

МОДЕЛЮВАННЯ РОСТУ ПОВЕРХНЕВОЇ ТРІЩИНИ В КОЛЕКТОРІ ПАРОПЕРЕГРІВНИКА ТЕС

О.П. Ясній, Ю.І. Пиндус, В.П. Ясній

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Abstract. In the present study, the dependencies of residual lifetime of superheater collector upon temperature fluctuations range under quasi-static mode of operation were obtained. The residual durability was evaluated taking into account the effect of thermomechanical stresses. The stress intensity factors at the crack tip in the ligament between the holes of superheater collector were estimated using the finite element method. Paris equation was employed to assess the crack growth with the parameters obtained at temperature 500 ° C. It was found that the fluctuations of steam temperature at quasi-static mode of operation lead to the significant crack growth. The effect of temperature range on the crack propagation up to the critical crack size was estimated.

Безвідмовна робота електростанцій визначається надійністю основних елементів пароводяної системи енергоблоків [1], до яких належать і колектори пароперегрівачів котлів. Проблема забезпечення надійності обладнання ТЕС посилюється їх тривалою експлуатацією, а також виявленими пошкодженнями. Основними чинниками, які призводять до виникнення тріщин є неоднорідний розподіл температурного поля по товщині стінки та високий внутрішній тиск пари. Довговічність колекторів пароперегрівачів залежить від напружень, які виникають в найбільш навантажених ділянках. Як правило, пошкодження виникають на внутрішній поверхні у містках між отворами [2, 3].

Метою роботи є оцінка часу росту втомної тріщини від поточного розміру до максимально допустимого, спричиненого коливаннями температури за квазістатичного режиму експлуатації колектора пароперегрівача ТП-100.

Інформацію про колектор, з якого вирізали зразки для випробувань і режими його експлуатації, подано в табл. 1.

Таблиця 1

Інформація про колектор, із якого вирізано темплет

№ з/п	Параметри	Значення
1.	Номер блоку	2
2.	Дата введення в експлуатацію	1976 р.
3.	Тип колектора (холодний, гарячий)	гарячий
4.	Зовнішній діаметр колектора, мм	325
5.	Марка сталі	12Х1МФ
6.	Кількість пусків за час експлуатації	1257
7.	Внутрішній тиск під час експлуатації	14 МПа
8.	Температура експлуатації (зовнішня і внутрішня стінка)	545 °С – внутрішня 565 °С – зовнішня
9.	Місце вирізки темплету (відстань від торця колектора)	3,45 м
10.	Термін експлуатації, год.	187000

Температурні коливання. Для оцінювання залишкової довговічності скористалися експлуатаційними даними запису температури пари, які надані Бурштинською ТЕС. Температуру пари вимірювали під час експлуатації колектора хромель-алюмелевою термопарою і записували упродовж 54,5 год. з 4 год. 10 хв. 3.06.2013 р. на аналоговий потенціометр (рис. 1).

На рис. 2 представлено оцифровану температурну залежність пари під час режиму експлуатації, який трактують як типовий для колектора пароперегрівника при сталому навантаженні без холодних, напівхолодних і гарячих пусків блоку.

