региона. К примеру, в Италии Департамент гражданской защиты информирует население о сейсмическом риске, риске наводнений и оползней в рамках дней информирования населения под названием «Я не рискую» [32]. Кроме того, знания одних регионов могут быть полезны другим, сталкивающимся с аналогичными рисками, особенно тем, у которых нет ресурсов для самостоятельной разработки политики снижения сейсмического риска. В США мандат Сан-Франциско на сейсмоусиление зданий с гибкими этажами повлиял на принятие аналогичного мандата в других городах Калифорнии. Более того, локальные знания могут повлиять на общую политику. Например, стандарты сейсмоусиления зданий с гибкими этажами в г. Фремонт легли в основу нормативного документа *IEBC* 2003 г. Можно также отметить опыт международной консультативной деятельности на примере Румынии, которая обратилась к Японии за технической помощью в своей программе сейсмоусиления [33].

2.3. Установка приоритетов сейсмоусиления

Традиционно, наиболее уязвимые здания определяются исходя из конструктивного типа и материалов, например, здания из неармированной кладки считаются одними из наиболее уязвимых [34]. Помимо решения проблем наиболее уязвимых зданий, политика сейсмоусиления может быть направлена на особо ответственные, «критические» здания, разрушение которых может представлять значительный риск для общественной безопасности.

– *Разработка национальной системы классификации конструктивных типов зданий*: к примеру, в базе данных FEMA Hazus рассмотрено 16 конструктивных типов зданий, нормы ASCE 41-17 описывают процедуру сейсмоусиления для 8 конструктивных типов зданий, а нормы ASCE 7 предоставляют возможность для проектирования более 80 систем восприятия сейсмической нагрузки.

– *Определение приоритетов использования зданий*: в дополнение к классификации сейсмической уязвимости по конструктивному типу, важна также и классификация по функциональному назначению. Например, Национальный план Китая по снижению опасности землетрясений, иранская инициатива «*Doable Initiative*» и японский закон о содействии сейсмоусилению направлены на критически важные здания, такие как больницы и школы, и предусматривают обязательное сейсмоусиление.

– *Приоритет административных и общественных зданий*: крайне важным является сейсмоусиление административных и общественных зданий (например, индийское национальное руководство по борьбе со стихийными бедствиями по сейсмическому переоснащению аварийных зданий и сооружений и стамбульский проект по снижению сейсмических рисков и обеспечению готовности к чрезвычайным ситуациям в Турции). В США президентский указ [35] рекомендует усиливать правительственные здания, а в Сан-Франциско уже усилено более 100 общественных зданий.

2.4. Реализация политики сейсмоусиления

Возможно, самым сложным этапом процесса сейсмоусиления является его непосредственная реализация. Даже при наличии строгой нормативной базы, ее соблюдение не всегда обеспечивается. Тем не менее, наличие финансовой поддержки со стороны государства может улучшить данную статистику. Еще одно решение, это совместить сейсмоусиления с другими типами реновации и реконструкции, за которые собственник здания готов платить. К примеру, в США здания, которые получают повреждения при землетрясении, а также вновь возводимые здания являются объектами обязательного сейсмоусиления.

– *Финансовая поддержка*: некоторые страны предлагают финансовую поддержку для добровольного сейсмоусиления жилых зданий, например, система субсидий в Японии [10] и налоговое возмещение «*Sisma-bonus*» в Италии [21], или государственные фонды для обязательного сейсмоусиления, как в Китае [16]. Финансовая поддержка и стимулы могут помочь собственникам зданий в реализации политики. Например, Япония предоставила субсидии собственникам зданий на оценку сейсмостойкости и сейсмоусиление, что позволило обеспечить соответствие запланированным показателям на каждом этапе [10].

– *Унифицированные процедуры сейсмоусиления*. Отчасти причина того, что сейсмоусиление является такой дорогостоящей задачей, заключается в том, что оно уникально для каждого здания. В Китае здания усиливаются на основе государственных планов и бюджетов, которые экономят время и деньги собственников зданий при разработке проектной документации на сейсмоусиление и подаче заявок для получения разрешения на строительство [16]. Аналогичные усилия по стандартизации проектной документации также могут быть применены в России.

