Российский сейсмологический журнал
2025. Т. 7, № 4. С. 7–16. https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.4.01. EDN: CRLAWM

УДК 550.34.033, 699.841

Цифровая платформа контроля сейсмостойкости и управления безопасностью городской застройки на сейсмически активных территориях Российской Федерации

© 2025 г. В.В. Гурьев[1], Ю.А. Виноградов[2], В.М. Дорофеев[1], Е.А. Чилибьева[1]

[1]*ФГБУ ЦНИИП Минстроя России*, *г. Москва*, *Россия*; [2]*ФИЦ ЕГС РАН*, *г. Обнинск*, *Россия*

Поступила в редакцию 09.10.2025 г.

Аннотация. Более трети субъектов Российской Федерации расположены на сейсмоопасных территориях, уровень урбанизации которых превышает 70%, особенно в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. Отличительной особенностью сейсмоопасных территорий являются постоянные землетрясения слабой интенсивности, не всегда ощущаемые и регистрируемые только приборами. Постоянные колебания конструкций различной интенсивности и продолжительности являются характерной причиной ускоренного «старения» многоквартирных домов вследствие накопления повреждений, деградации структуры материала конструкций, их усталостной прочности, приводящих к снижению (дефициту) сейсмостойкости строительных объектов и возрастанию рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. По экспертным оценкам, порядка 200 *млн. м*^{2} многоквартирных домов типовой застройки имеют дефицит сейсмостойкости и около 26 *млн. м*^{2} находятся в ограниченно работоспособном состоянии. Учитывая непредсказуемость возникновения сильных землетрясений, для обеспечения градостроительной безопасности необходимы предупредительные мероприятия, основанные на объективных сейсмологических и инженерно-сейсмометрических данных в реальном времени о сейсмических событиях и реакции зданий на эти события. С этой целью разработана Единая цифровая платформа, представляющая собой информационную систему с распределёнными базами данных, включающую сведения о классе сейсмостойкости зданий городской застройки и уровне сейсмической опасности для этих зданий. Описание принципов работы цифровой платформы приводится в данной работе.

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмоопасная территория, сейсмостойкость, землетрясение, информационная система, городская застройка, цифровая платформа, безопасность.

Для цитирования: Гурьев В.В., Виноградов Ю.А., Дорофеев В.М., Чилибьева Е.А. Цифровая платформа контроля сейсмостойкости и управления безопасностью городской застройки на сейсмически активных территориях Российской Федерации // Российский сейсмологический журнал. – 2025. – Т. 7, № 4. – С. 7–16. – DOI: https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.4.01. – EDN: CRLAWM

Введение

Более трети субъектов Российской Федерации расположены на сейсмоопасных территориях, уровень урбанизации которых превышает 70%, особенно в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах (табл. 1).

В сложившейся городской застройке этих территорий доминирует жилищный фонд, сформированный как из современных многоквартирных домов (МКД), так и МКД типовых серий 1960–1980-х гг. постройки. Общая площадь таких домов превышает 500 *млн. м*^{2}, и в них проживает основная часть населения данных регионов. По экспертным оценкам, на эти МКД приходится порядка 200 *млн. м*^{2} зданий с дефицитом сейсмостойкости и около 26 *млн. м*^{2}, находящихся в ограниченно работоспособном состоянии, и именно они станут главной угрозой для жизни и здоровья населения в случае возникновения сильных землетрясений.

Отличительной особенностью сейсмоопасных территорий являются постоянные землетрясения слабой интенсивности, не всегда ощущаемые и регистрируемые только приборами (рис. 1).

Применительно к застроенной территории сейсмические воздействия представляют собой пространственную совокупность

Таблица 1. Уровень урбанизации сейсмоопасных территорий Российской Федерации [*Дмитриев*, *Гурьев*, 2025]

Федеральные округа	Количество субъектов РФ, (*ед.*) (Постановление Правительства РФ от 30.12.2017 № 1710)	Численность населения в городских агломерациях, (*тыс. чел.*)	Усреднённая доля городского населения в общей численности населения федерального округа, (%)	Площадь федерального округа, (*тыс. км*^{2})	По отношению к общей площади Российской Федерации, (%)
Южный федеральный округ	4	61–1121	62.7	447.8	2.6
Северо-Кавказский федеральный округ	7	69–760	50.1	170.44	1.03
Сибирский федеральный округ	7	65–1197	74.3	4361.7	25.66
Дальневосточный федеральный округ	11	69–616	72.9	6952.56	40.9
Итого:	29	66–924	65	11932.5	70.19