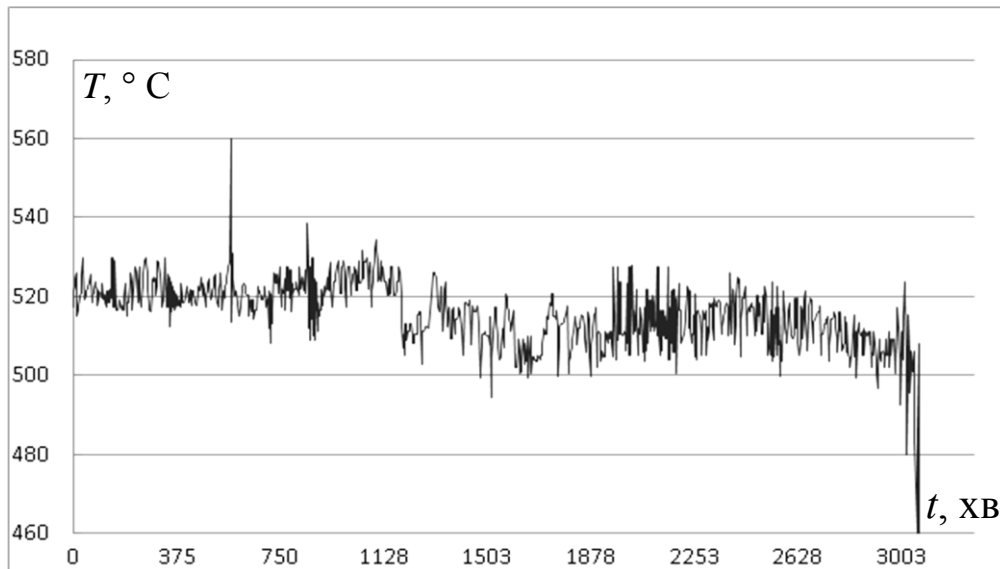


Рис. 2. Оцифрована температурна залежність пари в колекторі пароперегрівника під час сталого режиму експлуатації

Для спрощення аналізу при оцінці довговічності розмах коливань температури за квазісталого режиму експлуатації колектора класифікували аналогічно до праці [2]. У таблиці 2 наведено розмах температури пари і відповідні напруження для кожного класу.

Таблиця 2

Діапазони флуктуацій температури пари

Клас	Розмах коливань температури, $\Delta T, ^\circ\text{C}$	К-сть коливань температури, за добу	Максимальне напруження $\sigma_{yy}, \text{МПа}$	Розмах напруження $\sigma_{yy}, \text{МПа}$
0	$\Delta T < 10$	151	до 58,4	19,0
1	$10 < \Delta T < 30$	87	до 96,3	56,9
2	$\Delta T > 30$	1	до 127	87,5

На оцифрованій залежності температури пари в колекторі пароперегрівника знаходили локальні мінімуми та максимуми, за якими визначали кількість циклів певного класу.

Число коливань температури пари підраховували за період 50,25 год. і потім перерахували для доби експлуатації для кожного класу навантаження таблиці 2.

Розмах нормальних напружень σ_{yy} вздовж осі OY колекторної труби (рис. 4), спричинених флуктуацією температури пари обчислювали МСЕ, використавши програмне забезпечення ANSYS [3].

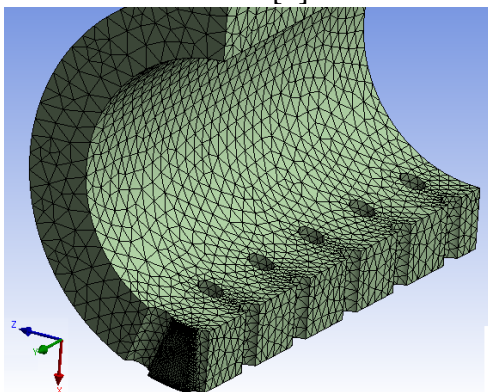


Рис. 3. Повномасштабна СЕ модель колектора пароперегрівача

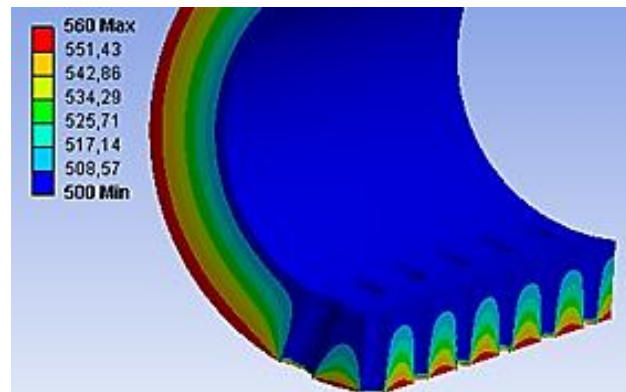


Рис. 4. Розподіл температурного поля колектора при температурі внутрішньої поверхні 500°C , зовнішньої 560°C

