

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЭО ПО ВРЕМЕНИ ДО РАЗРУШЕНИЯ

Представлена методика оценки эквивалентной температуры эксплуатации поврежденных вследствие перегрева элементов ТЭО, которая позволила уточнить базы данных, используемые для автоматизированной идентификации технического состояния теплоэнергетического оборудования.

Автоматизированная идентификация технического состояния теплоэнергетического оборудования (ТЭО) обуславливает необходимость анализа повреждений элементов. Основной причиной отказов является превышение рабочей температуры и ускоренное протекание ползучести [1]. Поэтому представляется актуальной оценка эквивалентной температуры эксплуатации поврежденных вследствие перегрева элементов ТЭО, которая определена по следующей методике.

Зависимость температуры от напряжений при условии обеспечения постоянной скорости ползучести определяли по представленным в источниках [2-4] значениям пределов ползучести котельных сталей при скорости ползучести 10^{-4}ч^{-1} и 10^{-5}ч^{-1} . Эти данные аппроксимированы полиномом в виде зависимости температуры T , при которой возникает ползучесть металла, от напряжений σ :

$$T(\sigma) = a + b\sigma + c\sigma^2.$$

Коэффициенты полинома представлены в таблицах 1, 2.

Согласно [2-4] изменение скорости установившейся ползучести во времени при температурах эксплуатации котельных сталей близко к линейной зависимости. Учитывая вышеизложенное, эквивалентная температура эксплуатации $T(\sigma, t)$, при которой возникло повреждение элемента ТЭО вследствие ползучести за пе-

риод времени t , определяется следующим образом:

$$T(\sigma, t) = -\frac{T_1(\sigma) - T_2(\sigma)}{t_2 - t_1} \cdot t + T_1(\sigma) + t_1 \cdot \frac{T_1(\sigma) - T_2(\sigma)}{t_2 - t_1}, \quad (1)$$

где $T_1(\sigma)$ – зависимость температуры от напряжений при обеспечении постоянной скорости ползучести 10^{-4}ч^{-1} для соответствующей марки стали;

$T_2(\sigma)$ – зависимость температуры от напряжений при обеспечении постоянной скорости ползучести 10^{-5}ч^{-1} для соответствующей марки стали;

t_1 и t_2 – время до разрушения (час.) при скорости ползучести 10^{-4}ч^{-1} и 10^{-5}ч^{-1} соответственно.

Упростив уравнение (1), получили зависимость вида:

$$T(\sigma, t) = (a_1 + b_1\sigma + c_1\sigma^2) \cdot t + a_2 + b_2\sigma + c_2\sigma^2, \quad (2)$$

где $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ – постоянные, зависящие от марки стали (таблица 3);

$\sigma = p \cdot (D-s) / 2s$ – напряжения в металле трубы.

Подставляя в выражение (2) данные анализа отказов элементов ТЭО (таблица 4), получены поверхности откликов – зависимости эквивалентной температуры от действующих напряжений и времени эксплуатации поврежденных элементов (рисунок 1).

Например, для случая разрушения трубы экрана котла, изготовленной из стали 20К, с наружным диаметром трубы 60 мм и толщиной стенки 6 мм, работающей при давлении 15,5 МПа (таблица 4, строка 1), разрушение произошло через 9791 час эксплуатации в результате ускоренной ползучести вследствие длительного перегрева. На прямом участке трубы по образующей с огневой стороны обнаружены 6 свищей эллипсной формы с отдулинами. Максимальная длина раскрытия по свищам – 42 мм, ширина – 4,0 мм. В зоне раскрытия свищей имеется сетка продольных трещин (рисунок 2а). Образование трещин на участках с отдулинами начиналось с наружной поверхности металла трубы. Трещины заполнены окислами. Парал-

Таблица 1. Коэффициенты полинома для котельных сталей при скорости ползучести 10^{-4}ч^{-1}

Сталь	Коэффициенты полинома			Стандартное отклонение, S, %	Коэффициент корреляции, r
	a	b	c		
20К	575,9	-1,3396	0	0	1
12Х1МФ	640,0	-0,487	1,57Е-3	6,456	0,999
15Х1М1Ф	723,3	-1,560	4,4Е-4	3,409	0,999