– *Провоцирующие факторы*: сейсмоусиление может быть более эффективно в сочетании с другим уже осуществляемым видом деятельности. Например, предусматривает, что конструктивные изменения здания, такие как расширение существующих или добавление новых комнат, являются провоцирующим фактором сейсмоусиления. Точно так же в США изменения функционального назначения здания могут инициировать процесс сейсмоусиления [36]. Один из способов упростить данный процесс – требовать проведения оценки сейсмостойкости при подаче заявки на получение разрешения на реконструкцию и реновацию в составе проектной документации. Закон Новой Зеландии о строительстве 2016 г. поручил территориальным властям определить процедуры, с помощью которых необходимо применять стандарты и требования сейсмоусиления. Увязка с действующими процедурами поможет более эффективно использовать уже вложенные инвестиции, вместо дополнительных специализированных усилий на реализацию политики сейсмоусиления.

– *Интеграция с другими целями*: в Китае [16] и Италии [23] сейсмоусиление проводится в сочетании с энергоэффективной модернизацией. Финансирование по программе *Property Assessed Clean Energy (PACE)* в США было распространено на сейсмоусиление коммерческой недвижимости в Калифорнии, Орегоне и Юте [37] в попытке стимулировать сейсмическую безопасность в сочетании с устойчивым развитием.

2.5. Мониторинг эффективности реализации политики сейсмоусиления

После разработки политики сейсмоусиления важно убедиться, что она оказывает желаемый эффект, достигает поставленных целей и может ответить на следующие вопросы:

- 1) снизился ли сейсмический риск?
- 2) можем ли мы обоснованно предположить, что количество смертей, травм или экономического ущерба уменьшилось?

Анализ опыта других стран, показывает, что постоянный мониторинг эффективности реализации политики сейсмоусиления является ее необходимым атрибутом.

– *Мониторинг и оценка эффективности*: регулярный мониторинг и оценка эффективности реализации политики сейсмоусиления необходимы для увеличения ее объемов и качественной модернизации в будущем. Помимо сбора информации в момент подачи заявлений на получение разрешения на строительство или завершения работ по сейсмоусилению, существуют и другие методы сбора соответствующей информации. Например, в Японии регулярно проводятся обследования для сбора информации о сооружениях, оценки воздействий и недостатков и соответствующего обновления политики [10]. Обеспечение надлежащего функционирования жилого фонда имеет неопределимое значение. Турция ввела меры по контролю качества строительства с оценкой, которая отвечает на вопрос: «Действительно ли здания соответствуют тому уровню, который заявлен их проектами?» [30].

– *Целостный подход*: следует иметь в виду, что обрушение здания может иметь значительные последствия не только для лиц, проживающих в нем, но и для тех, кто находится рядом, в дополнение к другим кумулятивным последствиям разрушений в районе и населенном пункте в целом. Любая инициатива, стремящаяся снизить риск, должна учитывать какие географические или демографические районы города или региона должны быть усилены в первую очередь, исходя из потенциального ущерба от возможного землетрясения. Японский закон 2005 г. о содействии сейсмоусилению определяет аварийные маршруты и механизмы эвакуации, характерные для различных уровней сейсмической опасности; на всем протяжении этих маршрутов должно быть обеспечено эффективное сейсмоусиление всех потенциально опасных объектов и реализована необходимая инфраструктура. В Турции наиболее небезопасные здания подлежат сносу, а правительство оказывает помощь в аренде жилья переселяемым жителям [30]. США добились больших успехов в моделировании сценариев, помогающих визуализировать воздействие на

строительные объекты рассматриваемого региона и подготовить основу для более эффективного планирования снижения рисков [38].