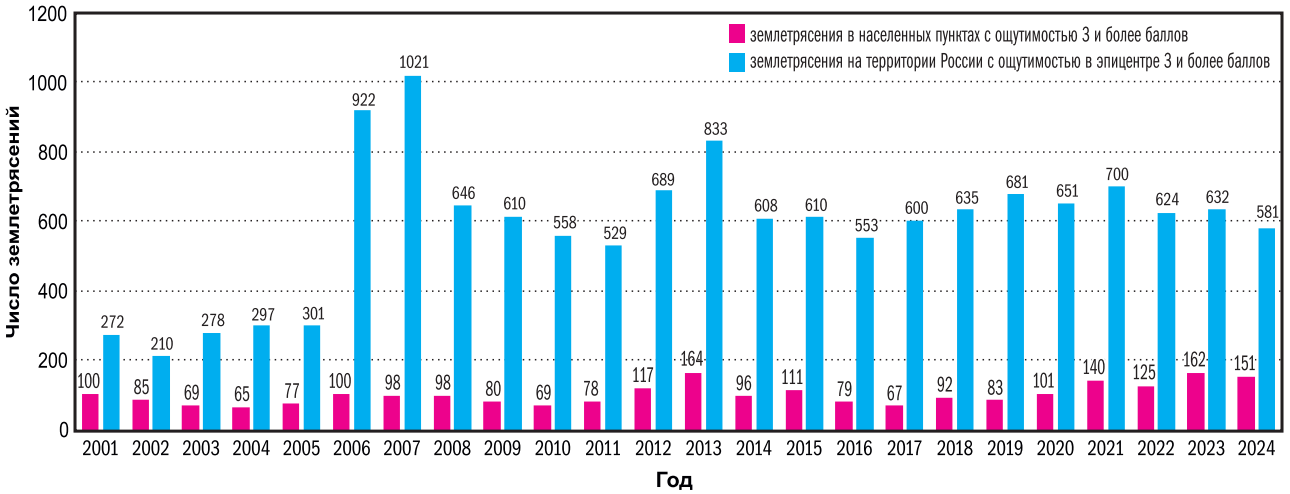

Рис. 1. Статистика слабых землетрясений на территории Российской Федерации за период 2001–2024 гг. по данным ФИЦ ЕГС РАН [*База данных* ..., 2025]

горизонтальных и вертикальных колебательных движений грунта с различными спектрами, интенсивностью, продолжительностью и периодичностью возникновения, вызванными природными или техногенными факторами и вызывающими ответную реакцию зданий и сооружений, проявляющуюся в смещении или деформации колеблющихся конструкций. Типичные записи колебаний строительных конструкций представлены на рис. 2.

Постоянные колебания конструкций различной интенсивности и продолжительности являются характерной причиной ускоренного «старения» МКД вследствие накопления повреждений, деградации структуры материала конструкций, их усталостной прочности, приводящих к снижению (увеличению дефицита) сейсмостойкости строительных объектов и возрастанию рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

В связи с изложенным, а также учитывая непредсказуемость возникновения сильных землетрясений, для обеспечения градостроительной безопасности урбанизированных территорий и предотвращения катастрофических последствий необходимы предупредительные мероприятия, основанные на объективных сейсмологических и инженерно-сейсмометрических данных

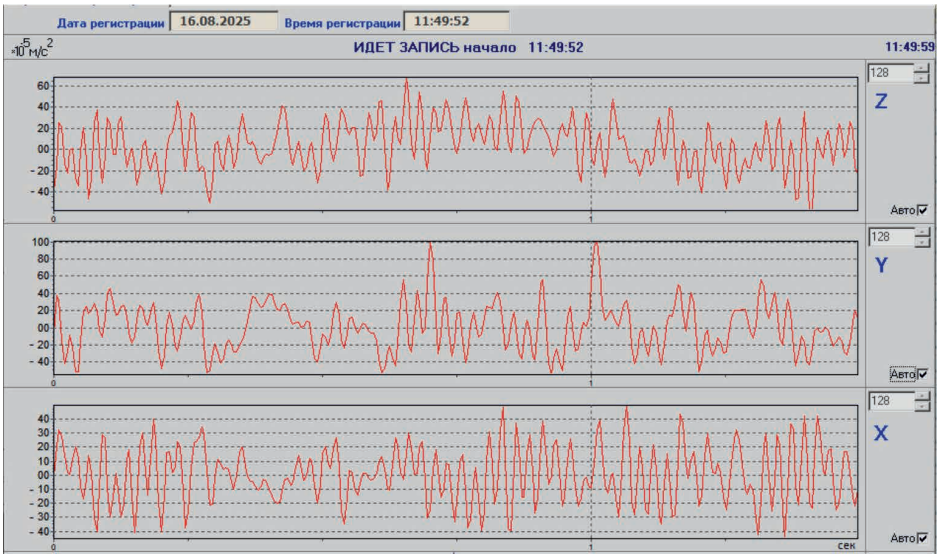

Рис. 2. Записи колебаний (акселерограммы) основания колонны здания Центра водных видов спорта (г. Южно-Сахалинск, 18 мая 2025 г.) при фоновой сейсмичности

в реальном времени о сейсмических событиях и реакции зданий на эти события с выявлением зон уязвимости городских территорий, возможности проведения предиктивного анализа и оперативной передачи информации в центры принятия решений для осуществления превентивных мероприятий по устранению дефицита сейсмостойкости и снижению аварийности городской застройки.

