

*Для цитирования:* Зайнулабидова Х.Р., Уздин А.М., Чиркст Т.М. Зависимость функции распределения коммерческого ущерба при возможных землетрясениях от класса сейсмостойкости сооружения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (1):162-172. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-162-172

*For citation:* Zajnulabidova H.R., Uzdin A.M., Chirkst T.M. Dependence of distribution function of commercial damages due to possible earthquakes on the class of seismic resistance of a building. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (1):162-172. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-162-172

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК: 699 841

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-162-172

### ЗАВИСИМОСТЬ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОММЕРЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ВОЗМОЖНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ ОТ КЛАССА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЯ

*Зайнулабидова Х.Р.<sup>1</sup>, Уздин А.М.<sup>2</sup>, Чиркст Т.М.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Дагестанский государственный технический университет

367015, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70

<sup>2,3</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора  
Александра I

190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр. 9

e-mail: <sup>1</sup>hanzada1@mail.ru, <sup>2</sup>uzd in@mail.ru, <sup>3</sup>freze1978@yandex.ru

**Резюме: Цель.** Определить вероятность ущерба при землетрясениях различной интенсивности на примере реального проектируемого здания железнодорожного вокзала каркасной конструктивной схемы на основе функции плотности распределения ущерба. **Методы.** Неопределенность, которая в природе всегда существуют, делает неправомочным детерминистский подход к оценке сейсмической опасности территорий и, следовательно, сейсмического риска. В этом случае оценка сейсмического риска может осуществляться на вероятностной основе. Таким образом, риск всегда будет иметь место, но его необходимо свести к минимуму. Задача оптимизации затрат на усиление решается она основе функции плотности распределения ущерба при сейсмическом воздействии различной интенсивности при этом учитывается степень ответственности зданий. **Результаты.** Построены функции распределения ожидаемого ущерба для здания с железобетонным каркасом, расположенного в высокосейсмичном районе с повторяемостью 9-балльных сотрясений раз в 500 лет и 10 – балльных – раз в 5000 лет. Показано существенное влияние класса сейсмостойкости сооружения на вид функций распределения. Для сооружений с высоким классом сейсмостойкости снижается не только сейсмический риск, но и величина дисперсии ожидаемого ущерба. Из полученных графиков видно, что класс сейсмостойкости существенно сказывается на распределение ущербов. при вероятности 0,997 ожидаемый ущерб для не усиленного здания превзойдет 43%, а усиленного – всего 10%. Из графиков также следует, что дисперсия величины ущерба падает с ростом класса сейсмостойкости сооружения. Этот факт является дополнительным стимулом инвестирования в антисейсмическое усиление зданий. **Вывод.** Исследование показывает целесообразность работы с функцией плотности распределения ущербов при управлении сейсмическим риском. В этом случае открывается возможность усиления здания с заданной вероятностью превышения ущербом приемлемого уровня за время эксплуатации объекта. При этом учитывается не только сейсмический риск (математическое ожидание ущерба), но и

дисперсия ожидаемой величины ущерба. С ростом класса сейсмостойкости сооружения удаётся снизить, как риск, так и дисперсию возможных потерь.

**Ключевые слова:** землетрясения, ущерб, сейсмический риск, дисперсия ущерба, функция плотности распределения ущерба, класс сейсмостойкости

## TECHICAL SCIENCE BUILDING AND ARCHITECTURE

### DEPENDENCE OF DISTRIBUTION FUNCTION OF COMMERCIAL DAMAGES DUE TO POSSIBLE EARTHQUAKES ON THE CLASS OF SEISMIC RESISTANCE OF A BUILDING

*Hanzada R. Zajnulabidova<sup>1</sup>, Alexander M. Uzdin<sup>2</sup>, Tatiana M. Chirkst<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Dagestan State Technical University,

I. Shamil Ave., Makhachkala 70367015, Russia ,

<sup>2,3</sup>Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,

9, Moskovsky Ave., Saint Petersburg 190031, Russia.

e-mail: <sup>1</sup>hanzada1@mail.ru, <sup>2</sup>uzdin@mail.ru, <sup>3</sup>freze1978@yandex.ru

**Abstract. Objectives** To determine the damage probability of earthquakes of different intensities on the example of a real projected railway station building having a framework design scheme based on the density function of damage distribution. **Methods** Uncertainty, always existing in nature, invalidates a deterministic approach to the assessment of territorial seismic hazards and, consequently, seismic risk. In this case, seismic risk assessment can be carried out on a probabilistic basis. Thus, the risk will always be there, but it must be minimised. The task of optimising the reinforcement costs is solved by using the density distribution function for seismic effects of varying intensity, taking into account the degree of building responsibility. **Results** The distribution functions of the expected damage for a building with a reinforced concrete frame located in a highly seismic region with a repetition of 9-point shocks every 500 years and 10-point shocks once every 5000 years are constructed. A significant effect of the seismic resistance class of a building on the form of the distribution functions is shown. For structures of a high seismic resistance class, not only is the seismic risk reduced, but also the variance of the expected damage. From the graphs obtained, it can be seen that the seismic resistance class significantly affects the damage distribution. At a probability of 0.997, the expected damage for a non-reinforced building will exceed 43%; for a reinforced one it is only 10%. It also follows from the graphs that the variance of the damage magnitude decreases with the growth of the seismic resistance class of the building. This fact is an additional incentive for investing in anti-seismic reinforcement of buildings. **Conclusion** The study shows the expediency of working with the damage density distribution function when managing seismic risk. In this case, it becomes possible to strengthen the building with a specified probability of damage exceeding the acceptable level during the operation of the construction. This takes into account not only seismic risk (mathematical expectation of damage), but also the dispersion of the expected magnitude of the damage. With the growth of seismic resistance class of the construction, it is possible to reduce both the risk and dispersion of possible losses.

