

ЊÒĐÎ È ÒÀĖ ÛŃÒÂÎ  
È ÆÐŒÈ ÒÀĖ ŐŐĐÀ



УДК 624.011.2

**Е.П. Герасимов**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ШКОЛЫ № 5 г. РИДДЕР

Согласно СН РК 1.04-04-2002 «Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений» [1], все здания и сооружения подлежат обязательному техническому обследованию. Период обследования строго регламентирован и проводится по плану. В случае возникновения чрезвычайной ситуации (стихийные бедствия, технологические аварии) производится внеплановое обследование конструкций.

В сентябре 2003 года на территории Алтайского края (Российская Федерация) произошло землетрясение, воздействие которого были ощутимы и на территории Восточно-Казахстанской области. Отдельные здания и сооружения на территории области получили достаточно серьезные повреждения, которые ставили под сомнение их дальнейшую надежную эксплуатацию. Одним из таких зданий оказалось здание школы № 5 в г. Риддер. Повреждение здания выразилось в появлении сквозных трещин в несущих кирпичных стенах. Ширина раскрытия трещин составляла от 0,5 до 80 мм (рис. 1).



Рисунок 1 – Трещины в наружных стенах здания школы № 5

Проведенное сотрудниками НПЛ «БОСКОР» специализированное обследование здания в январе 2004 г., сопровождающееся поверочными расчетами, показало, что несущая

способность кирпичных стен обеспечена, несмотря на имеющиеся повреждения [2]. Расчеты были выполнены по предельным состояниям по действующим (на тот момент времени) нормам [3, 4]. Большой интерес представляет собой вопрос о величине надежности кирпичных стен, т.е. какова величина безотказной работы (или отказа). Данная величина определяется только на основании результатов вероятностного метода расчета. Расчет усложняется несколькими причинами, одним из главных является отсутствие надежной информации о статистических данных действующих нагрузок и прочности материалов.

В последнее время появилась литература (например [5]), в которой приведены данные о действующих нагрузках и прочности материалов, необходимые для вероятностного расчета.

В настоящей статье представлен вероятностный расчет центрально-сжатого кирпичного простенка. Исходными данными для расчета служат статистические данные о действующих нагрузках и прочности материалов, определенные сотрудниками НПП «БОСКОР» во время обследования и результатами работ различных авторов [5, 6]. Расчет производится два раза: без учета и с учетом повреждений. Это наглядно покажет насколько изменится надежность простенка с учетом повреждений.

Расчет вероятности безотказной работы проведен в следующем порядке:

1. Определяется средняя несущая способность и среднее квадратическое отклонение несущей способности каменного простенка:

- определяется среднее значение несущей способности:

$$[\bar{N}] = \frac{750 \cdot \bar{a}_1^3 \cdot \alpha \cdot m_g \cdot \bar{b}_1}{750 \cdot \bar{a}_1^2 \cdot \alpha + 1000 \cdot \ell_0^2} \cdot \frac{B}{C}, \quad (1)$$

где  $B = 100 \cdot \bar{R}_k^2 \cdot b + 50 \cdot \bar{R}_p \cdot \bar{R}_k - 100 \cdot \bar{R}_k^2 \cdot a + \bar{R}_k^3 \cdot b + 0,5 \cdot \bar{R}_p \cdot \bar{R}_k^2 - \bar{R}_k^3 \cdot a$ ;

$C = 100 \cdot \bar{R}_k \cdot b \cdot K \cdot m + 50 \cdot \bar{R}_p \cdot K \cdot m + \bar{R}_k^2 \cdot b \cdot K \cdot n + 0,5 \cdot \bar{R}_p \cdot \bar{R}_k \cdot K \cdot n$ ;

$a = 0,2$ ;  $b = 0,3$ ;  $m = 1,25$ ;  $n = 3$  – коэффициенты, определенные экспериментальным путем;  $\bar{R}_k$  – среднее значение прочности кирпича;  $\bar{R}_p$  – среднее значение прочности раствора;  $K = 2$  – коэффициент неоднородности;  $\bar{a}_1, \bar{b}_1$  – размеры поперечного сечения простенка;  $\ell_0$  – расчетная длина элемента;  $m_g$  – коэффициент, учитывающий влияние длительной нагрузки;  $\alpha$  – величина упругой характеристики;