Описание системы

Эффективность формирования и передачи вышеуказанной информации повышается при взаимодействии сети цифровых инженерно-сейсмометрических станций (ЦИСС), оборудованных в соответствии с [*ГОСТ 32019-2012*, 2012; *СП 330.1325800.2017*, 2017] на типовых зданиях-представителях в сейсмоопасных регионах с сетью региональных сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН, объединённых в единую цифровую платформу, что позволит осуществлять в режиме реального времени оценку остаточной сейсмостойкости и категорирование МКД, а также оптимизировать затраты и повысить экономичность превентивных мероприятий по подготовке и обеспечению устойчивости городской застройки к опасным природным воздействиям.

В настоящее время для этой платформы разработана информационная система управления безопасностью городской застройки [*Гурьев и др.*, 2025], основными целями функционирования которой являются:

– обеспечение органов государственной власти прогностической информацией о состоянии и степени разрушаемости строительных объектов, расположенных на урбанизированных сейсмических территориях Российской Федерации, включая обеспечение в режиме реального времени постоянного контроля сейсмостойкости объектов жилищной сферы, предотвращение их перехода в ограниченно работоспособное и аварийное состояния;

– подготовка предложений по превентивным строительным мероприятиям сохранения жилищного фонда сейсмических территорий Российской Федерации, включая классифицирование МКД в рамках существующих адресных перечней зданий в субъектах РФ по степени их сейсмической безопасности с разделением по группам: 1 – подлежащие сносу и расселению, 2 – подлежащие антисейсмическому усилению в рамках реновации и капремонта без отселения и с отселением, 3 – подлежащие дополнительному наблюдению (для уточнения состояния и обеспечения безопасности);

– оперативный сбор и доведение информации о последствиях сильных землетрясений на территории Российской Федерации до органов государственной власти, включая установление макросейсмической интенсивности этих землетрясений, а также выделение в пределах исследуемых территорий (городов, поселений) границ зон инженерно-сейсмологических отклонений от фоновой сейсмичности;

– подготовка предложений по снижению последствий сильных землетрясений,

восстановлению, сейсмоусилению и сохранению объектов жилищной сферы на урбанизированных территориях Российской Федерации, включая обобщение и анализ результатов инженерно-сейсмологических изысканий и данных инженерно-сейсмометрических наблюдений за зданиями для картирования и зонирования природно-техногенных опасностей – основы оценки сейсмического риска городской застройки;

– обеспечение научных и проектных организаций инструментальной информацией о поведении зданий, сооружений и прилегающего грунта при реальных землетрясениях для развития методов нормативного расчёта и проектирования сейсмобезопасных объектов городского фонда как при новом строительстве, так и при эксплуатации существующих зданий на территориях Российской Федерации с природной и техногенной сейсмичностью.

Иерархическая структура информационной системы включает три уровня: федеральный, федерального округа и уровень субъекта федерации с сетью ЦИСС и станций ФИЦ ЕГС РАН, размещённых на сейсмоопасных урбанизированных территориях, обеспечивающих сбор первичной информации. Она представляет собой информационную систему с распределенными базами данных, включающих сведения о классе сейсмостойкости зданий городской застройки (рис.3) и уровне сейсмической опасности для этих зданий, территориально расположенными и формируемыми уполномоченными службами субъектов Российской Федерации с помощью сети ЦИСС и станций ФИЦ ЕГС РАН. Обмен данными между информационной системой и станциями ФИЦ ЕГС РАН осуществляется по специально устанавливаемому протоколу.

Она представляет собой информационную систему с распределёнными базами данных, включающими сведения о классе сейсмостойкости зданий городской застройки и уровне сейсмической опасности для этих зданий, территориально расположенными и формируемыми уполномоченными службами субъектов Российской Федерации с помощью сети ЦИСС и станций ФИЦ ЕГС РАН. Обмен данными между информационной системой и станциями ФИЦ ЕГС РАН осуществляется по специально устанавливаемому протоколу. Таким образом, первичной основой общей федеральной информационной системы являются региональные информационные системы урбанизированных городских застроек, основные принципы функционирования которых рассмотрены в работах [*Гурьев*, *Дорофеев*, 2020; *Гурьев и др.*, 2024].

