

Акбиев Р.Т., канд. техн. наук  
(ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», г. Москва),  
Мозжухина Л.В., асп.,  
Уздин А.М., д-р техн. наук, проф.  
(ПГУПС, г. Санкт-Петербург),  
Гейдаров Р.С., инж.  
(ЕАСА, г. Москва)

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В публикации предложены подходы по оценке эффективности применения сейсмоизоляции для зданий массовой постройки, за основу которых принята математическая теория сейсмического риска в форме, предложенной академиком Л.В. Канторовичем. В качестве критерия эффективности приняты затраты на антисейсмическое усиление и ремонтные работы после землетрясений различной силы за срок службы сооружения. Платежная матрица для оценки ущерба принята применительно к зданиям типовых серий на плотных нескальных основаниях. Для этих же зданий проводятся оценки на антисейсмическое усиление. Оценка эффекта проведена как с учетом только экономических потерь, так и с дополнительным учетом социальных потерь. Проанализированы все возможные в рамках нормативной базы варианты проявления сейсмической опасности на площадке строительства.

Ключевые слова: сейсмостойкое строительство, сейсмоизоляция, сейсмический риск, антисейсмическое усиление, землетрясение

### Введение

Сейсмоизоляция признана одним из наиболее эффективных способов сейсмозащиты зданий и сооружений. Вопросам использования и оптимизации систем сейсмоизоляции посвящено значительное количество статей [1] – [23], монографий [4] – [7] и др., учебников и учебных пособий [8], [9].

Далеко не всегда применение сейсмоизоляции целесообразно и эффективно. Как правило, всегда удается добиться эффективности применения сейсмоизоляции в зданиях, расположенных на площадках в 9-балльных зонах. Кроме того, сейсмоизолирующие устройства бывают достаточно дороги по затратам приобретения, их устройство и эксплуатация в новых и существующих зданиях требует некоторых дополнительных затрат. Поэтому в 8- и 7-балльных зонах целесообразность их использования по сравнению с традиционными методами требует обоснования.

В настоящей статье приведены подходы по исследованию данной проблемы, а также критерии и результаты оценки, которые по результатам проведенного анализа позволяют в итоге прояснить,

для каких случаев применение сейсмоизоляции зданий является эффективным.

### Постановка задачи

В настоящее время много работ посвящено обоснованию применения сейсмоизоляции для транспортных [10], культовых [7], зрелищных [11], [12], медицинских [13] и других подобного рода сооружений.

В настоящей работе исследуется проблема экономической эффективности сейсмоизоляции для применения при строительстве зданий и сооружений массового строительства с использованием подходов, основанных на применении известных методик, описанных ниже. В качестве критерия эффективности приняты затраты на антисейсмическое усиление и ремонтные работы после землетрясений различной силы за срок службы сооружения. Для тех же типов зданий проводятся оценки на антисейсмическое усиление.

Оценка эффекта проведена как с учетом только экономических потерь, так и с дополнительным учетом социальных потерь. Проанализированы все возможные в рамках нормативной базы вариан-

ты проявления сейсмической опасности на площадке строительства.

### Методика и результаты исследований

Экономические аспекты применения и эффективности сейсмоизоляции исследуются на основе известной методики Л.В. Канторовича [14], развитой в работах [15], [16], основываясь на которых предлагаем сначала оценить затраты на обеспечение сейсмостойкости (усиление и эксплуатацию) зданий, не предусматривающих применение специальных методов сейсмозащиты. С учетом данных этих работ проведен анализ исходя исключительно из принципов обеспечения их экономической ответственности, без учета возможных социальных потерь.

В этом случае затраты  $E$  на их усиление и ремонт определяются по формуле

$$E(K) = Inv(K) + fR(K), \quad (1)$$

где  $Inv$  – инвестиции в антисейсмическое усиление здания до класса сейсмостойкости  $K$ ;

$R(K)$  – сейсмический риск (математическое ожидание ущерба) для сооружения с классом сейсмостойкости  $K$ .

$f$  – коэффициент, учитывающий приведе-

ние затрат к одному времени [15] – [17].

Отметим, что в формуле (1) под классом сейсмостойкости  $K$  в соответствии с работами [8], [16] понимается сила землетрясения в баллах, на которую рассчитывается сооружение.

