

## **ОБОСНОВАНИЕ РЕГЛАМЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОГНЕУПОРНОЙ КЛАДКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ**

*Третьяков П.В., Парфенюк А.С., Алексеева О.Е., Костина Е.Д.*

*Донецкий национальный технический университет, Украина*

*Приведено обоснование корректирования периодичности проведения ремонтно-профилактических работ по восстановлению технического состояния огнеупорных футеровок тепловых агрегатов с целью продления срока их службы, обеспечения герметичности и стабильности протекания технологических процессов на основе исследования и моделирования процесса разрушения-восстановления.*

В химической промышленности, в технологических процессах производства стройматериалов, в металлургии находят широкое применение тепловые агрегаты, рабочие камеры которых футерованы различными огнеупорными материалами. И хотя режимные параметры работы, свойства перерабатываемого сырья, протекающие тепло- и массообменные процессы различны, для большинства тепловых агрегатов можно выделить общие особенности их эксплуатации и процессов восстановления. Во-первых, это циклический характер их работы и соответственно циклическое воздействие разрушающих факторов (агрессивных рабочих сред, перепадов температур, механических нагрузок обслуживающих машин и механизмов). Второй характерной особенностью является возникновение в футеровке дефектов на определенном этапе эксплуатации, их виды и соответственно количественные параметры, которыми их можно охарактеризовать. Третье – сложность своевременного обнаружения и устранения дефектов, связанная с определенной периодичностью, длительностью технологического процесса и периодов технических остановок.

Как правило, техническое состояние огнеупорной футеровки контролируется в процессе эксплуатации периодическими осмотрами и поддерживается на требуемом уровне посредством ремонтов: горячих (без отключения агрегата от обогрева) и холодных (с отключением от обогрева и выводом агрегата из эксплуатации для полной либо частичной перекладки футеровки).

Проведение ремонтов приводит к обрыву процесса накопления повреждений, и переводу объекта либо к первоначальному состоянию, либо определенному состоянию  $j$  поврежденности, в зависимости от объема восстановительных работ и вида ремонта. Кроме того, даже условие нахождения объекта в критическом состоянии не определяет со 100% надежностью то, что такой дефект будет устранен. Используя модель, отражающую развитие дефекта [1,2], приведенные моменты и вероятностный характер протекающих процессов для обоснования периодичности проведения восстановительных работ учтены

вероятностью  $m_j$  того, что дефект обнаружен и устранен в состоянии  $j$ , а также вероятностью нахождения объекта в состоянии  $j$  после  $i$ -го осмотра и ремонта. Таким образом, доля дефектов, подлежащих ремонту и фактически ремонтируемых:

$$p_r(\tau_i) = \sum_j p_{\tau_i}(j) \text{ и } p_r^{(i)} = \sum_j m_j^{(i)} p_{\tau_i}(j),$$

где  $Z$  – критическое состояние объекта (состояние отказа).

$m_j p_{\tau_i}(j)$  – вероятность того, что дефект выявлен в состоянии  $j$ .

Зная номер состояния дефекта, при котором его необходимо устранить ( $k < Z - 1$ ), определяем долю дефектов, которые должны быть устранены в момент времени  $\phi_i$ .

Для того, чтобы возобновить воспроизведение процесса роста дефектов после проведения осмотра и восстановления в момент времени  $\phi_i$  необходимо иметь начальное распределение вероятностей  $p_0^{(i)}$ , которое для определенного состояния будет иметь вид:

$$p_0^{(i)}(j) = \begin{cases} p_{\tau_i}(j) + x_j^{(i)} \cdot p_r^{(i)}, & j = 1, \dots, k-1 \\ (1 - m_j^{(i)}) \cdot p_{\tau_i}(j) + m_j^{(i)} \cdot p_r^{(i)}, & j = k, \dots, Z \end{cases} \quad (1)$$

После контроля в момент времени  $\phi_i$  процесс разрушения возобновляется с начальным распределением вероятности нахождения дефекта в определенном состоянии  $p_0^{(i)}$  [2]:

$$p_{\tau} = p_0^{(i)} P^{\tau - \tau_i}, \quad \tau \geq \tau_i \quad (2)$$

где  $P^{\tau - \tau_i}$  – матрица переходных вероятностей между состояниями.

Периоды осмотров и ремонта  $\phi_i$  должны быть выбраны так, чтобы значения интегральной функции распределения времени достижения критических размеров  $F_w(\tau_i; Z)$  не превосходили нормированного значения.

Используя результаты моделирования процесса развития трещин в огнеупорной кладке коксовых батарей [3], было выполнено воспроизведение процесса развития-устранения трещин в огнеупорной кладке для случаев определения периодичности проведения ремонтов.

В первом случае руководствовались техническим регламентом эксплуатации коксовых батарей, по которому производятся осмотры кладки с периодом в шесть месяцев, во втором случае для обеспечения надежности и безопасности камерных печей нормировали величину интегральной функции распределения времени достижения критической трещиной длины на уровне 0,005.

