

Расчет математических ожиданий параметров трещин от степени износа элемента на основе обработки статистических данных по аналогичным объектам

Старший преподаватель Н.В. Брайла,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет*

Ключевые слова: техническое обследование; трещина; коэффициент интенсивности напряжений; физический износ; коэффициент трещиноватости; эксплуатационное качество

При проведении технического обследования здания (согласно ВСН 53-86(р), ВСН 57-88(р), ГОСТ Р 53778-2010, СП 13-102-2003) особое внимание уделяется такому дефекту как трещины.

С точки зрения использования результатов обследования в целях определения стоимости объекта недвижимости трещины – это, в первую очередь, дефекты, снижающие потребительскую привлекательность сооружения и, соответственно, негативно влияющие на стоимость продажи объекта.

Совсем в ином аспекте рассматриваются трещины при проведении технического обследования для определения действительного технического состояния объекта с целью принятия управленческих решений по улучшению или сохранению эксплуатационных качеств здания. В этом случае, трещина – это показатель наличия проблемы.

Для того чтобы остановить и/или устранить образование и развитие трещин, необходимо знать причину и механизм их возникновения, то есть источник напряжений. Немаловажными являются знания параметров трещин как поверочных значений определения критических состояний материалов или конструкций.

В данной статье приведено краткое описание механизма и закономерностей образования и развития трещин. Целью работы является определение математического ожидания параметров трещин в зависимости от физического износа конструктивного элемента (в данном случае кирпичной стены), что позволит посредством инструмента измерения трещиноватости получить новую характеристику эксплуатационного качества здания и оценить степень его ускоренного разрушения.

Изучение конструкционных материалов с трещиной или системой трещин стало предметом исследований и научных трудов многих ученых (Дж.Р. Ирвин [1], А.В. Забегаев [2] и др.), основные идеи которых изложены, в том числе, и в [3-7].

Основоположником механики разрушений признан А. Гриффитс. Теория, в основе которой лежит закон сохранения энергии, гласит: потенциальная энергия, накопленная телом в процессе упругого деформирования, при разрушении полностью превращается в энергию образующихся новых поверхностей [5].

Процесс разрушения включает две стадии:

- докритическую – появление и медленное вязкое подрастание, а затем рост концентрации зародышевых микротрещин;
- посткритическую – разрушение образца при достижении критической концентрации микротрещин $K_{кр.}$, характерной для каждого материала. При этом в вершине магистральной трещины, появляющейся и растущей через поглощение мелких, концентрация зародышевых трещин всегда равна $K_{кр.}$, материал в этих местах находится в более напряженном состоянии, чем в других частях трещины.

Определено, что критическая концентрация зародышевых трещин также связана с их размером L зависимостью, названной концентрационным критерием разрушения [7]:

$$K_{кр.}^{-1/3} = e \cdot L, \quad (1)$$

где e – основание натурального логарифма.

Брайла Н.В. Расчет математических ожиданий параметров трещин от степени износа элемента на основе обработки статистических данных по аналогичным объектам

По учению Гриффитса, при достижении трещиной критического размера $2L$, соответствующего максимуму общей энергии, трещина высвобождает больше энергии, чем потребляет. На этой стадии трещина растет с высокой степенью интенсивности. При выходе из устойчивого состояния приложенное напряжение σ и длина трещины L соответствуют предельным значениям [5, 7].

Тогда при $\sigma < \sigma_{кр}$, где $\sigma_{кр}$ определяется формулой (2), трещина не растет, в обратном случае трещина развивается непрерывно (неустойчивое развитие трещин).

$$\sigma_{кр} = \sqrt{2E\gamma / \pi L}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала;
 γ – свободная поверхностная энергия.

Последующее развитие энергетическая концепция Гриффитса получила в силовом подходе определения условий развития трещин Ирвина, основанном на анализе поля напряжений у вершины трещины.

