

---

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЩЕРБА В ТЕОРИИ РИСКА

---

**Богданова Мария Александровна**<sup>1</sup>, инженер  
**Сигидов Владимир Владимирович**<sup>2</sup>, председатель правления  
**Уздин Александр Михайлович**<sup>1</sup>, д-р. техн. наук, проф.  
**Чернов Виктор Петрович**<sup>3</sup>, д-р. экон. наук, проф.

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения, Московский пр., 9, Санкт-Петербург, Россия, 190031; e-mail: uzdin@mail.ru; bma74@mail.ru

<sup>2</sup> Региональный общественный фонд содействия социальным программам инвалидов (РОФССПИ) «Невский берег», Банковский пер., 3, Санкт-Петербург, Россия, 191023; e-mail: sigidov-vvs@mail.ru

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Садовая ул., 21, Санкт-Петербург, Россия, 191023; e-mail: viktor\_chernov@mail.ru

*Цель:* анализ статистических характеристик ущерба – математическое ожидание (риск), среднеквадратичное отклонение, функции плотности распределения (ф.п.р.) на примере землетрясений. *Обсуждение:* проанализированы ущербы от нескольких событий. Рассмотрены случаи статистически независимых и зависимых событий. *Результаты:* получены ф.п.р. и оценки ущерба от нескольких событий, возможных за срок службы объекта. Графически представлены примеры ф.п.р. Результаты необходимы для страхования и превентивного усиления объектов, подверженных редким случайным воздействиям.

**Ключевые слова:** землетрясение, сейсмостойкость, риск, ущерб.

**DOI:** 10.17308/meps.2016.5/1442

### 1. Введение

Понятие риска давно вошло в практику экономических расчетов. В теории сейсмостойкости методы оценки сейсмического риска введены академиком Л.Н. Канторовичем и его учениками в начале 50-х гг. прошлого века [4, 5]. При этом под риском понимается математическое ожидание величины возможного ущерба за некоторый промежуток времени, обычно один год. Если величину ущерба оценивать, например, в рублях, то риск будет оцениваться в руб./год. Таким образом, можно говорить, что риск – это математическое ожидание годового ущерба или интенсивности накопления ущербов. Согласно [4, 5] величина риска оценивается по формуле

$$R = D \cdot L, \quad (1)$$

где  $D$  – ущерб от неблагоприятного события при условии, что это событие произошло;  $L$  – ожидаемое число событий, равное для редких событий вероятности появления события.

Величина  $D$  зависит от интенсивности внешнего воздействия и свойств объекта и называется в литературе функцией уязвимости [2].

Интенсивность накопления ущерба, являясь случайной величиной, наряду с математическим ожиданием имеет дисперсию. Оценка величины этой дисперсии приводится в работах авторов [1, 2]. Некоторые результаты уже начали использоваться другими авторами [6]. Однако вопросы учета случайного характера оценок риска пока вызывают определенные трудности. Эти трудности возникают уже при использовании исходных понятий теории риска и далее связаны с проблемами оценки рисков от многих событий и надежностью прогнозов риска, особенно от редких событий.

Решение указанных вопросов необходимо при страховании объектов, а также при оценке эффективности инвестирования в объекты, подверженные редким опасным событиям (землетрясениям, наводнениям и т.п.).

## **2. Основные термины и определения**

Для исключения разного толкования базовых понятий теории риска ниже приводятся используемые авторами основные определения и соотношения.

Основным понятием для дальнейшего анализа является ущерб  $D$  от стихийного бедствия (землетрясения, пожара и т.п.). Вообще говоря, ущерб измеряется в рублях или других денежных единицах. С целью исключения эффекта инфляции и вида денежной единицы в работах [4, 5] предложено измерять ущерб в долях от стоимости объекта. Тогда справедливо соотношение  $0 < D < 1$ . Ущерб является случайной величиной и для его описания удобно использовать  $\beta$ -распределение, имеющее областью определения отрезок  $[0,1]$ . На рис.1 приведены в качестве примера функции плотности распределения (ф.п.р.) ущерба от сейсмического воздействия для кирпичных зданий с классом сейсмостойкости  $K_s = 8$  от землетрясений различной силы по данным [1]. Как видно из рисунка, ущерб от землетрясений характеризуется значительной дисперсией. К сожалению, большой разброс данных имеет место и для большинства природных и техногенных неблагоприятных событий. Это обстоятельство затрудняет подготовку к ликвидации последствий катастроф и аварий, а также задачу их страхования. Для снижения дисперсии в оценке ущерба переходят от одного объекта к группе объектов.

