

УДК 624.012.2:519.22

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ КИРПИЧНЫХ СТЕН
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ**

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ЦЕГЛЯНИХ СТІН БУДІВЕЛЬ,
ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ**

**DEFINITION OF STATE PARAMETERS BRICK WALLS MAINTAINED
BUILDINGS**

Кичаева О.В., к.т.н., доц. (Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, г. Харьков), **Аршава Е.А., к.ф.-м. н., доц.** (Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков)

Кічасва О.В., к.т.н., доц., (Харківській національній університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків), **О.О. Аршава, к.ф.-м. н., доц.** (Харківській національній університет будівництва та архітектури, м. Харків)

Kichaeva O.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv), **E. A. Arshava, PhD., Associate Professor** (Kharkiv National University of Construction and Architecture, Kharkiv)

В статье получена статистическая оценка следующих параметров кирпичных стен эксплуатируемого здания: ширины раскрытия трещин, длины трещин и плотности трещин. Показано, что распределение ширины раскрытия и длины трещин представляют собой бимодальное распределение, а плотность трещин – нормальное распределение.

У статті отримана статистична оцінка наступних параметрів цегляних стін експлуатованої будівлі: ширини розкриття тріщин, довжини тріщин і щільності тріщин. Показано, що розподіл ширини розкриття та довжини тріщин являють собою бімодальний розподіл, а щільність тріщин - нормальний розподіл.

The article describes a statistical evaluation of the following parameters operated brick walls of the building: the width of the cracks, fracture length and fracture density. It is shown that the distribution of the opening width and length of cracks represent a bimodal distribution and the density of cracks - normal distribution.

Ключевые слова:

Закон распределения, статистические параметры, кирпичные стены.

Закон розподілу, статистичні параметри, цегляні стіни.

Distribution law, statistical parameters, brick walls.

Введение. Исследование изменения состояния строительных конструкций жилого и общественного фонда в процессе его эксплуатации, является одним из основных методов определения остаточного ресурса здания. Сбор статистических данных об изменениях состояния конструкций во времени позволяет получить законы распределения значений параметров, характеризующих их состояние, а также обобщить зависимости изменения параметров, которые можно использовать для прогнозирования срока службы аналогичных конструкций. К необходимым параметрам, которые необходимо фиксировать, относятся: ширина раскрытия трещин, их длина, плотность трещин (для наружных конструкций), характеристики прочности материала, деформации (прогибы, перемещения), коррозия металлических конструкций и пр.

Анализ последних исследований. В последние годы в теорию расчета строительных конструкций все больше внедряются вероятностные методы, что уже прямо регламентируется ДБН В.1.2-14-2009 [1], а также некоторыми отраслевыми документами. Преимуществом таких методов заключается в их способности количественно оценить вероятность отказа изделия (конструкции) и возможные потери этого отказа. Известные работы А.Я. Дривинга, А.Р. Ржаницына [2], В.Д. Райзера [3], А.П. Пшеничкина, Б.И. Снаркиса, А.С. Лычева [4], Б.М. Колотилкина, А.В. Перельмутера, С.Ф. Пичугина [5], В.А. Пашинского, А.И. Вайнберга [6], Аугусти, Баррата, Йонсона, Ноеј [7] и др., внесли значительный вклад в развитие вероятностных методов расчета строительных элементов. В числе предпосылок применения теории надежности является сбор, систематизация и анализ статистических данных, касающихся того или иного аспекта работы строительных конструкций. Не все эксплуатационные факторы возможно воспроизвести в лабораторных условиях, поэтому они могут быть изучены только на эксплуатируемых зданиях (сооружениях, конструкциях). В «Рекомендациях» АКХ им. К.Д. Памфилова по определению сроков службы конструкции [8] показан подход к оценке остаточного ресурса элементов (плит перекрытия, кровли и пр.) полносборных жилых зданий массовых серий после их масштабного обследования и сбора статистических данных по их повреждениям (трещины, прогибы и т.д.). А.В. Школа в своей монографии [9] приводит результаты диагностики причальных сооружений и, выделяя наиболее характерные повреждения, рекомендует учитывать их при создании моделей локальных повреждений. Следует отметить, что до настоящего времени не имеется материалов, которые бы увязывали состояние кирпичных стен эксплуатируемого здания со статистическим анализом существующих

повреждений при нахождении законов распределения параметров, характеризующих состояние указанных конструкций.