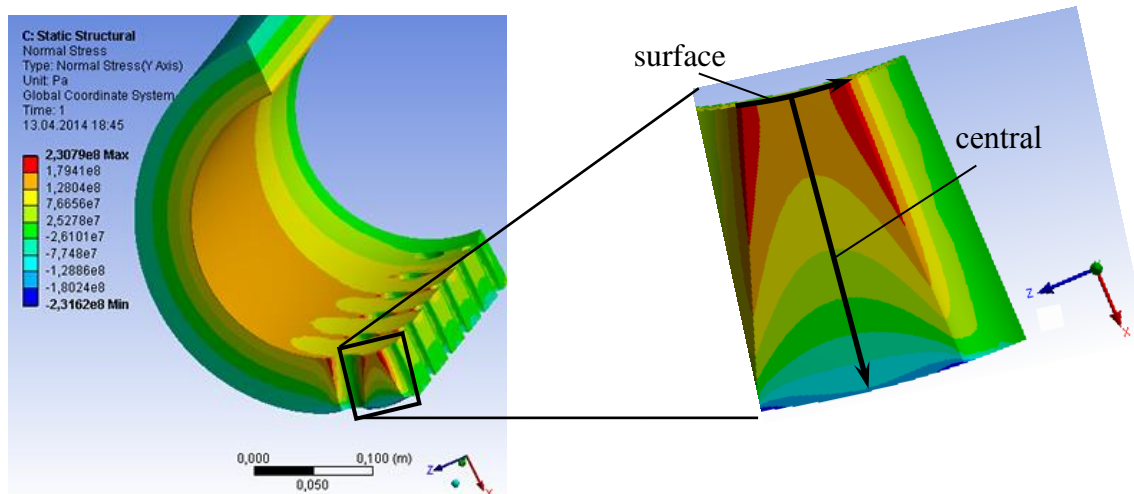


Рис. 5. Розподіл нормальних напружень σ_{yy} у колекторі пароперегрівача за внутрішнього тиску 14 МПа та температури внутрішньої поверхні 500 °С, зовнішньої 560 °С

Отримано залежність нормального напруження посередині проміжку між отворами на внутрішній поверхні (посередині відрізка "surface") від різниці температур ΔT :

$$\sigma_{yy}(\Delta T) = \sigma_{yy}(\Delta T = 0)(1 + 0,048\Delta T). \quad (1)$$

В табл. 2 представлено напруження σ_{yy} , обчислені за формулою (1) для внутрішньої поверхні колектора посередині містка між отворами.

Визначення залишкової довговічності колектора пароперегрівника. У таблиці 3 подано вихідні дані для розрахунку залишкової довговічності колектора пароперегрівника з дефектом глибиною 25 мм вздовж центрального отвору.

Вважатимемо, що підростання тріщини відбувається за законом Періса [4]

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n, \quad (3)$$

де C , n – експериментально визначені параметри; N – кількість циклів навантажування; a – глибина тріщин; $\Delta K = K_{\max} - K_{\min}$ – розмах коефіцієнту інтенсивності напружень (КІН), K_{\max} , K_{\min} – максимальний та мінімальний КІН циклу навантаження, відповідно.

КІН визначали за формулою [3]:

$$K_I = \sigma_{yy}(\Delta T) \sqrt{\pi a} \cdot Y\left(\frac{l}{w}, \Delta T\right),$$

де $Y\left(\frac{l}{w}; \Delta T\right) = (0,54 + 0,32e^{(-\Delta T/15,62)}) \cdot \left(\frac{l}{w}\right)^{-0,295}$ – поправкова функція, визначена у праці [3].

Параметри C та n для сталі 12Х1МФ за 500° С взяли з праці [5], згідно з якою $C = 1,96 \cdot 10^{-10} (\text{м/цикл}) (\text{МПа}\sqrt{\text{м}})^{1-n}$, $n = 2$.

Таблиця 3

Основні параметри експлуатаційного навантаження колектора пароперегрівника за квазістаціонарного режиму роботи

Параметри експлуатації	Квазістатична флуктуація температури
Форма циклу	пилкоподібна
Розмах напруження	пружний
Частота	$5 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-3}$
Коефіцієнт асиметрії циклу, R	0,3 – 0,6
Кількість випадків за рік	Клас 1: 31755
	Клас 2: 365

Кількість коливань температури дорівнює 87 раз на добу для 1-го класу і 1 раз на добу для 2-го класу і відбуваються вони відповідно через кожних 0,28 і 24 год.

