

## ДИНАМИКА КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 699.81

DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-3-219-228

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Оценка рисков при сейсмопожароопасном воздействии  
на опасные производственные и категорированные объекты промышленностиА.А. Сулейманов<sup>1</sup>, О.А. Джураев<sup>1</sup>, Ф.Я. Умаров<sup>2</sup>, С.С. Шамансуров<sup>1</sup><sup>1</sup>Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова, Республика Узбекистан, 100100, Ташкент, ул. Университетская, 1–3<sup>2</sup>Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», Республика Узбекистан, 110100, Алмалык, ул. Амира Темура, 56

## Ключевые слова:

опасный фактор  
сейсмопожаровоздействия;  
опасные и категорированные объекты;  
механизм обеспечения безопасности;  
риск от пожаров;  
вторичные пожары;  
сейсмическое воздействие;  
перераспределение времени;  
чрезвычайные ситуации;  
аспирационные потоки

## История статьи

Поступила в редакцию: 28 октября 2018 г.

Доработана: 29 апреля 2019 г.

Принята к публикации: 16 мая 2019 г.

## Для цитирования

Сулейманов А.А., Джураев О.А., Умаров Ф.Я., Шамансуров С.С. Оценка рисков при сейсмопожароопасном воздействии на опасные производственные и категорированные объекты промышленности // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 3. С. 219–228. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-3-219-228>

## Аннотация

**Цель** исследования – изучение и анализ риска воздействия опасных факторов (в частности, сейсмопожароопасного) на опасные производственные и категорированные объекты промышленности.

**Методы.** Для решения поставленной задачи применялись аналитический, математический, оперативно-тактический и механо-статистический методы, а также метод исследования деформативности сейсмозащитных диафрагм.

В статье рассмотрен риск сейсмоздействия на опасные производственные объекты промышленности совместно со вторичными пожарами. Это обстоятельство – достаточно часто совпадающий совместный вектор – предлагается использовать как механизм обеспечения безопасности промышленных объектов от сейсмопожароопасного фактора воздействия, к которому относятся и аспирационные потоки. Анализ риска учитывает алгоритм обеспечения безопасности сложных технических и социальных систем, что свидетельствует о степени универсальности данного алгоритма. Этот механизм обеспечения безопасности наиболее актуален для архитектурных генпланов зданий и сооружений, а также для оперативно-тактических действий подразделений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, кризисных и экстремальных явлений.

**Результаты.** Полученные данные сопровождаются необходимыми математическими выкладками и экспериментальными оценками процесса обеспечения безопасности.

## Введение

Актуальность рассматриваемой проблемы отмечена в указе президента Российской Федерации

<sup>1</sup> Сулейманов Адльжан Арифджанович, – доктор технических наук, профессор, кафедра «Безопасность жизнедеятельности», [ibragimov-dem@yandex.com](mailto:ibragimov-dem@yandex.com)  
Джураев Олимжон Азизович, старший преподаватель, кафедра «Безопасность жизнедеятельности».

Шамансуров Суниат Султанович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Безопасность жизнедеятельности».

<sup>2</sup> Умаров Фарход Яркулович, доктор технических наук, исполнительный директор.

© Сулейманов А.А., Джураев О.А., Умаров Ф.Я., Шамансуров С.С., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

от 11.01.2018 № 12 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года», который определил стратегию в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, кризисных и экстремальных явлений.

Настоящее исследование также служит выполнению задач, предусмотренных указами президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 07.02.2017 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию

Республики Узбекистан», № УП-5066 от 01.06.2017 «О мерах по коренному повышению эффективности системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», постановлением Кабинета министров № 1027 от 28.12.2017 «О создании единой системы мониторинга, обмена информацией и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного техногенного и экологического характера» и другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

Большинство сейсмоизолирующих систем и устройств весьма сложны и трудоемки в изготовлении и монтаже и, естественно, дороги относительно стоимости объекта (здания, сооружения). К тому же каждая система сейсмозащиты имеет определенную область применения, зависящую от основной конструкции объекта, его этажности и характеристик возможных землетрясений. Задача оценки риска осложняется еще и тем, что каждое землетрясение в идеале требует своеобразных профилактических решений.

Мы предлагаем использовать выявление аспирационных потоков как дополнительный механизм обеспечения безопасности промышленных объектов от сейсмопожароопасного фактора с целью предварительной оценки риска предприятий и оперативных подразделений, вынужденных действовать в сложных условиях [1–3]

## 1. Процесс обеспечения безопасности

Для обеспечения безопасности жизни и здоровья населения, а также сохранности зданий и сооружений необходимо учитывать ряд вероятностных факторов.

В основных алгоритмах действия подразделений при обеспечении безопасности можно выделить три основных этапа [4; 5].

На *первом этапе* длительностью  $t_1$  предусматривается:

- изучение защищаемой системы в аспекте степени ее устойчивости, выявление основ и сил, содействующих возможному ее разрушению;
- выявление сил, способствующих стабильному существованию защищаемой системы;
- определение границ распространения и степени развития сил, воздействующих на изменение надежности данной системы;
- определение причин разрушения и/или нарушения работоспособности системы;
- изучение свойств разрушающей системы, ее слабых сторон (например, изучение территориального состояния и сложившихся обстоятельств взры-

ва торгового центра в Нью-Йорке позволило точно определить сложившуюся оперативную обстановку и, приняв правильное управленческое решение, наметить направления введения основных сил и средств);

– определение способов влияния на выявленные в системе антагонизмы.

Первый этап в целом можно охарактеризовать как этап изучения защищаемой системы. С самого начала необходимо четко определить, сколько имеется времени для решения задач данного этапа (обычно это необходимо, если мы имеем дело с уже разрушающейся системой). Здесь решающим фактором является максимальное время развития разрушающего процесса до точки  $S$ , после которой разрушение или уничтожение системы уже невозможно предотвратить (другими словами,  $S$  – это точка, до которой еще возможен восстановительный процесс). Исходя из имеющегося в распоряжении времени, можно отводить возможный его лимит для первого этапа [6].