Установлено, что восстановление трещины методами горячих ремонтов эффективно производить при длине 1,4 метра [4], что соответствует состоянию дефекта  $j = 648$  – состоянию, полученному при оценке параметров модели [3]. Интегральная функция распределения  $F_f$  времени достижения длины трещины  $l = 1,8$  метра ( $j = 670$ ) для кладки находим из выражения (2).

Вероятность  $p_r(\tau)$  того, что дефект требует устранения:

$$p_r(\tau) = \sum_{j=648}^{670} p_{\tau}(j). \quad (3)$$

В соответствии с тем, что осмотры состояния кладки осуществляются с периодом в шесть месяцев, моменты осмотров принятые для расчетов составили  $\tau_1 = 2000$ ;  $\tau_2 = 2250$ ;  $\tau_3 = 2500$ ;  $\tau_4 = 2750$ . Частка трещин, що підлягає усуненню в момент часу  $\phi_l = 2000$ :

$$p_r^{(1)} = \sum_{j=648}^{670} m_j \cdot p_{\tau_1}(j). \quad (4)$$

Процесс роста трещин возобновляется в момент  $t_l$ , после проведения восстановительных работ, с распределением повреждений соответствующим выражению 1. Тогда:  $p_{\tau} = p_0^{(1)} P^{\tau-\tau_1}$ ,  $\tau_1 \leq \tau \leq \tau_2$ . Таким образом, функция  $F_f$  возобновляется после каждой проверки и определяет вероятность достижения трещины критического состояния. Вероятность необходимости восстановления дефектов  $p_r^{(\tau)}$  находим из формулы 3, величину  $p_r$  – из формулы 4 и подобных уравнений, которые применяются после каждого ремонта. Результаты расчетов сведены в таблицу 1. Таким образом, в момент времени  $\tau_1$  устранению подлежит в среднем 7% (табл. 1) трещин от их общего количества.

Если же руководствоваться идеей обеспечения надежности камерных печей, то ремонты кладки необходимо проводить по достижению дефектом или простенком определенного состояния, либо по достижению  $F_f$  регламентированного значения на уровне  $F_f < 0,005$ . В результате восстановление кладки необходимо выполнять с переменными интервалами времени. Как видно по табл. 1, выполнение условия  $F_f(\tau_k) < 0,005$  после осмотра соответствующего  $\tau_1$  дает отсутствие ремонтов, а интервалы времени между осмотрами  $\tau_2 - \tau_3$  и  $\tau_3 - \tau_4$  составили соответственно 219 и 233 печевыдач.

Если сравнивать соотношения сумм  $p_r + p_r + p_r$  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.

Просчитав ряд возможных вариантов проведения восстановительных работ, с различными параметрами определяем наиболее подходящие в зависимости от сложившихся внешних условий. Одним из факторов данных условий, влияющих на выбор определенной стратегии

Таблица 1

## Параметры процессов роста трещин и их восстановления

Номер осмотра, $k$	Период осмотра, $\tau_k$	ИФР времени достижения трещиной длины 1,8м, $F_f(\tau_k)$	Доля трещин требующих восстановления, $p_r^{(k)}$	$\sum p_r^{(k)}$	$p_r(\tau_k)$
При выполнении регламентов по периодичности осмотров и проведения ремонтов					
1	2000	0,005	0,213	1,426	0,074
2	2250	0,013	0,703		0,46
3	2500	0,010	0,51		0,307
4	2750	-	0,363		0,17
При нормировании $F_f(\tau_k) < 0,005$					
1	2201	0,005	0,904	1,381	0,797
2	2420	0,005	0,307		0,175
3	2653	0,005	0,17		0,137

восстановительных работ, есть технико-экономические показатели различных технологий ремонта. Удельный технико-экономический показатель зависит от степени поврежденности огнеупорной кладки, известной на данный момент, либо спрогнозированной при помощи математической модели; соответственно, затрат на выполнение ремонта; возможной потери производства; длительности дальнейшего срока службы.

Таким образом, учитывая приведенные факторы обеспечивается своевременное устранение дефектов на основе прогнозирования их развития, предотвращение появления критических дефектов, снижение затрат на дальнейшие ремонты, обеспечение герметичности огнеупорной кладки и продление ее срока службы.

1. Богданов Дж., Козин Ф. Вероятностные модели накопления повреждений. – М.: Мир, 1989. – 344 с.
2. Третьяков П.В. Моделирование процесса разрушения кладки простенков коксовых батарей. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Хімія і хімічна технологія. – Донецьк, 2005. – Випуск 95. – С. 130-136.
3. Третьяков П.В., Парфенюк А.С., Костина Е.Д., Алексеева О.Е. Предотвращение и компенсация образования трещин в огнеупорной кладке – главный фактор продления ресурса тепловых агрегатов // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник научных трудов XIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 17-22 сентября 2007 г. В 5-ти томах. – Донецк, 2007. – Т. 4. – С. 64-68.

4. 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, 2006. – Т.5. – С. 298-302.