– *Обеспечение гарантий восстановления*: необходимо учитывать, что получение результатов реализации политики сейсмоусиления требует значительного времени, а также то, что усиление некоторых зданий будет нецелесообразно. Поэтому разработка эффективной политики сейсмоусиления должна быть подкреплена эффективными механизмами страхования от землетрясения. Механизм страхования может частично или полностью покрывать ремонт и восстановление поврежденных сооружений, что поможет снизить общий негативный эффект для региона и общества в целом. К примеру, в Турции действует обязательное страхование от землетрясений для жилых домов – Турецкий фонд страхования от катастроф (*TCIP*). Хотя такого рода жесткие требования могут и не подходить для всех районов Российской Федерации, они могли бы применяться в регионах с повышенным сейсмическим риском.

Заключение

В странах, где реализуется активная политика сейсмоусиления, таких как Япония, Италия и Новая Зеландия, количество обрушений и серьезно поврежденных зданий во время недавних землетрясений значительно меньше, чем можно было бы ожидать. Это позволяет сделать вывод о том, что улучшение качества сейсмического проектирования, включая сейсмоусиление, может оказать значительное влияние на работоспособность зданий во время землетрясения. Проведенный анализ позволяет предложить несколько рекомендаций для эффективной реализации политики снижения сейсмического риска. Предложенные рекомендации учитывают нелинейный и сложный механизм планирования снижения рисков и ключевые этапы процесса сейсмоусиления.

Во всех странах, рассматриваемых в настоящем исследовании, политика сейсмоусиления в основном направлена на наиболее уязвимые здания: каменную и саманную кладку, старые бетонные и деревянные каркасные здания и т.п. Помимо решения проблемы наиболее уязвимых зданий, политика так же, как правило, фокусируется на особо ответственных («критических») зданиях, разрушение которых представляет значительный риск для общественной безопасности. Определение приоритетности зданий существенно отличается в каждой стране, кроме выраженного консенсуса по поводу школ и больниц. Некоторые страны, например Япония, считают критическими здания, в которых одновременно находится большое количество людей, например, высотные офисные здания, универмаги и гостиницы, в то время как другие (Иран) могут рассматривать как критически важные объекты инфраструктуры, например, ядерные объекты. Важным направлением для будущих исследований является изучение и определение параметров для спектра мероприятий по сейсмоусилению, от минимальных требований (для зданий, представляющих наибольший риск) до максимального приложения (выход за пределы которого нецелесообразен).

Резюмируя анализ текущей политики снижения сейсмического риска в Российской Федерации, можно сделать вывод о необходимости серьезной модернизации и реорганизации основных принципов ее реализации, включая: 1) разработку нового поколения нормативных документов, регламентирующих методы расчета на сейсмические воздействия с учетом нелинейной работы материалов и повреждаемости сооружений и 2) разработку эффективных инструментов финансирования оценки сейсмостойкости и сейсмоусиления существующего жилого фонда.

Одним из важнейших вопросов политики снижения сейсмического риска является обеспечение соблюдения требований реализуемых механизмов, особенно в рамках добровольной политики сейсмоусиления, поскольку даже при обязательной политике не всегда возможно добиться полного соблюдения нормативных требований. Другой

проблемой является недостаточные знания о технико-экономической стороне сейсмоусиления. Стоимость сейсмоусиления существенно варьируется в разных странах, поэтому разработка соответствующей методологической базы является крайне важной задачей.

