

УДК 69.04

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-1\(632\)-5-10](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-1(632)-5-10)

**Р.С. ГЕЙДАРОВ<sup>1,✉</sup>, Н.В. НИКОНОВА<sup>1</sup>, Г.В. СОРОКИНА<sup>1</sup>, А.М. УЗДИН<sup>1</sup>,  
А.А. ДОЛГАЯ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),  
Московский пр., д. 9, г. Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «Трансмост», Подъездной пер., д. 1, г. Санкт-Петербург, 190013, Российская Федерация

# ОЦЕНКА КЛАССА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ БЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## Аннотация

*Введение.* Бетонные и каменные сооружения составляют основной объем эксплуатируемых сооружений старой постройки.

*Цель.* Предложить методику оценки сейсмостойкости сечений элементов бетонных и каменных сооружений. Работа продолжает исследования указанного направления, начатые в СССР в начале 80-х годов прошлого века.

*Материалы и методы.* Рассмотрена методика оценки предельных ускорений и расчетных классов сейсмостойкости для бетонных элементов строительных конструкций. Для бетонных элементов класс сейсмостойкости оценивается по положению равнодействующей в сечении (ограничение растяжения бетона) и по сжимающим напряжениям в бетоне. Минимальный класс сейсмостойкости оценивается в предположении упругой работы сечения. На первом этапе оцениваются три значения расчетных пиковых ускорений, обеспечивающих соответственно упругую работу сечения, предельное состояние с коэффициентом предельных состояний  $K_1 = 0,5$  и предельное состояние с коэффициентом предельных состояний  $K_1 = 0,25$ .

*Результаты.* По полученным ускорениям оценивается интенсивность расчетного воздействия на основе действующей в России шкалы балльности.

*Выводы.* На основе выполненных исследований оценены интенсивность и повторяемость воздействий, вызывающих различные предельные состояния сечений бетонных и каменных конструкций, в частности возникновение растяжений сечений, появление тех или иных трещин, полная разгрузка сечения, появление выколов в сжатой зоне бетона и т. д. Полученные данные представляют интерес как для собственников объектов, так и для страховых фирм.

**Ключевые слова:** бетонные сооружения, каменные сооружения, элементы строительных конструкций,

сечения элементов, оценка сейсмостойкости, методика оценки, предельные ускорения

**Для цитирования:** Гейдаров Р.С., Никонова Н.В., Сорокина Г.В., Уздин А.М., Долгая А.А. Оценка класса сейсмостойкости бетонных и каменных конструкций // *Бетон и железобетон*. 2026. № 1 (632). С. 5–10. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-1\(632\)-5-10](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-1(632)-5-10). EDN: ROGESE.

## Вклад авторов

Гейдаров Р.С. – написание текста статьи, проведение расчетов для статьи, подготовка и обсуждение материалов.

Никонова Н.В. – вывод формулы для предельных сжимающих ускорений, участие в подготовке и обсуждении материалов.

Сорокина Г.В. – оценка расчетного балла по пиковым ускорениям.

Уздин А.М. – руководство работой, постановка задачи исследований, редактирование статьи, отладка программного обеспечения.

Долгая А.А. – разработка всех программных средств для проведения расчетов, анализ результатов расчетов, участие в подготовке и обсуждении материалов.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 14.12.2025*

*Поступила после рецензирования 27.01.2026*

*Принята к публикации 29.01.2026*

R.S. HEYDAROV<sup>1,✉</sup>, N.V. NIKONOVA<sup>1</sup>, G.V. SOROKINA<sup>1</sup>, A.M. UZDIN<sup>1</sup>,  
A.A. DOLGAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Moskovsky pr., 9, St. Petersburg, 190031, Russian Federation

<sup>2</sup> Transmost JSC, Podyezdnoy Lane, 1, St. Petersburg, 190013, Russian Federation

# ASSESSING THE SEISMIC RESISTANCE CLASS OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## Abstract

*Introduction.* Concrete and masonry structures constitute the majority of old buildings in use.

*The aim* of this research is to propose a methodology for assessing the seismic resistance of the cross-sections of elements of concrete and masonry structures. This research develops the previous research results in this area, which began in the USSR in the early 1980s.

*Materials and methods.* The methodology of assessing the maximum accelerations and design seismic resistance classes for concrete elements of building structures is considered. For concrete elements the seismic resistance class is assessed by the position of the resultant force in the section (limitation of concrete tension) and by compressive stresses in concrete. The minimum seismic resistance class is assessed under the assumption of elastic work of the section. At the first stage, three values of the calculated peak accelerations are assessed, ensuring the following: the elastic work of the section, the limit state with the limit state coefficient  $K_1 = 0.5$  and the limit state with the limit state coefficient  $K_1 = 0.25$  respectively.