Величина риска, в свою очередь, определяется по формуле

$$R(K) = \sum_{I=5}^{10} D(K, I) \cdot L(I), \quad (2)$$

где  $D(K, I)$  – элементы платежной матрицы (значения функции уязвимости), представляющие собой ущерб для сооружения с классом сейсмостойкости  $K$  от воздействия интенсивностью  $I$  баллов;

$L(I)$  – сейсмическая сотрясаемость [18].

Подходы к определению значений платежной матрицы обоснованы в работах [15], [18], которые для обычных кирпичных зданий определяются по формуле

$$D = \begin{pmatrix} 1,2 \cdot 10^{-3} & 0,02 & 0,103 & 0,37 & 0,757 & 1,21 \\ 3 \cdot 10^{-4} & 8,4 \cdot 10^{-3} & 0,058 & 0,119 & 0,483 & 1,04 \\ 0 & 4,2 \cdot 10^{-3} & 0,04 & 0,152 & 0,439 & 0,788 \\ 0 & 1,8 \cdot 10^{-3} & 0,024 & 0,099 & 0,305 & 0,654 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Матрица имеет 4 строки в соответствии с классами сейсмостойкости  $K = 6, 7, 8, 9$ ; причем  $K = 6$  соответствует зданию, не имеющему усиление.

Инвестиции на антисейсмическое усиление рассматриваются в работах [9], [17], [21]. Ниже, в качестве примера мы приняли для них зависимость

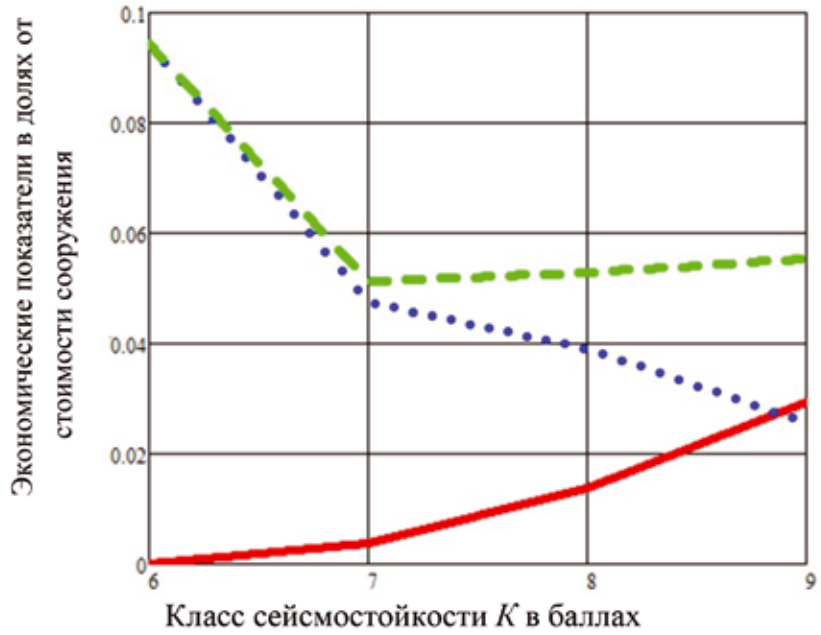
$$Inv(K) = 0,0008 K + 0,0003 K^2. \quad (4)$$

Зависимости  $Inv(K)$  и  $fR(K)$  приведены для обычных кирпичных зданий на рисунке 1 для зон с ситуационной сейсмичностью  $I_A = 10; I_B = 10; I_C = 10$ .

Семейство кривых  $E(K)$ , построенное на основании предложенных подходов для регионов с различной ситуационной сейсмичностью, приведено на рисунке 2.