Список литературы

1. Egbelakin T., Wilkinson S., Ingham J. Economic impediments to successful seismic retrofitting decisions. *Structural Survey*. 2014, vol. 32, no. 5, pp. 449–466.
2. Coburn A.W., Spence R.J.S., Pomonis A. Factors determining human casualty levels in earthquakes: Mortality prediction in building collapse. *Earthquake Engineering, Tenth World Conference*. 1992.
3. Kenny C. Why do people die in earthquakes? The Costs, Benefits And Institutions Of Disaster Risk Reduction In Developing Countries. 2009. 114 p. doi: 10.1596/1813-9450-4823.
4. Holmes W.T. et al. Seismic Performance Objectives for Tall Buildings. 2008. 114 p.
5. Jaiswal K.S. et al. Estimating annualized earthquake losses for the conterminous United States. *Earthquake Spectra*. 2015, vol. 31, pp. 221–243. doi: 10.1193/010915EQS005M.
6. Georgescu E. S. et al. Seismic and energy renovation: A review of the code requirements and solutions in Italy and Romania. *Sustainability (Switzerland)*. 2018, vol. 10, no. 5, pp. 1561–1597. doi: 10.3390/su10051561.
7. Filippova O., Noy I. Earthquake-strengthening policy for commercial buildings in small-town New Zealand. *Disasters*. 2020, vol. 44, no. 1, pp. 179–204. doi: 10.1111/disa.12360.
8. Markhvida M., Baker J.W. Unification of seismic performance estimation and real estate investment analysis to model post-earthquake building repair decisions. *Earthquake Spectra*. 2018, vol. 34, no 4, pp. 1547–1555. doi: 10.1193/030118EQS048M.
9. Tomohiro H. The building center of Japan. Japan. 2013. 237 p.
10. World Bank. Converting disaster experience into a safer built environment: The case of Japan. 2018.
11. Ando S. Evaluation of the Policies for Seismic Retrofit of Buildings. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2012, vol. 6, no. 4, pp. 391–402. doi: 10.17265/1934-7359/2012.04.001.
12. Jaiswal K., Wald D.J. Creating a global building inventory for earthquake loss assessment and risk management. US Geological Survey open-file report-1160. 2008. 110 p.
13. Lee Preston B. et al. Updating the Costs of Compliance for California’s Hospital Seismic Safety Standards. 2019. 125 p.
14. Jacques C. C. et al. Resilience of the canterbury hospital system to the 2011 Christchurch earthquake. *Earthquake Spectra*. 2014, vol. 30, no 1, pp. 533–554. doi: 10.1193/032013EQS074M.
15. Hui T. The cost of compliance. San Francisco Apartment Association. 2017.
16. Pan P., Shan M. Seismic reinforcement policies for urban communities. *City and Disaster Reduction*. 2019, vol. 5, pp. 71–76.
17. Fiorentino G. et al. Damage patterns in the town of Amatrice after August 24th 2016 Central Italy earthquakes. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2018, vol. 16, no. 3, pp. 1399–1423. doi: 10.1007/s10518-017-0254-z.
18. Basaglia A. et al. Assessing community resilience, housing recovery and impact of mitigation strategies at the urban scale: a case study after the 2012 Northern Italy Earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2020, vol. 18, no. 13, pp. 6039–6074. doi: 10.1007/s10518-020-00919-8.
19. Pinto P. E., Franchin P. Eurocode 8: Assessment and retrofitting of buildings. 2011.
20. Dolce M. The Italian national seismic prevention program. *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*. Lisbon, Portugal. 2012. 24 p.