На основе собственных исследований и работ других ученых Ирвин пришел к выводу о том, что страгивание и рост трещины в деформируемом образце происходит при следующем условии:

$$K = K_c, \quad (3)$$

где K – это коэффициент интенсивности напряжений, определяемый для каждого материала и зависящий от конфигурации трещины и напряжения.

Согласно теоретическим основам определены три вида смещения трещины – это нормальный отрыв или разрыв, продольный и поперечный сдвиги. Соответствующие коэффициенты интенсивности напряжений, K_1 , K_2 и K_3 по разным материалам определяются посредством обработки экспериментальных данных.

Однако исследования последних десятилетий показали, что теория Гриффитса-Ирвина не выполняется в ряде случаев, что доказано в работах В.Г. Вазьи, С.А. Назарова и других ученых и в краткой, но достаточной для понимания форме, разъяснено в статье петербургского учёного Н.Ф. Морозова [6]. В этой же работе показаны наиболее значимые из последних разработок и теорий по преодолению выявленной проблемы.

Причин появления трещин в кирпичной кладке достаточно много, наиболее распространенными из них являются: неравномерная осадка фундаментов, превышение нагрузками расчетных величин, недостаточная прочность кирпича, плохое заполнение швов, протечки санитарно-технических систем, пробивка борозд или отверстий и т.д.

Например, в [8] определено, что пробитая горизонтально бороздка глубиной в 6 см при толщине стены в 64 см снижает ее прочность на 17%, а при толщине в 51 см – уже на 21%.

Механизм образования и разрастания трещин в кладке описан во многих источниках литературы [5, 7, 9, 10 и др.].

Проявление в стене первых волосяных трещин по высоте до трех рядов кладки, что соответствует первой стадии трещинообразования, в зависимости от раствора может проявиться [11]:

- в случае кладки на цементном растворе при $F_{срс} = (0,8-0,6)Fu$;
- в случае кладки на сложном растворе при $F_{срс} = (0,7-0,5)Fu$;
- в случае кладки на известковом растворе при $F_{срс} = (0,6-0,4)Fu$,

где Fu – разрушающее усилие; $F_{срс}$ – усилие, при котором появляются трещины.

По другим данным [5], трещины появляются при следующих нагрузках:

- для слабых растворов (менее 1 МПа) при нагрузках 40-60% от разрушающей;
- для растворов средней прочности (1-2,5 МПа) при нагрузках 50-70% от разрушающей;
- для прочих растворов при нагрузках 70-90% от разрушающей.

На второй стадии трещинообразования появляются вертикальные трещины, пересекающие уже несколько рядов кладки и не только по раствору, но и по кирпичам. Наличие трещин второй стадии свидетельствует о достижении напряжения 70-90% от разрушающего. Именно на этой стадии следует определить причину возникновения дефекта и провести необходимые мероприятия, в том числе, усиление стены.

На третьей стадии происходит исчерпание прочности кладки, появляются разрывные трещины, расслоение и выпучивание кладки, вывалы кирпича и т.д.

Другая причина разрушения стены – это проникновение влаги в кирпич с последующим её замораживанием и образованием трещин. Этот процесс происходит всё интенсивнее со старением здания.

В работах [12-14] рассмотрены математические модели плотности распределения трещин, длины и глубины их проникновения.

На основе экспертных данных [9], определенных путем статистических исследований, в работе [13] полуэмпирическим путем получены зависимости математических ожиданий параметров

$$M(L) = 1,3U, \quad (4)$$

где $M(L)$ (см) – длина трещины;

U (%) – износ рассматриваемого модуля здания, помноженный на 100.

$$M(P) = 0,57\sqrt{U}, \quad (5)$$

где $M(P)$ (шт.) – плотность расположения вертикальных трещин на 1м ширины здания.

$$M(G) = 0,25 * 10^{-3} U^{1,65}, \quad (6)$$

где $M(G)$ – математическое ожидание доли глубины повреждения от толщины стены (на примере стены в 38 см).