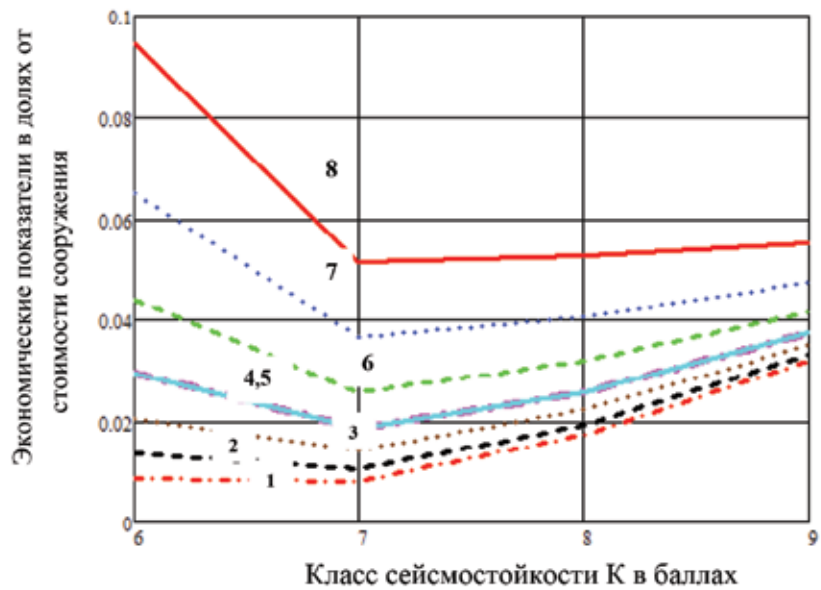
Показанные на рисунке 2 результаты хорошо известны, первоначально отмечены в работах профессора Я. М. Айзенберга еще в конце 70-х годов прошлого века, где доказано, что здания с чисто экономической ответственностью в 9-балльных зонах экономически не целесообразно усиливать до 9 баллов. Поэтому следует исходить из того, что для зон с ситуационной сейсмичностью  $I_A = 8; I_B = 9; I_C = 9$ , а также более опасных оптимальным с экономической точки зрения является 7-балльное усиление.

Теперь рассмотрим, как на здания с чисто экономической ответственностью влияет сейсмоизоляция, например при устройстве между подземной и надземной частями системы инженерной защиты в виде известных резинометаллических опорных частей (РОЧ) или сферических опор, которые при оптимальном



$Inv(K)$  – сплошная красная линия;  $fR(K)$  – точечная синяя линия;  $E(K)$  – зеленая пунктирная линия

Рисунок 1 – Зависимости  $Inv(K)$  и  $fR(K)$  (3) для кирпичных зданий



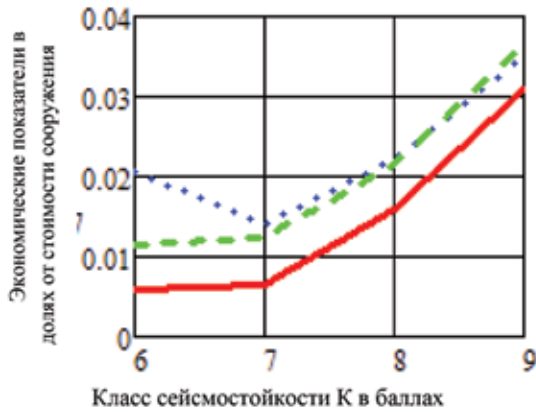
- 1 – для района  $I_A = 8; I_B = 8; I_C = 8$  (красная штрихпунктирная линия);
- 2 – для района  $I_A = 8; I_B = 8; I_C = 9$  (черная пунктирная линия);
- 3 – для района  $I_A = 8; I_B = 9; I_C = 9$  (коричневая точечная линия);
- 4 – для района  $I_A = 8; I_B = 9; I_C = 10$  (голубая сплошная линия);
- 5 – для района  $I_A = 9; I_B = 9; I_C = 9$  (розовая штрихпунктирная линия);
- 6 – для района  $I_A = 9; I_B = 9; I_C = 10$  (зеленая пунктирная линия);
- 7 – для района  $I_A = 9; I_B = 10; I_C = 10$  (синяя точечная линия);
- 8 – для района  $I_A = 10; I_B = 10; I_C = 10$  (красная сплошная линия)

Рисунок 2 – Зависимости  $E(K)$  для районов с различной ситуационной сейсмичностью

проектировании обеспечивают снижение сейсмической нагрузки в 2 раза (условно, на 1 балл). Для таких случаев формула (2) примет вид

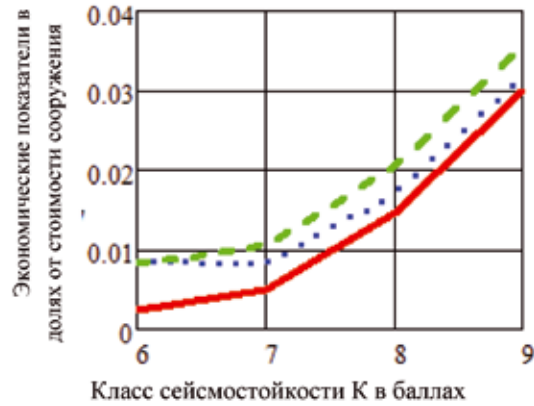
$$R(K) = \sum_{I=5}^{10} D(K, I - 1) \cdot L(I). \quad (5)$$