*Results.* Basing on the resulting accelerations, one can assess the intensity of the design earthquakes using the Russian Standard scale of earthquake intensity.

*Conclusions.* Basing on the research results, the authors assessed the intensity and repetitiveness of earthquakes resulting in various limit states of concrete and masonry structure sections, including the occurrence of section tension, the appearance of various cracks, complete section unloading, the appearance of spalls in the compressed zone of concrete, etc. These data are of interest to both facility owners and insurance companies.

**Keywords:** concrete structures, masonry structures, building structure elements, element sections, seismic resistance assessment, assessment methods, maximum accelerations

**For citation:** Heydarov R.S., Nikonova N.V., Sorokina G.V., Uzdin A.M., Dolgaya A.A. Assessing the seismic resistance class of concrete and masonry structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2026, no. 1 (632), pp. 5–10. (In Russian).

DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-1\(632\)-5-10](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-1(632)-5-10).  
EDN: ROGESE.

## Authors contribution statement

Heydarov R.S. – writing the text of the article, making calculations for the article, materials preparing and discussing.

Nikonova N.V. – derivation of the formula for maximum compressive accelerations, participation in the preparation and discussion of materials.

Sorokina G.V. – estimation of the calculated score for peak accelerations.

Uzdin A.M. – work management, research objectives setting, article editing, software debugging.

Dolgaya A.A. – development of all software tools for calculations, analysis of calculation results, participation in the preparation and discussion of materials.

## Funding

No funding support was obtained for the research.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.12.2025

Revised 27.01.2026

Accepted 29.01.2026

В работах [1, 2] предложен современный подход к оценке сейсмостойкости эксплуатируемых сооружений. Для этого введены понятия минимального, умеренного и максимального расчетных классов сейсмостойкости –  $K_s^{(min)}$ ,  $K_s^{(mod)}$  и  $K_s^{(max)}$ . Под расчетным классом понимается сила землетрясения в дробных баллах, которую может воспринять сооружение соответственно без нарушения нормальной эксплуатации, при возникновении умеренных повреждений и при разрушении сооружения. Отметим, что понятие класса сейсмостойкости было введено в начале 80-х годов прошлого века для оценки расчетной сейсмостойкости мостов [1]. Позже в работах [2–4] было введено другое понятие класса сейсмостойкости, рассматриваемое как некоторая категория сейсмостойкости в целых баллах. Чтобы не путать эти понятия, будем называть дробный класс сейсмостойкости расчетным классом, а целочисленный показатель – макросейсмическим классом. Оба понятия имеют смысл и свою область применения. Более того, расчетный класс сейсмостойкости может быть одним из атрибутов макросейсмического класса.

Обратимся теперь к описанию расчетного класса сейсмостойкости. Для оценки  $K_s^{(min)}$  предусматривается обычный силовой расчет. Для оценки  $K_s^{(max)}$  предполагается кинематический расчет, допускающий предельные перемещения  $u_{lim} = K_1 \times u_{el}$ , где  $K_1$  – коэффициент предельных состояний;  $u_{el}$  – предел упругости по смещениям. Для оценки умеренного класса в [5] предлагается использовать предельное смещение  $u_{mod} = 0,5u_{lim}$ . Далее приводятся расчетные формулы для оценки сейсмостойкости бетонных и каменных элементов сооружения.

Проверка прочности бетонных конструкций осуществляется по двум критериям: положению равнодействующей и ограничению продольной сжимающей силы.

Проверка положения равнодействующей силы должна ограничить растяжение в бетоне и образование в нем трещин. Для этого должно выполняться условие:

$$e\eta < \theta h' \tag{1}$$

где  $e = \frac{M}{N}$  – эксцентриситет продольной силы;

$M$  и  $N$  – момент и продольная сила в сечении;

$\eta$  – коэффициент, учитывающий увеличение эксцентриситета за счет деформации проверяемого элемента конструкции;

$\theta$  – множитель, показывающий, за какую часть высоты сечения элемента  $h$  от его середины может выйти равнодействующая  $N$ .

Для оценки минимального класса сейсмостойкости  $K_s^{(min)}$  сечение должно быть сжато, то есть равнодействующая  $N$  должна находиться в ядре сечения. Для прямоугольного сечения  $\theta = 1/6$ , а для круга  $\theta = 1/4$  (рис. 1).