- определяется среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma_{[N]} = \sqrt{\left(\frac{d[\bar{N}]}{d\bar{R}_k}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{R}_k}^2 + \left(\frac{d[\bar{N}]}{d\bar{R}_p}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{R}_p}^2 + \left(\frac{d[\bar{N}]}{d\bar{a}_1}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{a}_1}^2 + \left(\frac{d[\bar{N}]}{d\bar{b}_1}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{b}_1}^2}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{\bar{R}_k}, \sigma_{\bar{R}_p}, \sigma_{\bar{a}_1}, \sigma_{\bar{b}_1}$  – средние квадратические отклонения соответственно прочности кирпича, прочности раствора, ширины и длины.

2. Определяется среднее значение и среднее квадратическое отклонение действующего усилия. При определении усилия принимаем постоянную и полезную нагрузку на межэтажные и чердачное перекрытия величинами постоянными, равными нормативным значениям, согласно [3]. Снеговая нагрузка смоделирована по двойному экспоненциальному закону (закону Гумбеля). Учитывая то, что данный закон позволяет моделировать изменение нагрузки во времени, это покажет изменение действующей нагрузки и, следовательно, изменение вероятности безотказной работы.

Изменение продемонстрировано в течение 50 лет с интервалом времени  $T=10$  лет.

3. Определяется индекс надежности [8]:

$$n_{\psi} = \frac{\bar{M} - \bar{q}(T)}{\sqrt{\sigma_M^2 + \sigma(T)_q^2}}, \quad (3)$$

где  $\bar{M}$  – среднее значение несущей способности;  $\bar{q}(T)$  – среднее значение действующего усилия в момент времени  $T$ ;  $\sigma_M$  – среднее квадратическое отклонение несущей способности;  $\sigma(T)_q$  – среднее квадратическое отклонение действующего усилия в момент времени  $T$ .

4. Определяется величина  $t$  из следующего выражения [8]:

$$n_{\psi} = t - \frac{2,0686 - 0,4214 \cdot t}{t + 0,3149 \cdot t - 0,091 \cdot t^2}. \quad (4)$$

5. Определяется вероятность безотказной работы в момент времени  $T$  [8]:

$$P(T) = 1 - e^{-\frac{t^2}{2}}. \quad (5)$$

Использование формул (3)-(5) справедливо при комбинации нормального и двойного экспоненциального законов распределения. В осуществляемом расчете это допустимо, т.к. снеговая нагрузка распределена по двойному экспоненциальному закону, а постоянная и полезная нагрузки и несущая способность каменного простенка распределены по нормальному закону.

При определении среднего значения и среднего квадратического отклонения несущей способности геометрические размеры простенка, прочности кирпича и раствора приняты как случайные величины. Эти значения были определены на основании обследования здания [2] и результатов последующего изучения статистических характеристик каменной кладки [7]. Данные сведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Наименование	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение
Ширина сечения простенка, см	51 [2]	1 [2]
Высота сечения простенка, см	79 [2]	1 [2]
Высота простенка, см	360 [2]	-
Средняя прочность кирпича (при марке 125), кг/см <sup>2</sup>	138,01 [6]	19,457 [6]
Средняя прочность раствора (при марке 50), кг/см <sup>2</sup>	62,28 [6]	8,5 [6]

Учитывая то, что простенок имеет повреждения в виде трещины длиной до 30 см, учет повреждения произведен с помощью коэффициента снижения несущей способности –  $K_{тр} = 0,75$  [8].

Результаты расчета среднего значения несущей способности и среднего квадратического отклонения приведены в табл. 2.

Значения действующего усилия представлены в табл. 3. Значения постоянной и полезной нагрузок были определены на основании обследования здания [2] и действующих нормативных документов [3]. Снеговая нагрузка смоделирована по двойному экспоненциальному закону на период времени в 50 лет.