Постановка цели и задач исследований. Целью данного исследования является определение законов распределения параметров, характеризующих состояние кирпичных стен эксплуатируемого здания. Задачами исследования являлся сбор, систематизация и анализ интересующих параметров, выбор гипотез распределения и их проверка.

Методика исследований. Используются методы математической статистики – обработка данных [10].

Результаты исследований. В качестве объекта исследования было выбрано здание пожарного депо, обследуемого авторами в 2013 г. [11]. Здание имеет многочисленные трещины и повреждения (рис. 1), обусловленные, в основном, осадочными процессами. При этом считается, что вся площадь наружных кирпичных стен здания ($N \text{ м}^2$) с имеющимися повреждениями представляет собой массив данных, который обрабатывается.

Здание пожарного депо состоит из двух примыкающих друг к другу объемов: основной прямоугольной части с размерами и пристройки, расположенной со стороны дворового фасада здания. Основное помещение является 3-этажным в осях 1 – 9 и 13 – 17, а в осях 9 – 13 объем 1-го и 2-го этажей занимает гараж для пожарных автомобилей, 3-й этаж – административные помещения. Подвал глубиной 3,0 м расположен в осях 1-7 и 13 – 17. Здание находится в эксплуатации 23 года (на момент обследования).

В здании имеет место соединение двух конструктивных схем: бескаркасной (с несущими стенами) и каркасной с неполным каркасом в осях 9 – 13. Устойчивость наружных стен в зданиях с неполным каркасом обеспечивают в основном элементы каркаса и перекрытия. Шаг колонн в продольном направлении: 9 м, 11,28 м, 6 м, в поперечном – 6 м. Несущими стенами в бескаркасной части здания являются, в основном, стены продольные.

Площадка участка застройки сложена песком мелким маловлажным, ниже которого залегает супесь твердая, которая, в основном, и служит основанием фундаментов. Ниже расположены меловые породы, мощностью 15 – 19 м.

Фундаменты под стены – сборные железобетонные ленточные, под колонны – сборные железобетонные подушки и отдельные сборные фундаменты, глубина заложения варьируется от -4,000 до -1,400 м. Стены этажей здания и кирпичные колонны выполнены из силикатного кирпича М125 и М150 соответственно. Толщина наружных стен – 510 мм, внутренних несущих и стен лестничной клетки – 380 мм, перегородок – 120 мм. Использован кирпич рядовой, с размерами 250x88x125 мм. Конструкции перекрытия – сборные железобетонные многопустотные панели.

Прогонны и ригели здания – сборные железобетонные; колонны: сборные железобетонные сечением 400 x 400 мм; кирпичные - сечением 640 x 640 мм.

Возникновение и развитие дефектов и повреждений строительных конструкций здания пождепо обусловлены: 1) совмещением в одном здании двух конструктивных схем – жесткой конструктивной схемы и встроенного каркаса, что объясняет устройство двух различных типов фундаментов (отдельно стоящие и ленточные); 2) различием в отметках подошвы ленточных фундаментов; 3) наличием разрывов в фундаментных лентах стен; 4) отсутствием монолитных поясов по периметру здания и армирования кирпичной кладки стен здания. Следует отметить, что условия расчета оснований по II группе предельных состояний были выполнены как для фундаментов ленточных (под стены), так и для фундаментов отдельно стоящих (под колонны): $S \leq S_u$ (при $p \leq R$), что подтверждалось данными геодезических наблюдений за осадками.