Необходимо учитывать, что применение сейсмоизоляции при «правильном» проектировании позволяет снизить риски повреждений несущих конструкций, но сами системы, их проектирование



1 – для обычного здания (синяя точечная линия); 2 – для сейсмоизолированного здания без учета стоимости сейсмоизоляции (красная сплошная линия); 3 – для сейсмоизолированного здания с учетом стоимости сейсмоизоляции (зеленая пунктирная линия)

Рисунок 3 – Зависимости  $E(K)$  для района  $I_A = 8; I_B = 9; I_C = 9$



1 – для обычного здания (синяя точечная линия); 2 – для сейсмоизолированного здания без учета стоимости сейсмоизоляции (красная сплошная линия); 3 – для сейсмоизолированного здания с учетом стоимости сейсмоизоляции (зеленая пунктирная линия)

Рисунок 4 – Зависимости  $E(K)$  для района  $I_A = 8; I_B = 8; I_C = 8$

и устройство в существующих зданиях тоже стоят определенных затрат.

Для понимания уровня таких затрат авторы воспользовались данными, представленными ЗАО «Стройкомплекс-5» по уже внедренным системам сейсмоизоляции, согласно которым затраты на ее обустройство в пересчете на единицу площади составили 4000 руб./м<sup>2</sup>. С учетом указанных затрат картина «эффективности инвестиций» примет вид, показанный на рисунке 3.

Точечная синяя линия на рисунке 3 показывает общие затраты обычного сооружения. Сплошная красная линия представляет затраты при наличии сейсмоизоляции; пунктирная зеленая линия учитывает прибавку к затратам стоимости сейсмоизоляции.

Анализ представленных выше результатов расчетов показывает, что в рассматриваемом случае сейсмоизоляция дает экономический эффект при расположении зданий в зонах с ситуационной сейсмичностью  $I_A = 8; I_B = 9; I_C = 9$  и для более опасных районов.

Обратим также внимание, что пунктирная линия проходит значительно ниже точечной. Т. е. для рассматриваемой ситуационной сейсмичности кривая затрат для здания с сейсмоизоляцией во все области усиления  $6 < K < 9$  лежит ниже аналогичной кривой для здания без сейсмоизоляции. А для регионов с меньшей сейсмической опасностью сейсмоизоляция для зданий с чисто экономической ответственностью не эффективна.

Для сравнения, в качестве примера на рисунке 4 показаны затраты на сейсмоизоляцию в зонах с ситуационной сейсмичностью  $I_A = 8; I_B = 8; I_C = 8$ .

Совсем другая картина возникает при учете социальных потерь в результате повреждений зданий при расчетном землетрясении, включив при оценке в состав общего ущерба стоимость страхования из-за гибели людей.

Исходим из того, что в Европе стоимость человеческой жизни доходит до 1000000€, в США минимальная стоимость страховки человеческой жизни 300000\$.

Учет и оценка стоимости человеческой жизни в сейсмостойком строительстве в России приводится в [17], [21] и др. Используя аналогии можно исходить из того, что, например, за погибшего в зоне СВО сегодня семье выплачивается 5 млн руб. Но в некоторых регионах эта сумма увеличивается за счет дополнительных источников финансирования из региональных бюджетов.

Методика оценки социальных потерь описана в монографиях [15], [17], согласно которым социальную уязвимость можно оценить по формуле

$$C(K, I) = \frac{Ins \cdot Ss}{Sn} \cdot \mu(K, I), \quad (6)$$

где  $Ins$  – сумма страховой выплаты за погибшего;

$Ss$  – полезная площадь здания;

$Sn$  – норма площади на одного человека;

$\mu(K, I)$  – доля погибших при землетрясении в здании с классом сейсмостойкости  $K$  от землетрясения силой  $I$  баллов.

Если отнести величину ущерба  $C$  к стоимости здания, то относительную величину потерь  $Cr$  можно определить по формуле

$$Cr(K, I) = \frac{Ins \cdot Ssm}{Sn} \cdot \mu(K, I), \quad (7)$$

где  $Ssm$  – стоимость 1 м<sup>2</sup> здания.