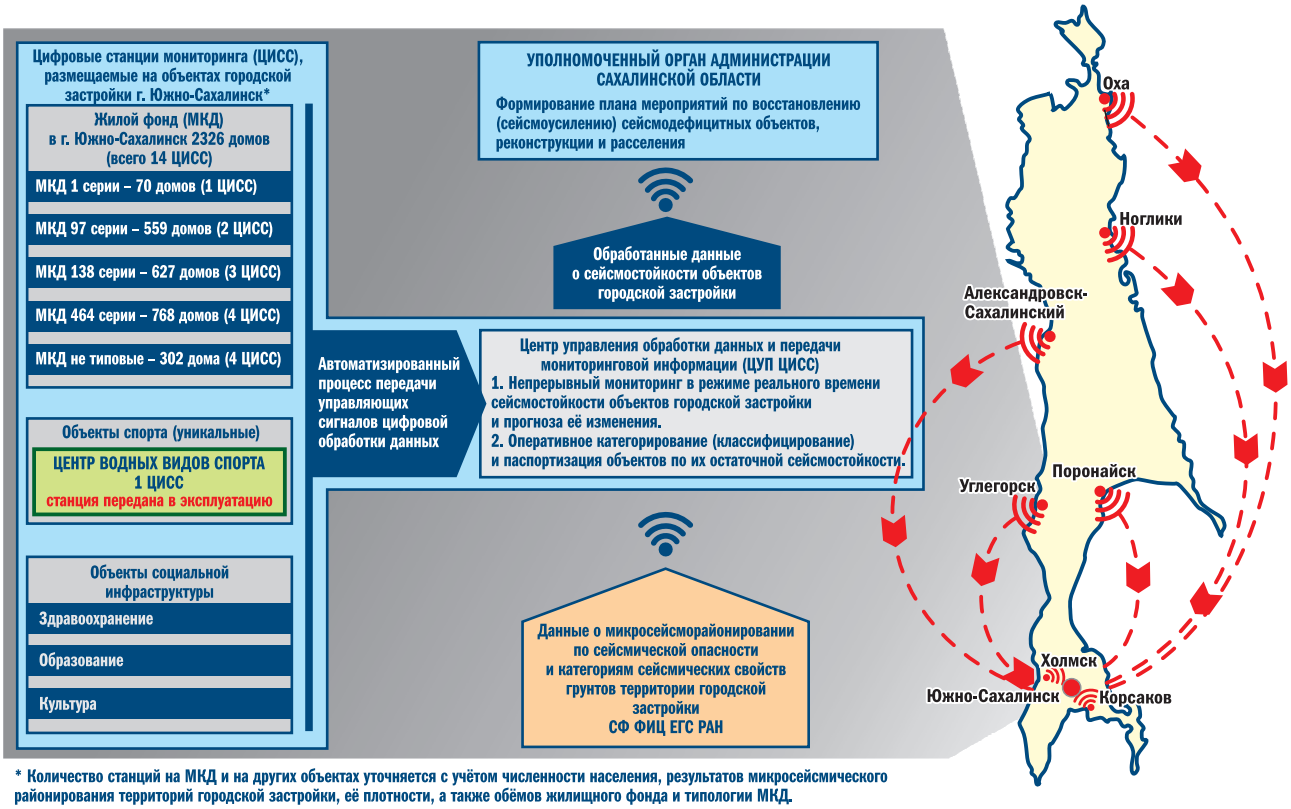

Рис. 3. Принципиальная структурно-функциональная схема Единой цифровой платформы

В рамках инфологической модели [*Круташов*, 1980] электронные базы информационных систем городов, как отмечалось в указанных выше работах, представлены в виде пяти информационных множеств:

– **А** (паспорта объектов) содержит строительно-техническую информацию об объектах; информацию о текущем состоянии объектов; информацию о сейсмостойкости сооружений и мероприятиях по устранению дефицита сейсмостойкости; категории прилегающего грунта;

– **Б** (станции) содержит информацию о наличии инженерно-сейсмометрических станций в городе и их параметрах: типе приборов, количестве датчиков и др.;

– **В** (землетрясения) содержит информацию о землетрясениях, произошедших в городе, и оценку макросейсмической интенсивности, вызванной этими землетрясениями;

– **Г** (описания повреждений объектов) содержит информацию о выявленных повреждениях зданий и сооружений города, перенёсших землетрясения;

– **Д** (зоны ВОЗ) содержит информацию об очаговых зонах землетрясений (зоны ВОЗ), из которых возникает опасность достижения землетрясениями макросейсмической интенсивности (по шкале MSK-64) 6 баллов и выше. Атрибуты этого информационного множества представлены в табл. 2.

Данные представленных информационных множеств могут быть эффективно использованы для прогноза последствий воздействия землетрясений заданной магнитуды, например, по методике [*Дорофеев*, *Денисов*, 2019], с целью снижения уровня потерь от таких последствий за счёт превентивных строительных мероприятий по своевременному снижению дефицита сейсмостойкости зданий застройки города. При этом при прогнозе последствий землетрясений представляется возможность учитывать как диапазон преобладающих частот, так и продолжительность колебаний, характерных для той или иной зоны ВОЗ. Сравнение же прогнозируемых последствий землетрясений с результатами обследования последствий реальных землетрясений в соответствии с [*СП 322.1325800.2017*, 2018] позволит усовершенствовать методику такого прогноза, причём значительно быстрее на основе более часто происходящих землетрясений меньшей интенсивности, и оперативно осуществлять поверочные расчёты остаточной сейсмостойкости строительных объектов.