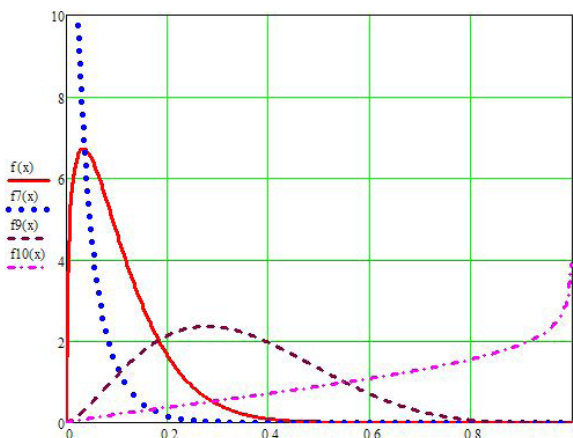


Рис. 1. Ф.п.р. ущерба для кирпичного здания, рассчитанного на 8 баллов от землетрясений разной силы  $l$

$$f(x) - l = 8; f_7(x) - l = 7; f_9(x) - l = 9; f_{10}(x) - l = 10$$

В работах [1, 5] показано, что от анализа отдельного дома следует переходить к анализу зданий в поселке (городе). При этом в качестве случайной величины следует рассматривать величину ущерба от землетрясения заданной силы. Поскольку ущербы для разных зданий являются независимыми (исключение может составить случай строительства нескольких зданий на одном фундаменте, который здесь не рассматривается), их математические ожидания и дисперсии складываются:

$$\bar{D}_{n,1} = n \cdot \bar{D}_0 \tag{2}$$

$$\sigma_{Dn,1}^2 = n \cdot (\sigma_D^{(0)})^2 \tag{3}$$

Здесь  $\bar{D}_{n,1}$  – математическое ожидание ущерба от события (землетрясения) для группы из  $n$  зданий, измеряемое в долях стоимости одного здания;  $\bar{D}_0$  – математическое ожидание ущерба от события (землетрясения) для одного здания;  $(\sigma_D^{(0)})^2$  – дисперсия ущерба от события (землетрясения) для одного здания;  $(\sigma_{Dn,1})^2$  – дисперсия ущерба от события (землетрясения) для группы из  $n$  зданий, измеряемое в долях стоимости одного здания;  $(\sigma_{Dn,1})$  и  $\sigma_D^{(0)}$  – соответствующие среднеквадратичные отклонения.

Если относить показатели ущерба к стоимости всех зданий, принимая  $\bar{D}_n = \frac{\bar{D}_{n,1}}{n}$  и  $\sigma_{Dn} = \frac{\sigma_{Dn,1}}{n}$ , то получим, что математическое ожидание относительного ущерба не меняется с ростом числа объектов, а среднеквадратичное отклонение убывает пропорционально корню из числа объектов.

$$\bar{D}_n = \bar{D}_0 \tag{4}$$

$$\sigma_{Dn} = \frac{\sigma_D^{(0)}}{\sqrt{n}} \tag{5}$$

Здесь  $\bar{D}_n$  – математическое ожидание ущерба от события для группы из  $n$  зданий, измеряемое в долях стоимости всех зданий;  $\sigma_{Dn}$  – среднеквадратическое отклонение ущерба для группы из  $n$  зданий, измеряемое в долях стоимости всех зданий.

При этом ф.п.р. сжимаются и по виду приближаются к ф.п.р. нормального распределения. На рис. 2 приведены ф.п.р. для трех и для девяти объектов. Из рисунка видно, что закон распределения приобретает с ростом числа объектов форму нормального распределения.