**Keywords:** earthquakes, damage, seismic risk, dispersion of damage, density distribution function, seismic resistance class

**Введение.** При проектировании зданий и сооружений в сейсмически опасном районе приходится решать типичную оптимизационную задачу - обеспечить надёжность сооружения при минимальных затратах. Часто при выборе оптимального решения возникают трудности, связанные с тем, что условия работы системы неоднозначны. В этом случае необходимо оценить всё множество решений. Как правило, большинство реальных инженерных задач

содержат в том или ином виде неопределенность. Однако из-за концептуальных и методических трудностей в настоящее время не существует единого методологического подхода к решению таких задач [8-14]. При использовании этих методов следует иметь в виду, что все они носят рекомендательный характер, и выбор окончательного решения всегда остается за человеком.

С точки зрения случайности необходимо учесть тип неопределенности. По этому признаку можно различить вероятностную неопределенность, когда неизвестные факторы статистически устойчивы (случайные функции, события и т.д.). При этом должны быть известны или определены при постановке задачи все необходимые статистические характеристики (законы распределения и их параметры). Другим крайним случаем, может быть, неопределенность не вероятностного вида, при которой никаких предположений о стохастической устойчивости не существует. Также, можно говорить о промежуточном типе неопределенности, когда решение принимается на основании каких-либо гипотез о законах распределения случайных величин. При этом необходимо иметь в виду опасность несовпадения результатов с реальными условиями.

Эту опасность несовпадения можно компенсировать с помощью коэффициентов риска.

Методика оценка экономической эффективности сейсмостойкого строительства на основе теории риска была разработана лауреатом нобелевской премии, академиком Л.В.Канторовичем и его учениками [1,2]. При этом ими введено понятие «сейсмический риск»  $R$ , который рассматривался, как математическое ожидание ущерба  $D$ . В [2] приведены расчеты сейсмического риска. Однако для оценки экономической эффективности инвестиций величины риска недостаточно. К числу важнейших характеристик, определяющих принятие решений об антисейсмическом усилении, должен относиться и возможный разброс (дисперсия) ожидаемого ущерба, а в конечном итоге необходимо знать функцию плотности распределения ущерба (ф.п.р.). Указанные вопросы только недавно начали анализироваться в литературе [3,4]. В [3] получены общие формулы для оценки дисперсии ущерба от возможных неблагоприятных воздействий, а в [4] приведена методика построения функций плотности распределения ущерба при редких событиях. Основным при этом является необходимость учета того, что само опасное событие может не произойти за срок службы сооружения.

**Постановка задачи.** Для описания случайного характера появления опасных событий, а также связанных с ними ущербов согласно [4] вводится  $\delta$ -корректированное распределение, функция плотности распределения которого приведена на рис.1. Ф.п.р.  $p_R(x)$  является суммой обычной ф.п.р. и  $\delta$ -функции, площадь под которой равна вероятности того, что событие не произойдет вовсе. При этом

$$\int_{-\infty}^{\infty} p_R(x) dx = 1 \quad (1)$$

Аналитически функцию  $p_R$  плотности распределения величины риска  $R$  можно представить как сумму:

$$p_R = L \cdot p_D + \delta(x) \cdot (1 - L) \quad (2)$$

где  $p_D$  – ф.п.р. ущерба  $D$  при условии, что опасное событие произошло;

$L$  – вероятность возникновения опасного события.

Далее будем называть  $p_D$  функцией плотности распределения ущерба от произошедшего события, а  $p_R$  – функцией плотности распределения возможного ущерба.

Математическое ожидание такого процесса определяется формулой:

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot p_R(x) dx = \bar{D} \cdot L \quad (3)$$

где  $\bar{D}$  – математическое ожидание ущерба в том случае, если событие произойдет, т.е., риск  $R$  есть математическое ожидание возможного ущерба [1,2, 14].

Дисперсия  $\delta$ -скорректированного распределения для возможного ущерба:

$$\sigma_R^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{D}L)^2 q(x) dx = L \cdot \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{D}L)^2 q_0(x) dx = L \cdot [\sigma_D^2 + \bar{D}^2(1-L)^2], \quad (4)$$

где  $\sigma_D$  – среднеквадратическое отклонение для ущерба от произошедшего события.