С учетом (7) формула для оценки сейсмического риска обычных зданий примет вид

$$R(K) = \sum_{I=5}^{10} [D(K, I) + Cr(K, I)] \cdot L(I), \quad (8)$$

а для объектов с сейсмоизоляцией

$$R(K) = \sum_{I=5}^{10} [D(K, I - 1) + Cr(K, I - 1)] \cdot L(I). \quad (9)$$

Если принять за основу при расчетах стоимость человеческой жизни  $Ins = 5$  млн руб., а стоимость  $Ssm = 200$  тыс. руб./м<sup>2</sup>,  $Sn = 20$  м<sup>2</sup>, то зависимость  $R(K)$  с учетом человеческих потерь будет иметь вид, показанный на рисунке 5.

Сравнивая обобщенные результаты становится очевидным, что для объектов массового строительства сейсмоизоляция целесообразна в зонах с ситуационной сейсмичностью  $I_A = 8; I_B = 8; I_C = 8$  и более опасных районах, т. е. с повторяемостью 8-балльных воздействий чаще, чем раз в 500 лет.

### Выводы

1. В публикации предложены подходы по оценке эффективности применения сейсмоизоляции для зданий массовой постройки, основанные на математической теории сейсмического риска в форме, предложенной Л.В. Канторовичем. В качестве критерия эффективности приняты затраты на антисейсмическое усиление и ремонтные работы после воздействия

землетрясений различной силы за расчетный срок службы сооружения.

2. Платежная матрица для оценки ущербов принята применительно к 4–5-этажным кирпичным зданиям, расположенным на плотных нескальных основаниях, для которых рассматриваются также технико-экономические оценки на восстановление и усиление.

3. Основой выполненного исследования является исходное предположение о том, что при необходимом ограничении смещений использование сейсмоизоляции позволяет снизить расчетные нагрузки от землетрясений в два раза (соответствуют в пересчете на 1 балл).

4. Оценка эффективности усиления проведены как с учетом только экономических потерь, так и с дополнительным учетом социальных потерь. Проанализированы все возможные в рамках нормативной базы варианты сейсмической опасности на площадке строительства.

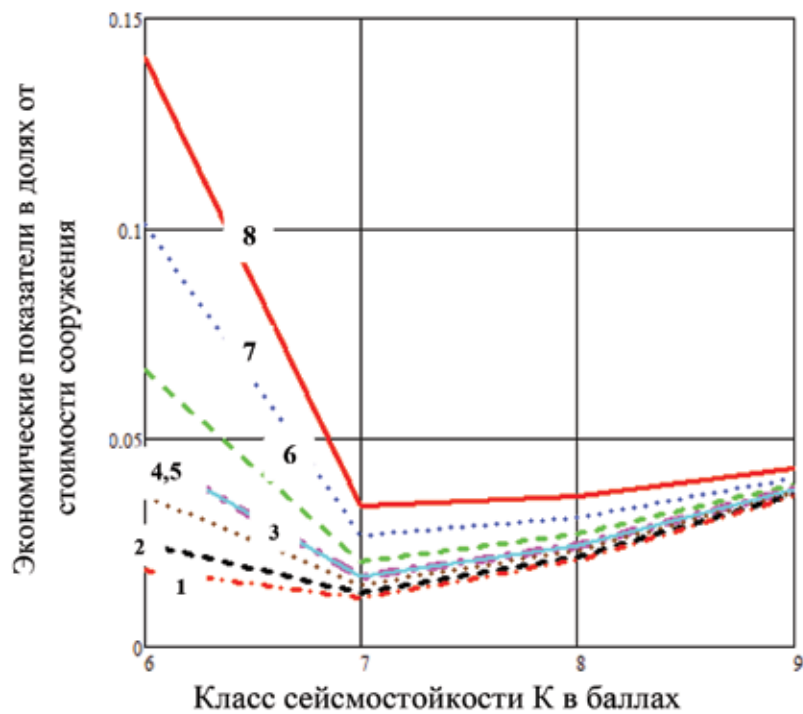
#### Заключение

В результате проведенных исследований показано, что для зданий с чисто экономической ответственностью сейсмоизоляция эффективна для случаев с при ситуационной сейсмичности  $I_A = 8$ ;  $I_B = 8$ ;  $I_C = 9$  и более опасных случаев. При этом, несущие конструкции здания над сейсмоизоляцией должны усиливаться до минимального уровня, соответствующего 7-балльным расчетным нагрузкам, а устойчивость оснований, фундаментов и конструкций подземной части подтверждаться расчетами и иными видами исследований, в соответствии с техническими регламентами.