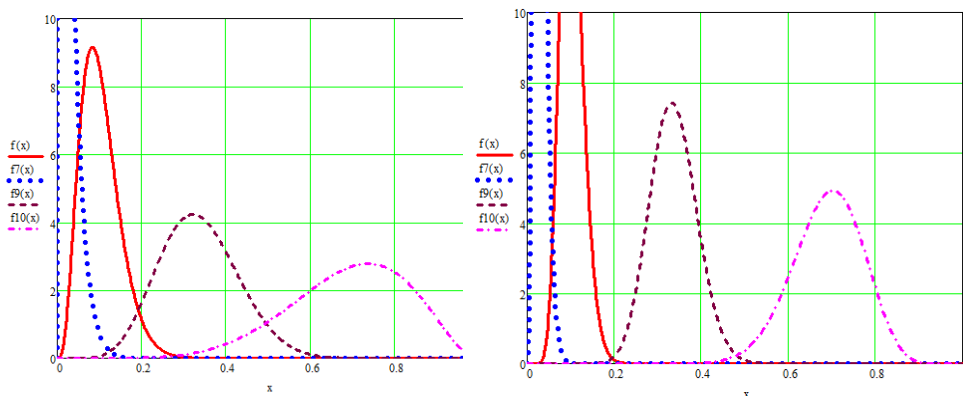


Рис. 2. Ф.п.р. ущерба для кирпичного здания, рассчитанного на 8 баллов от землетрясений разной силы  $I$

$$f(x) - I = 8; f7(x) - I = 7; f9(x) - I = 9; f10(x) - I = 10;$$

слева для 3 объектов, справа – для 9 объектов

Перейдем к оценке риска, то есть к анализу интенсивности накопления повреждений. Обозначим через  $I_D$  ущерб от повреждения сооружений за год. Его можно оценить, как произведение  $DN$ , где  $N$  – число событий за год. При измерении ущерба в рублях величина  $I_D$  измеряется в руб./год. Как отмечено ранее, с целью исключения влияния валютных курсов, ущерб измеряют в долях от стоимости объекта. Для редких событий их число в год равно приблизительно вероятности появления этого события за год. Для сейсмических событий эта величина называется сотрясаемостью и обозначается через  $L$ . Математическое ожидание годового ущерба называется в литературе риском и обозначается через  $R$ .

Для статистического описания интенсивности накопления повреждений в статьях [1, 2] предложено использовать  $\delta$ -корректированную функцию распределения, показанную на рис. 3 и имеющую вид

$$p_R = L \cdot p_D + \delta(x) \cdot (1 - L). \quad (6)$$

Площадь под  $\delta$ -функцией равна вероятности того, что землетрясение не произойдет, т.е. равна  $1 - L$ . В приведенном на рис. 3 примере принято  $L = 0.001$ , средняя величина ущерба при условии, что неблагоприятное событие произойдет  $\bar{D} = 0.3$  и среднеквадратичное отклонение для функции ущерба  $D$ ,  $\sigma_D = 0.17$ .

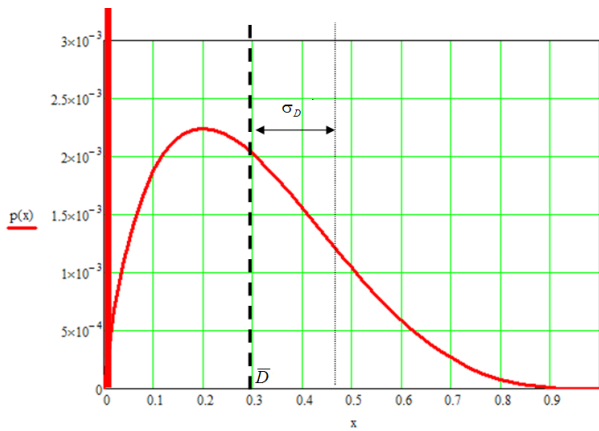


Рис. 3. Пример ф.п.р. годового ущерба при  $L = 0.001$ ,  $\bar{D} = 0.3$  и  $\sigma_D = 0.17$

В соответствии с законом распределения (6) в статьях [1, 2] приведена формула для математического ожидания  $R$  и формула для дисперсии  $\sigma_R^2$  интенсивности накопления повреждений (годового ущерба):

$$R = L \cdot \bar{D}_0, \quad (7)$$

$$\sigma_R^2 = L \cdot \left[ (\sigma_D^{(0)})^2 + \bar{D}_0^2 (1-L)^2 \right]. \quad (8)$$

Если считать, что  $L \ll 1$ , то формулу (8) можно преобразовать к виду

$$\sigma_R^2 = L \cdot (\sigma_D^{(0)})^2 + R \cdot \bar{D}_0. \quad (9)$$

Квадрат коэффициента вариации для годового ущерба при этом имеет вид

$$V_R^2 = \frac{\sigma_R^2}{R^2} = \frac{\sigma_R^2}{(\bar{D}_0 \cdot L)^2} = \frac{1}{L} \cdot \left[ \frac{(\sigma_D^{(0)})^2}{\bar{D}_0^2} + (1-L)^2 \right] \approx \frac{1}{L} \cdot \left[ \frac{(\sigma_D^{(0)})^2}{\bar{D}_0^2} + 1 \right] = \frac{1}{L} \cdot [V_D^2 + 1]. \quad (10)$$

В формуле (10) величина  $V_D$  – коэффициент вариации для ущерба при условии, что событие произошло.