На основе зависимостей (4)-(6), были проведены расчеты ожидаемых параметров трещин для физического износа от 0 до 80% с интервалом в 5% (таблица 1).

Таблица 1. Расчет параметров трещин при условии сохранения нагрузок и продолжении их развития

Физический износ, %	Мат. ожидание длины трещины, см	Мат. ожидание плотности расположения вертикальных трещин на 1 м ширины здания, шт.	Мат. ожидание доли глубины повреждения от толщины стены, см	Глубина повреждения, см
	$M(L)$	$M(P)$	$M(G)$	
0	0	0	0	0
5	6,5	1,27	0,004	0,15
10	13	1,80	0,011	0,42
15	19,5	2,21	0,022	0,84
20	26,0	2,55	0,035	1,33
25	32,5	2,85	0,051	1,94
30	39	3,12	0,068	2,58
35	45,5	3,37	0,088	3,34
40	52	3,60	0,110	4,18
45	58,5	3,82	0,134	5,09
50	65	4,03	0,159	6,04
55	71,5	4,23	0,186	7,07
60	78	4,42	0,215	8,17
65	84,5	4,60	0,245	9,31
70	91	4,77	0,277	10,53
75	97,5	4,94	0,310	11,78
80	104	5,10	0,345	13,11

Брайла Н.В. Расчет математических ожиданий параметров трещин от степени износа элемента на основе обработки статистических данных по аналогичным объектам

Таблица 1. Продолжение

Физический износ, %	Мат. ожидание совокупной площади трещин на 1 кв. м стены,		Мат. ожидание совокупного объёма трещин на 1 кв. м стены, куб. см $M(V)$
	кв. см $M(S)$	% от площади фрагмента стены $K_{M(S)}$	
0	0	0%	0
5	0,83	~0%	0,13
10	2,34	~0%	0,98
15	8,61	0,09%	7,20
20	13,26	0,1%	17,63
25	23,16	0,2%	44,88
30	36,53	0,4%	94,39
35	46,03	0,5%	153,92
40	74,98	0,7%	313,43
45	89,47	0,9%	455,60
50	104,79	1,0%	633,16
55	120,90	1,2%	854,51
60	172,19	1,7%	1406,82
65	194,16	1,9%	1807,62
70	260,39	2,6%	2740,82
75	336,91	3,4%	3968,75
80	424,17	4,2%	5560,91

Недостающим параметром является ширина раскрытия трещин. В ВСН 53-86 (р) определено, что при физическом износе до 10% ширина раскрытия может достигать 1 мм, при физическом износе до 20% – 2 мм, при износе 21-30% – более 2 мм. При больших величинах износа ширина раскрытия трещин не определена.

По принципу развития трещины могут быть динамичными или стабильными, что устанавливается с помощью специальных маяков. График изменения совокупной площади трещин, соответственно, может быть как стремящимся вверх, так и относительно угасающим.

Рассмотрим вариант, когда трещины объекта имеют однозначную динамику к увеличению.

Очевидно, что при анализе изменения параметров $M(S)$ и $M(V)$ при величине физического износа от 0% до 80% формула для значений, близких к 0% будет давать большую погрешность для значений близких к 80%.

Таким образом, целесообразно определить формулу математического ожидания площади (таблица 2) и объема (таблица 3) трещин для разных промежутков по разным формулам, при этом основной критерий деления на промежутки – уменьшение величины погрешности расчетных значений по введенной формуле от расчетных по таблице 1 до 5% (в абсолютном выражении).