Важность первого этапа определяется ценностью времени, затрачиваемого на решение его задач. Одним из возможных способов увеличения этого времени является приглашение специалистов и/или постановка конкретных задач перед людьми, имеющими достаточный опыт в их решении, так как они способны, во-первых, ускорить решение поставленных задач, во-вторых, быстро и обоснованно определить приоритетное направление действий, опираясь на сложившиеся условия; в-третьих, при необходимости «отсеять» ненужные (или временно ненужные) подпункты первого и последующих этапов. Время, затраченное на привлечение специалистов, получение ими информации и принятие ими решения можно обозначить как  $t_k$  – период, катализирующий временную «деформацию».

На *втором этапе* длительностью  $t_2$ :

- определяются пути локализации распространения составных элементов, разрушающих систему (в частности, такие операции пришлось выполнять в Вашингтоне для локализации распространения опасных очагов в связи с возникновением чрезвычайной ситуации, учиненной террористами);
- разрабатываются рекомендации по сохранению прочности системы в целом (например, в системе обеспечения пожарной безопасности разработан комплекс профилактических мероприятий, цель которых – предупреждение пожара в различных отраслях промышленности, Министерством по чрезвычайным ситуациям разработаны профилактические мероприятия, применимые в широкой области жизнедеятельности человека).

На *третьем этапе* длительностью  $t_3$  осуществляется:

- оперативное вмешательство для локализации развития нарушения стабильности;

- установление/внедрение дополнительной подсистемы, так называемого сателлита, в целях повышения надежности системы или ее необходимых качеств, желательного без ухудшения остальных (однако установка такой подсистемы зачастую сводится к реализации известного принципа, по которому «если хочешь приобрести что-то, надо платить или жертвовать чем-нибудь другим», что на практике нередко сопряжено с увеличением людских и прочих резервов);

- перестановка составляющих (предпринимается реже), что позволяет в итоге повысить надежность и/или устойчивость системы;

- замена или оперативное удаление при необходимости отдельных составляющих, мешающих стабильному существованию системы;

- установление надзора за соблюдением рекомендаций, способствующих повышению надежности и стабильности;

- обеспечение благоприятных условий для сил, обеспечивающих стабильное функционирование системы.

Имеется также четвертый этап длительностью  $t_4$ , который выходит за пределы времени локализации и представляет собой период, необходимый для полной ликвидации последствий. Процессы полной ликвидации не всегда проходят в кризисных и экстремальных условиях (и даже могут длиться годами). К примеру, полная ликвидация последствий землетрясения в Гуанчжоу (Китай), произошедшего 8 августа 2017 г., до сих пор не окончена. Если взять землетрясение 1966 г. в Ташкенте, то существуют дома, построенные москвичами в 1972 г., т.е. полная ликвидация шла более 6 лет [6; 7]. Понятно, что постройка этих домов проходила уже вне условий кризисных и экстремальных явлений, поэтому интереса с точки зрения оперативного реагирования в кризисных и экстремальных условиях, рассматриваемого в данной статье, этот этап не представляет.

## 2. Математическая модель обеспечения безопасности

Исходя из вышесказанного период времени  $t_{\text{чс}}$ , предназначенный для локализации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС), можно разбить на три составляющих:

$$t_{\text{чс}} = t_1 + t_2 + t_3 = \sum_{i=1}^3 t_i,$$

где  $t_{\text{чс}}$  – период времени, имеющийся в наличии, т.е. оставшийся до точки Ч (когда можно считать, что последствия локализованы);  $t_i$  – период времени, затрачиваемый для каждого этапа (где  $i = 1, 2, 3$ ):  $t_1$  – период времени для определения оперативной обстановки;  $t_2$  – период времени для принятия управленческого решения;  $t_3$  – период времени для оперативного вмешательства.

Если учесть, что три указанных периода времени состоят из конкретных действий, описанных выше, на осуществление которых также требуется время, то эти три периода времени можно записать в следующем, более конкретном виде:

1) для периода определения оперативной обстановки –  $t_1 = \sum_{j_1=1}^{N_1} t_{1j_1}$ , где  $j_1$  может включать номера всех возможных мероприятий первого периода;

2) для периода принятия управленческого решения –  $t_2 = \sum_{j_2=1}^{N_2} t_{2j_2}$ , где  $j_2$  может охватывать номера всех возможных мероприятий второго периода;

3) для периода оперативного вмешательства –  $t_3 = \sum_{j_3=1}^{N_3} t_{3j_3}$ , где  $j_3$  может проходить номера всех возможных мероприятий третьего периода.

В результате уточнения составляющих каждого из трех периодов времени получаем более подробную формулу для величины периода времени  $t_{\text{чс}}$ :

$$t_{\text{чс}} = t_1 + t_2 + t_3 = \sum_{j_1=1}^{N_1} t_{1j_1} + \sum_{j_2=1}^{N_2} t_{2j_2} + \sum_{j_3=1}^{N_3} t_{3j_3} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j_i=1}^{N_i} t_{ij_i}, \quad (1)$$

где  $t_{1j_1}$  – длительности мероприятий определения оперативной обстановки,  $j_1 = 1, 2, 3, \dots, N_1$ ,  $N_1$  – количество этих мероприятий;  $t_{2j_2}$  – длительности мероприятий принятия управленческого решения,  $j_2 = 1, 2, 3, \dots, N_2$ ,  $N_2$  – количество этих мероприятий;  $t_{3j_3}$  – длительности мероприятий реализации принятого управленческого решения (непосредственное оперативное вмешательство),  $j_3 = 1, 2, 3, \dots, N_3$ ,  $N_3$  – количество этих мероприятий.