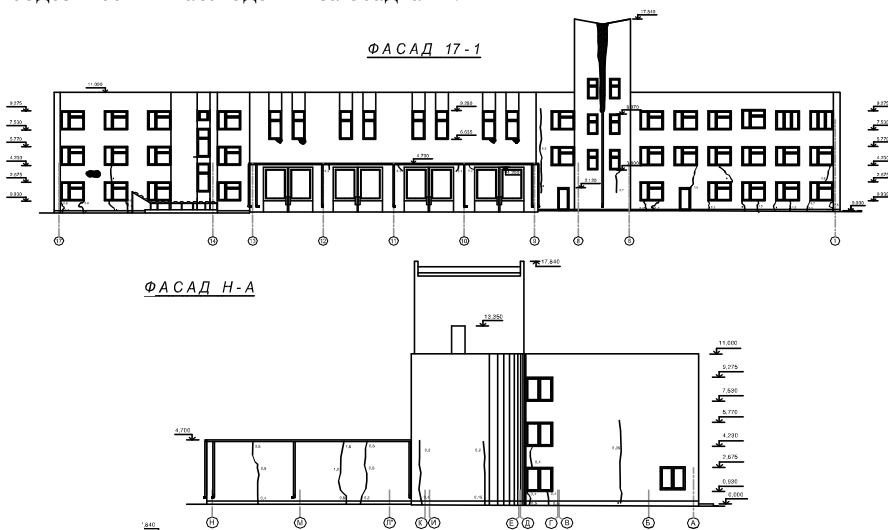


Рис. 1. Фасады 17-1 и Н-А обследуемого здания пожарного депо [11]

1. Статистические показатели ширины раскрытия трещин

Проверим гипотезу о нормальном распределении ширины раскрытия трещин в диапазоне значений от 0,1 до 0,9 мм, установив уровень значимости $\alpha=0,05$. Интервальное распределение имеет вид (табл. 1):

Таблица 1

Статистическое распределение выборки

Номер интервала	i	1	2	3	4
Пределы интервала	y_i	0,1	0,3	0,5	0,7
	y_{i+1}	0,3	0,5	0,7	0,9
Частота	n_i	11	8	3	1

n_i – частота, которая наблюдается.

Найдем середины интервалов (табл. 2):

Таблица 2

Дискретный вариационный ряд

y_i^*	0,2	0,4	0,6	0,8
n_i	11	8	3	1

Вычислим выборочное среднее и выборочное среднеквадратическое:

$$\bar{y}_g^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^4 y_i^* \cdot n_i = 0,347826 \text{ мм.} \quad (1)$$

$$\sigma_g^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^4 (y_i^*)^2 n_i - (\bar{y}_g^*)^2} = 0,169154 \text{ мм} \quad (2)$$

Вычисляем исправленное среднее квадратическое отклонение:

$$S = \sigma_g^* \sqrt{\frac{n}{n-1}} = 0,169063 \text{ мм.} \quad (3)$$

Вычисляем теоретические вероятности p_i и теоретические частоты:

$$p_i = \Phi(z_{i+1}) - \Phi(z_i), \quad (4)$$

$$n'_i = n \cdot p_i, \quad (5)$$

здесь
$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx - \text{функция Лапласа,} \quad (6)$$

$$z_i = \frac{(y_i - \bar{y}_g^*)}{S}; \quad z_{i+1} = \frac{(y_{i+1} - \bar{y}_g^*)}{S}. \quad (7-8)$$

После определения теоретических и эмпирических частот находим значение критерия Пирсона χ^2 :

$$\chi_{\text{набл.}}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} = 1,722173. \quad (9)$$

По таблице критических точек распределения χ^2 по заданному уровню значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $k=s-3=4-3=1$ (s – число интервалов) находим $\chi_{\text{крит.}}^2 = 3,8$.

Т.к. $\chi_{\text{набл.}}^2 < \chi_{\text{крит.}}^2$, то гипотезу о нормальном распределении ширины раскрытия длины трещин в диапазоне значений от 0,1 до 0,9 мм принимаем.

Аналогично рассмотрим распределение ширины раскрытия трещин в диапазоне от 1 до 2,5 мм, принимая уровень значимости $\alpha=0,05$.

Интервальное распределение полученных результатов имеет вид (табл. 3):

Таблица 3

Статистическое распределение выборки

Номер интервала	i	1	2	3	4
Пределы интервала	y_i	1,0	1,375	1,75	2,125
	y_{i+1}	1,375	1,75	2,125	2,5
Частота	n_i	5	3	1	3

n_i – частота, которая наблюдается.