При учете социальных потерь эффективность сейсмоизоляции возрастает, причем ее применение эффективно при более низкой ситуационной сейсмичности  $I_A = 7$ ;  $I_B = 8$ ;  $I_C = 8$ .

В остальных случаях применение сейсмоизоляции может быть направлено на повышение сейсмостойкости объектов и/или требует более детального обоснования.

Исключение составляют дошкольные образовательные и медицинские учреждения, где применение сейсмоизоляции обусловлено дополнительными факторами, в том числе гуманитарного и социального характера, а также связанное с необходимостью их использования в целях решения задач в режиме ЧС по назначению или для массового расположения людей.



- 1 – для района  $I_A = 8$ ;  $I_B = 8$ ;  $I_C = 8$  (красная штрихпунктирная линия);
- 2 – для района  $I_A = 8$ ;  $I_B = 8$ ;  $I_C = 9$  (черная пунктирная линия);
- 3 – для района  $I_A = 8$ ;  $I_B = 9$ ;  $I_C = 9$  (коричневая точечная линия);
- 4 – для района  $I_A = 8$ ;  $I_B = 9$ ;  $I_C = 10$  (голубая сплошная линия);
- 5 – для района  $I_A = 9$ ;  $I_B = 9$ ;  $I_C = 9$  (розовая штрихпунктирная линия);
- 6 – для района  $I_A = 9$ ;  $I_B = 9$ ;  $I_C = 10$  (зеленая пунктирная линия);
- 7 – для района  $I_A = 9$ ;  $I_B = 10$ ;  $I_C = 10$  (синяя точечная линия);
- 8 – для района  $I_A = 10$ ;  $I_B = 10$ ;  $I_C = 10$  (красная сплошная линия)

Рисунок 5 – Зависимости  $E(K)$  для районов с различной ситуационной сейсмичностью с учетом человеческих потерь и стоимости изоляции

#### Библиография

1. Blakeley R. W. G., Charleson A. W., etc. Recommendations for the design and construction of base isolated structures. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 1979, vol. 12, № 2, p. 136–157.
2. Dercham C. I., Wooton L. R., Leeroyd S. B. B. *Vibration isolation and earthquake protection of buildings by natural rubber mountings*. *NR Technology*, 1980, vol. 6, part<sup>2</sup>. p. 21–33.
3. Kelly J. M. Recent developments on isolation of civil buildings in the United States. // *Isolation, energy dissipation and control of vibrations of structures. Proceedings of the International Post-SMiRT Conference Seminar Capri (Napoli), Italy, august 23 to 25, 1993*. p. 173–189.
4. Skiner R. I., Robinson W. H., McVerry G. H. *An introduction to seismic isolation*. New Zealand. John Wiley & Sons. 1993, 353 p.
5. Kelly J. M. *Earthquake resistant design with rubber*. Springer. 1997, 243 p.
6. Уздин А. М., Долгая А. А. Расчет элементов и оптимизация параметров сейсмоизолирующих фундаментов. – М.: ВНИИИТПИ. 1997. 76 с.
7. Melkumyan Mikayel. *New solutions in seismic isolation*. Yerevan, «Lusabats», 2011, 264 p.
8. Елисеев О. Н., Уздин А. М. *Сейсмостойкое строительство*. Учебник. – СПб.: Изд. ПВВИСУ. 1997. 371 с.
9. Уздин А. М., Елизаров С. В., Белаиш Т. А. *Сейсмостойкие конструкции транспортных зданий и сооружений*. Учебное пособие. – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2012. 500 с.
10. Уздин А. М., Кузнецова И. О. *Сейсмостойкость мостов*. Саарбрюкен (Германия), Palmarium, 2014, 450 с.
11. Акбиев Р. Т., Байказиев М. Х., Сутырин Ю. А., Вайдуров А. В. *Технология сейсмоусиления объектов незавершенного строительства (на примере Республики Алтай)*. // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2006. № 3. С. 37–41.
12. Смирнов В. И., Акбиев Р. Т., Айзенберг Я. М., Чубаков М. Ж. *Сейсмоусиление государственного концертного зала в г. Грозном*. // *Природные и техногенные*



риски. *Безопасность сооружений*. 2017. № 5–6 (31). С. 52–59.

13. Назарова Ш. Ш. Некоторые особенности оценки сейсмостойкости медицинских комплексов. // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2020. № 5 (48). С. 37–41.