Сумма (1) может подтверждаться при условии, что

$$\begin{cases} g(t_1) = 0, \text{ если } t_1 \notin [a, b], \\ \varphi(t_3) = 0, \text{ если } t_3 \notin [c, d], \\ g(t_2) > 0, \text{ если } t_2 \in [b, c], \\ \varphi(t_3) > 0, \text{ если } t_3 \in [c, d], \end{cases} \quad (2)$$

где  $g(t_1)$  – функция для определения оперативной обстановки;  $g(t_2)$  – функция для принятия управ-

ленческого решения;  $\varphi(t_3)$  – функция для оперативного вмешательства.

В системе (2) параметры,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  описывают профилактические и тактические мероприятия, которые могут привести значительную эффективность деятельности сил и средств на третьем этапе. Реализовываться они могут на любом из трех этапов и даже до начала первого этапа. Профилактические мероприятия реализовываются обычно до начала первого этапа, хотя возможно их проявление и/или реализация на первом, втором и третьем этапах. Также оперативный штаб и руководство могут оставить нереализованным тот или иной уже имеющийся рычаг изменения временного перераспределения, предусмотренный как профилактическим, так и тактическим решением, исходя из сложившихся обстоятельств. Поэтому в систему (2) введены знаки  $\notin$  и  $\in$ , что позволяет учитывать и объяснять проявление  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  на любом из рассматриваемых этапов.

В реальной ситуации длительности этих трех периодов  $t_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ , могут существенно изменяться в зависимости от того, как и когда руководитель будет использовать высвободившееся время и распределять его по своему усмотрению. Если руководитель эффективно использует период времени  $t_1$  для определения оперативной обстановки, задействовав организационные и технические мероприятия  $t_{1j_1}$  (например, приглашение консультантов, более опытных сотрудников, использование экспанометров, карт и планов, специальной закладной информации), то величина этого периода времени уменьшается, что дает возможность выделить больше времени для принятия решения, т.е. период времени  $t_2$  увеличивается. Если же руководитель эффективно использовал также и период времени  $t_2$ , оптимально применив мероприятия  $t_{2j_2}$ , то на мероприятия  $t_{3j_3}$  периода  $t_3$  оперативного вмешательства, например спасения пострадавших, остается еще больше времени.

На языке формул это означает, что при  $t_1 + t_2 \rightarrow \rightarrow \min(t_1 + t_2)$  создаются возможности для  $t_3 \rightarrow \rightarrow \max(t_3)$ .

Кроме того, высока вероятность проявления таких обстоятельств, когда реализованные оперативным штабом мероприятия приведут к цепочке состояний  $t_1 \rightarrow \min(t_1) \Rightarrow t_2 \rightarrow \max(t_2)$ ,  $t_3 \rightarrow \max(t_3)$ . Также вполне допустима цепочка состояний  $t_2 \rightarrow \rightarrow \min(t_2) \Rightarrow t_3 \rightarrow \max(t_3)$ .

Последние две возможности регламентированы боевым уставом пожарной охраны (БУПО) [8]. БУПО непосредственно делает установку (не в формулах, а в конкретных функциональных обязанно-

стях руководителя и оперативного штаба, создаваемого при экстремальных и кризисных явлениях) на обязательную необходимость воссоздания перераспределения времени, в том числе и по последним двум приведенным вариантам.

Основная масса разработок по борьбе с кризисными явлениями направлена на перераспределение данных периодов, чаще всего увеличение величины  $\sum_{j_3=1}^{N_3} t_{3j_3}$  за счет сумм  $\sum_{j_1=1}^{N_1} t_{1j_1}$  и  $\sum_{j_2=1}^{N_2} t_{2j_2}$ .

Далее подробнее рассмотрим некоторые мероприятия (и/или механизмы обеспечения безопасности) профилактического характера, способные значительно изменить перераспределение рассматриваемых временных периодов между этапами.

### 3. Деформативность сейсмозащитных диафрагм

Как известно, деформативность сквозных сейсмозащитных диафрагм в зданиях обусловлена деформациями изгиба  $\delta_M$ , сдвига  $\delta_Q$ , осевыми деформациями  $\delta_N$  и конечными размерами поперечных сечений простенков, а также работой перемычек (рис. 1).

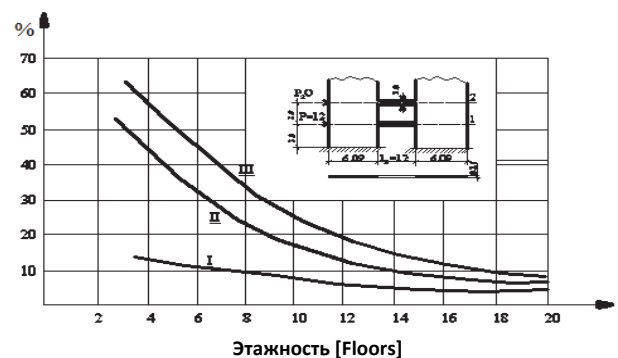


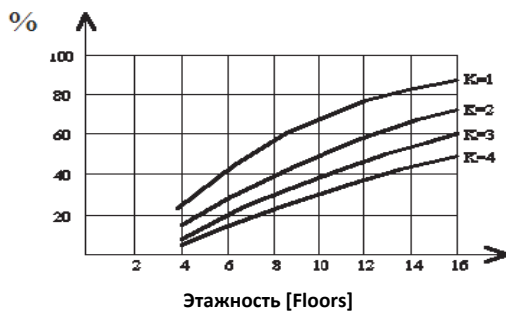
Рис. 1. Доля сдвиговых деформаций  $\delta_Q$  в общем прогибе верха сейсмозащитных диафрагм: I – перемычки; II – простенки; III – их сумма  
[Figure 1. The share of shear deformations  $\delta_Q$  in the total deflection of the top of seismic diaphragms: I – bridges; II – piers; III – their sum]

Для выяснения влияния деформаций сдвига на общую деформативность конструкции приведены расчеты диафрагм с одним вертикальным рядом проемов и представлены графики (рис. 1), показывающие, какую долю (%) в общем прогибе верха диафрагмы составляют сдвиговые деформации  $\delta_Q$ : I – кривая соответствует учету сдвига в перемычках; II – кривая соответствует учету сдвига в простенках; III – кривая соответствует учету сдвига в простенках и перемычках одновременно.