Таблица 2. Определение математической зависимости $M(S)$

Диапазон физического износа, %	Мат. ожидание совокупной площади трещин на 1 кв. м стены, кв. см	Номер формулы
U	$M(S)$	
0 – 10	$0,09U^{1,4}$	7
11 – 35	$5,48 \cdot 10^{-2} \cdot U^{1,92} - 2,5$	8
36 – 60	$0,02U^{2,2}$	9
61- 80	$2,3 \cdot 10^{-4} \cdot U^{3,3} - 5,0$	10
Общий вид	$a \cdot U^{2,4}$	11

Таблица 3. Определение математической зависимости $M(V)$

Диапазон физического износа, %	Мат. ожидание совокупного объема трещин на 1 кв. м стены, куб. см	Номер формулы
U	$M(V)$	
0 – 10	$0,002U^{2,65}$	12
11 – 35	$7,3 \cdot 10^{-4} \cdot U^{3,45} - 1,15$	13
36 – 60	$1,6 \cdot 10^{-4} \cdot U^{3,9}$	14
61- 80	$1,7 \cdot 10^{-6} \cdot U^5$	15
Общий вид	$a \cdot U^{4,05}$	16

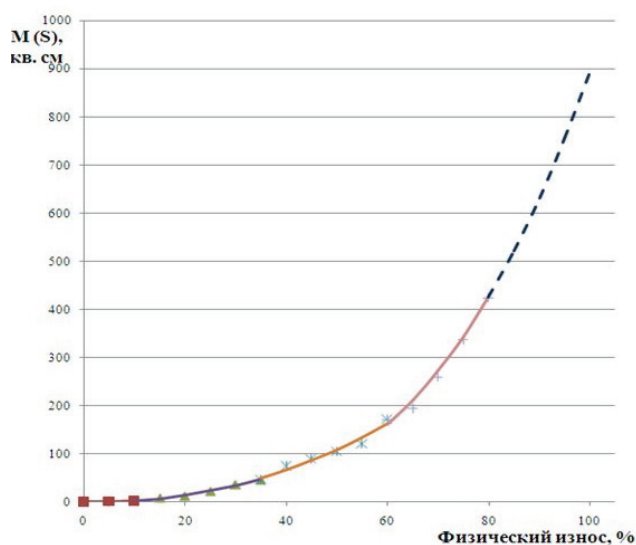


Рисунок 1. Мат. ожидание совокупной площади трещин на 1 кв. м стены, кв. см

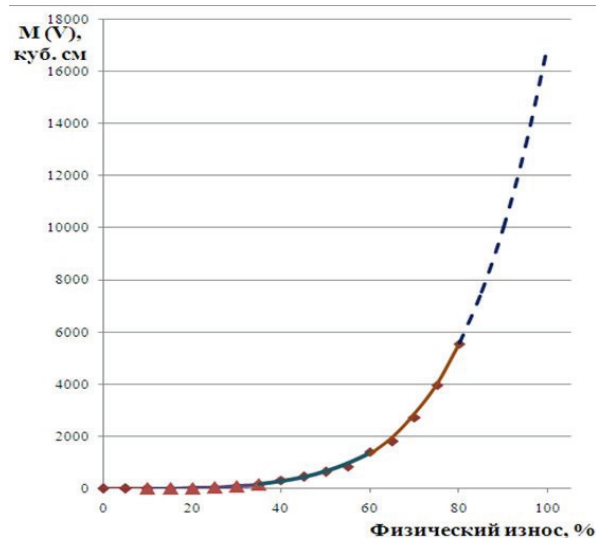


Рисунок 2. Мат. ожидание совокупного объема трещин на 1 кв. м стены, куб. см

Эти характеристики включают в себя только магистральные (крупные) трещины, которые «питают» влажностью и прочими вредоносными факторами (температура, грибок и т.д.) более мелкие внутренние трещины. Из гидравлики известно, что пропускная способность щелей имеет степенную зависимость от величины щели, поэтому мелкие трещины до момента их укрупнения оказывают незначительное воздействие на процесс проникновения влажности.

По характеру нарастания площади и объема трещин (рисунки 1, 2) можно сделать вывод о лавинообразном процессе разрушения при высоких процентах износа, который невозможно или нецелесообразно устранять. Это присуще российскому климату в целом, и Санкт-Петербургу в частности, для которого характерно чередование морозов и оттепелей, а также повышенная влажность воздуха.