Если объект подвержен группе статистически независимых событий с вероятностями возникновения  $L_i$ , площадь под  $\delta$ -функцией составит величину

$$S = \prod_{i=1}^n (1 - L_i) \approx 1 - \sum_{i=1}^n L_i, \quad (5)$$

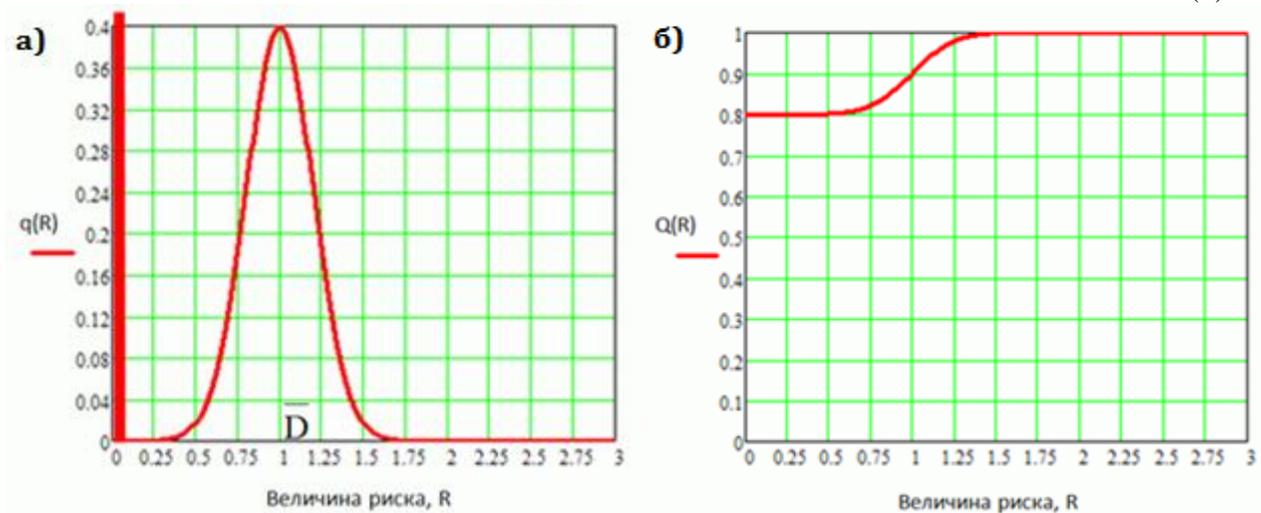
где  $n$  – число событий.

Математическое ожидание возможного ущерба в этом случае будет равно сумме ожидаемых рисков, т.е.

$$R = \sum_{i=1}^n \bar{D}_i L_i, \quad (6)$$

а дисперсия величины возможного ущерба – сумме дисперсий:

$$\sigma_R^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^n L_i \cdot [\sigma_{Di}^2 + \bar{D}_i^2(1 - L_i)^2] \quad (7)$$



**Рис.1. Характер распределения величины возможного ущерба  
 а) – функция плотности распределения, б) – функция распределения**

**Fig.1. Characterization of the magnitude of possible damage  
 a) is the distribution density function, b) is the distribution function**

Для двух процессов с ф.п.р. возможных ущербов  $p$  и  $q$  функцию плотности распределения их суммы  $f(x)$  можно записать в развернутом виде следующим образом:

$$\begin{aligned} f(x) &= (1 - L_p)(1 - L_q) \cdot \delta(x) + L_p(1 - L_q) \cdot p_0(x) + L_q(1 - L_p) \cdot q_0(x) + L_p L_q \cdot \int_0^x p_0(z) q_0(x - z) dz \approx \\ &\approx (1 - L_p - L_q) \cdot \delta(x) + L_p \cdot p_0(x) + L_q \cdot q_0(x) \end{aligned} \quad (8)$$

где  $p_0$  и  $q_0$  – соответствующие ф.п.р. ущербов произошедших событий.

**Методы исследования.** Ниже рассмотрено применение изложенной теории для реального объекта - проектируемого здания железнодорожного вокзала на Байкало-Амурской магистрали располагается в поселке Таксимо (республика Бурятия, Муйский район). В месте расположения проектируемого здания залегают грунты II категории по сейсмическим свойствам.

По данным приложения А [5, 12] для данного населенного пункта сейсмическая интенсивность (I) в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий и трех степеней

сейсмической опасности - А (10%), В (5%), С (1%) в течение 50 лет в соответствии с картами общего сейсмического районирования ОСР-97 [6] составляет:  $I_A = 9$ ;  $I_B = 9$ ;  $I_C = 10$ .