Кількість циклів для підростання тріщини з поточної глибини 25 мм до критичного розміру дефекту 35 мм наведено на рис. 4. Із підвищенням різниці температур між зовнішньою і внутрішньою стінками колектора від 10 °С до 50 °С кількість циклів навантаження необхідна для підростання тріщини на глибину до 35 мм зменшується в 24,72 рази від $2,2 \cdot 10^6$ до $8,9 \cdot 10^4$, або 251,17 тис. год. до 10,16 тис. год. Обчислено, що середнє значення розмаху коливання температури для класу 1 складає 15 °С, для класу 2 – 46,2 °С. Для підростання тріщини від поточної глибини 25 мм до критичного розміру дефекту 35 мм за коливань температури класу 1 (класу 2) необхідно відповідно 112 тис. год. і 10,2 тис. год. експлуатації.

Передбачалося, що механізм росту тріщини визначається тільки втому, яка може бути розділена на клас 1 і клас 2 коливання температури.

Розширення ресурсу колектора може бути досягнуто за рахунок зменшення розмаху коливань температури та їх частоти.

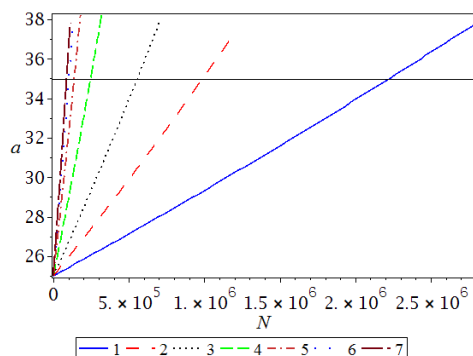


Рис. 4. Залежність глибини тріщини уздовж трубного отвору від кількості циклів навантаження: $\Delta T = 10$ °С – (1); 15 °С – (2); 20 °С – (3); 30 °С – (4); 40 °С – (5); 46,2 °С – (6); 50 °С – (7)

Висновки. Залишкову довговічність колектора пароперегрівача досліджено на основі аналізу напружень, обчислених за методом скінчених елементів для визначення максимально допустимого розміру дефекту і часу його підростання до критичної глибини вздовж центрального отвору.

Цикли напружень за рахунок теплових флуктуацій були згруповані у два класи. Досліджено, що коливання температури пари при квазісталому режимі експлуатації значно сприяють зростанню тріщин. Ці цикли напружень були ідентифіковані і визначені як найвпливовіший чинник зростання тріщини. Отримано залежності залишкового ресурсу колектора від розмаху коливань температури за квазісталого режиму експлуатації.

Література

1. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посібник [Текст] / за заг. ред. Панасюка В.В. – Том 7: Надійність та довговічність елементів конструкцій теплоенергетичного устаткування / І.М. Дмитрах, А.Б. Вайнман, М.Г. Стащук, Л. Тот; за ред. І.М. Дмитраха. – Київ: ВД "Академперіодика", 2005. – 378 с.
2. Kwon O. The effect of the steam temperature fluctuations during steady state operation on the remnant life of the superheater header / O. Kwon, M. Myers, A.D. Karstensen, D. Knowles // Int. J. of Pressure Vessels and Piping. – 2006. – **83**, Issue 5. – P. 349–358.
3. Ясній О.П. Оцінка коефіцієнтів інтенсивності напружень в півеліптичних тріщинах колектора пароперегрівача ТЕС / О.П. Ясній, Ю.І. Пиндус, В.П. Ясній // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2014. – Вип. № 47. – С. 211–220.
4. Paris P. A critical analysis of crack propagation laws / P. Paris, F. Erdogan // Journal Basic Engineering. – 1963. – P. 528–534.
5. Ясній О.П. Вплив температури на циклічну тріщиностійкість сталі колектора пароперегрівача / О. Ясній, В. Бревус, В. Немченко // Вісник ТНТУ. — 2012. — Том 68. — № 4. — С.35-41.