21. Cosenza E. et al. The Italian guidelines for seismic risk classification of constructions: technical principles and validation. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2018, vol. 16, no. 12, pp. 5905–5935. doi: 10.1007/s10518-018-0431-8.
22. Caterino N., Cosenza E. A multi-criteria approach for selecting the seismic retrofit intervention for an existing structure accounting for expected losses and tax incentives in Italy. *Eng Struct*. 2018, vol. 174, pp. 1085–1100. doi: 10.1016/j.engstruct.2018.07.090.
23. Formisano A., Vaiano G., Fabbrocino F. A seismic-energetic-economic combined procedure for retrofitting residential buildings: A case study in the Province of Avellino (Italy). *AIP Conference Proceedings*. 2019. doi: 10.1063/1.5114435.
24. Канторович Л.В., Кейлис-Борок В.И., Молчан Г.И. Сейсмический риск и принципы сейсмического районирования // *Вычислительная сейсмология*. 1974. № 6. С. 3–20.
25. Абаев З., Шилдкамп М., Валиев А. Определение сейсмических сил в зданиях со стенами из природного камня в ФДР Непал, Российской Федерации и Республике Таджикистан // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2022. № 6. С. 18–45. doi: 10.37153/2618-9283-2022-6-18-45.
26. О мониторинге технического состояния жилых домов на территории города Москвы: Постановление Правительства 29.07.2003 № 619 «О проекте закона города Москвы». Правительство Москвы. 2003.
27. Charles A. Kircher. Near-Real-Time Loss Estimation Using Hazus and Shakemap Data. *SMIP03 Seminar Proceedings*. 2003.
28. FEMA. Hazus [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/hazus> (дата обращения: 14.05.2023).
29. Zhang Y. et al. Review of Seismic Risk Mitigation Policies in Earthquake-Prone Countries: Lessons for Earthquake Resilience in the United States. *Journal of Earthquake Engineering*. 2022, vol. 26, no. 12, pp. 6208–6235. doi: 10.1080/13632469.2021.1911889.
30. Gunes O. Turkey's grand challenge: Disaster-proof building inventory within 20 years. *Case Studies in Construction Materials*. 2015, vol. 2, pp. 18–34. doi: 10.1016/j.cscm.2014.12.003.
31. Ghafory-Ashtiany M., Jafari M. H., Tehranizadeh M. Earthquake hazard mitigation achievement in Iran. *12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand. 2000.
32. Protezione Civile (Dipartimento della Protezione Civile P. del C. dei M). Seismic risk [Электронный ресурс]. URL: <https://rischi.protezionecivile.gov.it/en/seismic-0/> (дата обращения: 14.05.2023).
33. Vacareanu R. et al. Seismic Vulnerability of RC Buildings in Bucharest, Romania. *13th World Conference on Earthquake Engineering*. 2004.
34. Turner F. Revisiting earthquake lessons - Unreinforced masonry buildings [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seaoc.org/news/486967/Revisiting-Earthquake-Lessons%2014Unreinforced-Masonry-Buildings.htm> (дата обращения: 14.05.2023).
35. John R. Hayes J., Steven L. McCabe, Michael Mahoney. Implementation Guidelines for Executive Order 13717: Establishing a Federal Earthquake Risk Management Standard. USA. 2017. 57 p.
36. Searer G.R., Rosenboom O. Seismic Repercussions-IEBC Code Requirements Regarding Additions and Alterations. *10th National Conference on Earthquake Engineering (10NCEE)*. Anchorage, Alaska. 2014.
37. McKernon W. From solar to seismic: The rise of C-PACE [Электронный ресурс]. URL: <https://cleanfund.com/> (дата обращения: 01.05.2023).
38. Kenneth W. Hudnut et al. The HayWired earthquake scenario – We can outsmart disaster. 2018. doi.org/10.3133/fs20183016.