Расчеты были проведены для диафрагм различной этажности. В практике проектирования для упрощения расчетов часто не учитываются некоторые из перечисленных факторов. При расчетах рамно-связанных конструкций это может привести к неправильному представлению о распределении усилий между рамной частью и диафрагмами, что не всегда идет в запас прочности, особенно для каркаса [3; 9–12].

На рис. 2 показаны графики долей (%) осевых деформаций  $\delta_N$  в общем прогибе верха диафрагмы, а на рис. 3 – графики величины деформации изгиба  $\delta_M$  при прогибе верха.

На этих рисунках  $K$  – количество проемов в сейсмозащитной диафрагме здания. Из приведенных графиков видно, что деформации сдвига  $\delta_Q$  и изгиба  $\delta_M$  существенно влияют на общую деформативность диафрагм, и их необходимо учитывать в расчете даже высоких, 16–20-этажных, конструкций, для которых прогибы за счет сдвига составляют 8–10 %. Для 4-этажных сейсмозащитных диафрагм эта величина достигает 56 % [7; 13–18].



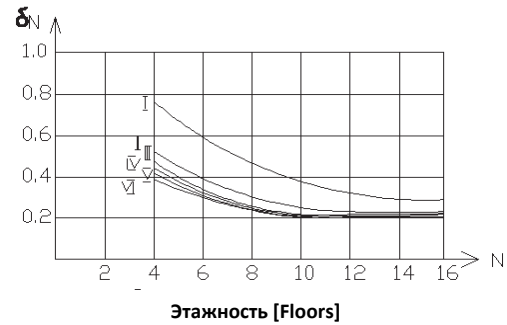
**Рис. 2. Доля осевых деформаций  $\delta_N$  от нормальных сил в общем прогибе верха:**  
 $K$  – количество проемов в сейсмозащитной диафрагме здания  
**[Figure 2. The proportion of axial deformations  $\delta_N$  of normal forces in the total deflection tops:**

$K$  – number of openings in the seismic diaphragm of the building]



**Рис. 3. Величина деформации от изгибающего момента  $\delta_M$  при прогибе верха:**  
 $K$  – количество проемов в сейсмозащитной диафрагме здания  
**[Figure 3. Deflection from bending moment  $\delta_M$  at a deflection of the top:**

$K$  – number of openings in the seismic diaphragm of the building]

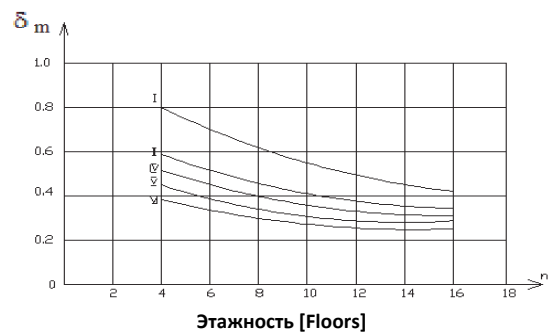


**Рис. 4. Влияние перемычек различной жесткости на прогиб сейсмозащитных диафрагм:**

$I$  – перемычки прочностью 1/400 от суммарной жесткости;  $II$  – 1/200;  $III$  – 1/100;  $IV$  – 1/50;  $V$  – 1/10;  $VI$  – перемычки бесконечной жесткости

**[Figure 4. Effect of jumpers of different stiffness on deflection of seismic diaphragms:**

$I$  – jumpers with strength 1/400 of the total stiffness;  $II$  – 1/200;  $III$  – 1/100;  $IV$  – 1/50;  $V$  – 1/10;  $VI$  – jumpers of infinite stiffness]



**Рис. 5. Влияние перемычек различной жесткости на изгибающий момент в основаниях простенков:**

$I$  – прочность 1/400 от суммарной жесткости;  $II$  – 1/200;  $IV$  – 1/50;  $V$  – 1/10;  $VI$  – перемычки бесконечной жесткости

**[Figure 5. The effect of jumpers of different stiffness on the bending moment at the base of the piers:**

$I$  – strength 1/400 of the total stiffness;  $II$  – 1/200;  $IV$  – 1/50;  $V$  – 1/10;  $VI$  – infinite stiffness jumpers]

На рис. 4 показано влияние перемычек различной жесткости на прогиб сейсмозащитных диафрагм. Сдвиговые деформации  $\delta_Q$  влияют (по сравнению с осевыми  $\delta_N$ ) не только на величины прогибов диафрагм, но и на распределение в них усилий. Расчеты показывают, что при учете сдвиговых деформаций перемычек для зданий и сооружений увеличение изгибающего момента в основании простенков 4-этажных диафрагм может достигать 20 % (рис. 5). Из рисунка видно, что с ростом этажности эта величина снижается до 10 % для 20-этажной конструкции.

Сдвиг в простенках зданий и сооружений не влияет на распределение в них изгибающих моментов  $\delta_M$ . Одним из существенных факторов, определяющих деформативность сейсмозащитных диафрагм, являются осевые деформации простенков  $\delta_N$  от нормальных сил, возникающих при изгибе диафрагм [4; 6; 19]. Этот вопрос исследован пре-

имущественно для рамных конструкций зданий и сооружений, где установлено, что нормальные силы значительно влияют на прогибы рам, тогда как на изгибающие моменты влияние этого фактора не существенно.