Для максимального расчетного класса сейсмостойкости нельзя допустить растяжения всего сечения, то есть  $\theta = 1/2$ .

Если теперь учесть, что  $M = M_{st} + PGA \times M_0$  и  $N = N_{st} + PGA \times N_0$ , то из (1) получим:

$$PGA = - \frac{-M_{st} + N_{st} \frac{\theta h}{\eta}}{\pm M_0 \pm N_0 \frac{\theta h}{\eta}} \tag{2a}$$

здесь  $M_{st}$  и  $N_{st}$  – момент и нормальная сила в сечении от статических нагрузок;

$M_0$  и  $N_0$  – момент и нормальная сила в сечении от тестового землетрясения с единичной амплитудой ускорений.

В формуле (2a) учтено, что сейсмический момент  $M_0$  от тестового землетрясения с  $PGA = 1 \text{ м/с}^2$  и аналогичная нормальная сила  $N_0$  могут иметь любой знак. Анализ показывает, что наименьший класс имеет место при следующих знаках усилий  $M_0$  и  $N_0$ :

$$PGA = - \frac{-M_{st} + N_{st} \frac{\theta h}{\eta}}{-M_0 + N_0 \frac{\theta h}{\eta}} \tag{2б}$$

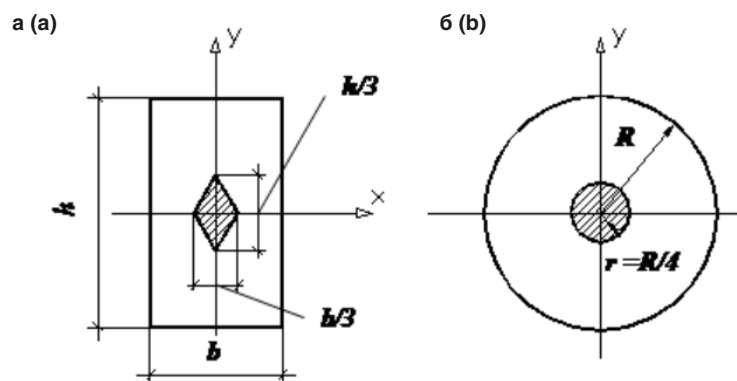


Рис. 1. Ядро сечения для прямоугольника (а) и круга (б)  
Fig. 1. Section kernel for a rectangle (a) and a circle (b)

Величина  $\eta$  зависит от уровня нагрузки, определяемого значением  $PGA$ . Однако эта зависимость несущественна, в первом приближении можно вычислить  $\eta$  при  $PGA = 4 \text{ м/с}^2$ .

Проверка ограничения предельной сжимающей силы должна исключить выколы бетона сжатой зоны, она имеет вид:

$$N < m_1 R_b A(x), \tag{3}$$

где  $m_1$  – коэффициент условий работы;

$R_b$  – расчетное сопротивление бетона сжатию;

$A(x)$  – площадь сжатой зоны бетона.

Для прямоугольного сечения высотой  $h$  и шириной  $b$  площадь сжатой зоны определяется по формуле:

$$A = (h - 2e\eta)b. \tag{4}$$

Подстановка (4) в (3), с учетом статической составляющей нагрузок, дает:

$$N_{st} + PGA \times N_0 < m_1 R_b \times b \times \left( h - 2\eta \times \frac{M_{st} + PGA \times M_0}{N_{st} + PGA \times N_0} \right).$$

Отсюда получаем квадратное уравнение для определения  $PGA$ :

$$PGA^2 + 2 \times PGA \times \left( \frac{N_{st}}{N_0} - \frac{m_1 \times R_b \times b \times h}{2 \times N_0} + \frac{m_1 \times \eta \times R_b \times b \times h \times N_{st}}{N_0^2} \right) - \left[ \left( \frac{N_{st}}{N_0} \right)^2 - \frac{m_1 \times R_b \times b \times h \times \eta \times N_{st}}{N_0^2} + \frac{2 \times m_1 \times R_b \times b \times \eta \times M_{st}}{N_0^2} \right] = 0. \tag{5}$$

В результате получаем два значения  $PGA$ :

$$PGA = -P \pm \sqrt{P^2 - Q}, \tag{6}$$

где  $P = \left( \frac{N_{st}}{N_0} \right) - \frac{m_1 \times R_b \times b \times h}{2 \times N_0} + \frac{m_1 \times \eta \times R_b \times b \times h \times N_{st}}{N_0^2}$ ;

$$Q = \left( \frac{N_{st}}{N_0} \right)^2 - \frac{m_1 \times R_b \times b \times h \times \eta \times N_{st}}{N_0^2} + \frac{2 \times m_1 \times R_b \times b \times \eta \times M_{st}}{N_0^2}.$$

Наименьший класс сейсмостойкости реализуется при использовании знака + в формуле (6).