14. Канторович Л. В., Кейлис-Борок В. И., Молчан Г. И. Сейсмический риск и принципы сейсмического районирования. // *Вычислительные и статистические методы интерпретации сейсмических данных. Вычисл. Сейсмология*. 1974. Вып. 6. С. 3–20.

15. Кейлис-Борок В. И., Нерсесов И. А., Яглом А. М. Методика оценки экономического эффекта сейсмостойкого строительства. / *Акад. наук СССР. Ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта*. – М.: Изд-во Акад. наук СССР. 1962. 48 с.

16. РСН-44–88 Инструкция по оценке

сейсмостойкости эксплуатируемых мостов на сети железных и автомобильных дорог (на территории Туркменской ССР)

17. Уздин А. М., Воробьев В. А., Богданова М. А., Сигидов В. В., Ваничева С. С. Экономика сейсмостойкого строительства. – М.: ФГПУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2017. 176 с.

18. Сейсмическая сотрясаемость территории СССР./Под ред. Ю. В. Ризниченко. – М.: Наука. 1979. 192 с.

19. Аверьянов В. Н., Баулин Ю. И., Кофф Г. Л., Лутиков А. И., Миндель И. Г., Несмеянов С. А., Севостьянов В. В. Комплексная оценка сейсмической опасности территории г. Грозного (Уточнение исходной сейсмичности. Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмический риск). *Научный редактор С. И. Полтавцев*. – М.: ПНИИИС. 1996. 107 с.

20. Богданова М. А., Сигидов В. В. Функции уязвимости для оценки сейсмического риска. // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2011. № 6. С. 54–57.

21. Полтавцев С. И., Айзенберг Я. М., Кофф Г. Л., Мелентьев А. М., Уломов В. И. Сейсмостойкое районирование и сейсмостойкое строительство (методы, практика, перспектива). – М.: ГУП ЦПП. 1998. 259 с.

22. Яременко А. П. Оценка социального риска при использовании отечественных норм сейсмостойкого строительства. // *Сейсмостойкое строительство*. 2000. № 2. С. 8–9.

23. Максименко Д. Д., Уздин А. М. Учет социальных потерь при оценке сейсмического риска. // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2017. № 1 (28). С. 29–35.

eng

Akbiev R. T., Mozhukhina L. V., Uzdin A. M., Heydarov R. S.

## ON THE EFFECTIVENESS OF SEISMIC INSULATION FOR ENGINEERING EARTHQUAKE PROTECTION

The publication proposes approaches to assess the effectiveness of seismic insulation for mass-built buildings, based on the mathematical theory of seismic risk in the form proposed by academician L. V. Kantorovich. The cost of antiseismic reinforcement and repair work after earthquakes of various strengths over the lifetime of the structure is accepted as an efficiency criterion. The payment matrix for damage assessment has been adopted in relation to buildings of standard series on dense non-rock foundations. Antiseismic reinforcement assessments are being carried out for the same buildings. The assessment of the effect was carried out both taking into account only economic losses, and with additional consideration of social losses. All possible variants of seismic hazard manifestation at the construction site are analyzed within the framework of the regulatory framework.

Keywords: earthquake-resistant construction, seismic isolation, seismic risk, antiseismic reinforcement, earthquake

### References

1. Blakeley R. W. G., Charleson A. W., etc. Recommendations for the design and construction of base isolated structures. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 1979, vol. 12, № 2, p. 136–157.

2. Dercham C. I., Wooton L. R., Leeroyd S. B. B. Vibration isolation and earthquake protection of buildings by natural rubber mountings. *NR Technology*, 1980, vol. 6. part<sup>2</sup>. p. 21–33.

3. Kelly J. M. Recent developments on isolation of civil buildings in the United States. // *Isolation, energy dissipation and control of vibrations of structures. Proceedings of the International Post-SMiRT Conference Seminar Capri (Napoli), Italy, august 23 to 25, 1993*. p. 173–189.

4. Skiner R. I., Robinson W. H., McVerry G. H. An introduction to seismic isolation. *New Zealand. John Wiley & Sons*. 1993, 353 p.