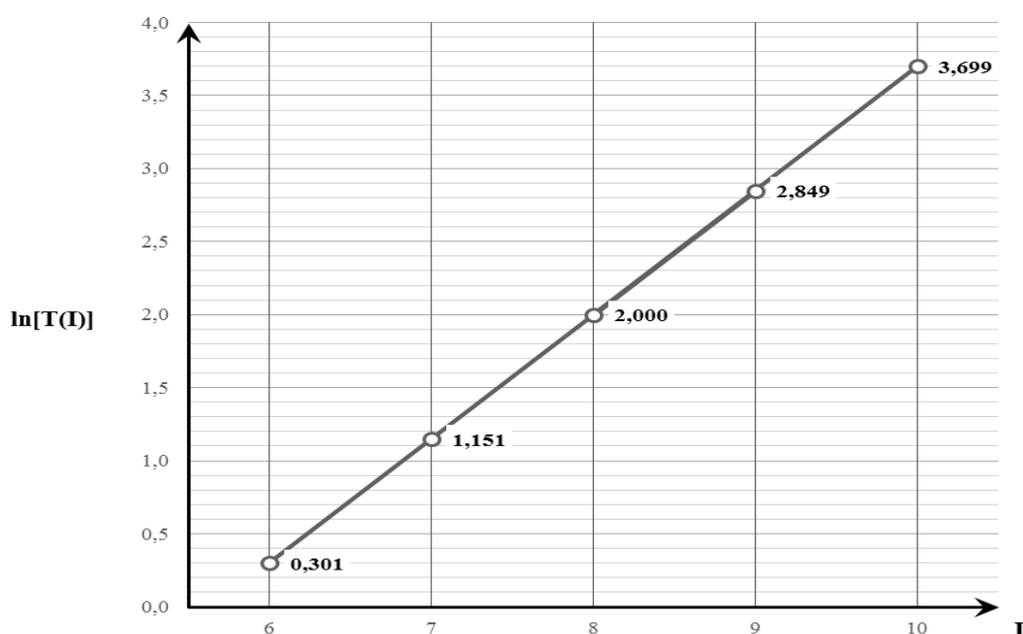
Средняя повторяемость землетрясений ( $T_{eq}$ ), равна соответственно раз в 500, раз в 1000 и раз в 5000 лет.

Для описания повторяемости землетрясений в сейсмологии обычно используется экспоненциальная связь между силой и логарифмом повторяемости сотрясений заданного балла [7, 15]:

$$\ln[T_{eq}(I)] = a \cdot I + b \quad (9)$$

где  $a$  и  $b$  – константы, зависящие от сейсмологической опасности площадки строительства.

По формуле (8) были определены значения для заданной сейсмической интенсивности  $\ln [T_{eq}(I_B)] \approx 2,849$ ;  $\ln [T_{eq}(I_C)] \approx 3,699$  и построен соответствующий график зависимости логарифма повторяемости от силы сейсмического воздействия (рис.2).



**Рис.2. Зависимость  $\ln(T_{eq})$  от силы землетрясения  $I$  для ситуационной сейсмичности в пос.Таксимо (респ. Бурятия) при  $I_A=9$ ,  $I_B=9$  и  $I_C=10$**

**Fig.2. Dependence of  $\ln(T_{eq})$  on the strength of earthquake  $I$  for situational seismicity in Taksimo settlement (Rep. Of Buryatia) at  $I_A = 9$ ,  $I_B = 9$  and  $I_C = 10$**

Значения математического ожидания величины ущерба при условии, что землетрясение произошло  $\bar{D}_i(K_s, I)$  взяты из соответствующей платежной матрицы, приведенной в [10, 16] для зданий с железобетонным каркасом.

Расчеты сведены в табличную форму. В таблице 1 ущерб задан в процентах от стоимости сооружения.

Все статистические характеристики измеряются в долях от стоимости сооружения. При этом ущерб может меняться в пределах от 0 (ничего не повреждено) до 1 (полное разрушение). В соответствии с [4, 17] в качестве ф.п.р. ущерба при условии, что землетрясение произошло принято  $\beta$ -распределение. Функция плотности вероятности  $\beta$ -распределения имеет вид [11]:

$$p(x) = \frac{x^{\nu} \cdot (1-x)^{\mu}}{B(\nu, \mu)} \quad (10)$$

где  $\mu$  и  $\nu$  - параметры распределения,  $B(\nu, \mu)$  -  $\beta$ -функция.

Если известны математическое ожидание  $\bar{D}$  и дисперсия  $\sigma^2$  случайной величины, то параметры распределения могут быть вычислены по формулам:

$$v = \frac{1 - \bar{D} - V \cdot \bar{D}}{V}; \quad \mu = \frac{v}{D} - v \quad (11)$$

Бета-функция выражается при вычислениях через гамма-функцию [11]:

$$B(v, \mu) = \frac{\Gamma(v) \cdot \Gamma(\mu)}{\Gamma(v + \mu)}, \quad (12)$$

**Таблица 1. Оценка математического ожидания ущерба для каркасного здания в районе с ситуационной сейсмичностью  $I_A=9, I_B=9$  и  $I_C=10$  для классов сейсмостойкости  $K_s$  6 и 9**  
**Table 1. Assessment of the mathematical expectation of damage for a frame building in an area with situational seismicity  $I_A = 9, I_B = 9$  и  $I_C = 10$  for seismic classes  $K_s$  6 and 9**