Рассмотрим в качестве примера сечение бетонной мостовой опоры размером  $a = 1 \text{ м}$ ,  $b = 3 \text{ м}$  при статических усилиях  $M_{st} = 10 \text{ кНм}$ ;  $N_{st} = 120 \text{ кН}$ ;  $M_0 = 5,1 \text{ кНм}$  и  $N_0 = 0 \text{ кН}$ .

Расчеты по формулам (2а,б) и (6) дают значения предельных ускорений, приведенные в табл. 1.

Необходимо отметить, что переход от пиковых ускорений к расчетному баллу должен учитывать зависимость  $PGA$  от преобладающего периода воздействия. Для периодов  $T = 0,3-0,5 \text{ с}$  величина  $PGA$  принимается нами по шкале интенсивности сейсмических воздействий ШОС-2017 [6, 7]. Поправка на фактический период проводится в соответствии с рекомендациями [8]. Чем выше преобладающий период, тем меньше пиковые ускорения в рамках одного балла. В результате расчетный класс сейсмостойкости растет с ростом периода колебаний сооружения. На рис. 2 представлена зависимость расчетного класса от периода, построенная в соответствии с рекомендациями [5], применительно к значению по сжимающим напряжениям в бетоне.

Таблица 1

Предельные ускорения  $PGA$  для рассматриваемого сечения и расчетные классы сейсмостойкости для периода  $T = 0,3 \text{ с}$

Table 1

$PGA$  acceleration limits for the section under consideration and design seismic resistance classes for a period of  $T = 0.3 \text{ s}$

	По растяжению	По сжатию
$PGA_{\min}$ , $\text{м/с}^2$	0,141	0,534
$PGA_{\text{mod}}$ , $\text{м/с}^2$	0,959	2,141
$PGA_{\max}$ , $\text{м/с}^2$	8,589	8,567
$K_s^{(\min)}$	4,75	6,198
$K_s^{(\text{mod})}$	6,83	7,703
$K_s^{(\max)}$	9,211	9,208

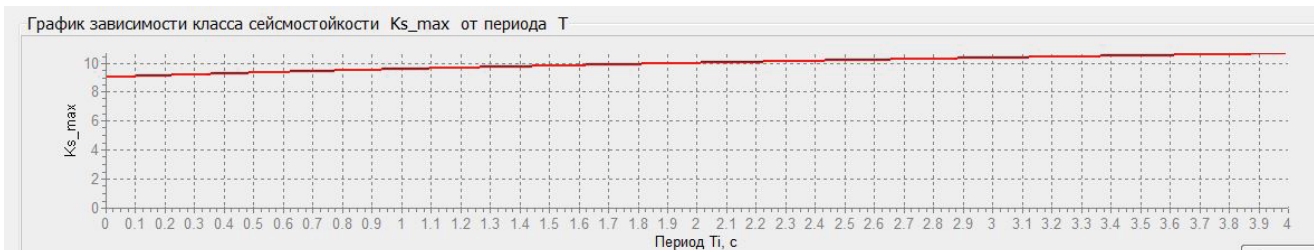


Рис. 2. Зависимость расчетного класса сейсмостойкости от периода основного тона колебаний сооружения  
 Fig. 2. Dependence of the calculated seismic resistance class on the period of the fundamental vibration tone of the structure

### Заключение

Выполненный анализ иллюстрирует задачу прогноза сценария повреждений сооружения от сейсмических воздействий. В рассмотренном случае в бетоне начнут появляться трещины при интенсивности воздействия  $I > 4,75$  балла. Для района Сочи в зонах с ситуационной сейсмичностью  $I_A = 8$ ,  $I_B = 9$ ,  $I_C = 10$  баллов землетрясения полученного класса имеют повторяемость  $\tau = 10,2$  года. Превышение сжимающих напряжений в крайних волокнах возможно при  $I > 6,198$  балла при  $\tau = 54$  года. Серьезное развитие трещин возможно при  $I > 6,83$  балла,  $\tau = 112$  лет; выколы бетона сжатой зоны возможны при  $I > 7,7$  балла и  $\tau = 304$  года. Наконец полное разрушение сечения возможно при  $I > 9,2$  балла и  $\tau = 1710$  лет. Такая информация может быть полезна для пользователей и страховых фирм.