Таким образом, коэффициент вариации годового ущерба принципиально отличается от аналогичного коэффициента вариации ущерба от неблагоприятного события, в частности он стремится к  $\infty$  при  $L \rightarrow 0$ .

### 3. Оценка ущерба и риска от нескольких событий

Если рассматривать накопление ущербов для разных объектов, как независимые события, то математические ожидания и дисперсии суммируются. Это возможно, если рассматривать накопление ущербов от землетрясений различной силы или ущерба для разных населенных пунктов. Чтобы отличить эти суммирования от суммирования в формулах (2, 3) будем обозначать число событий (объектов) через  $N$ . Можно в качестве событий рассматривать, например, аварии автотранспорта, невозврат кредита и т.п.

В этом случае риск от суммы независимых событий определяется формулой:

$$R_s = \sum_{i=1}^N R_i = \sum_{i=1}^N \bar{D}_{0i} L_i \quad (11)$$

Формула (11) – это хорошо известная формула для оценки риска. Если все события одинаковы, то (11) аналогична формуле (2).

Для дисперсии получаем

$$\begin{aligned} \sigma_{RS}^2 &= \sum_{i=1}^N L_i \cdot \left[ (\sigma_{D,i}^{(0)})^2 + \bar{D}_{0,i}^2 (1 - L_i)^2 \right] \approx \sum_{i=1}^N \left[ L_i \cdot (\sigma_{D,i}^{(0)})^2 + R_i \cdot \bar{D}_{0,i} \right] = \\ &= \sum_{i=1}^N \left[ L_i \cdot (\sigma_{D,i}^{(0)})^2 \right] + \sum_{i=1}^N \left[ R_i \cdot \bar{D}_{0,i} \right] \end{aligned} \quad (12)$$

В формуле (12) индекс « $i$ » обозначает номер независимого события или объекта.

Если все события имеют одинаковые параметры, то получим

$$R_s = N \cdot R \quad (13)$$

$$\sigma_{RS}^2 = \sum_{i=1}^N \left[ L_i \cdot \sigma_{D_i}^2 \right] + \sum_{i=1}^N \left[ R_i \cdot \bar{D}_i \right] = N \cdot L \cdot (\sigma_D^{(0)})^2 + N \cdot R \cdot \bar{D}_0 \quad (14)$$

По аналогии с работами [1, 5] отнесем величину риска к суммарной стоимости всех объектов или к суммарному числу событий, а дисперсию – к квадрату такой величины. Получим

$$R_{sN} = \bar{D} \cdot L = R \quad (15)$$

$$\sigma_{RSN}^2 = \frac{(\sigma_D^{(0)})^2 + \bar{D}_0^2}{N} \cdot L \quad (16)$$

Отличие формулы (16) от (5) состоит не только в умножении на вероятность события  $L$ , но и в присутствии слагаемого  $\bar{D}_0^2$  в дисперсии.

Обратимся теперь к функции плотности распределения годового ущерба. Ф.п.р. суммы независимых величин равна свертке функций этих величин. Для двух таких величин

$$\begin{aligned} f(x) &= (1 - L_p)(1 - L_q) \cdot \delta(x) + L_p(1 - L_q) \cdot p_0(x) + L_q(1 - L_p) \cdot q_0(x) + \\ &+ L_p L_q \cdot \int_0^x p_0(z) q_0(x - z) dz \approx \\ &= (1 - L_p - L_q) \cdot \delta(x) + L_p \cdot p_0(x) + L_q \cdot q_0(x) \end{aligned} \quad (17)$$

Обобщая (17) на  $n$  событий, получаем

$$f_s(x) \approx \left( 1 - \sum_{i=1}^n L_i \right) \cdot \delta(x) + \sum_{i=1}^n f_i(x) \cdot L_i \quad (18)$$

Эта формула применима для оценки плотности вероятности годового ущерба от одного или нескольких различных неблагоприятных событий в одном месте, например, от землетрясений различной силы, причем  $i$  определяет силу землетрясения  $I$  в баллах.