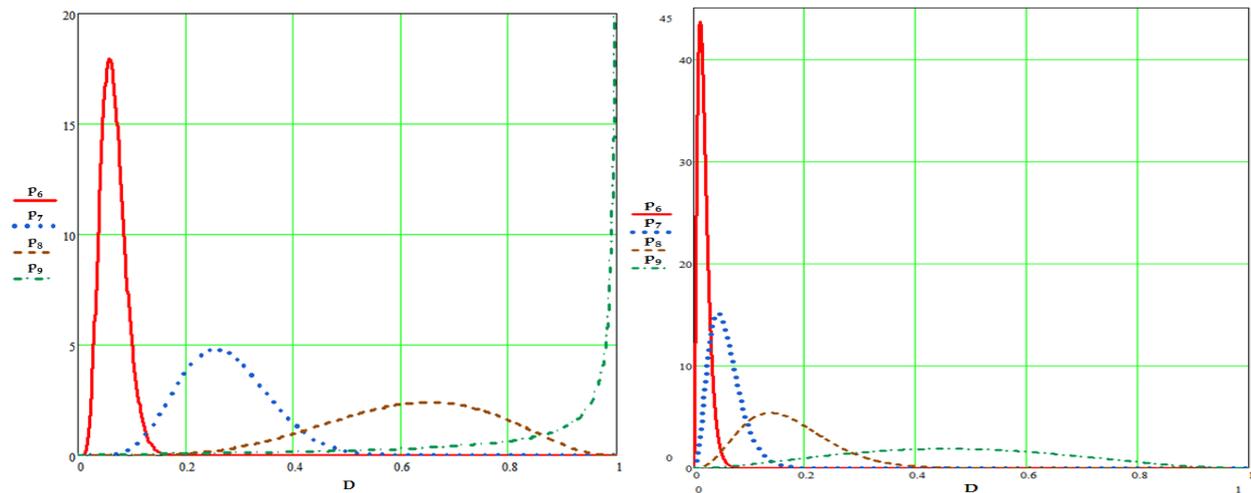
Сила землетрясения I		5	6	7	8	9	10	РИСК $R(K_s) = D(K_s, I) L_i$
Средняя повторяемость землетрясения $T_{eq}$		5	20	50	200	500	5000	
Сотрясаемость $L = 1/T_{eq}$		0,2	0,05	0,02	0,005	0,002	0,0002	
Значения возможного о ущерба [10]	$\bar{D}_i(K_s = 6, I)$	0,03	2,37	6,6	27,4	61,8	121	
	$\bar{D}_i(K_s = 9, I)$	0	0,12	1,4	5,8	17	47,08	
$\bar{D}_i(K_s = 6, I) \cdot L_i$		0,006	0,1185	0,132	0,137	0,1236	0,0242	
$\bar{D}_i(K_s = 9, I) \cdot L_i$		0	0,006	0,028	0,029	0,034	0,0094	<b>0,0154</b>

Все необходимые расчетные данные для построения графиков кривых распределения при классах усиления  $K_s$  6 и 9 сведены в табл. 2.

**Таблица 2. Расчетные характеристики ф.п.р. ущерба при землетрясениях различной силы**  
**Table 2. Estimated characteristics of fps. damage caused by earthquakes of various strengths**

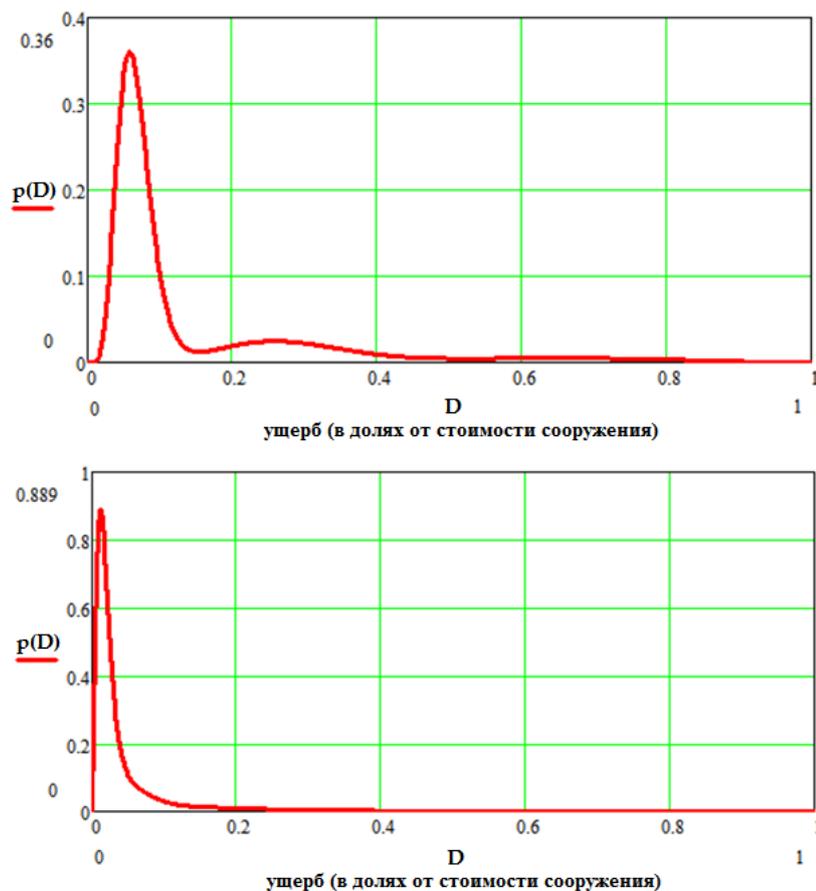
		R	$\sigma$	Disp = $\sigma^2$
<b><math>K_s = 6</math></b>				
I (баллы)	7	0,066	0,0231	0,00053
	8	0,274	0,0685	0,00469
	9	0,618	0,1545	0,02387
	10	0,99	0,2475	0,06126
<b><math>K_s = 9</math></b>				
I (баллы)	7	0,014	0,0084	0,00007
	8	0,058	0,0232	0,00054
	9	0,17	0,0425	0,00181
	10	0,4708	0,1177	0,01385