#### 4. Вероятность возникновения пожара

Значение вероятности  $P_{\text{пож}}$  возникновения пожара в здании вычисляется по формуле

$$P_{\text{пож}} = 1 - (1 - P'_{\text{пож}})(1 - P''_{\text{пож}}), \quad (3)$$

где  $P_{\text{пож}}$  – вероятность пожара хотя бы в одном из двух зданий;  $P'_{\text{пож}}$  – вероятность пожара в первом здании;  $P''_{\text{пож}}$  – вероятность пожара во втором здании.

Для того чтобы определить величину ущерба, причиненного пожаром, необходимо пересчитать

относительную стоимость, оставшуюся после сейсмоздействия со вторичными пожарами, по предприятию. Обозначим через  $\Delta P_{\phi}$  приращение вероятности риска от какого-нибудь фактора воздействия. Оно может быть как положительным, так и отрицательным. Составим табл. 1 для относительной стоимости, ущерба от сейсмоздействия и остаточной относительной стоимости для различных значений приращения вероятности риска  $\Delta P_{\phi}$ , пользуясь формулой (3). Пусть  $G_{\Pi}(\Delta P_{\phi})$  – относительная величина ущерба, наносимого элементам предприятия, зданий и сооружений. Тогда можно вычислить следующие значения величин  $G_{\Pi}(\Delta P_{\phi})$ : 1) при чистом воздухе –  $G_{\Pi}(0,2) = 0$ ,  $G_{\Pi}(0,3) \approx 0,013$ ,  $G_{\Pi}(0,4) \approx 0,175$ ,  $G_{\Pi}(0,5) \approx 0,129$ ; 2) при задымленном воздухе:  $G_{\Pi}(0,2) = 0$ ,  $G_{\Pi}(0,3) = 0$ ,  $G_{\Pi}(0,4) \approx 0,37$ ,  $G_{\Pi}(0,5) \approx 0,079$ .

Таблица 1

Относительная стоимость и ущерб от сейсмоздействия для различных значений приращения вероятности риска  $\Delta P_{\phi}$   
[Table 1. Relative cost and seismic damage for different values of the increment of the probability of risk  $\Delta P_{\phi}$ ]

$\Delta P_{\phi} = 0,3$			$\Delta P_{\phi} = 0,4$			$\Delta P_{\phi} = 0,5$		
Относительная стоимость [Relative value]	Ущерб от сейсмоздействия [Seismic damage]	Оставшаяся относительная стоимость [Remaining relative value]	Относительная стоимость [Relative value]	Ущерб от вторичных пожаров [Damage from secondary fires]	Оставшаяся относительная стоимость [Remaining relative value]	Относительная стоимость [Relative value]	Ущерб сейсмоздействия со вторичными пожарами [Damage seismologist with secondary fires]	Оставшаяся относительная стоимость [Remaining relative value]
0,02	0,011	0,009	0,02	0,016	0,004	0,02	0,017	0,003
0,20	0,30	0,170	0,20	0,08	0,120	0,20	0,150	0,050
0,30	0,009	0,291	0,30	0,012	0,288	0,30	0,150	0,150
0,12	0,012	0,108	0,12	0,018	0,02	0,12	0,034	0,086
0,05	0,008	0,042	0,05	0,020	0,030	0,05	0,26	0,024
0,10	0,025	0,075	0,10	0,04	0,060	0,10	0,052	0,048
0,05	0,005	0,045	0,05	0,008	0,042	0,05	0,020	0,030
0,1	0,002	0,098	0,1	0,002	0,098	0,1	0,085	0,015
0,6	0,033	0,027	0,06	0,048	0,012	0,06	0,051	0,010

#### 5. Физическая устойчивость элементов предприятия

Составим табл. 2 для характеристики физической устойчивости элементов предприятия. С этой целью определим ущерб, причиненный элементам предприятия, для каждой степени разрушения строительных конструкций в здании в пределах верхней и ближней границ диапазона дальности распространения аспирационных потоков (слабая, средняя, сильная) [5; 13; 15; 20].

Вычисления были проделаны с помощью формулы

$$G = \sum_{j=1}^n \bar{G}_j G_{\text{щ}}(\Delta P_{\phi}),$$

где  $G$  – относительная величина ущерба, причиняемая не только зданиям и сооружениям, но и технологическому процессу предприятия сейсмо- и термо- воздействием;  $\bar{G}_j$  – относительная стоимость  $j$ -го элемента предприятия;  $G_{\text{щ}}(\Delta P_{\phi})$  – относительная величина ущерба, причиняемого элементу при заданном сейсмоздействии со вторичными пожарами  $\Delta P_{\phi}$ .

По полученным результатам в координатах  $G \times \Delta P_{\phi}$  строим график наносимого ущерба от совместного воздействия сейсмо- и пожароопасного факторов.

Полученная кривая носит название *кривой закона поражения* (рис. 6). Ввиду того, что значение сейсмоздействия со вторичными пожарами является величиной случайной, все виды ущерба вычисляются как математическое ожидание  $M$  [13; 18].