В таблице 1 приведен показатель – процент площади трещин от общей площади стены или ее фрагмента – коэффициент трещиноватости стен $K_{M(S)}$. Наряду с площадью и объемом трещин это критерий, который может свидетельствовать не просто о техническом состоянии объекта, но и о его эксплуатационном качестве в целом.

Отметим, что увеличение трещиноватости стен ведет не просто к их разрушению, но и к переувлажнению, проникновению влаги в тело материала конструкции вплоть до внутренней поверхности, что влечет за собой еще ряд серьезнейших проблем.

Известно, что во вновь возведенном здании первоначальный уровень строительной влаги не превышает 6-9% для железобетонных конструкций и 8-12% – для армокаменных и каменных, но в ходе эксплуатации влажность может увеличиваться в разы. Так, например, при проведении технических обследований зданий было выявлено, что подъем грунтовой влаги по стенам может достигать пяти метров.

С развитием износа ограждающих конструкций жилых зданий происходит нарушение внутренней среды помещений, что вызывает у людей ощущение дискомфорта. Практически во всех домах старой постройки (эксплуатируемых более 30 лет) наблюдается отклонение параметров микроклимата от проектных значений, даже в случаях, когда работы по устранению отказов и проведению ремонтов в этих домах проводятся своевременно [15].

В соответствии с нормативами, 30-летнему сроку эксплуатации здания соответствует степень износа около 25%. Следовательно, пороговое значение коэффициента трещиноватости при нарушении внутренней среды помещений составляет 0,2%, а его возрастание показывает степень ухудшения условий проживания и характеризует необходимость значительных затрат на устранение вредного влияния трещин.

Влажность и определенная температура создают благоприятную обстановку для развития разного рода грибов и плесени, которые влекут за собой угрозу ускорения процессов разрушения зданий и напрямую воздействуют на здоровье человека [16, 17, 18].

Так, например, в США после обнаружения в воздухе спор токсичного грибка, распространявшихся из фундамента, были закрыты историческая библиотека в Стейтен Айленд, Нью-Йорк, банк в Манитобе и несколько школ в Сиэттле. А в Швеции существует норматив количества колониеобразующих микроблеток плесневого гриба в комнатном воздухе, равный 174 единицам. Проведенные российскими учеными-микробиологами исследования показали превышение этого показателя в нашей стране относительно шведского в 3-6 раз.

Таким образом, установлено, что трещины как абсорбент влаги концентрируют в себе угрозу не только разрушения конструкции, но и разрастания и проникновения в помещения колоний плесневых грибов и других микроорганизмов.

Принимая во внимание разработки [10], представим техническое состояние объекта в виде круговой диаграммы, где каждый конструктивный элемент – это сектор круга, угол которого равен удельному весу элемента, а радиус – величина физического износа (рисунок 3).