Соответствующие ф.п.р. ущербов при условии, что землетрясение произошло, показаны на рис. 3-5

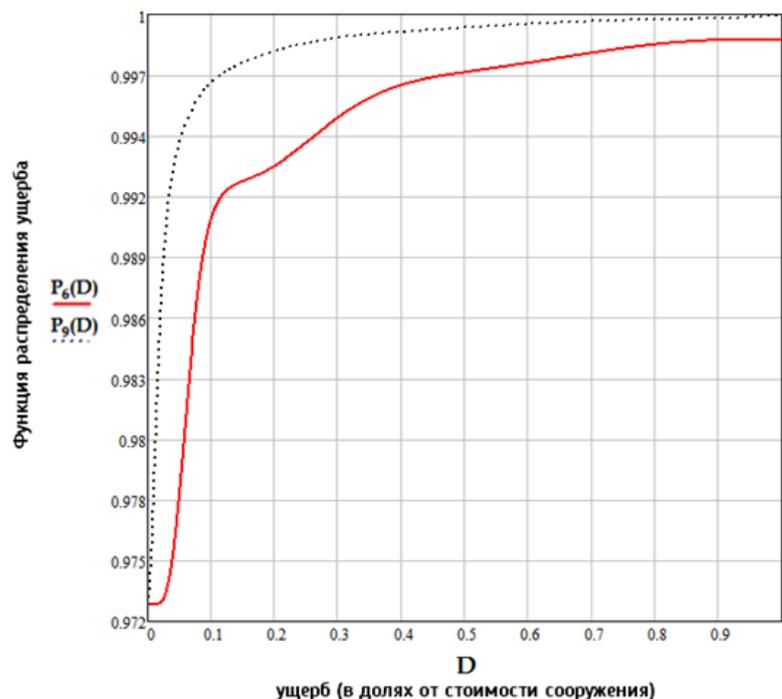


**Рис.3. Функция плотности распределения ущерба  $D$  при классах сейсмостойкости  $K_s = 6$  (слева) и  $K_s = 9$  (справа) от землетрясений силой 6 баллов (сплошная кривая), 8 баллов (точечная кривая), 9 баллов (пунктир) и 10 баллов (штрих-пунктир)  $p_I$  – вероятность ущерба от землетрясения силой  $I$  баллов**

**Fig.3. Function of damage distribution density  $D$  for seismic resistance classes  $K_s = 6$  (left) and  $K_s = 9$  (right) from earthquakes of 6 points (solid curve), 8 points (point curve), 9 points (dotted line) and 10 points (bar-dotted line)  $p_I$  - probability of damage from an earthquake with the strength of  $I$  points**



**Рис.4. Функция плотности распределения рисков для классов сейсмостойкости  $K_s = 6$  (верхний) и  $K_s = 9$  (нижний)  $\delta$ -функция в начале координат не показана**  
**Fig.4. The function of the density of risk distribution for seismic resistance classes  $K_s = 6$  (upper) and  $K_s = 9$  (lower)  $\delta$ -function at the origin is not shown**



**Рис. 5. Функция распределения ущерба для классов сейсмостойкости  $K_s = 6$  (сплошная линия) и  $K_s = 9$  (точечная линия)**  
**Fig. 5. The function of damage distribution for seismic resistance classes  $K_s = 6$  (solid line) and  $K_s = 9$  (dotted line)**

С приведенными данными по формуле (8) были построены ф.п.р. ожидаемого ущерба для рассматриваемого зданий на рассматриваемой площадке. Соответствующие ф.п.р. для  $K_s=6$  и  $K_s=9$  показаны на рис. 4 (дельта функция в начале координат не показана).

**Обсуждение результатов.** Из приведенных графиков видно, что класс сейсмостойкости существенно сказывается на распределение ущербов. С ростом величины  $K_s$  ф.п.р. сдвигаются к 0, а вероятность полного разрушения становится малой (рис.3,4). Если обратиться к рис.5, то можно отметить, что при вероятности 0.997 ожидаемый ущерб для не усиленного здания превзойдет 43%, а усиленного – всего 10%. Из графиков также следует, что дисперсия величины ущерба падает с ростом класса сейсмостойкости сооружения. Этот факт является дополнительным стимулом инвестирования в антисейсмическое усиление зданий.