Таблица 2

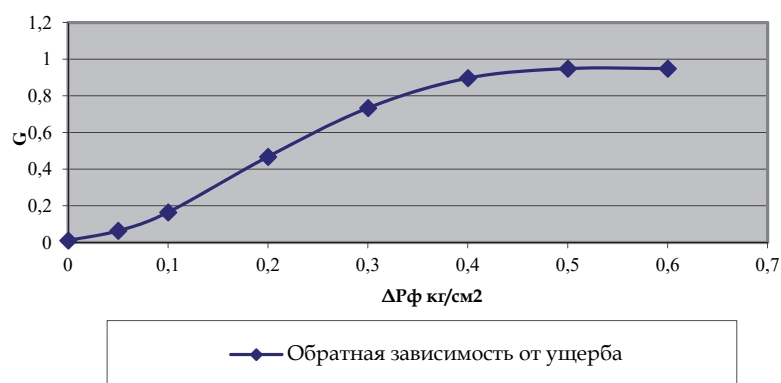
**Чрезвычайные ситуации и пожары  
для категорированных городов**  
[Table 2. Emergency and fire categorized cities]

$\Delta P_{\phi}$ кгс/см <sup>2</sup> [ $\Delta P_{\phi}$ kgf/cm <sup>2</sup> ]	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,5	0,5–1,0	1,0–2,0	2,0–3,0
<b>А-1</b>	0,8	0,22	0,19	0,19	0,22	0,03
<b>Б-1</b>	0,5	0,15	0,08	0,08	0,27	0,04
		0,21				
	0,063	0,101	0,255	0,510	0,725	0,875
	0,134					

Таблица 3

**Математическое ожидание ущерба  
от чрезвычайных ситуаций (сейсмо- и пожароопасного  
факторов) для категорированных городов**  
[Table 3. Mathematical expectation of damage  
from emergency situations (seismic and heat-hazardous  
factors) for categorized cities]

$\Delta P_{\phi}$ кгс/см <sup>2</sup> [ $\Delta P_{\phi}$ kgf/cm <sup>2</sup> ]	до 0,1	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,4	0,4–0,5	0,5–0,6	0,6–0,7
<b>А-1</b>	0,97		0,02	0,01	0	0	0
<b>Б-1</b>	0	0,08	0,22	0,19	0,11	0,08	0,05
	0,03	0,046	0,134	1,188	0,306	0,434	0,531



**Рис. 6. График обратной зависимости ущерба от соподнаправленного сейсмо- и термовоздействия при вторичных пожарах после землетрясений**  
[Figure 6. Graph of the inverse dependence of damage on co-directional seismic and thermal effects in secondary fires after earthquakes]

Для определения математического ожидания величины ущерба, причиненного предприятию, используем формулу

$$M = \sum_{j=1}^n G_{ij}(\Delta P_{\phi}) \Delta M_j,$$

где  $G_{ij}(\Delta P_{\phi})$  – ущерб, наносимый общему технологическому процессу предприятия при заданном значении  $\Delta P_{\phi}$ ;  $\Delta M_j$  – доля площади города или зоны возможных разрушений, на которых ожидается значение  $\Delta P_{\phi}$ , взятое из уточненных вариантов воздействия.

### Заключение

Анализ представленных результатов дает возможность окончательно оценить ущерб, причиненный элементам предприятия, для каждой степени разрушения строительных конструкций в пределах верхней и нижней границ диапазона избыточного давления:

1) для категорированных городов: А-1 – 0,363; Б-1 – 0,438;

2) для категорированных объектов, расположенных в малых городах и сельской местности: А-1 – 0,031; Б-1 – 0,349.

Снижение ущерба прямо пропорционально снижает риски на предприятиях промышленности в чрезвычайных ситуациях, при этом возможно достичь состояния  $t_1 + t_2 \rightarrow \min(t_1 + t_2)$ , тогда  $t_3 \rightarrow \max(t_3)$  [15–17].

В свою очередь создаются условия для внедрения дополнительного механизма обеспечения безопасности промышленных предприятий как при проектировании, так и при разработке рекомендаций по технологии производства режимного характера. Кроме того, учет аспирационных потоков способствует использованию дополнительного механизма обеспечения безопасности при оперативно-тактических действиях подразделений при чрезвычайных, кризисных и экстремальных явлениях, возникающих во время землетрясений, особенно с сопутствующими пожарами.