Найдем середины интервалов (табл. 4):

Таблица 4

y_i^*	1,1875	1,5625	1,9375	2,3125
n_i	5	3	1	3

Вычислим выборочное среднее, выборочное среднееквадратическое и исправленное среднееквадратическое отклонение в соответствии с формулами (1 – 3): $y_g^* = 1,625$ мм. $\sigma_g^* = 0,455007$ мм, $S = 0,496371$ мм.

Вычисляем теоретические вероятности p_i и теоретические частоты в соответствии с (4 – 8), после чего по известным эмпирическим и теоретическим частотам находим значение критерия Пирсона χ^2 по (9):

$$\chi_{набл.}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} = 2,446585.$$

В нашем случае $\chi_{крит.}^2 = 3,84$.

Т.к. $\chi_{набл.}^2 < \chi_{крит.}^2$, то гипотезу о нормальном распределении ширины раскрытия трещины в диапазоне значений от 1 до 2,5 мм принимаем.

Таким образом, распределение раскрытия ширины трещин в стенах представляет собой *бимодальное распределение*, характеризующееся существованием у кривой плотности распределения двух максимумов, которые определяются двумя значениями моды. Бимодальное распределение в данном случае возникло как «смесь» двух нормальных распределений (рис. 1).

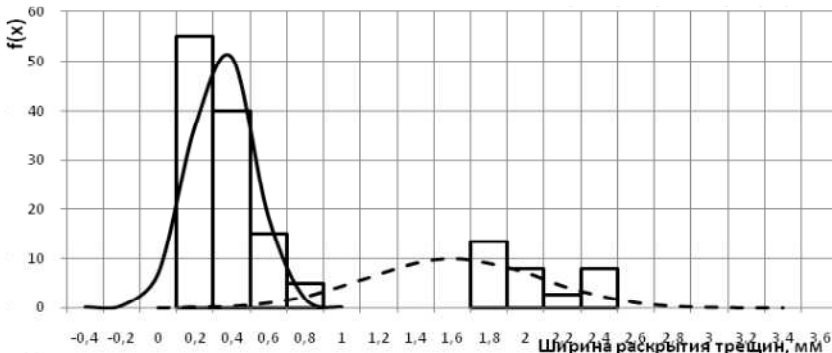


Рис. 1. Гистограммы и графики плотности распределения ширины раскрытия трещин

2. Статистические показатели длины трещин.

Проверим гипотезу о нормальном распределении длины трещин в диапазоне значений от 0 до 3 м и от 3 до 5 м, установив уровень значимости $\alpha=0,05$. Вычисления производим аналогично алгоритму, изложенному в п. 1. Получено, что распределение длин трещин в стенах здания представляет собой также *бимодальное распределение*, характеризующее существованием у кривой плотности распределения двух максимумов, которые определяются двумя значениями моды (рис. 2).

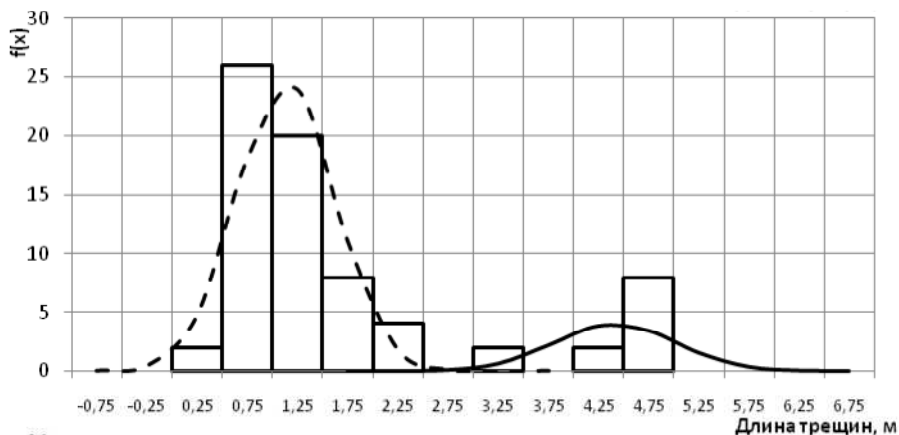
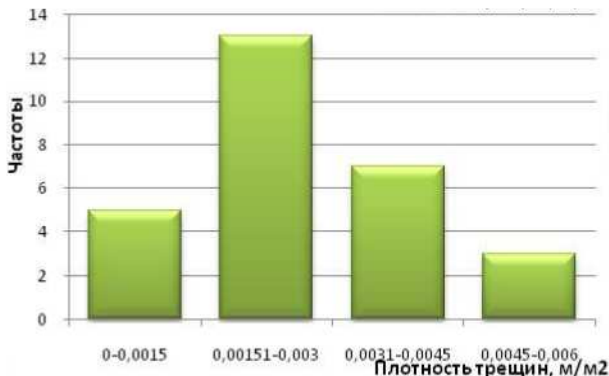