Таблица 2

*Результаты расчета среднего значения несущей способности  
и среднего квадратического отклонения*

Условие	Среднее значение несущей способности, кг	Среднее квадратическое отклонение, кг
Без учета повреждений	71313	6343
С учетом повреждений	53484	4757

Таблица 3

*Параметры действующего усилия*

Год	Среднее значение, кг			среднее квадратическое отклонение действующей нагрузки, кг
	снеговой нагрузки	постоянной и полезной нагрузок	общей нагрузки	
1	1513	30285	31798	704
10	2776	30285	33061	704
20	3157	30285	33442	704
30	3379	30285	33664	704
40	3537	30285	33822	704
50	3660	30285	33945	704

Результаты расчета вероятности безотказной работы приведены в табл. 4.

Таблица 4

*Результаты расчета вероятности отказа*

Год	Индекс надежности, $n_{\psi}$		Вероятность безотказной работы	
	без учета повреждений	с учетом повреждений	без учета повреждений	с учетом повреждений
1	6,191	4,509	0,999999999578	0,9999833
10	5,993	4,246	0,999999999875	0,9999652
20	5,934	4,167	0,999999999829	0,9999552
30	5,899	4,121	0,999999999795	0,9999489
40	5,874	4,088	0,999999999768	0,9999433
50	5,855	4,063	0,999999999743	0,9999389

Расчеты показали следующие результаты:

- при учете повреждений вероятность безотказной работы уменьшается на несколько порядков;

- вероятность безотказной работы (как без учета, так и с учетом повреждений) уменьшается в течение времени.

Проведенный расчет является незаконченным, т.к. полученные величины необходимо сравнить с предельно допускаемой величиной безотказной работы (нормативной надежностью).

Определение нормативной величины безотказной работы произведено сравнительным способом [6].

Сначала определяется число постоянно пребывающих в помещении людей по формуле (4):

$$P = \frac{A_k}{A_n} \cdot \sum_i^M \frac{t_i}{24}, \quad (6)$$

где  $A_n$  – площадь помещения;  $A_k$  – площадь поражения от отказа конструкции;  $M$  – количество человек;  $t$  – время нахождения  $M$  человек в помещении.

Нормативная величина безотказной работы (нормативная надежность) вычисляется по формуле

$$[P] = 1 - \frac{[II]}{II}, \quad (7)$$

где  $[II]$  – величина эталонных потерь.

На основании анализа результатов проведенного освидетельствования [2] были установлены следующие исходные данные для расчета:

– площадь помещения:  $A_n = 197,25 \text{ м}^2$ . При подсчете были учтены те помещения, которые получили бы повреждения в случае обрушения простенка;

– площадь поражения от отказа:  $A_k = 194,88 \text{ м}^2$ . Данная площадь определена на основе возможной области поражения в случае обрушения простенка с учетом конструктивных особенностей междуэтажных перекрытий;

– количество людей на площади поражения:  $M = 80$ . Это максимальное количество людей, которые могут находиться в помещениях;

– время нахождения людей (время занятий):  $t = 6$  часов.

– величина эталонных потерь принята  $[II] = 4,8 \cdot 10^{-5}$  [9].

Расчет показал следующие результаты:

– число постоянно пребывающих людей в помещении:  $II = 19,76$ ;

– нормативная величина безотказной работы:

$$[P] = 1 - \frac{[II]}{II} = 1 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5}}{19,76} = 0,9999975.$$

Таким образом, расчеты показали, что вероятности безотказной работы каменного простенка с учетом имеющихся повреждений (табл. 4) превышают нормативное значение надежности. Это указывает на то, что простенок обладает недостаточной надежностью и конструкция требует усиления.

Изменение вероятности во времени приведено на рис. 2.