References

1. Egbelakin T., Wilkinson S., Ingham J. Economic impediments to successful seismic retrofitting decisions. *Structural Survey*. 2014, vol. 32, no. 5, pp. 449–466.
2. Coburn A.W., Spence R.J.S., Pomonis A. Factors determining human casualty levels in earthquakes: Mortality prediction in building collapse. *Earthquake Engineering, Tenth World Conference*. 1992.
3. Kenny C. Why do people die in earthquakes? The Costs, Benefits And Institutions Of Disaster Risk Reduction In Developing Countries. 2009. 114 p. doi: 10.1596/1813-9450-4823.
4. Holmes W.T. et al. Seismic Performance Objectives for Tall Buildings. 2008. 114 p.
5. Jaiswal K.S. et al. Estimating annualized earthquake losses for the conterminous United States. *Earthquake Spectra*. 2015, vol. 31, pp. 221–243. doi: 10.1193/010915EQS005M.
6. Georgescu E. S. et al. Seismic and energy renovation: A review of the code requirements and solutions in Italy and Romania. *Sustainability (Switzerland)*. 2018, vol. 10, no. 5, pp. 1561–1597. doi: 10.3390/su10051561.
7. Filippova O., Noy I. Earthquake-strengthening policy for commercial buildings in small-town New Zealand. *Disasters*. 2020, vol. 44, no. 1, pp. 179–204. doi: 10.1111/disa.12360.
8. Markhvida M., Baker J.W. Unification of seismic performance estimation and real estate investment analysis to model post-earthquake building repair decisions. *Earthquake Spectra*. 2018, vol. 34, no 4, pp. 1547–1555. doi: 10.1193/030118EQS048M.
9. Tomohiro H. The building center of Japan. *Japan*. 2013. 237 p.
10. World Bank. Converting disaster experience into a safer built environment: The case of Japan. 2018.
11. Ando S. Evaluation of the Policies for Seismic Retrofit of Buildings. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2012, vol. 6, no. 4, pp. 391–402. doi: 10.17265/1934-7359/2012.04.001.
12. Jaiswal K., Wald D.J. Creating a global building inventory for earthquake loss assessment and risk management. US Geological Survey open-file report-1160. 2008. 110 p.
13. Lee Preston B. et al. Updating the Costs of Compliance for California’s Hospital Seismic Safety Standards. 2019. 125 p.
14. Jacques C.C. et al. Resilience of the canterbury hospital system to the 2011 Christchurch earthquake. *Earthquake Spectra*. 2014, vol. 30, no 1, pp. 533–554. doi: 10.1193/032013EQS074M.
15. Hui T. The cost of compliance. San Francisco Apartment Association. 2017.
16. Pan P., Shan M. Seismic reinforcement policies for urban communities. *City and Disaster Reduction*. 2019, vol. 5, pp. 71–76.
17. Fiorentino G. et al. Damage patterns in the town of Amatrice after August 24th 2016 Central Italy earthquakes. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2018, vol. 16, no. 3, pp. 1399–1423. doi: 10.1007/s10518-017-0254-z.
18. Basaglia A. et al. Assessing community resilience, housing recovery and impact of mitigation strategies at the urban scale: a case study after the 2012 Northern Italy Earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2020, vol. 18, no. 13, pp. 6039–6074. doi: 10.1007/s10518-020-00919-8.
19. Pinto P. E., Franchin P. Eurocode 8: Assessment and retrofitting of buildings. 2011.
20. Dolce M. The Italian national seismic prevention program. *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*. Lisbon, Portugal. 2012. 24 p.
21. Cosenza E. et al. The Italian guidelines for seismic risk classification of constructions: technical principles and validation. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2018, vol. 16, no. 12, pp. 5905–5935. doi: 10.1007/s10518-018-0431-8.
22. Caterino N., Cosenza E. A multi-criteria approach for selecting the seismic retrofit intervention for an existing structure accounting for expected losses and tax incentives in Italy. *Eng Struct*. 2018, vol. 174, pp. 1085–1100. doi: 10.1016/j.engstruct.2018.07.090.
23. Formisano A., Vaiano G., Fabbrocino F. A seismic-energetic-economic combined procedure for retrofitting residential buildings: A case study in the Province of Avellino (Italy). *AIP Conference Proceedings*. 2019. doi: 10.1063/1.5114435.
24. Kantorovich L.V., Keylis-Borok V.I., Molchan G.I. Seismic risk and seismic zoning principles.