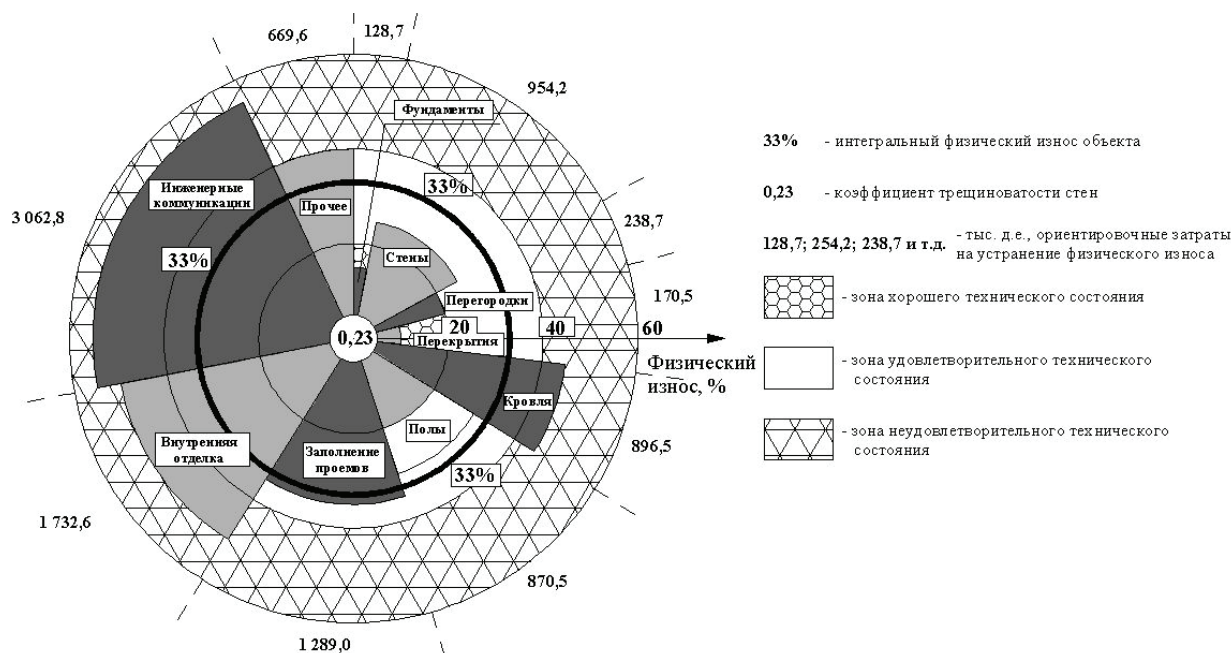


Рисунок 3. Круговая диаграмма технического состояния конструктивных элементов и затрат на устранение физического износа

Диаграмма технического состояния положена в основу программно-расчётного модуля сбора и обработки исходной информации для календарного планирования ремонтных работ и позволяет получить наиболее полное представление о техническом состоянии объекта недвижимости, его отдельных конструктивных элементов и величине ориентировочных затрат на устранение физического износа. На основании диаграммы можно произвести планирование ремонтных работ поэлементно либо в целом по зданию, а также через коэффициент трещиноватости стен определить возможные угрозы с точки зрения не только потери прочности конструкцией, но и экологичности всего объекта.

Брайла Н.В. Расчет математических ожиданий параметров трещин от степени износа элемента на основе обработки статистических данных по аналогичным объектам

Таким образом, получены зависимости математических ожиданий параметров трещины как одного из важнейших разрушающих дефектов конструктивных элементов. Эти зависимости вставлены в систему графических моделей технического состояния здания с отображением коэффициента трещиноватости как универсального показателя качества объекта, а также внедрены в методический комплекс оценки технического состояния объектов недвижимости с учетом визуализации дефектов.