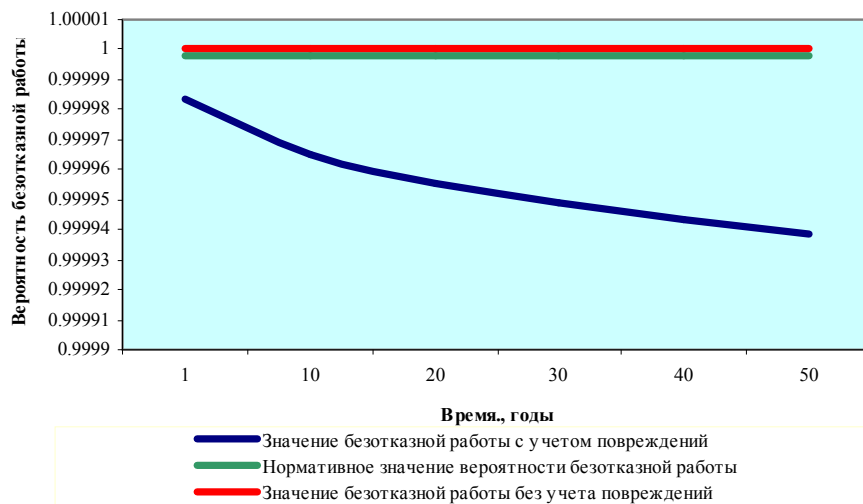


Рисунок 2 - Изменение вероятности безотказной работы во времени

В настоящее время все расчеты проводятся по предельным состояниям. Вероятностные же методы расчета не используются в силу различных причин, главной из которых является отсутствие надежных статистических данных. Но проведенный вероятностный расчет в настоящей статье показал возможность его использования на практике.

#### Список литературы

1. СН РК 1.04-04-2002. Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений / Комитет по делам строительства министерства индустрии и торговли РК. – Астана, 2003. – 68 с.
2. Заключение о техническом состоянии и рекомендации по дальнейшей эксплуатации здания школы № 5 г. Риддер / ВКГТУ. – Усть-Каменогорск, 2004. – с. 85.
3. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987 – 36 с.
4. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
5. Лычев А.С. Надежность строительных конструкций: Учеб. пособие. – М.: АСВ, 2008. – 184 с.
6. Райзер В.Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1995. – 352 с. ил.
7. Герасимов Е.П. Определение прочностных характеристик материалов кирпичных зданий существующей застройки // Сб. материалов Междунар. НПК «Современные проблемы строительных конструкций и сооружений», посвященной 20-летию Независимости Республики Казахстан и 85-летию известного ученого д.т.н. профессора Б.С. Жармагамбетова, 24-25 нояб. 2011 г. – Алматы: КазГАСА. – с. 159-163.
8. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений / ЦНИИСК. – М.: Стройиздат, 1984. – 36 с.
9. Кусаинов А.А. О назначении эталонных неэкономических потерь /А.А. Кусаинов, В.Ю. Чернавин, Е.А. Дериглазова // Труды НГАСУ. – 2009. – Т. 12. – № 3 (46). – с. 174-176.

Получено 15.05.2015

по страницам



## ТЕМНАЯ СТОРОНА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Недавно вступившая в строй солнечная электростанция Айванпа в пустыне Мохаве (Калифорния, США) – самая мощная в мире, за год она вырабатывает 1000 гигаватт-часов энергии. Станция представляет собой три кольца из 173 500 двойных зеркал-гелиостатов, поворачивающихся за Солнцем и концентрирующих его свет на вершинах трех башен. Там жар Солнца испаряет воду, а пар, как на обычной тепловой электростанции, вращает турбины.

Первоначально планировались четыре такие установки, но четвертая могла помешать размножению редкого вида черепах, который больше нигде не встречается, и проект подсократили. Однако оказалось, что и в урезанном виде источник чистой энергии небезопасен для живой природы. Птицы, видимо, принимают блестящие зеркала в пустыне за поверхность водоемов и слетаются туда то ли попить, то ли подкормиться рыбешкой или насекомыми. Попадая в фокус лучей, птицы буквально превращаются в дым. В год гибнет до 28 тысяч пернатых. Путей решения проблемы пока не видно.

«Наука и жизнь» № 2, 2015