

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ И КОМПЕНСАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В ОГНЕУПОРНОЙ КЛАДКЕ – ГЛАВНЫЙ ФАКТОР ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСА ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Третьяков П.В., Парфенюк А.С., Костина Е.Д., Алексеева О.Е., Топоров А.А.
(ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

The article is dedicated to definition of the methods of increase of the longevity of the thermal aggregates in view of age-hardening processes and shattering of the refractory elements. Processes of shattering, accumulation of the damage in the laying of the piers and its recoveries are studied. The mathematical model of the shattering of the laying with the given reliability allows to predict the condition of the laying on between-repairs phase.

Исследование процессов образования дефектов и их роста в огнеупорной кладке тепловых агрегатов необходимо при обосновании эффективных методов обеспечения долговечности и герметичности массива кладки, при разработке регламентов эксплуатации и обслуживания различных тепловых агрегатов, в том числе и для термической переработки твердых углеродистых материалов, а также смесей твердых промышленных и бытовых отходов.

Огнеупорная кладка, которая составляет основную часть материалоемкости агрегатов работает при высоких температурах протекающих процессов, испытывает температурные напряжения в результате периодических колебаний температур, контактирует с агрессивными рабочими средами. Перечисленные воздействия, статические и динамические силовые нагрузки, другие случайные воздействия приводят к появлению дефектов, деформированию и разрушению массива огнеупорной кладки, что влечет за собой ряд негативных последствий, в том числе “забуривание” печей, отказ простенка, разгерметизация кладки и выброс в атмосферу вредных газообразных веществ.

Нами были проанализированы условия работы кладки и разрушающие воздействия на кладку камерных печей в процессе эксплуатации. Определены виды дефектов и причины их появления. Проведенный анализ позволил выявить аспекты, которые необходимо учитывать при изучении процессов старения кладки, нарушения герметичности обогревательных простенков и моделирования протекающих процессов.

В результате анализа информации по периодическим осмотрам состояния кладки коксовых батарей различной производительности Авдеевского, Донецкого, Криворожского коксохимических заводов выявлены характеристики и последовательность возникновения дефектов, закономерности развития трещин, сколов, раковин и сквозных дефектов [1], даны количественные оценки протекающих процессов разрушения. Проведенный анализ данных позволил выявить закономерности изменения усредненных значений параметров дефектов в процессе эксплуатации [2] и обосновать значения критических размеров дефектов, при достижении которых необходимо их устранение. Так, для трещин значения критических размеров составили: длина – 1,8 м, раскрытие кромок – 10-15 мм, глубина – 40 мм; для сколов: количество на поверхности кладки площадью 0,2 м² – 6 сколов; площадь – 30 см²; глубина – 30 мм. Определены параметры повреждений, при которых наиболее вероятно появление сквозных дефектов. Сквозные трещины образуются при достижении раскрытия кромок 30 мм и достигают высоты до 3 м. К следующему осмотру состояния кладки образуется сквозной дефект на месте существующего скола при достижении его размеров 50x50 мм глубиной 60 мм, а вероятность образования провала в районе раковины площадью 0,25 м² и глубиной более 60 мм возрастает до 0,62.

Для идентификации математических моделей наиболее подходящих для воспроизведения процесса разрушения кладки в описанных выше условиях был

выполнен анализ литературы, посвященной детерминированным моделям, построенным на законах механики разрушения, моделям прогнозирования долговечности и надежности сложных систем, вероятностным моделям, который позволил определить, что наиболее подходящими и соответствующими сущности процесса разрушения кладки, являются Марковские процессы с дискретными временем и состояниями объекта. Для построения модели накопления повреждений в кладке простенка использовали идею конечных цепей Маркова. Содержание модели разрушения кладки и ее математический аппарат были описаны ранее в работах [3,4].

С помощью вероятностной модели воспроизведен процесс роста трещин на основе данных периодических осмотров состояния кладки. По результатам статистического анализа [2] определено математическое ожидание количества печевыдач, соответствующего длинам трещин (табл. 1), m : 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 (критическая длина). Матрица переходных вероятностей имеет следующий вид:

$$P = \begin{vmatrix} p_{11} & q_{12} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & p_{22} & q_{23} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & p_{88} & q_{89} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Характеристическая функция времени достижения трещиной критической:

$$\Phi_W(z; 1, 9) = \frac{q_{12}q_{23}q_{34}q_{45}q_{56}q_{67}q_{78}q_{89}}{(1-p_{11}z)(1-p_{22}z) \cdot \dots \cdot (1-p_{77}z)(1-p_{88}z)} \cdot z^8$$