Таблица 2. Атрибуты информационного множества Д (зоны ВОЗ)

Обозначение атрибута	Описание атрибута	Тип значений атрибута
Д1	Условное название зоны ВОЗ	Текст
Д2	Удалённость от города	Десятичное число, *км*
Д3	Максимальная магнитуда землетрясения этой зоны ВОЗ, которая использовалась при составлении карт общего сейсмического районирования	Десятичное число
Д4	Минимальная магнитуда землетрясения, которая может вызвать в городе сотрясения в 6 баллов по шкале MSK-64	Десятичное число
Д5	Глубина очага землетрясения этой зоны ВОЗ, которая использовалась в атрибуте Д3	Десятичное целое число, *км*
Д6	Глубина очага землетрясения этой зоны ВОЗ, которая использовалась в атрибуте Д4	Десятичное целое число, *км*
Д7	Дата, время, географические координаты (широта, долгота)	В формате Date/Time и десятичное число для значений координат эпицентра
Д8	Преобладающий частотный состав землетрясений этой очаговой зоны	Сочетание чисел вида *M–H*, где *M* – нижнее значение в *Гц* частоты (целое число), *H* – верхнее значение в *Гц* частоты (целое число)
Д9	Преобладающая длительность землетрясений этой очаговой зоны	Десятичное целое число, *с*
Д10	Прочие особенности зоны ВОЗ	Текст

Кроме перечисленного выше, цифровая платформа позволяет накапливать информацию для практической реализации двух основополагающих нормативных документов [*СП 442.1325800.2019*, 2019; *ГОСТ Р 34511-2018*, 2019], на основе которых возможен переход на новый этап развития сейсмостойкого строительства.

В настоящее время в сейсмостойком строительстве в практике проектирования в основном используется макросейсмическая шкала MSK-64, на основе которой построены карты как общего сейсмического районирования (ОСР), так и детального сейсмического районирования (ДСР) и микросейсморайонирования (МСР). Но эта шкала мало пригодна для решения инженерных задач современного строительного проектирования в диапазоне макросейсмической интенсивности, представляющем практическую пользу, поскольку она была разработана в прошлом столетии для сейсмически не усиленных объектов старой застройки, которых в настоящее время на урбанизированных сейсмоопасных территориях практически не осталось. Взамен была разработана новая шкала макросейсмической интенсивности МШИЗ-18 [*ГОСТ Р 34511-2018*, 2019], в основе которой для определения интенсивности произошедшего землетрясения используется оценка перехода любых зданий и сооружений из одного класса сейсмостойкости в другой [*СП 442.1325800.2019*, 2019]. Поэтому практически важно строить карты ОСР, ДСР и МСР по этой шкале макросейсмической интенсивности, что даст возможность и проектировщикам перейти на новый уровень проектирования сейсмостойких зданий и сооружений и ввести новые более совершенные и определённые критерии сейсмостойкости.

В этом случае основным критерием сейсмостойкости здания или сооружения становится проектирование объекта заданного класса сейсмостойкости при условиях: 1 – допустимого снижения его класса сейсмостойкости до заданной величины (в зависимости от ответственности объекта) при проектной макросейсмической интенсивности землетрясения; 2 – допустимого снижения его класса сейсмостойкости до заданной величины при реализации возможного афтершока в сроки, не позволяющие обеспечить усиление объекта до реализации этого события макросейсмической интенсивностью близкой к интенсивности ожидаемого землетрясения; 3 – допустимого снижения его класса сейсмостойкости до заданной величины при длительном (порядка 40–50 лет) отсутствии землетрясений проектной макросейсмической интенсивности.

Цифровая платформа позволяет также накапливать информацию для установления связи между энергетической характеристикой землетрясения (магнитудой) и макросейсмической интенсивностью землетрясения в городах на удалении от очага землетрясения. При этом следует помнить, что макросейсмическая интенсивность землетрясения в нормативном документе [*ГОСТ Р 34511-2018*, 2019] в математическом смысле является категорией, а магнитуда – величиной, поэтому связь между ними не может быть выражена непосредственно какой-либо формулой. Связь может быть установлена за счёт отнесения разных диапазонов изменения какой-либо величины, вычисленной на основе магнитуды, эпицентрального расстояния и глубины очага землетрясения, к тому или иному баллу шкалы макросейсмической интенсивности.

Модель сейсмического воздействия

На основе изложенного выше возможно оценить по-новому, с помощью информации, заложенной в рассматриваемую цифровую платформу, последствия реализации любого землетрясения макросейсмической интенсивностью вплоть до проектной интенсивности от различных очаговых зон ВОЗ на основе уже упомянутого алгоритма работы [*Дорофеев*, *Денисов*, 2019].

Для расчёта реакции зданий и сооружений на сейсмические воздействия на уровне теории надёжности необходимы статистические модели сейсмических воздействий в виде акселерограмм, как общие – в случае отсутствия достаточной сейсмологической информации, так и региональные – при её наличии, которые также можно строить на основе информации, хранящейся в рассматриваемой цифровой платформе.

Как было показано в [*Дорофеев*, 1988; *Dorofeyev et al.*, 1994], для надёжного расчёта конструкций применимы лишь статистические модели сейсмических воздействий, включая численные модели сейсмических воздействий (синтетические акселерограммы), которые пригодны для расчётов конструкций с использованием методов типа Монте-Карло.

Моделью сейсмического воздействия во временной области являются некоторые совокупности записей (акселерограмм). В качестве показателя надёжности модели выбирается вероятность p появления записи, не удовлетворяющей в статистическом смысле общей статистической модели сейсмических воздействий.