## Список литературы

1. Сулейманов А.А., Хасанов О. Механизм обеспечения безопасности // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: Первая Международная научно-практическая конференция. Екатеринбург, 2007. Ч. 1. С. 3–5.
2. Сулейманов А.А. Установка по определению аспирационных потоков // Системы безопасности, СБ-2006. Междунар. форум информатизации: материалы 15-й научно-технической конференции. М.: РАЕН, 2006. С. 205–207.
3. Merih K., Leroy G., Lorenzo M. Lateral-torsional buckling assessment of steel beams through a stiffness reduction method // Journal of Constructional Steel Research. 2015. No. 109. Pp. 87–100.
4. Kholmatov K., Khashimova D., Webb S., Musaev B. Hazardous wastes of mining and energy industries // Proc. 11th Int. Conf. on Environment and Mineral Processing, Ostrava, Czech Republic / ed. By P. Fecko, V. Cablik. 2007. Vol. 1. Pp. 45–48.
5. Маджидов И.У., Ибрагимов Б.Т., Сулейманов А.А. Анализ пожарной опасности сейсмозащитных деформационных швов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 1. С. 75–80. doi: 10.22363/1815-5235-2019-15-1-75-80
6. Яскевич М.В., Сулейманов А.А., Таманова В.В. Универсальный временной вектор при спасении пострадавших в результате сонаправленного воздействия сейсмопожароопасного фактора // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты: сб. статей студентов, магистров, аспирантов, молодых ученых и преподавателей. Пермь, 2018. Вып. 26. С. 58–59.
7. Ibragimov B.T., Suleymanov A.A., Rustamy Zh.R. Entropiya at assessment of processes of safety // Tehnik hafsizlik va barkarorlik: materials of a scientific and practical conference. Tashkent: IPB Ministry of Internal Affairs, 2017. Pp. 113–115.
8. Ritzkowski M., Musaev M.N. Analysis of waste collection systems in the new independent states // Proc. 12th Int. Conf. on Environment and Mineral Processing, Ostrava, Czech Republic, 2008. 2008. Part I. Pp. 263–270.
9. Kholmatov K., Musaev M.N. Waste management in Central Asia – status quo and recommendations // Proc. 12th Int. Conf. on Environment and Mineral Processing, Ostrava, Czech Republic, 2008. 2008. Part II. Pp. 131–135.
10. Musaev M.N. Assessment of the waste logistics in Central Asia // ECOBALTICA-2008: the international youth science environmental forum, Saint Petersburg, Russia, June 26–28, 2008. 2008. Pp. 191–197.
11. Серков Б.Б., Кобелев А.А., Круглов Е.Ю., Асеева Р.М. Закономерности термоокислительной деструкции полистирольной теплоизоляции пониженной горючести // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. № 2. С. 74–80.
12. Chiorino M.A. Analysis of structural effects of time-dependent behavior of concrete: an internationally harmonized format // Concrete and Reinforced Concrete – Glance at Future: plenary papers of III All Russian (International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete, Moscow, 2014. 2014. Vol. 7. Pp. 338–350.
13. Ибрагимов Б.Т., Муслимов Б.А. Исследование выносливости строительных конструкций зданий и сооружений, подвергшихся одновременному термическому и динамическому воздействию // Tehnik hafsizlik va barkarorlik: материалы научно-практической конференции. Ташкент: ИПБ МВД РУз, 2013. С. 110–114.
14. Ibragimov B.T., Suleymanov A.A. Research of Thermal and Mechanical Influence on Ferro-Concrete Designs with Damping Inserts // International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology (IJARSET). 2017. Vol. 4. No. 9. Pp. 4595–4598.
15. Сулейманов А.А., Рустамий Ж.Р., Акрамов Ж.Т. Теоретические и практические проблемы обеспечения безопасности в нефтегазовой промышленности // Наука, техника и образование. 2017. № 10 (40). С. 24–27.
16. Musaev M.N., Khashimova D., Kholmatov K. Management of environmental risks of landfill operation in seismically active regions of the CIS countries of Central Asia // Proc. 11th Int. Conf. on Environment and Mineral Processing, Ostrava, Czech Republic / ed. by P. Fecko, V. Cablik. 2017. Vol. 1. Pp. 17–22.
17. Невская Е.Е., Глебова Е.В. Анализ способов и средств повышения уровня защиты зданий и сооружений от действия ударных волн // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 2. С. 73–78.
18. Musaev M.N., Kholmatov K., Khashimova D., Abdukadirov I., Webb S. Geotechnical site investigations of landfill in seismically active region of Tashkent // Proc. 11th Int. Conf. On Environment and Mineral Processing in Proc. 11th Int. Conf. on Environment and Mineral Processing, Ostrava, Czech Republic, 2007 / ed. by P. Fecko, V. Cablik. 2007. Vol. 1. Pp. 17–22.
19. Маджидов И.У., Ибрагимов Б.Т., Сулейманов А.А. Протектология в оценке сейсмической опасности и процессов обеспечения безопасности // Известия ФерПИ. 2017. № 1. С. 56–57.



## Risk assessment for seismic and fire hazards at hazardous industrial and classified sites industry

Adylzhan A. Suleymanov<sup>1</sup>, Olimjon A. Djuraev<sup>1</sup>,  
Farkhod Y. Umarov<sup>2</sup>, Sunnat S. Shomansurov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 2–3 Universitetskaya St., Tashkent, Republic of Uzbekistan

<sup>2</sup>Branch of the National Research Technological University "MISIS", 56 Amir Temur St., 110100, Almalyk, Republic of Uzbekistan

### Keywords:

threat factor seismoresistance;  
threat categorized objects;  
security mechanism;  
risk from fires;  
secondary fires;  
seismic effects;  
reallocation of time;  
emergency situations;  
aspiration flows

### Abstract

**Aims of research.** Research and analysis assessing the risk of hazards (in particular earthquake hazardous) at hazardous industrial and classified sites industry.

**Methods:** analytical, mathematical, operational-tactical, mechanical-statistical, study of deformation of seismic diaphragms.

The analysis of risk through seismologist at hazardous production facilities of the industry in conjunction with the secondary fires. This circumstance, which often coincides with the joint vector, is proposed to be used as a mechanism to ensure the safety of industrial facilities from seismic fire hazard, including aspiration flows as an impact factor. Risk analysis is viewed taking into account the algorithm to ensure the safety of complex technical and social systems, which shows the degree of universality of the algorithm. This security mechanism is most important to take into account for architectural General plans of buildings and structures, as well as in operational and tactical actions of units in the aftermath of emergencies, crisis and extreme events.

**Results.** The analysis is accompanied by the necessary mathematical calculations and experimental assessments of the security process.

### Article history:

Received: October 28, 2018

Revised: April 29, 2019

Accepted: May 16, 2019

### For citation

Suleymanov A.A., Djuraev O.A., Umarov F.Y., Shomansurov S.S. (2019). Risk assessment for seismic and fire hazards at hazardous industrial and classified sites industry. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 15(3), 219–228. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-3-219-228> (In Russ.)

## References

1. Suleymanov A.A., Hasanov O. (2007). Mekhanizm obespecheniya bezopasnosti [Safety mechanism]. *Aktual'nye problemy obespecheniya bezopasnosti v Rossijskoj Federacii: Pervaya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya [Current problems of security in the Russian Federation: the First International scientific and practical conference]*, 1, 3–5. (In Russ.)
2. Suleymanov A.A. (2006). Ustanovka po opredeleniyu aspiracionnyh potokov [Installation by definition aspiration flows]. *Sistemy bezopasnosti, SB-2006. Mezhdunar. forum informatizacii: materialy 15-j nauchno-tekhnicheckoj konferencii, 28 noyabrya 2019 [Safety Systems – 2006: 15-th International Scientific-Technical Conferences, 28 November 2019]*. Moscow, RAEN, 205–207. (In Russ.)
3. Merih K., Leroy G., Lorenzo M. (2015). Lateral-torsional buckling assessment of steel beams through a stiff-

ness reduction method. *Journal of Constructional Steel Research*, (109), 87–100.