Если имеется несколько независимых площадок, то получим

$$f_s(x) \approx \left(1 - \sum_{k=1}^N \sum_{i=5}^{10} L_{ik}\right) \cdot \delta(x) + \sum_{k=1}^N \sum_{i=5}^{10} f_i(x) L_{ik} =$$

$$\left(1 - \sum_{k=1}^N \sum_{i=5}^{10} L_{ik}\right) \cdot \delta(x) + \sum_{i=1}^{10} f_i(x) \sum_{k=5}^N L_{ik} \quad (19)$$

Здесь суммирование ведется по силам землетрясения  $i$  от 5 до 10 баллов и по площадкам  $k$ . Если ввести обозначение  $L_S^{(i)} = \sum_{k=5}^N L_{ik}$ , то двойное суммирование упростится, и получим

$$f_s(x) \approx \left(1 - \sum_{i=1}^N L_S^{(i)}\right) \cdot \delta(x) + \sum_{i=1}^{10} f_i(x) L_S^{(i)}. \quad (20)$$

На рис. 4 построены ф.п.р. годового ущерба при тех же параметрах, что и функции ущерба на рис. 1, – слева для одного, а справа для 9 зданий.

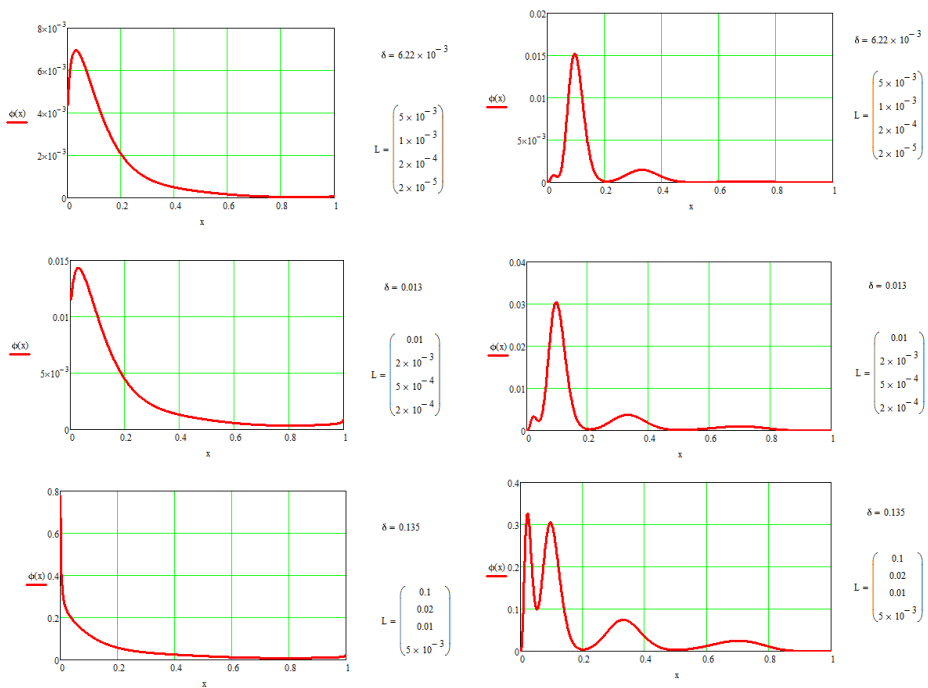


Рис. 4. Ф.п.р. для интенсивности накопления повреждений (годового ущерба) для одного объекта (слева) и для девяти объектов (справа) при различной сотрясаемости территории  $L$ . Импульсная часть с площадью  $\delta$  не показана

Обращает на себя внимание, что для 9 зданий четко выделяются пики, связанные с ущербом от 7-, 8-, 9- и 10-балльных воздействий. Это связано с локализацией ф.п.р. для каждого из видов ущерба при увеличении числа объектов. Этот факт позволяет, в свою очередь, заключить, что при суммировании последствий от дискретных событий, например, годового ущерба от аварий машин в автопарке с несколькими марками машин, поли-

модальность ф.п.р. существенна. Что касается таких событий, как землетрясения, то здесь дополнительно следует учитывать, что сила землетрясения по физическому смыслу должна соответствовать непрерывной величине, что должно сгладить окончательный вид распределения.