Для построения общей статистической модели сейсмических воздействий, основанной на совокупности N экспериментальных записей, получено выражение:

$$p = \sum_{i=1}^{n} p_i^* p_i = \sum_{i=1}^{n} {}_0N_i N ,$$

где p_i^* – вероятность того, что новая запись не будет удовлетворять модели, построенной по подмножеству N_i, при условии, что эта запись относится к подмножеству N_i; p_i – вероятность того, что новая запись относится к подмножеству N_i, которая приблизительно равна N_i/N.

Здесь для практических расчётов совокупность исходных N записей подразделена на n непересекающихся подмножеств N_1, N_2, ..., N_n, например, на подмножества записей 7-, 8- и 9-балльных землетрясений, а каждое из них – на более мелкие подмножества, учитывая эпицентральное расстояние, тип подвижки в очаге и др. Для каждого такого подмножества выделяется количество информативных записей ${}_0N_1$, ${}_0N_2$, ..., ${}_0N_n$. Процедура выделения информативных записей состоит в отделении от совокупности N_i записей одной из них, а на основе оставшихся N_i–1 записей строится статистическая модель сейсмических воздействий, затем проверяется, является ли в статистическом смысле отделённая запись реализацией этой модели или нет. Если отделённая запись не является реализацией модели, то такая запись информативна, так как она требует изменения модели. Отделяя последовательно от совокупности записей одну из них и проделывая каждый раз описанную выше процедуру, в результате устанавливается количество ${}_0N_i$ информативных записей для этой совокупности.

В работе [*Дорофеев и др.*, 1992] показана возможность построения общей модели сейсмических воздействий для практических расчётов строительных конструкций на примере одного подмножества исходных данных, характеризующегося максимальными значениями ускорений в диапазоне 100–200 *см/с*^{2} для дальней зоны землетрясений.

Выводы

Таким образом, цифровая платформа по существу является инструментом, обеспечивающим предупреждение и снижение рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, для управления градостроительной безопасностью субъектов Российской Федерации на урбанизированных сейсмоопасных территориях.

Технологические возможности этой платформы позволяют осуществить практическую реализацию задач в соответствии с Указами Президента Российской Федерации: «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» от 07.05.2024 г. № 309 (п. 4 «Комфортная и безопасная среда для жизни»: подпункт «г» – устойчивое сокращение непригодного для проживания жилищного фонда; п. 8 «Цифровая трансформация государственного и муниципального управления, экономики и социальной сферы»: подпункты «а», «б») и «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоёмких технологий» от 18.06.2024 г. № 529 (п. 19 «...технологии предупреждения и снижения рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, негативных социально-экономических последствий»), а также Перечнем поручений Президента Российской Федерации от 07.10.2022 г. № ПР-1883 (подпункт «а» п. 1).

Литература

База данных «*Землетрясения России*» [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2025]. – URL: http://eqru.gsras.ru/ (дата обращения 15.03.2025).

ГОСТ 32019-2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования и установки стационарных систем (станций) мониторинга. – Введ. 2014-01-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200100943

ГОСТ Р 34511-2018. Землетрясения. Макросейсмическая шкала интенсивности. – Введ. 2019-09-01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 23 с. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200163880

Гурьев В.В., *Дорофеев В.М.* О проблемах нормирования безопасности застроенных территорий в сейсмических районах // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году: Сборник научных трудов РААСН. – М.: Издательство АСВ, 2020. – С. 157–178.

Гурьев В.В., *Дорофеев В.М.*, *Акбиев Р.Т.* О разработке информационной системы цифровой платформы управления безопасностью городской застройки на сейсмических территориях Российской Федерации // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2024. – № 5 (72). – С. 36–39. – DOI: 10.55341/ptrbs.2024.72.5.001. – EDN: NSOLMP

Гурьев В.В., *Дорофеев В.М.*, *Чилибьева Е.А.* Цифровой мониторинг и контроль сейсмостойкости городской застройки для управления градостроительной безопасностью на урбанизированных сейсмических территориях // Academia. Архитектура и строительство. – 2025. – № 2. – С. 162–171. – DOI: 10.22337/2077-9038-2025-2-162-170. – EDN: BCIBOQ

Дмитриев А.Н., *Гурьев В.В.* Экономическая эффективность применения цифровой платформы дистанционного контроля сейсмостойкости городской застройки для предотвращения последствий землетрясений на сейсмоопасных территориях России // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: Материалы XV Международной научно-практической конференции. – М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2025. – С. 18–27. – EDN: KWTDHF

Дорофеев В.М. О разработке моделей сейсмических воздействий для расчёта строительных конструкций // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1988. – № 2. – С. 54–57.

Дорофеев В.М., *Денисов А.С.* Прогноз последствий сильных землетрясений // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2019. – № 1 (38). – С. 28–31. – EDN: VWDAFQ

Дорофеев В.М., *Дорофеева Л.Н.*, *Пшеничнова В.А.*, *Мамаев С.А.* Статистическая нестационарная модель сейсмического воздействия с максимальными значениями ускорений в диапазоне 100–200 *см/с*^{2} для дальней зоны землетрясений // Сейсмостойкое строительство. Международный журнал по сейсмостойкому строительству и инженерной сейсмологии. – 1992. – № 1. – С. 7–13.