Литература

1. Irwin G. Analysis of Stresses and Strains near the End of a Crack Traversing a Plate // Journal Of Applied Mechanics. 1957. № 3. Pp. 361 – 364.
2. Забегаев А. В. К построению общей модели деформирования бетона // Бетон и железобетон. 1994. № 6. С. 23-26.
3. Lourenco P. V. Experimental and numerical issues in the modeling of the mechanical behavior of masonry. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://gfosweb.gfos.hr/portal/images/stories/studij/sveucilisni-diplomski/zidane-konstrukcije-ii/experimental-and-numerical-issues.pdf>. (Дата обращения: 13.02.2012).
4. Астафьев В. И., Радаев Ю. Н., Степанова Л. В. Нелинейная механика разрушения. Самара: Самарский университет, 2001. 562 с.
5. Леденев В. В., Скрылев В. И. Предупреждение аварий: учебное пособие. М. : АСВ, 2002. 240 с.
6. Морозов Н. Ф. Математические вопросы механики разрушений // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 8. С. 117-122.
7. Ушаков И. И., Бондарев Б. А. Основы диагностики строительных конструкций: учеб. пособие. Ростов н/Д : Феникс, 2008. 204 с.
8. Вейц Р. И. Предупреждение аварий при строительстве зданий. Л.: Стройиздат, Ленинград. отделение, 1984. 144 с.
9. Мальганов А. И., Плевков В. С., Полищук А. И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий: Атлас схем и чертежей. Томск: Томский межотраслевой ЦНТИ, 1990. 316 с.
10. Рогонский В. А., Костриц А. И. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений. СПб. : Стройиздат СПб, 2004. 172 с.
11. Леонович С. Вопросы технологии усиления строительных конструкций // Строительство и недвижимость. Электронный журнал. №№ 23, 24. 2004. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.nestor.minsk.by/sn/2004/30/sn43015.html>. (Дата обращения: 13.02.2012).
12. Симанкина Т. Л., Ширко Н. В. Возможности использования визуализации дефектов при технической экспертизе объектов недвижимости. Сб. докладов XL недели науки СПбГПУ. Часть 1. 2011. С. 109-110.
13. Симанкина Т. Л., Ширко Н. В. Оценка физического износа зданий с применением визуального моделирования дефектов // Известия вузов. Строительство. 2011. №7(633). С. 91-97.
14. Симанкина Т. Л., Ширко Н. В. Создание графических образов физического износа объектов и связанных с ним затрат // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 4 (29). С. 30-37.
15. Воробьева Ю. А. Влияние процесса старения ограждающих конструкций и инженерных систем жилых зданий на микроклимат помещений. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Воронеж: ВГАСУ, 2006. 181с.
16. Fitzpatrick K. Unhealthy Places: The Ecology of Risk in the Urban Landscape. New York: Routledge. 2000. 274 p.
17. Daisey J. M., Angell W. J., Apte M. G. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.standby.lbl.gov/ied/pdf/LBNL-48287.pdf>. (Дата обращения: 13.02.2012).
18. Старцев С. А. Проблемы обследования строительных конструкций, имеющих признаки биоповреждения // Инженерно-строительный журнал. 2010. №7(17). С. 41-46.

**Наталья Васильевна Брайла, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. раб.: +7(812)305-05-08; эл. почта: nashi-n-v@mail.ru

Брайла Н.В. Расчет математических ожиданий параметров трещин от степени износа элемента на основе обработки статистических данных по аналогичным объектам

Analysis of mathematical expectations of the cracks parameters from the degree of element deterioration based on historical data processing about similar objects

N.V. Brayla

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia
+7(812)305-05-08; e-mail: nashi-n-v@mail.ru

Key words

technical survey; crack; the stress intensity factor; physical deterioration; degree of fracturing factor; operational quality

Abstract

Technical survey of the real estate object may be carried out for its cost evaluating or for the defining necessity of repair. During the inspection special attention is paid to cracks that are important destructive defects of structural elements. The article includes a short description of the cracks formation and material destruction processes with specifying the main theories and formulas of the fracture mechanics. The mathematical expectations of the crack parameters were deduced. These dependencies are inserted into a system of building technical condition graphic models and embedded in a methodical complex of object technical condition evaluation taking into account visualization of defects.

Such parameters of building quality as operational reliability and environmental safety are assessed by degree of fracturing factor. This factor displays not only the relative area of cracks in the walls but also the operational quality of the building in the following way: the fracturing factor indicates the degree of constructions resistance to such harmful micro-organisms like mold and fungi, which provoke damage to structures, impair indoor climate of rooms and cause building occupants diseases. The technical condition and estimated cost of structures physical deterioration removal are represented by the buildings structural elements circle chart.