**Вывод.** Выполненное исследование показывает целесообразность работы с ф.п.р. ущербов при управлении сейсмическим риском. В этом случае открывается возможность усиления здания с заданной вероятностью превышения ущербом приемлемого уровня за время эксплуатации объекта. При этом учитывается не только сейсмический риск (математическое ожидание ущерба), но и дисперсия ожидаемой величины ущерба. С ростом класса сейсмостойкости сооружения удастся снизить, как риск, так и дисперсию возможных потерь.

#### Библиографический список:

1. 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. М.: Наука, 1974, с. 3-20
2. Кейлис-Борок В.И., Нерсесов И.А., Яглом А.М. Методы оценки экономического эффекта сейсмостойкого строительства.// М., изд. АН СССР.-1962.-с.46.

3. Богданова М.А., Огнева С.С., Уздин А.М., Чернов В.П. Оценка доверительных границ для величины риска. Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2013, №3, с.46-49
4. Богданова М.Ю., Сигидов В.В., Уздин А.М., Чернов В.П. Статистические характеристики ущерба в теории риска. Современная экономика: проблемы и решения. 2016. №5. С. 22-30.
5. СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*
6. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект новых карт общего сейсмического районирования территории Российской федерации. Сейсмостойкое строительство. 1998. №4. С.30-34.
7. Сейсмическая сотрясаемость территории СССР. // Под ред. Ю.В.Ризниченко. М., Наука, 1979. 192 с.
8. Полтавцев С.И., Айзенберг Я.М., Г.Л.Кофф, Мелентьев А.М., Уломов В.И. Сейсмостойкое районирование и сейсмостойкое строительство (методы, практика, перспектива), М. ГУП ЦПП, 199., 259 с.
9. Богданова М.А., Сергин К.С., Сахаров О.А., Сигидов В.В. Рационализация процесса инвестирования в сейсмостойкое строительство// Экономическое возрождение России. – СПб: Издание АНО «Институт проблем экономического возрождения». 2011. №1(27). С. 132-138.
10. Богданова М.А., Сигидов В.В. Функции уязвимости для оценки сейсмического риска. Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2011. №6. С.54-57.
11. Справочник по специальным функциям с формами графиками и математическими таблицами. Ред. Абрамович М., Стиган И., М.- Наука. 1979. 830 с.
12. Свод правил СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах». Актуализированная редакция СНиП II -7-81\* «Строительство в сейсмических районах». – М.: Минрегион России, 2010. 83 с
13. Богданова М.Ю., Рохманова М., Уздин А.М., Чернов В.П. Оценка ценового коридора для страхования редких событий. Финансы и бизнес, 4-14, №3. 2014. С.61-70.
14. Bommer J., Pinho R., Spence R. Earthquake loss estimation models: time to open the black boxes?//First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Geneva, September, 2006. P. 834.
15. Mehrdad Mahdyiar. Incorporating uncertainties in earthquake loss analysis of portfolios: southern California scenario//12th European Conference on Earthquake Engineering. -P. 455.
16. Durukal E., Franco G., Deodatis G., Erdik M., Hancilar U., Smyth A. Probabilistic Vulnerability Analysis: an Application to a Typical School Building in Istanbul // First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC), Geneva, Switzerland, 3—8 September 2006. Paper N 889.
17. Stojanovski P., Dong W., Wagh S., Mortgat C., Shah H.C. Double Trigger Earthquake Micro-Insurance Program for Rural China // Viability and Sustainability Study: Fourteen European Conference on Earthquake Engineering. Macedonia, 2010

#### **References:**

1. Kantorovich L.V., Keylis-Borok V.I., Molchan G.I. Seysmicheskij risk i printsipy seysmicheskogo rayonirovaniya. Vychislitel'nye i statisticheskie metody interpretatsii seysmicheskikh dannyx. Vychisl. Seysmologiya. Vyp. 6. Moscow: Nauka; 1974. S. 3-20. [Kantorovich L.V., Keylis-Borok V.I., Molchan G.I. Seismic risk and seismic zoning principles. Vychislitel'nye i statisticheskie metody interpretatsii seysmicheskikh dannyx. Vychisl. Seysmologiya. Vyp. 6. Moscow: Nauka; 1974. P. 3-20. (in Russ.)]
2. Keylis-Borok V.I., Nersesov I.A., Yaglom A.M. Metody otsenki ekonomicheskogo effekta seysmostoykogo stroitel'stva. Moscow: izd. AN SSSR; 1962. 46 s. [Keylis-Borok V.I., Nerse-