#### 4. Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Для учета возможных редких событий при инвестировании и страховании помимо математического ожидания возможного ущерба (риска  $R$ ) необходимо оценивать дисперсию ожидаемого ущерба. Эта дисперсия определяется не столько дисперсией при оценке величины ущерба, сколько вероятностью возникновения события. Коэффициент вариации для годового ущерба обратно пропорционален вероятности опасного события.

2. Для снижения дисперсии ожидаемого годового ущерба возможны два пути:

- увеличение числа объектов инвестирования или страхования;
- увеличение числа неблагоприятных событий.

При увеличении числа объектов снижается среднеквадратичное отклонение ущерба при условии, что событие произошло. При увеличении числа событий снижается общее среднеквадратичное отклонение ожидаемого годового ущерба. Для сейсмостойкого строительства первое означает инвестирование и страхование не отдельного дома, а группы домов, поселка и т.п. Второе означает страхование и инвестирование в разных регионах с независимыми опасными событиями.

3. В практике оценок ущербов приходится работать с дискретным описанием опасных событий. Эта дискретизация может быть естественной (машины различного типа, животные в фермерском хозяйстве, разные заболевания и т.п.) и искусственной (землетрясения различной силы, разная степень опьянения и т.п.). В этом случае ф.п.р. имеет полимодальный характер. Чем больше объектов рассматривается при оценке ущерба, тем четче проявляется эффект полимодальности. Для систем с естественной дискретизацией этот эффект должен учитываться при составлении прогнозов. Для искусственной дискретизации необходимо осреднение ф.п.р., в частности, отказ от дискретизации показателей внешнего воздействия.

#### Список источников

1. Арустамов С.А., Генин М.Г. Деревья ущербов как модель оценки рисков потерь доступности после проведения изменений в финансовых информационных системах // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 2013, no. 2 (84), с. 129-135.

2. Богданова М.А., Огнева С.С., Уздин А.М., Чернов В.П. Оценка доверительных границ для величины риска // *При-*

*родные и техногенные риски. Безопасность сооружений*, 2013, no. 3, с. 46-49.

3. Богданова М.А., Сигидов В.В. Функции уязвимости для оценки сейсмического риска // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*, 2011, no. 6, с. 54-57

4. Богданова М.Ю., Рохманова М., Уздин А.М., Чернов В.П. Оценка ценового коридора для страхования редких со-



бытий // *Финансы и бизнес*, 2014, 4-14, по. 3, с. 61-70.

5. Брумштейн Ю.М., Выборнова О.Н. Дифференцированное управление вероятностями неблагоприятных событий и ущербов от них в рамках риск-менеджмента // *Надежность и качество сложных систем*, 2016, по. 1 (13), с. 63-72.

6. Жуков М.М., Ермилов Е.В., Чопоров О.Н., Бабурин А.В. Построение динамической риск-модели для компонент распределенной системы на основе заданного закона распределения ущерба // *Информация и безопасность*, 2012, т. 15, по. 4, с. 449-460.

7. 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*. Вып. 6. Москва, Наука, 1974, с. 3-20.

8. Карасев В.В. Технологии управления риском с логико-вероятностными моделями // *Проблемы анализа риска*, 2014, т. 11, по. 3, с. 14-21.

9. Кейлис-Борок В.И., Нерсесов И.А., Яглом А.М. *Методы оценки экономического эффекта сейсмостойкого строительства*. Москва, АН СССР, 1962.

10. Покровский А.К., Башмаков И.А. Риски. Их классификация и расчет уровня ущерба // *Грузовое и пассажирское автотранспортное хозяйство*, 2012, по. 5, с. 63-67.

11. Рожков Р.С. Природный и техногенный риск: анализ, оценка, страхование от ущерба // *Экономика и предпринимательство*, 2013, по. 3 (32), с. 398-401.

12. Тиндова М.Г., Корякина О.П. Математические модели экономической оценки экологического ущерба // *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*, 2012, по. 1 (2), с. 208-212.

