

УДК 536.24

Г.Р. БАДРЕТДИНОВА, аспирант,  
А.В. ДМИТРИЕВ, д.т.н.

Казанский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51  
E-mail: nice.badretdinova@mail.ru

## Влияние осадка на тепловой поток оребренной трубы

*Аннотация.* В работе представлено исследование влияния коэффициента теплопроводности осадка  $\lambda_0$  и толщины ребра  $\delta_p$  на относительный тепловой поток  $Q$  и его изменение во времени  $\tau$ .

*Ключевые слова:* оребренная труба, осадок, тепловой поток

G.R. BADRETDINOVA, graduate student,  
A. V. DMITRIEV, Doctor of Technical Sciences

Kazan State Power University,  
420066, Kazan, 51 Krasnoselskaya Str.  
E-mail: nice.badretdinova@mail.ru

## The effect of sediment on the heat flow of a finned pipe

*Abstract.* The paper presents a study of the influence of the coefficient of thermal conductivity of the sediment  $\lambda_0$  and the thickness of the fin  $\delta_p$  on the relative heat flux  $Q$  and its change in time  $\tau$ .

*Key words:* finned pipe, precipitation, heat flow

Во время эксплуатации теплообменных аппаратов на их поверхности образуются различные виды отложений, снижающие тепловой поток [1]. Загрязнение поверхности теплообмена может возникнуть вследствие осаждения твердых частиц, содержащиеся в парогазовой смеси [2]. Анализ образования загрязнений твердыми частицами на поверхности труб теплообменного аппарата позволит прогнозировать снижение теплового потока во времени, а также определить место расположение форсуночных устройств, с помощью которых возможно удаление слоев осадка путем смывания их водой.

В работе рассмотрена оребренная труба теплообменника, показанная на рис. 1. Цель исследования – определить влияние коэффициента теплопроводности осадка  $\lambda_0$  и толщины ребра  $\delta_p$  на тепловой поток  $Q$  и его изменение во времени  $\tau$ .

Для исследуемого ребра ранее в работе [3] было получено дифференциальное уравнение для температур

$$\frac{\partial^2 \vartheta(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \vartheta(r, \tau)}{\partial r} = \frac{2\lambda_0}{\Lambda} \frac{\vartheta(r, \tau)}{\delta(r, \tau)} \quad (1)$$

и граничные условия для  $\vartheta(r, \tau)$

$$\vartheta(r, \tau)|_{r=R_0} = \vartheta_0, \quad \left. \frac{\partial \vartheta}{\partial r} \right|_{r=R_D} = 0 \quad (2)$$

где  $\vartheta(r, \tau)$  – избыточная температура при координате  $r$  в момент времени  $\tau$ , °С;  $\vartheta_0$  – температура осадка, °С;  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $\Lambda$  – термическая проводимость ребра, Вт/(м·К) ( $\Lambda = \lambda_p \delta_p$ ,  $\delta_p$  – толщина,  $\lambda_p$  – теплопроводность ребра);  $\delta(r, \tau)$  – толщина слоя осадка при координате  $r$  в момент времени  $\tau$ .



Рис. 1. Трехмерная модель трубы с наружным поперечным оребрением

Уравнение для толщины слоя осадка получено в следующем виде:

$$\frac{\partial \delta(r, \tau)}{\partial \tau} = k \lambda_0 \frac{\vartheta(r, \tau)}{\delta(r, \tau)} \quad (3)$$

и начальные условия для  $\delta(r, \tau)$  были взяты как

$$\delta(r, 0) = h_0 = \text{const} > 0, \quad R_0 \leq r \leq R_D \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент, выражающийся через концентрацию загрязнения в конденсате, долю загрязнений, оседающих на поверхность, плотность осадка и теплоту конденсации;  $R_D$  – диаметр ребра, м;  $R_0$  – диаметр трубы, м.

Вычисления проводились при параметрах, приведенные ниже в табл. 1. Параметры  $L=0,013$  м;  $\delta_p=1 \cdot 10^{-3}$  м;  $\lambda_0=0,3$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda_p=30$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) были приняты как базовые, где  $L$  – высота ребра, м.

Таблица 1. Расчётные значения

Параметры	Значения		
$L$	0,003	0,013	0,03
$\delta_p$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_0$	0,037	0,3	0,67
$\lambda_p$	12	30	50

В результате исследования были получены графики зависимости изменения относительного теплового потока во времени  $\tau$  при различных коэффициентах теплопроводности осадка  $\lambda_0$  и толщинах ребра  $\delta_p$  (рис. 2-3). Из рис. 2 видно, что через 30 дней относительный тепловой поток изменится в 3,44 раза, а через 72 дня в 4,77 раза. Из рис. 3 видно, что что через 1 день относительный тепловой поток изменится в 1,95 раза, а через 72 дня в 1,57 раза.

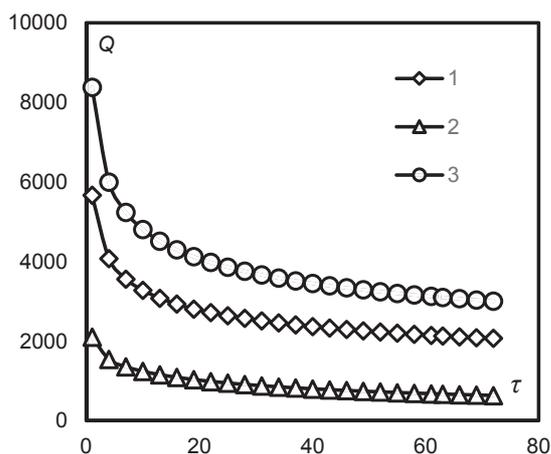


Рис. 2. График зависимости теплового потока  $Q$  от времени  $\tau$  при различных значениях коэффициента теплопроводности слоя осадка  $\lambda_0$

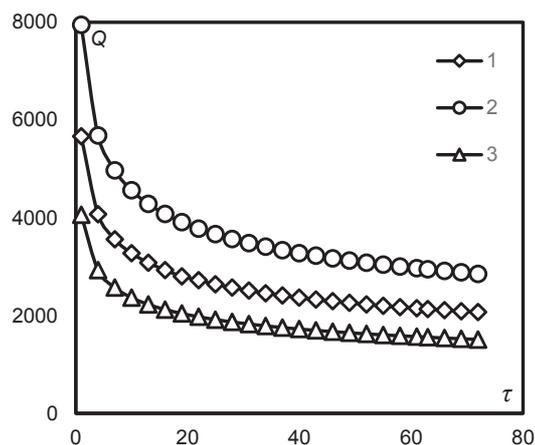


Рис. 3. График зависимости теплового потока  $Q$  от времени  $\tau$  при различных значениях толщины ребер  $\delta_p$

**Вывод.** Получена математическая зависимость, позволяющая определить изменения теплового потока в зависимости от времени работы теплообменного аппарата с оребренными трубами.

#### Литература

1. Галковский В.А., Чупова М. В. Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности // Вестник евразийской науки. – 2017. – Т. 9. – №. 2 (39). – С. 61.
2. Якимов Н.Д., Дмитриев А.В., Бадретдинова Г.Р., Борисова С.Д. Особенности решения задачи о конденсации пара, содержащего твёрдые частицы на ребре // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 121-129.
3. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Шарипов И.И., Галимова А.Р. Экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Т. 7. № 2 (26). С. 60-74.