4. Kholmatov K., Khashimova D., Webb S., Musaev B. (2007). Hazardous wastes of mining and energy industries. *Proc. 11th Int. Conf. on Environment and Mineral Processing, Ostrava, Czech Republic, 1*, 45–48.

5. Madzhidov I.U., Ibragimov B.T., Suleymanov A.A. (2019). Fire danger analysis of seismic expansion joints. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 15(1), 75–80. DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-1-75-80. (In Russ.)

6. Yaskevich M.V., Suleymanov A.A., Tamanova V.V. (2018). Universal'nyj vremennoj vektor pri spasenii postradavshih v rezul'tate sonapravlennoogo vozdejstviya sejsmopozharoопасnogo faktora [Universal time vector for salvation affected by co-directed exposure seismic fire factor]. *Razvitie sovremennoj nauki: teoreticheskie i prikladnye aspekty: sb. statej studentov, magistrrov, aspirantov, molodyh uchenyh i prepodavatelej [The development of modern science: theoretical and applied aspects: collected papers of students, masters, graduate students, young scientists and teachers]*, 26, 58–59.

7. Ibragimov B.T., Suleymanov A.A., Rustamy Zh.R. (2017). Entropiya at assessment of processes of safety.

<sup>1</sup> Adylzhan A. Suleymanov, D.Sc, Professor, "Safety Life Activity" Department, [ibragimov-dem@yandex.com](mailto:ibragimov-dem@yandex.com)

Olimjon A. Djuraev, senior lecturer, "Safety Life Activity" Department.

Sunnat S. Shomansurov, Cand. Tech. Sci., Ph.D., Associate Professor, "Safety Life Activity" Department.

<sup>2</sup> Farkhod Y. Umarov, DSc., Executive Director.

*Tehnik hafsizlik va barkarorlik: materials of a scientific and practical conference*. Tashkent: IPB Ministry of Internal Affairs RUZ, 113–115.

8. Ritzkowski M., Musaev M.N. (2008). Analysis of waste collection systems in the new independent states. *Proc. 12th Int. Conf. on Environment and Mineral Processing, Ostrava, Czech Republic, I*, 263–270.

9. Kholmatov K., Musaev M.N. (2008). Waste management in Central Asia – status quo and recommendations. *Proc. 12th Int. Conf. on Environment and Mineral Processing, Ostrava, Czech Republic, II*, 131–135.

10. Musaev M.N. (2008). Assessment of the waste logistics in Central Asia. *ECOBALTICA-2008: The International Youth Science Environmental Forum, Saint Petersburg, Russia, June 26–28*, 191–197.

11. Serkov B.B., Kobelev A.A., Kruglov E., Aseeva R. (2018). Zakonomernosti termookislitel'noj destrukcii polistirol'noj teploizolyacii ponizhennoj goryuchesti [Regularities of thermo-oxidative destruction of polystyrene thermal insulation of reduced combustibility]. *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya [Fires and emergency situations: prevention, elimination]*, (2), 74–80. (In Russ.)

12. Chiorino M.A. (2014). Analysis of structural effects of time-dependent behavior of concrete: an internationally harmonized format. *Concrete and Reinforced Concrete – Glance at Future: plenary papers of III All Russian (International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete, Moscow, 7*, 338–350.

13. Ibragimov B.T., Muslimov B.A. (2013). Issledovanie vynoslivosti stroitel'nyh konstrukcij zdanij i sooruzhenij, podvergshih'sya odnovremennomu termicheskomu i dinamicheskomu vozdejstviyu [Research of endurance of building constructions of the buildings and constructions which have undergone simultaneous thermal and dynamic influence]. *Tehnik hafsizlik va barkarorlik: materialy*

*nauchno-prakticheskoy konferencii [Tehnik hafsizlik va barkarorlik: materials of a scientific and practical conference]*. Tashkent: IPB MVD RUZ, 110–114. (In Russ.)

14. Ibragimov B.T., Suleimanov A.A. (2017). Research of Thermal and Mechanical Influence on Ferro-Concrete Designs with Damping Inserts. *International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology (IJARSET)*, 4(9), 4595–4598.

15. Suleymanov A.A., Rustamy Zh.R., Akramov Zh.T. (2017). Teoreticheskie i prakticheskie problemy obespecheniya bezopasnosti v neftegazovoy promyshlennosti [Theoretical and practical problems of security in the oil and gas industry]. *Nauka, tekhnika i obrazovanie [Science, technology and education]*, 10(40), 24–27. (In Russ.)

16. Musaev M.N., Khashimova D., Kholmatov K. (2017). Management of environmental risks of landfill operation in seismically active regions of the CIS countries of Central Asia. *Proc. 11th Int. Conf. on Environment and Mineral Processing, Ostrava, Czech Republic, I*, 17–22.

17. Nevskaya E.E., Glebova E.V. (2017). Analiz sposobov i sredstv povysheniya urovnya zashchity zdanij i sooruzhenij ot dejstviya udarnyh voln [Analysis of methods and means of increasing the level of protection of buildings and structures from the action of shock waves]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Occupational Safety in Industry]*, (2), 73–78. (In Russ.)

18. Musaev M.N., Kholmatov K., Khashimova D., Abdukadirov I., Webb S. (2007). Geotechnical site investigations of landfill in seismically active region of Tashkent. *Proc. 11th Int. Conf. on Environment and Mineral Processing, Ostrava, Czech Republic, I*, 17–22.

19. Madzhidov I.U., Ibragimov B.T., Suleymanov A.A. (2017). Protektologiya v ocnke sejsmicheskoy opasnosti i processov obespecheniya bezopasnosti [Protistology in the assessment of seismic hazard and about processes security]. *Izvestiya FerPI [Proceedings of the FPI]*, (1), 56–57. (In Russ.)