Таблица 2. Коэффициенты полинома для котельных сталей при скорости ползучести 10^{-5}ч^{-1}

Сталь	Коэффициенты полинома			Стандартное отклонение, S, %	Коэффициент корреляции, r
	a	b	c		
20К	515,5	-1,0496	-3,599Е-4	5,41	0,996
12Х1МФ	611,7	-0,453	1,537Е-3	7,01	0,991
15Х1М1Ф	662,18	-1,540	7,98Е-4	7,52	0,995

Таблица 3. Значения постоянных величин

Сталь	a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2
20К	-6,489E-4	3,222E-6	-3,99E-9	582,38	-1,372	3,99E-5
12Х1МФ	-2,2E-4	1,79E-6	-1,267E-8	637,4	-0,7019	0,001043
15Х1М1Ф	-0,001234	+2,222E-7	3,977E-9	735,64	-1,5622	4,0022E-4

Таблица 4. Эквивалентная температура эксплуатации труб

№ строки	Марка стали	Наружный диаметр трубы D, мм	Толщина стенки трубы s, мм	Давление p, МПа	Время до разрушения t, час.	Проектная температура эксплуатации, °С	Эквивалентная температура T(y, t), °С
1	Ст 20К	60	6	15,5	9791	407	482,6
2	Ст 20К	60	6	15,5	13260	407	481
3	Ст 20К	60	6	15,5	100000	407	442,5
4	Ст 20К	60	6	15,5	180000	407	407
5	12Х1МФ	38	6	15,5	159041	542	579,9
6	12Х1МФ	38	6	15,5	160194	542	579,7
7	12Х1МФ	38	6	15,5	167000	542	578,6
8	12Х1МФ	38	6	14,8	180937	580	577,5
9	12Х1МФ	38	6	14,8	204180	580	573,5
10	12Х1МФ	38	6	14,8	149774	580	582,8
11	12Х1МФ	32	4	14,5	120486	570	579,6
12	12Х1МФ	32	4	14,5	146649	570	575,4
13	12Х1МФ	32	4	14,5	149744	570	574,9
14	12Х1МФ	32	4	14,5	100000	570	582,9
15	12Х1МФ	32	4	14,5	180000	570	569,9
16	15Х1М1Ф	377	50	14	100000	560	603,4
17	15Х1М1Ф	377	50	14	180000	560	559,4

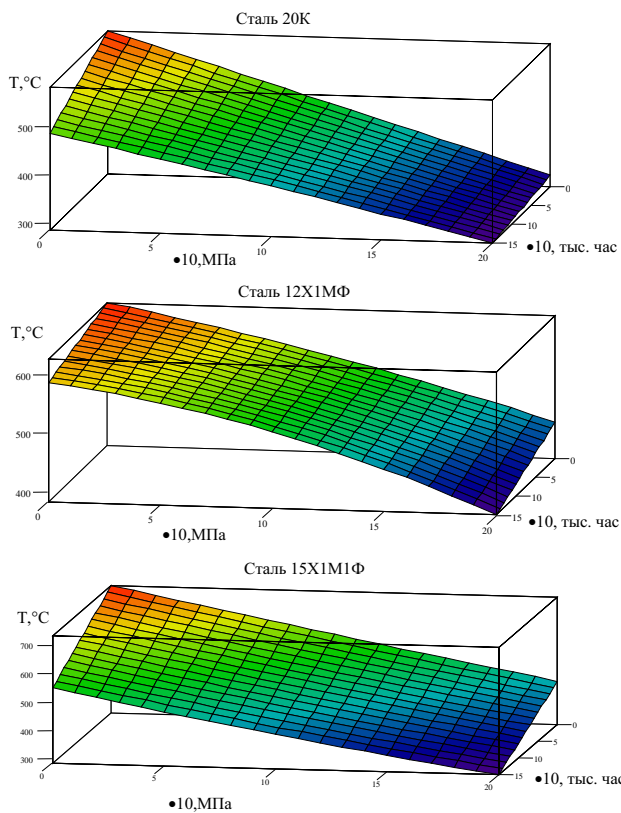


Рисунок 1. Зависимость эквивалентной температуры от напряжений и времени эксплуатации труб

лельно с основными трещинами в зоне свищей наблюдается растрескивание, слияние мелких трещин, что характерно для кратковременного перегрева (рисунок 2б).