Круташов В.В. Базы данных: большие и малые, простые и сложные системы. – М.: Советское Радио, 1980. – 51 с.

СП 322.1325800.2017. Здания и сооружения в сейсмических районах. Правила обследования последствий землетрясений. – Введ. 2018-05-04. – М.: Стандартинформ, 2018. – 39 с. – URL: https://docs.cntd.ru/document/556610329

СП 330.1325800.2017. Здания и сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования инженерно-сейсмометрических станций. – Введ. 2018-05-26. – М.: Стандартинформ, 2017. – 39 с. – URL: https://docs.cntd.ru/document/556793893

СП 442.1325800.2019. Здания и сооружения в сейсмических районах. Оценка класса сейсмостойкости. – Введ. 2019-07-29. – М.: Стандартинформ, 2019. – 16 с. – URL: https://docs.cntd.ru/document/554820828

Dorofeyev V.M., *Dorofeyeva L.N.*, *Pshenichnova V.A.*, *Mamaev S.A.* Statistical nonstationary model of seismic effects for earthquake-resistant design of structures // Proceedings 10th European Conference on earthquake. Vol. 1. – Vienna, Austria, 1994. – P. 291–296.

Сведения об авторах

Гурьев Владимир Владимирович, д-р техн. наук, профессор, зам. ген. директора по науке Федерального государственного бюджетного учреждения «Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации» (ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»), г. Москва, Россия. E-mail: 89150902767@mail.ru

Виноградов Юрий Анатольевич, д-р техн. наук, директор Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), г. Обнинск, Россия. E-mail: yvin@gsras.ru

Дорофеев Владимир Михайлович, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», г. Москва, Россия. E-mail: vmd2021@yandex.ru

Чилибьева Евгения Александровна, гл. специалист ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», г. Москва, Россия. E-mail: jenych@yandex.ru

A digital platform for monitoring seismic resistance and managing urban development safety in seismically active areas of the Russian Federation

© 2025 V.V. Gur'ev[1], Yu.A. Vinogradov[2], V.M. Dorofeev[1], E.A. Chilib'eva[1]

[1]*TsNIIP Ministry of Construction of Russia*, *Moscow*, *Russia*; [2]*GS RAS*, *Obninsk*, *Russia*

Received October 9, 2025

Abstract More than a third of the constituent entities of the Russian Federation are located in seismically hazardous areas, with urbanization rates exceeding 70%, particularly in the Siberian and Far Eastern Federal Districts. A distinctive feature of seismically hazardous areas is the constant occurrence of low-intensity earthquakes, which are not always felt and are only recorded by instruments. Constant structural vibrations of varying intensity and duration are a typical cause of accelerated "aging" of apartment buildings due to the accumulation of damage, degradation of the structural material structure, and their fatigue strength. This leads to a decrease (deficit) in the seismic resistance of buildings and an increased risk of natural and man-made emergencies. According to expert estimates, approximately 200 million m^2 of standard-design apartment buildings have a seismic resistance deficiency, and approximately 26 million m^2 are in a limited operational condition. Given the unpredictability of strong earthquakes, urban development safety requires preventative measures based on objective seismological and seismometric engineering data in real time on seismic events and the response of buildings to these events. To this end, a Unified Digital Platform has been developed. This platform is an information system with distributed databases that include information on the seismic resistance class of urban buildings and their seismic hazard level. A description of the platform's operating principles is provided in this paper.

Keywords Seismicity, seismically hazardous area, seismic resistance, earthquake, information system, urban development, digital platform, safety.

For citation Gur'ev, V.V., Vinogradov, Yu.A., Dorofeev, V.M., & Chilib'eva, E.A. (2025). [A digital platform for monitoring seismic resistance and managing urban development safety in seismically active areas of the Russian Federation]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], *7*(4), 7-16. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.4.01. EDN: CRLAWM

References

Baza dannykh "Zemletriaseniia Rossii" [Database "Earthquakes of Russia"]. (2025). Obninsk, Russia: GS RAS. (In Russ). Retrieved from *http://eqru.gsras.ru/* (Date of access 15.03.2025).

Dmitriev, A.N., & Guryev, V.V. (2025). [Economic efficiency of using a digital platform for remote monitoring of earthquake resistance in urban areas to prevent the effects of earthquakes in earthquake-prone areas of Russia]. In *Sovremennye problemy upravleniia proektami v investitsionno-stroitel'noi sfere i prirodopol'zovanii: Materialy XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Modern problems of project management in the investment and construction sphere and environmental management: Proceedings of the XV International scientific and practical conference] (pp. 18-27). Moscow, Russia: Plekhanov Russian University of Economics Publ. (In Russ.). EDN: KWTDHF

Dorofeev, V.M. (1988). [On the development of seismic impact models for the calculation of building structures]. *Stroitel'naia mekhanika i raschet sooruzhenii* [Structural mechanics and calculation of structures], (2), 54-57. (In Russ.).