References

1. Irwin G. Analysis of Stresses and Strains near the End of a Crack Traversing a Plate. *Journal Of Applied Mechanics*. 1957. No. 3. Pp. 361 – 364.
2. Zabegaev A. V. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 1994. No. 6. Pp. 23-26. (rus)
3. Lourenco P. B. *Experimental and numerical issues in the modeling of the mechanical behavior of masonry*. [Electronic resource]. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://gfosweb.gfos.hr/portal/images/stories/studij/sveucilisni-diplomski/zidane-konstrukcije-ii/experimental-and-numerical-issues.pdf>. Date of request: 13.02.2012.
4. Astafyev V. I., Radaev Yu. N., Stepanova L. V. *Nelineynaya mekhanika razrusheniya* [Non-linear fracture mechanics]. Samara: Samara University, 2001. 562 p. (rus)
5. Ledenev V. V., Skrylev V. I. *Preduprezhdeniye avariyy: uchebnoye posobiye* [Damage control: textbook]. Moscow: ASV, 2002. 240 p. (rus)
6. Morozov N. F. *Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal* [Sorovsky educational magazine]. 1996. No. 8. Pp. 117-122. (rus)
7. Ushakov I. I., Bondarev B. A. *Osnovy diagnostiki stroitelnykh konstruktsiy: uchebnoye posobiye* [Fundamentals of diagnostic constructions: textbook]. Rostov-on-Don: Feniks, 2008. 204 p. (rus)
8. Veyts R. I. *Preduprezhdeniye avariyy pri stroitelstve zdaniy* [Preventing of accidents during the construction of buildings]. Leningrad: Stroyizdat, 1984. 144 p. (rus)
9. Malganov A. I., Plevkov V. S., Polischuk A. I. *Vosstanovleniye i usileniye stroitelnykh konstruktsiy avariynnykh i rekonstruiruyemykh zdaniy: Atlas skhem i chertezhey* [Restoration and strengthening of building structures of emergency and renovated buildings: Atlas of diagrams and drawings]. Tomsk: Tomskiy mezhotraslevoy TsNTI, 1990. 316 p. (rus)
10. Rogonskiy V. A., Kostritc A. I. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost zdaniy i sooruzheniy* [Operational reliability of buildings and constructions]. Saint-Petersburg: Stroyizdat SPb, 2004. 172 p. (rus)
11. Leonovich S. *Stroitelstvo i nedvizhimost* [Construction and real estate]. 2004. No. 23, 24. [Electronic journal]. URL: <http://www.nestor.minsk.by/sn/2004/30/sn43015.html>. Date of request: 13.02.2012. (rus)

Brayla N.V. Analysis of mathematical expectations of the cracks parameters from the degree of element deterioration based on historical data processing about similar objects

12. Simankina T. L., Shirko N. V. *Sbornik докладov XL nedeli nauki SPbGPU* [Collection of reports of XL Science Week in St.Petersburg State Polytechnical University]. 2011. Pp. 109-110. (rus)
13. Simankina T. L., Shirko N. V. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo* [Proceedings of the universities. building]. 2011. No. 9 (633). Pp. 91-97. (rus)
14. Simankina T. L., Shirko N. V. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. 2011. No. 3 (28). Pp. 30-37. (rus)
15. Vorobyeva Yu. A. *Vliyaniye protsessa stareniya ograzhdayushchikh konstruksiy i inzhenernykh sistem zhilykh zdaniy na mikroklimat pomeshcheniy* [Building envelope and engineering systems of the residential buildings aging process impact on the premises microclimate]. The dissertation for the candidate of technical sciences scientific degree competition. Voronezh: VSUACE, 2006. 181 p. (rus)
16. Fitzpatrick K. *Unhealthy Places: The Ecology of Risk in the Urban Landscape*. New York: Routledge, 2000. 274 p.
17. Daisey J. M., Angell W. J., Apte M. G. *Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information*. [Electronic resource]. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.standby.lbl.gov/ied/pdf/LBNL-48287.pdf>. Date of request: 13.02.2012.
18. Startsev S. A. *Magazine of civil engineering*. 2010. No. 7 (17). Pp. 41-46. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 106-112