5. Kelly J. M. *Earthquake resistant design with rubber*. Springer. 1997, 243 p.

6. Uzdin A. M., Dolgaya A. A. *Raschet elementov i optimizatsiya parametrov seizmoizoliruyushchih fundamentov*. – М.: VNIINTPI. 1997. 76 p. (in Russian)

7. Melkumyan Mikayel. *New solutions in seismic isolation*. Yerevan. «Lusabats», 2011, 264 p.

8. Eliseev O. N., Uzdin A. M. *Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Uchebnik*. – SPb.: Izd. PVVISU. 1997. 371 p. (in Russian)

9. Uzdin A. M., Elizarov S. V., Belash T. A. *Sejsmostojkie konstrukcii transportnyh zdaniy i sooruzhenij. Uchebnoe posobie*. – М.: FGOU «Uchebno-metodi-

cheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». 2012. 500 p. (in Russian)

10. Uzdin A. M., Kuznecova I. O. *Sejsmostojkost' mostov. Saarbryuken (Germaniya), Palmarium*, 2014, 450 p. (in Russian)

11. Akbiev R. T., Bajkaziev M. H., Sutyryn YU. A., Vajdurov A. V. *Tekhnologiya sejsmousileniya ob'ektov nezavershenogo stroitel'stva (na primere Respubliki Altaj)*. // *Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*. 2006. № 3. Pp. 37–41. (in Russian)

12. Smirnov V. I., Akbiev R. T., Ajzenberg YA. M., CHubakov M. ZH. *Sejsmousilenie gosudarstvennogo koncertnogo zala v g. Groznom*. // *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij*. 2017. № 5–6 (31). Pp. 52–59. (in Russian)

13. Nazarova SH. SH. *Nekotorye osobennosti ocenki sejsmostojkosti medicinskih kompleksov*. // *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij*. 2020. № 5 (48). Pp. 37–41. (in Russian)

14. Kantorovich L. V., Kejlis-Borok V. I., Molchan G. I. *Sejsmicheskij risk i principy sejsmicheskogo rajonirovaniya*. // *Vychislitel'nye i statisticheskie metody interpretatsii sejsmicheskikh dannyh*. *Vychisl. Sejsmologiya*. 1974. Vyp. 6. Pp. 3–20. (in Russian)

15. Kejlis-Borok V. I., Nersesov I. A., Yaglom A. M. *Metodika ocenki ekonomicheskogo efekta sejsmostojkogo stroitel'stva./Akad. nauk SSSR. In-t fiziki Zemli im. O. YU. SHmidta*. – М.: Izd-vo Akad. nauk SSSR. 1962. 48 p. (in Russian)

16. RSN-44–88 *Instrukciya po ocenke sejsmostojkosti ekspluatiruemyh mostov na seti zheleznyh i avtomobil'nyh dorog (na territorii Turkmenskoy SSR) (in Russian)*

17. Uzdin A. M., Vorob'ev V. A., Bogdanova M. A., Sigidov V. V., Vaniчева S. S. *Ekonomika sejsmostojkogo stroitel'stva*. – М.: FGPU DPO «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». 2017. 176 p. (in Russian)

18. *Sejsmicheskaya sotryasaemost' territorii SSSR./Pod red. YU. V. Riznichenko*. – М.: Nauka. 1979. 192 p. (in Russian)

19. Aверьянов V. N., Baulin YU. I., Koff G. L., Lutikov A. I., Mindel' I. G., Nesmeyanov S. A., Sevost'yanov V. V. *Kompleksnaya ocenka sejsmicheskoy opasnosti territorii g. Groznogo (Utochnenie iskhodnoj sejsmichnosti. Sejsmicheskoe mikrorajonirovanie. Sejsmicheskij risk)*. *Nauchnyj redaktor S. I. Poltavcev*. – М.: PNIИИС. 1996. 107 p. (in Russian)

20. Bogdanova M. A., Sigidov V. V. *Funkcii uyazvimmosti dlya ocenki sejsmicheskogo riska*. // *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij*. 2011. № 6. Pp. 54–57. (in Russian)

21. Poltavcev S. I., Ajzenberg YA. M., Koff G. L., Melent'ev A. M., Ulomov V. I. *Sejsmostojkoe rajonirovanie i sejsmostojkoe stroitel'stvo (metody, praktika, perspektiva)*. – М.: GUP CPP. 1998. 259 с.

22. YАremenko A. P. *Ocenka social'nogo riska pri ispol'zovanii otechestvennyh norm sejsmostojkogo stroitel'stva*. // *Sejsmostojkoe stroitel'stvo*. 2000. № 2. Pp. 8–9. (in Russian)

23. Maksimenko D. D., Uzdin A. M. *Uchet social'nyh poter' pri ocenke sejsmicheskogo riska*. // *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij*. 2017. № 1 (28). Pp. 29–35. (in Russian)