- sov I.A., Yaglom A.M. Methods for assessing the economic effect of seismic resistant construction. Moscow: AN SSSR; 1962. 46 p. (in Russ.)]
3. Bogdanova M.A., Ogneva S.S., Uzdin A.M., Chernov V.P. Otsenka doveritel'nykh granits dlya velichiny riska. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy. 2013; 3:46-49. [Bogdanova M.A., Ogneva S.S., Uzdin A.M., Chernov V.P. Evaluation of confidence limits of the risk magnitude. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy. 2013; 3:46-49. (in Russ.)]
  4. Bogdanova M.Yu., Sigidov V.V., Uzdin A.M., Chernov V.P. Statisticheskie kharakteristiki ushcherba v teorii riska. Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya. 2016; 5:22-30. [Bogdanova M.Yu., Sigidov V.V., Uzdin A.M., Chernov V.P. Statistical characteristics of damage in risk theory. Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya. 2016; 5:22-30. (in Russ.)]
  5. SP 14.13330.2011 Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp II-7-81\*. [SP 14.13330.2011 SP 14.13330.2011 Construction in seismic regions. Updated version of SNIp II-7-81\*. (in Russ.)]
  6. Ulomov V.I., Shumilina L.S. Komplekt novykh kart obshchego seysmicheskogo rayonirovaniya territorii Rossiyskoy federatsii. Seysmostoykoe stroitel'stvo. 1998; 4:30-34. [Ulomov V.I., Shumilina L.S. A set of new maps of the general seismic zoning of the Russian Federation territory. Earthquake engineering. Constructions safety. 1998; 4:30-34. (in Russ.)]
  7. Seysmicheskaya sotryasaemost' territorii SSSR. Pod red. Riznichenko Yu.V. Moscow: Nauka; 1979. 192 s. [Seismic shaking of the USSR territory. Riznichenko Yu.V. (Ed). Moscow: Nauka; 1979. 192 s. (in Russ.)]
  8. Poltavtsev S.I., Ayzenberg Ya.M., G.L.Koff, Melent'ev A.M., Ulomov V.I. Seysmostoykoe rayonirovanie i seysmostoykoe stroitel'stvo (metody, praktika, perspektiva). Moscow: GUP TsPP; 1998. 259 s. [Poltavtsev S.I., Ayzenberg Ya.M., G.L.Koff, Melent'ev A.M., Ulomov V.I. Seismic resistant zoning and seismic resistant construction (methods, practice, perspective). Moscow: GUP TsPP; 1998. 259 p. (in Russ.)]
  9. Bogdanova M.A., Sergin K.S., Sakharov O.A., Sigidov V.V. Ratsionalizatsiya protsessa investirovaniya v seysmostoykoe stroitel'stvo. Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. 2011; 1(27):132-138. [Bogdanova M.A., Sergin K.S., Sakharov O.A., Sigidov V.V. Rationalisation of the investing process in earthquake-proof construction. Economic Revival of Russia. 2011; 1(27):132-138. (in Russ.)]
  10. Bogdanova M.A., Sigidov V.V. Funktsii uyazvimosti dlya otsenki seysmicheskogo riska. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy. 2011; 6:54-57. [Bogdanova M.A., Sigidov V.V. Vulnerability functions for seismic risk assessment. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy. 2011; 6:54-57. (in Russ.)]
  11. Spravochnik po spetsial'nym funktsiyam s formami, grafikami i matematicheskimi tablitsami. Pod. red. Abramovich M., Stigan I. Moscow: Nauka; 1979. 830 s. [Reference book on special functions with forms, graphs and mathematical tables. Abramovich M., Stigan I. (Eds). Moscow: Nauka; 1979. 830 p. (in Russ.)]
  12. Svod pravil SP 14.13330.2011 "Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh". Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp II -7-81\* "Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh". Moscow: Minregion Rossii; 2010. 83 s. [Code of Regulations SP 14.13330.2011 "Construction in seismic regions." The updated version of SNIp II-7-81 \* "Construction in seismic regions". Moscow: Minregion Rossii; 2010. 83 s. (in Russ.)]
  13. Bogdanova M.Yu., Rokhmanova M., Uzdin A.M., Chernov V.P. Otsenka tsenovogo koridora dlya strakhovaniya redkikh sobytii. Finansy i biznes. 2014; 4-14(3):61-70. [Bogdanova M.Yu., Rokhmanova M., Uzdin A.M., Chernov V.P. Estimation of the price corridor for insurance of rare events. Finansy i biznes. 2014; 4-14(3):61-70. (in Russ.)]
  14. Bommer J., Pinho R., Spence R. Earthquake loss estimation models: time to open the black boxes? First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Geneva; 2006. P. 834.

15. Mehrdad M. Incorporating uncertainties in earthquake loss analysis of portfolios: southern California scenario. 12th European Conference on Earthquake Engineering. London; 2002. P. 455.
16. Durukal E., Franco G., Deodatis G., Erdik M., Hancilar U., Smyth A. Probabilistic vulnerability analysis: an application to a typical school building in Istanbul. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC). Geneva; 2006. Paper N 889.
17. Stojanovski P., Dong W., Wagh S., Mortgat C., Shah H.C. Double trigger earthquake micro-insurance program for rural china: viability and sustainability study. Fourteen European Conference on Earthquake Engineering. Ohrid; 2010.

**Сведения об авторах.**

**Зайнулабидова Ханзада Рауповна** – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры.

**Уздин Александр Михайлович** – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики.

**Чиркст Татьяна Максимовна** – магистр, инженер

**Information about the authors.**

**Hanzada R. Zajnulabidova** – Cand. Sc.(Technical).

**Alexander M. Uzdin.** - Dr. Sc.( Technical).

**Tatiana M. Chirkst** – master, engineer

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

**Поступила в редакцию** 19.01.2017.

**Received** 19.01.2017.

**Принята в печать** 3.02.2017.

**Accepted for publication** 3.02.2017.