Рис. 2. Гистограммы и графики плотности распределения длины трещин

3. Статистические показатели плотности трещин.

Проверим гипотезу о нормальном распределении плотности трещин в диапазоне значений от 0 до 0,006 м/м², установив уровень значимости $\alpha=0,05$. В результате вычислений (в соответствии с алгоритмом п. 1) определяем, что данный параметр подчиняется *нормальному закону* (рис. 3).



а)

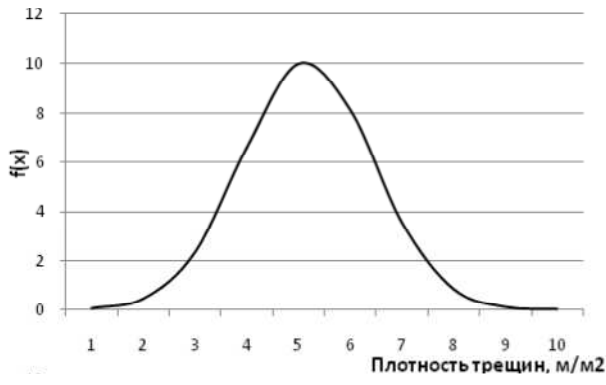


Рис. 3. Гистограмма (а) и график плотности распределения (б) плотности трещин

Выводы. В результате исследований получена статистическая оценка следующих параметров кирпичных стен эксплуатируемого здания: ширины раскрытия трещин, длины трещин и плотности трещин. Показано, что распределение ширины раскрытия и длины трещин представляют собой бимодальное распределение, а плотность трещин – нормальное распределение.

1. ДБН В.1.2-14-2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Зміна №1» / Мінрегіонбуд України. – К., 2012 р. – 46 с.
2. Ржаницын, А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А.Р. Ржаницын – М., Стройиздат, 1978. – 239 с.
3. Райзер, В.Д. Теория надежности в строительном проектировании / В.Д. Райзер. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 304 с.
4. Лычев, А.С. Надежность строительных конструкций: учебное пособие / А.С. Лычев. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 184 с.
5. Пичугин, С.Ф. Надежность строительных конструкций производственных зданий: монография / С.Ф. Пичугин. – Полтава: ООО «Асми», 2009. – 452 с.
6. Вайнберг, А.И. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений. Избранные проблемы: монография / А.И. Вайнберг – Харьков: 2008. – 304 с.
7. Høj, N.P. Risk and Safety Considerations at Different Project Phases / Safety, risk, and reliability – trends in engineering. International Conference. Malta, 2001. Pp. 1–8.
8. Рекомендации по определению сроков службы конструкции полносборных жилых зданий / АКХ им. К.Д. Памфилова. – М., 1983 г. – 51 с.
9. Школа, А.В. Диагностика портовых сооружений: монография / А.В. Школа. – Одесса, Астропринт, 2010. – 592 с.
10. Вентцель, Е.С. «Теория вероятностей»: Учеб. для вузов./ Е.С. Вентцель. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
11. Кичаева, О.В. Моделирование зданий, эксплуатируемых в сложных инженерно-геологических условиях, при статических и динамических воздействиях / О.В. Кичаева. – Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць, вип. 28. – Рівне, 2014 р. – 376 – 386 с.