### Список литературы

1. Инструкция по оценке сейсмостойкости эксплуатируемых мостов на сети железных и автомобильных дорог: (на территории Туркменской ССР): РСН-44-88: [Срок введ. в действие 01.04.88] / Госстрой ТССР. Ашхабад: Ылым, 1988.
2. Дорофеев В.М. Развитие макросейсмической шкалы интенсивности землетрясений // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2018. № 5 (36). С. 19–22. EDN: VWEAIY.
3. Дорофеев В.М. О классе сейсмостойкости // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2018. № 6 (37). С. 25–27. EDN: YZIHZJ.
4. Дорофеев В.М., Денисов А.С. Прогноз последствий сильных землетрясений // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2019. № 1 (38). С. 28–31. EDN: VWDAFQ.
5. Акбиев Р.Т., Сорокина Г.В., Уздин А.М., Федотова И.А., Гейдаров Р., Морозова Т.В. Оценка класса сейсмостойкости объекта по предельным пиковым ускорениям, вызывающим предельное состояние // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2025. № 1 (76). С. 33–37. EDN: TIVTBZ.
6. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. Москва: ООО «Наука и образование», 2012.
7. ГОСТ Р 57546-2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. Москва: Стандартинформ, 2017.
8. Жемчугов-Гитман Д.М., Сорокина Г.В., Уздин А.М. Аппроксимация зависимости пиковых ускорений от преобладающего периода на акселерограмме для расчетов сооружений по линейно-спектральной методике // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2023. № 4 (65). С. 24–28. DOI: <https://doi.org/10.55341/ptrbs.2023.65.4.008>. EDN: KXPXSB.

### References

1. Instructions for assessing the seismic resistance of operated bridges on the railway and highway network: (on the territory of the Turkmen SSR): RSN-44-88: [Effective date 04/01/88] / Gosstroy of the TSSR. Ashgabat: Ylym, 1988. (In Russian).
2. Dorofeev V.M. The development of the macroseismic scale intensity of earthquakes. *Natural and technogenic risks. Safety of structures*, 2018, no. 5 (36), pp. 19–22. (In Russian). EDN: VWEAIY.
3. Dorofeev V.M. About the class of seismic resistance. *Natural and technogenic risks. Safety of structures*, 2018, no. 6 (37), pp. 25–27. (In Russian). EDN: YZIHZJ.
4. Dorofeev V.M., Denisov A.S. The forecast of consequences of strong earthquakes. *Natural and technogenic risks. Safety of structures*, 2019, no. 1 (38), pp. 28–31. (In Russian). EDN: VWDAFQ.
5. Akbiev R.T., Sorokina G.V., Uzdin A.M., Fedotova I.A., Heydarov R., Morozova T.V. Assessment of the earthquake resistance class of an object based on the maximum peak acceleration causing the limit state. *Natural and technogenic risks. Safety of structures*, 2025, no. 1 (76), pp. 33–37. (In Russian). EDN: TIVTBZ.
6. Aptikaev F.F. Instrumental Scale of Seismic Intensity. Moscow: Nauka i Obrazovanie LLC, 2012. (In Russian).
7. State Standard R 57546-2017. Earthquakes. Seismic intensity scale. Moscow: Standartinform Publ., 2017. (In Russian).
8. Zhemchugov-Gitman D.M., Sorokina G.V., Uzdin A.M. Approximation of the dependence of peak accelerations on the prevailing period on the accelerogram for calculations of structures using the linear spectral method. *Natural and technogenic risks. Safety of structures*, 2023, no. 4 (65), pp. 24–28. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.55341/ptrbs.2023.65.4.008>. EDN: KXPXSB.

### Информация об авторах / Information about the authors

**Руслан Сардарович Гейдаров**<sup>✉</sup>, аспирант, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург  
e-mail: r.heydarov99@yandex.ru

**Ruslan S. Heydarov**<sup>✉</sup>, Graduate Student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg  
e-mail: r.heydarov99@yandex.ru

**Наталья Вячеславовна Никонова**, канд. техн. наук, доцент, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург

**Natalia V. Nikonova**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg

**Галина Вячеславовна Сорокина**, канд. техн. наук, доцент, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург

**Galina V. Sorokina**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg

**Александр Моисеевич Уздин**, д-р техн. наук, профессор, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург  
e-mail: uzdin@mail.ru

**Alexander M. Uzdin**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg  
e-mail: uzdin@mail.ru

**Анжелика Александровна Долгая**, канд. техн. наук, инженер, АО «Трансмост», Санкт-Петербург

**Angelika A. Dolgaya**, Cand. Sci. (Engineering), Engineer, Transmost JSC, St. Petersburg

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author