Для оценки параметров модели r_{ij} и j использовали метод моментов. Значения математического ожидания и дисперсии времени достижения трещиной определенной длины, полученные при статистическом анализе [2], сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры модели для процесса роста длины трещины

l, m	Машинная сторона				Коксовая сторона			
	$E\{W_{j,k}\}$	$\sigma\{W_{j,k}\}$	№ состояния j	Параметр r_{ij}	$E\{W_{j,k}\}$	$\sigma\{W_{j,k}\}$	№ состояния j	Параметр r_{ij}
0,1	250	0	1 ... 470	0,65	250	0	1 ... 338	0,685
0,3	775	504	471 ... 608	1,751	569	390	339 ... 456	1,415
0,5	1154	1167	609 ... 730	2,388	855	794	457 ... 489	2,131
0,7	1569	2157	731 ... 775	8,776	959	1016	490 ... 599	6,257
1	2008	6013	776 ... 807	7,016	1757	6014	600 ... 625	8,559
1,2	2265	7817	808 ... 818	12,448	2009	7311	626 ... 647	4,407
1,4	2418	9722	819 ... 823	28,53	2125	8666	648 ... 665	5,093
1,6	2580	14427	824 ... 835	14,554	2233	9217	666 ... 669	40,02
1,8	2742	16512	836 ...		2377	14971	670 ...	

В результате была определена матрица переходных вероятностей и получена интегральная функция распределения времени достижения

$$P = \begin{vmatrix} 0,593 & 0,407 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,414 & 0,586 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,319 & 0,681 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,138 & 0,862 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,105 & 0,895 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,185 & 0,815 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,164 & 0,836 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,026 & 0,974 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Таким образом, определена матрица переходных вероятностей, что при наличии распределения дефектов в начальный момент времени p_0 дает возможность: вычисления вероятностей реализации определенной траектории переходов между состояниями; прогнозирования состояния объекта в определенный момент времени; воспроизведения интегральной функции распределения количества циклов по достижению объектом определенного состояния.

Для отображения практической стороны использования вероятностной модели при разработке стратегии проведения восстановительных работ воспроизвели планирование ремонтов для двух вариантов. В первом случае руководствовались техническим регламентом эксплуатации коксовых батарей, по которому осмотры кладки производят с периодом в шесть месяцев, во втором случае нормировали величину интегральной функции распределения времени достижения критической трещиной длины 1,8 м на уровне 0,005 для обеспечения надежности и безопасности камерных печей.

Установлено, что восстановление трещины методами горячих ремонтов эффективно производить при длине 1,4 м, что соответствует состоянию дефекта $j = 648$ – состоянию, полученному при оценке параметров модели (табл.1). Состояние дефекта соответствующего длине трещины 1,8 м – $j = 670$. Тогда вероятность $p_r(t)$ того, что дефект требует устранения:

$$p_r(t) = \sum_{j=648}^{670} p_t(j). \quad (1)$$

Так как осмотры состояния кладки осуществляются с периодом в шесть месяцев, моменты осмотров принятые для расчетов $t_1 = 2000$; $t_2 = 2250$; $t_3 = 2500$; $t_4 = 2750$ и т.д.

Вероятность обнаружения дефекта при $j \geq 450$ (т.е. при длине трещины $> 0,4$ м) $\tau_{j \geq 450} = 1$. Соответственно увеличению длины трещины до максимальных размеров увеличивается доля дефектов, не восстановленных до первоначального состояния. Из анализа статистических данных по восстановлению кладки установили, что распределение величины $\pi_{j \geq 600} = 0$

Доля трещин подлежащих устранению в момент времени $t_1 = 2000$:

$$p_r^{(1)} = \sum_{j=648}^{670} \tau_j \cdot p_{t_1}(j) \quad (2)$$

Таким образом, в момент времени t_1 устранению подлежит в среднем 7 % (рис. 1) трещин от их общего количества. После проведения восстановительных работ процесс роста трещин возобновляется. Тогда: $p_t = p_0^{(1)} P^{t-t_1}$, $t_1 \leq t \leq t_2$. Таким образом, функция F_f возобновляется после каждого осмотра-восстановления кладки и определяет вероятность достижения трещиной критического состояния. Вероятность необходимости восстановления дефектов $p_r^{(t)}$ находим из формулы (1), величину p_x – из формулы (2) и подобных уравнений, которые применяются после каждого ремонта. Графически выше описанный процесс для определенных моментов осмотров кладки отображен на рис. 1,а.

Если же руководствоваться идеей обеспечения надежности камерных печей, то ремонты кладки необходимо проводить по достижении дефекта или всего простенка определенного состояния либо по достижению F_f регламентированного значения на уровне $F_f < 0,005$. В результате получим следующий вид пилообразных кривых, аналогичных отображенным на рис. 1,б, но уже с переменными интервалами времени.

Как видно по рисункам, выполнение условия $F_f(t_k) < 0,005$ после осмотра соответствующего t_1 дает отсутствие ремонтов, а интервалы времени между осмотрами $t_2 - t_3$ и $t_3 - t_4$ составили соответственно 219 и 233 печевыдач.