Dorofeev, V.M., & Denisov, A.S. (2019). [The forecast of consequences of strong earthquakes]. *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenii* [Natural and man-made risks. Building safety], (1 (38)), 28-31. (In Russ.). EDN: VWDAFQ

Dorofeev, V.M., Dorofeeva, L.N., Pshenichnova, V.A., & Mamaev, S.A. (1992). [Statistical non-stationary model of seismic impact with maximum acceleration values in the range of 100-200 cm/s^2 for the far zone of earthquakes]. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Mezhdunarodnyi zhurnal po seismostoikomu stroitel'stvu i inzhenernoi seismologii* [Earthquake Engineering. International Journal of Earthquake Engineering and Engineering Seismology], (1), 7-13. (In Russ.).

Dorofeyev, V.M., Dorofeyeva, L.N., Pshenichnova, V.A., & Mamaev, S.A. (1994). Statistical nonstationary model of seismic effects for earthquake-resistant design of structures. In *Proceedings 10th European Conference*

on earthquake, *Vol. 1* (pp. 291-296). Vienna, Austria.

GOST R 32019-2012. *Monitoring tekhnicheskogo sostoianiia unikal'nykh zdanii i sooruzhenii. Pravila proektirovaniia i ustanovki statsionarnykh sistem* (*stantsii*) *monitoringa* [Technical condition monitoring of the unique buildings and constructions. Rules of design and installation of permanent systems (stations) of monitoring]. (2012). Moscow, Russia: Standartinform Publ., 16 p. (In Russ.). Retrieved from *https://docs.cntd.ru/document/1200100943*

GOST R 34511-2018. *Zemletriaseniia. Makroseismicheskaia shkala intensivnosti* [State Standard 34511-2018. Earthquakes. Macroseismic intensity scale]. (2019). Moscow, Russia: Standartinform Publ., 23 p. (In Russ.). Retrieved from *https://docs.cntd.ru/document/1200163880*

Guryev, V.V., & Dorofeev, V.M. (2020). [On the problems of standardizing the safety of built-up areas in seismic zones]. In *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniia RAASN po nauchnomu obespecheniiu razvitiia arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noi otrasli Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu: Sbornik nauchnykh trudov RAASN* [Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2019: Collection of scientific papers of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences] (pp. 157-178). Moscow, Russia: ASV Publishing House. (In Russ.).

Guryev, V.V., Dorofeev, V.M., & Akbiev, R.T. (2024). [On the development of an information system for a digital platform for managing the safety of urban development in the seismic territories of the Russian Federation]. *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenii* [Natural and man-made risks. Building safety], (5 (72)), 36-39. (In Russ.). DOI: *10.55341/ptrbs.2024.72.5.001*. EDN: NSOLMP

Guryev, V.V., Dorofeev, V.M., & Chilib'eva, E.A. (2025). [Digital monitoring and control of earthquake resistance of urban buildings for urban planning safety management in urbanized seismic territories of the Russian Federation]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], (2), 162-171. (In Russ.). DOI: *10.22337/2077-9038-2025-2-162-170*. EDN: BCIBOQ

Krutashov, V.V. (1980). *Bazy dannykh: bol'shie i malye, prostye i slozhnye sistemy* [Databases: large and small, simple and complex systems]. Moscow, Russia: Soviet Radio, 51 p. (In Russ.).

SP 322.1325800.2017. *Zdaniia i sooruzheniia v seismicheskikh raionakh. Pravila obsledovaniia posledstvii zemletriasenii* [Buildings and structures in seismic region. Rules of inspection of consequences of the earthquake]. (2018). Moscow, Russia: Standartinform Publ., 39 p. (In Russ.). Retrieved from *https://docs.cntd.ru/document/556610329*

SP 330.1325800.2017. *Zdaniia i sooruzheniia v seismicheskikh raionakh. Pravila proektirovaniia inzhenerno-seismometricheskikh stantsii* [Buildings and constructions in seismic countries. Rules of design of engineering and seismometric stations]. (2017). Moscow, Russia: Standartinform Publ., 39 p. (In Russ.). Retrieved from *https://docs.cntd.ru/document/556793893*

SP 442.1325800.2019. *Zdaniia i sooruzheniia v seismicheskikh raionakh. Otsenka klassa seismostoikosti* [Buildings and constructions. Seismic fitness estimation]. (2019). Moscow, Russia: Standartinform Publ., 16 p. (In Russ.). Retrieved from *https://docs.cntd.ru/document/554820828*

Information about authors

Guryev Vladimir Vladimirovich, Dr., Professor, Deputy Director General for Science of the Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of Russian Federation (TsNIIP Ministry of Construction of Russia), Moscow, Russia. E-mail: 89150902767@mail.ru

Vinogradov Yuri Anatolyevich, Dr., Director of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), Obninsk, Russia. E-mail: yvin@gsras.ru

Dorofeev Vladimir Mikhailovich, PhD, Senior Researcher of the TsNIIP Ministry of Construction of Russia, Moscow, Russia. E-mail: vmd2021@yandex.ru

Chilib'eva Evgeniya Aleksandrovna, Chief Specialist of the TsNIIP Ministry of Construction of Russia, Moscow, Russia. E-mail: jenych@yandex.ru