Определенная согласно (2) эквивалентная температура эксплуатации для данной трубы составляет 482,6° С, а перегрев от проектной температуры эксплуатации указанных труб, равной 407° С, составил 75,6° С.

Для следующего случая (таблица 4, строка 2) разрушения трубы (рисунок 3), условия эксплуатации которой аналогичны первой, но время до разрушения составило 13260 часов, расчетная эквивалентная температура равна 481° С, а перегрев составил 74° С. С огневой стороны данной трубы имеется продольное раскрытие длиной 265 мм, ширина раскрытия – 64,4 мм (рисунок 3а). По краям раскрытия с наружной поверхности наблюдается растрескивание металла параллельно основному раскрытию. Растрескивание начинается с наружной поверхности. Трещины заполнены окислами. Вблизи к наружной поверхности наблюдается межзеренное растрескивание (рисунки 3б).

Наработка до разрушения труб из стали 20К 100 тыс. часов – расчетное время эксплуатации котла и 180 тыс. часов – время, взятое с учетом удвоенного запаса прочности, принятое в энергетике. Этим периодам эксплуатации соответствуют эквивалентные температуры – равные

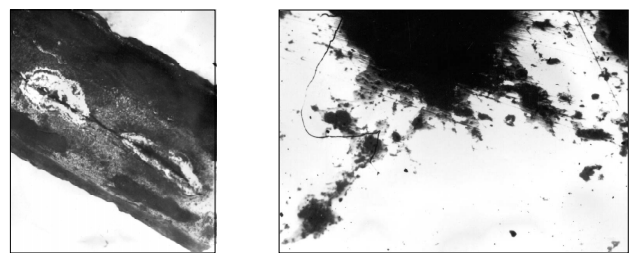


Рисунок 2. Разрушение трубы $\varnothing 60 \times 6$ мм, сталь 20К, наработка 9791 ч.

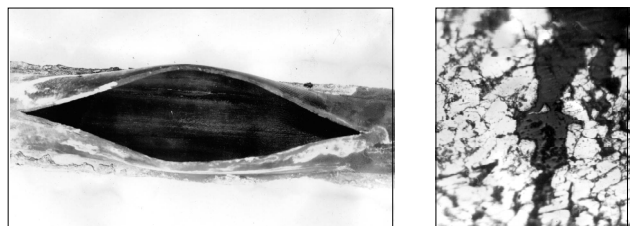


Рисунок 3. Разрушение трубы $\varnothing 60 \times 6$ мм, сталь 20К, наработка 13260 ч.

442,5° С и 407° С, при этом последнее значение совпадает с проектной температурой эксплуатации (строки 3 и 4, таблица 4).

Аналогичные расчеты проведены для разрушения труб из сталей 12Х1МФ и 15Х1М1Ф, которые также показали совпадение расчетных значений эквивалентной температуры с проектной температурой эксплуатации при наработке до разрушения 180 000 часов (таблица 4, строки 15 и 17).

Таким образом, разработанная методика позволяет определить эквивалентную температуру эксплуатации поврежденных котельных труб по наработке до разрушения. В соответствии с полученными значениями эквивалентной температуры эксплуатации по поврежденным элементам котельного оборудования уточнены базы данных, используемые для автоматизированной идентификации технического состояния теплоэнергетического оборудования.

Список использованной литературы:

1. Кушнаренко В.М., Кандыба Н.Е., Степанов Е.П., Владов Ю.Р., Чирков Ю.А. Анализ повреждаемости парогенерирующего оборудования ТЭС // Вестник ОГУ, 2003, №6, с. 117-182.
2. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. – М.: «Энергосервис», 2001. – 440с.
3. Марочник сталей и сплавов. Под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2001. – 672 с.
4. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды. РД 10-249-98. – М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. – 344с.