- Vychislitel'naya Seysmologiya*. 1974, no. 6, pp. 3–20. (In Russian)
25. Abaev Z., Schildkamp M., Valiev A. Base shear seismic demand comparison for buildings with natural stone walls in Nepal, Russia and Tajikistan. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2022, no. 6, pp. 18–45. doi: 10.37153/2618-9283-2022-6-18-45 (In Russian)
 26. The government of Moscow. Government Ordinance on the draft law of the city of Moscow “On monitoring the technical condition of residential buildings in the city of Moscow”: 619. 2021 (In Russian)
 27. Charles A. Kircher. Near-Real-Time Loss Estimation Using Hazus and Shakemap Data. SMIP03 Seminar Proceedings. 2003.
 28. FEMA. Hazus [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/hazus> (дата обращения: 14.05.2023).
 29. Zhang Y. et al. Review of Seismic Risk Mitigation Policies in Earthquake-Prone Countries: Lessons for Earthquake Resilience in the United States. *Journal of Earthquake Engineering*. 2022, vol. 26, no. 12, pp. 6208–6235. doi: 10.1080/13632469.2021.1911889.
 30. Gunes O. Turkey’s grand challenge: Disaster-proof building inventory within 20 years. *Case Studies in Construction Materials*. 2015, vol. 2, pp. 18–34. doi: 10.1016/j.cscm.2014.12.003.
 31. Ghafory-Ashtiani M., Jafari M. H., Tehranizadeh M. Earthquake hazard mitigation achievement in Iran. *12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand. 2000.
 32. Protezione Civile (Dipartimento della Protezione Civile P. del C. dei M). Seismic risk [Электронный ресурс]. URL: <https://rischi.protezionecivile.gov.it/en/seismic-0/> (дата обращения: 14.05.2023).
 33. Vacareanu R. et al. Seismic Vulnerability of RC Buildings in Bucharest, Romania. *13th World Conference on Earthquake Engineering*. 2004.
 34. Turner F. Revisiting earthquake lessons - Unreinforced masonry buildings [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seaoc.org/news/486967/Revisiting-Earthquake-Lessons%2014Unreinforced-Masonry-Buildings.htm> (дата обращения: 14.05.2023).
 35. John R. Hayes J., Steven L. McCabe, Michael Mahoney. Implementation Guidelines for Executive Order 13717: Establishing a Federal Earthquake Risk Management Standard. USA. 2017. 57 p.
 36. Searer G.R., Rosenboom O. Seismic Repercussions-IEBC Code Requirements Regarding Additions and Alterations. *10th National Conference on Earthquake Engineering (10NCEE)*. Anchorage, Alaska. 2014.
 37. McKernon W. From solar to seismic: The rise of C-PACE [Электронный ресурс]. URL: <https://cleanfund.com/> (дата обращения: 01.05.2023).
 38. Kenneth W. Hudnut et al. The HayWired earthquake scenario – We can outsmart disaster. 2018. doi.org/10.3133/fs20183016.

Сведения об авторах / Information about the authors

Заурбек Камболатович Абаев, к.т.н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»; 362021, Республика Северная Осетия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44; РИНЦ ID: 756761, Scopus ID: 57194205721; zaurbek_a@yahoo.com.

Zaurbek K. Abaev, PhD, Associate Professor, Department of Civil Engineering. FSFEI HE North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), NCIMM (STU); 362021, Republic of North Ossetia - Alania, Vladikavkaz, Nikolaeva st. 44; RISC ID: 756761, Scopus ID: 57194205721; zaurbek_a@yahoo.com.

Азамат Джониевич Валиев, аспирант. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-

металлургический институт (государственный технологический университет)», ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»; 362021, Республика Северная Осетия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44; РИНЦ ID: 1124556; azamat99valiev@gmail.com.

Azamat D. Valiev, PhD student; Department of Civil Engineering. North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), FSFEI HE NCIMM (STU); 2403 VT, The Netherlands, Alphen aan den Rijn, Distelstraat 5; 362021, Republic of North Ossetia - Alania, Vladikavkaz, Nikolaeva st. 44; RISC ID: 1124556; azamat99valiev@gmail.com.

Марат Юрьевич Кодзаев, к.т.н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»; 362021, Республика Северная Осетия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44; РИНЦ ID: 7389-8508; m_kodzaev@mail.ru

Marat Yu. Kodzaev, PhD, Associate Professor, Department of Civil Engineering. North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), FSFEI HE NCIMM (STU); 362021, Republic of North Ossetia - Alania, Vladikavkaz, Nikolaeva st. 44; RISC ID: 7389-8508, m_kodzaev@mail.ru

Вклад авторов:

Абаев З.К. – основная идея, сбор и обработка материала, подготовка структуры статьи и научное редактирование текста.

Валиев А.Д. – сбор и обработка материала, научное редактирование текста статьи.

Кодзаев М.Ю. – научное редактирование текста статьи.

Автор, ответственный за переписку: Валиев Азамат Джониевич, azamat99valiev@gmail.com

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Zaurbek K. Abaev – main idea, collection and processing of material, preparation of the structure and scientific editing of the manuscript.

Azamat D. Valiev – collection and processing of material, scientific editing of the manuscript.

Marat Yu. Kodzaev – scientific editing of the manuscript.

Corresponding author: Azamat Valiev, azamat99valiev@gmail.com

The authors declare the absence of a conflict of interest.