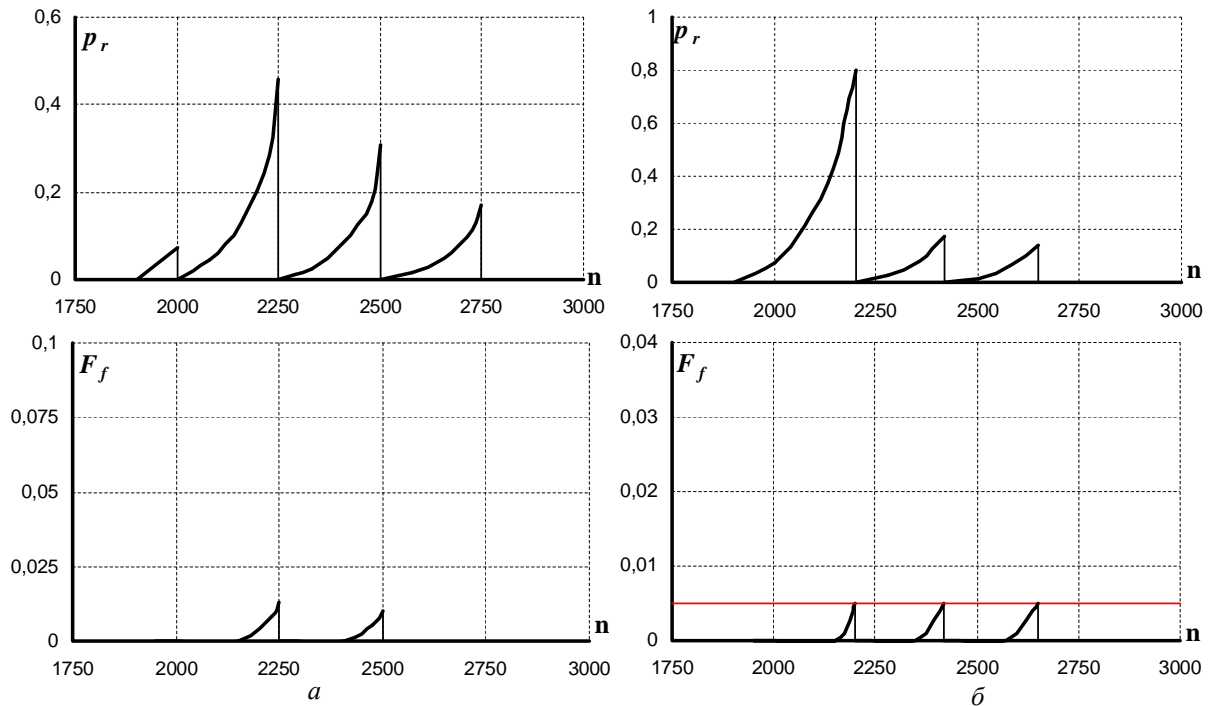


Рисунок 1 – Графики зависимости p_r и F_f от количества печевыдач n : а) при выполнении регламентов по периодичности ремонтов, б) при нормировании $F_f(t_k) < 0,005$

Если сравнивать соотношения сумм $p_r^{(1)} + p_r^{(2)} + p_r^{(3)}$ для обоих случаев, то можно сказать, что полученные результаты имеют незначительную разницу, которая является результатом снижения времени между ремонтами и осмотрами. Но во втором случае вероятность достижения трещиной критической длины, как мера безопасности, обеспечена на уровне 0,005 по сравнению с первым случаем – 0,13.

Таким образом, просчитав ряд возможных вариантов проведения восстановительных работ, с различными параметрами определяем наиболее подходящие в зависимости от сложившихся внешних условий.

Список литературы: 1. Парфенюк А.С., Третьяков П.В., Костина Е.Д. О разрушении кладки коксовых батарей из крупных огнеупорных бетонных блоков и традиционных динасовых огнеупоров // Кокс и химия. 2004. № 8. С.14-19. 2. Третьяков П.В., Парфенюк А.С. Обеспечение экологической безопасности и надежности термолизных печей для переработки углеродсодержащих спекающихся масс / Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник научных трудов XIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-16 сентября 2006 г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2006. Т.5. С.298-302. 3. Третьяков П.В., Алексева О.Е., Парфенюк А.С. Оценка экологической безопасности тепловых агрегатов / Наукові праці ДонНТУ. Серія: Хімія і хімічна технологія. Випуск 77 / Донецьк: ТОВ «Лебідь», 2004. С. 103-106. 4. Третьяков П.В., Парфенюк А.С., Костина Е.Д. К вопросу моделирования процессов разрушения футеровки тепловых агрегатов / Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник научных трудов XII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-17 сентября 2005 г.-Донецк: ДонНТУ, 2005. Т.3. С.283-286.