---

# STATISTICAL CHARACTERISTICS OF DAMAGES IN RISK THEORY

---

**Bogdanova Maria Aleksandrovna**<sup>1</sup>, engineer

**Sigidov Vladimir Vladimirovich**<sup>2</sup>, chairman of the board

**Uzdin Aleksandr Mihailovich**<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Eng.), Prof.

**Chernov Viktor Petrovich**<sup>3</sup>, Dr. Sc. (Econ.), Prof.

<sup>1</sup> Petersburg State Transport University, Moskovsky ave., 9, St. Petersburg, Russia, 190031; e-mail: uzdin@mail.ru; bma74@mail.ru

<sup>2</sup> Regional public foundation to promote social programmes of disabled persons «Nevskij Bereg», Bankovskiy In., 3, St. Petersburg, Russia, 191023; e-mail: sigidov-vvs@mail.ru

<sup>3</sup> St. Petersburg State University of Economics, Sadovaya st., 21, St. Petersburg, Russia, 191023; e-mail: viktor\_chernov@mail.ru

*Purpose:* analysis of statistical parameters of damages, including average value (risk), standard deviation and probability density function using the example of earthquakes. *Discussion:* we analyzed damages caused by more than one event for statistically dependent and independent events. *Results:* we obtained the probability density functions and the damage evaluations during the structure life time. The obtained results are needed to enhance security and to provide preventive strengthening of structures prone to rare random impacts.

**Keywords:** earthquake, seismic stability, risk, damage.

## Reference

1. Arustamov S.A., Genin M.G. Derev'ia ushcherbov kak model' otsenki riskov poter' dostupnosti posle provedeniia izmenenii v finansovykh informatsionnykh sistemakh. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2013, no. 2 (84), pp. 129-135. (In Russ.)
2. Bogdanova M.A., Ogneva S.S., Uzdin A.M., Chernov V.P. Otsenka doveritel'nykh granits dlia velichiny riska. *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenii*, 2013, no. 3, pp. 46-49. (In Russ.)
3. Bogdanova M.A., Sigidov V.V. Funktsii uiazvimosti dlia otsenki seismicheskogo riska. *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenii*, 2011, no. 6, pp. 54-57. (In Russ.)
4. Bogdanova M.Iu., Rokhmanova M., Uzdin A.M., Chernov V.P. Otsenka tsenovogo koridora dlia strakhovaniia redkikh sobytii. *Finansy i biznes*, 2014, 4-14, no. 3, pp. 61-70. (In Russ.)
5. Brumshtein Iu.M., Vybornova O.N. Differentsirovanoe upravlenie veroiatnostiami neblagopriiatnykh sobytii i ushcherbov ot nikh v ramkakh risk-menedzhmenta. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem*, 2016, no. 1 (13), pp. 63-72. (In Russ.)
6. Zhukov M.M., Ermilov E.V., Choporov O.N., Baburin A.V. Postroenie dinamicheskoi risk-modeli dlia komponent raspredelennoi sistemy na osnove zadannogo zakona raspredeleniia ushcherba. *Informatsiia i bezopasnost'*, 2012, t. 15, no. 4, pp. 449-460. (In Russ.)
7. Kantorovich L.V., Keilis-Borok V.I., Molchan G.I. Seismicheskii risk i printsiipy seismicheskogo raionirovaniia. Vy-

*chislitel'nye i statisticheskie metody interpretatsii seismicheskikh dannykh. Vychisl. Seismologiya*, vol. 6. Moscow, Nauka, 1974, pp. 3-20. (In Russ.)

8. Karasev V.V. Tekhnologii upravleniia riskom s logiko-veroiatnostnymi modeliami. *Problemy analiza riska*, 2014, vol. 11, no. 3, pp. 14-21. (In Russ.)

9. Keilis-Borok V.I., Nersesov I.A., Iaglom A.M. *Metody otsenki ekonomicheskogo effekta seismostoikogo stroitel'stva*. Moscow, AN SSSR, 1962. (In Russ.)

10. Pokrovskii A.K., Bashmakov I.A. Riski. Ikh klassifikatsiia i raschet urovnia

ushcherba. *Gruzovoe i passazhirskoe avtokhoziaistvo*, 2012, no. 5, pp. 63-67. (In Russ.)

11. Rozhkov R.S. Prirodnyi i tekhnogennyi risk: analiz, otsenka, strakhovanie ot ushcherba. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, 2013, no. 3 (32), pp. 398-401. (In Russ.)

12. Tindova M.G., Koriakina O.P. Matematicheskie modeli ekonomicheskoi otsenki ekologicheskogo ushcherba. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve*, 2012, no. 1 (2), pp. 208-212. (In Russ.)