

Формулы (10), (13) являются решением задачи (5) – (8) во втором приближении – число приближений определяется числом членов суммы соотношения (9).

Анализ результатов расчетов по формуле (10) в сравнении с точным аналитическим решением [2] позволяет сделать вывод о том, что наибольшее расхождение наблюдается при  $F_0 = F_{01}$  и составляет около 9 %. С уменьшением безразмерного времени  $F_0$  расхождение с точным решением уменьшается. Для повышения точности решения необходимо увеличивать число членов ряда (10), неизвестные коэффициенты которого определяются из основных (7), (8) и некоторых дополнительных граничных условий [1].

#### Список использованных источников

1. Кудинов В. А., Кудинов И. В. Аналитические методы теплопроводности. Самара : Самарск. гос. арх.- строит. ун-т, 2011. 258 с.
2. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М. : Высшая школа, 1967. 600 с.

УДК 536.4; 66.045.12

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ГАЗООХЛАЖДЕНИЯ ПГУ-ВЦГ**

## **ANALYSIS OF PROBLEMS ARISING IN THE DEVELOPMENT OF GAS COOLER IGCC**

Марчкова Ю. А., Масленников Г. Е., Микула В. А.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
yuliamarchkova@mail.ru

Marchkova Yu. A., Maslennikov G. E., Mikula V. A.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В работе были проанализированы основные проблемы, возникающие при разработке системы газоохлаждения. Наиболее подробно рассмотрена концепция конвективного газоохладителя синтез газа. Также рассмотрена проблема эрозии на трубках ГО со стороны синтез газа.

**Abstract:** The paper analyzed the main problems in the development of gas cooling system. Most concept convection gas cooler synthesis gas discussed in detail. The problem of erosion on the gas cooler pipes from the side of gas synthesis is also considered.

**Ключевые слова:** ПГУ-ВЦГ; газоохладитель; конвективный газоохладитель; коррозия; осаднения.

**Key words:** IGCC; gas cooler; convective gas cooler; corrosion; fouling.

Использование угля для выработки электроэнергии будет активно продолжаться в обозримой перспективе, поэтому требуется развитие высокоэффективных и экономичных технологий его использования. Перспективным путём производства энергии на базе угля представляется развитие парогазовых установок на основе внутрицикловой газификации твёрдого топлива (ПГУ-ВЦГ). [1]

Система газоохлаждения является обязательной для ПГУ-ВЦГ, то возникает проблема выбора способа охлаждения синтез газа. Существует два основных способа охлаждения газа:

1. Впрыск воды на выходе газогенератора (водяное охлаждение или квенчинг). Данный способ отличается высокой надежностью, но физическая теплота синтез газа теряется.

2. Рекуперация тепла с помощью теплообменника. При этом способе физическая теплота синтез газа полезно используется в газоохладителе (ГО): КПД ПГУ-ВЦГ увеличивается на 8–12 %, но конструкция менее надежна.

По нашему мнению, конвективный ГО является более перспективным, чем радиационный. Существует несколько его вариантов:

1) Газотрубная конструкция [2].

Недостатком такой конструкции является забивание проходных сечений синтез газа золошлаковыми частицами.

2) Водотрубная конструкция с прямыми трубами [3].

Данная конструкция применяется для давлений не более 10 бар.

3) Водотрубная конструкция ГО со спиральными трубами.

Теплообменные элементы представляют собой вертикальные спиральные трубы, по которым течет пар и вода (рис. 1). Теплообменник набирается из вертикальных спиралевидных элементов разного диаметра, расположенных один внутри другого. Синтез газ течет по кольцевым каналам, образованным в радиальном направлении между спиралями.

По нашему мнению наиболее перспективной является водотрубная конструкция ГО со спиральными трубами.

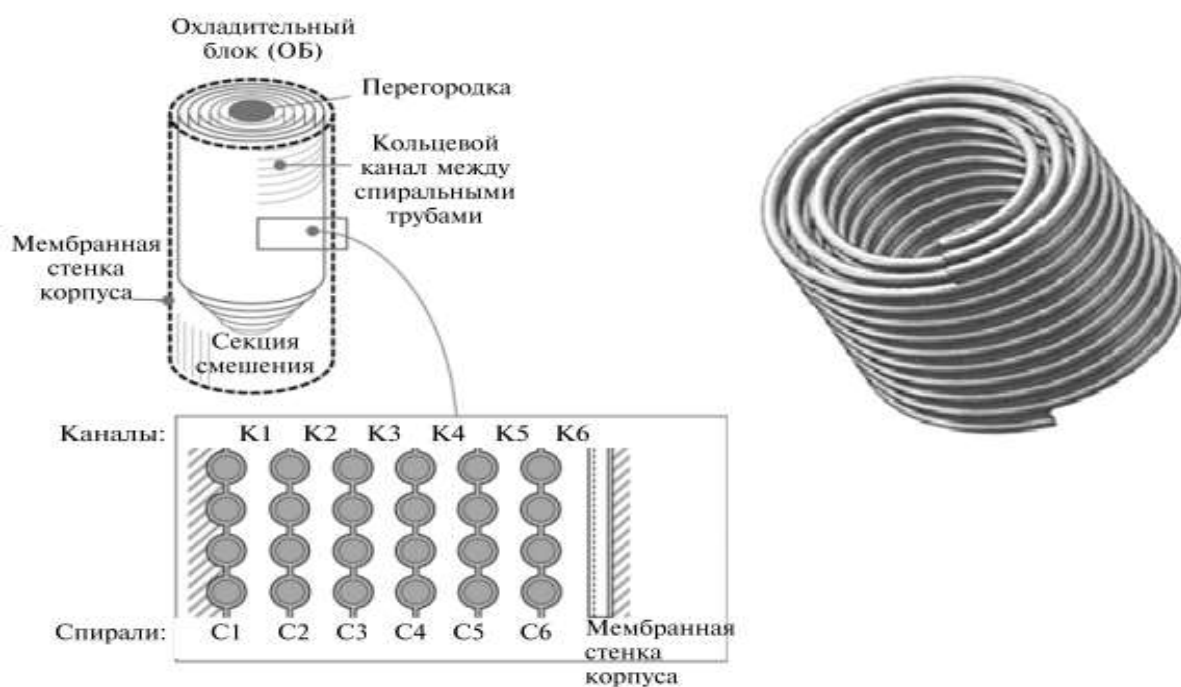


Рис. 1. Водотрубная конструкция ГО со спиральными трубами

Одной из проблем ГО является эрозия на трубках со стороны синтез газа.

Эрозия – это процесс, посредством которого материал удаляется из слоев поверхности, на которую воздействует поток абразивных частиц. Эрозия включает в себя два процесса:

- 1) удаление материала из-за режущего износа;
- 2) удаление материала из-за неоднократной пластической деформации.

Относительный вклад двух процессов трудно предсказать из-за большого числа параметров, которые включают в себя угол атаки; скорость удара; твердость, форма и размер частицы; и твердость и прочность материала трубок.

Мbabazi и др. [4] был проведен эксперимент по измерению абразивного износа пластины мягкой стали размером 100×100 мм. Скорость частицы составляла 24,77 м/с, размер частиц варьировался от 0,2 до 351,47 мкм со средним диаметром частиц 57,46 мкм. В результате, была получена зависимость скорости эрозии мягкой стали от угла падения частиц (рис. 2).

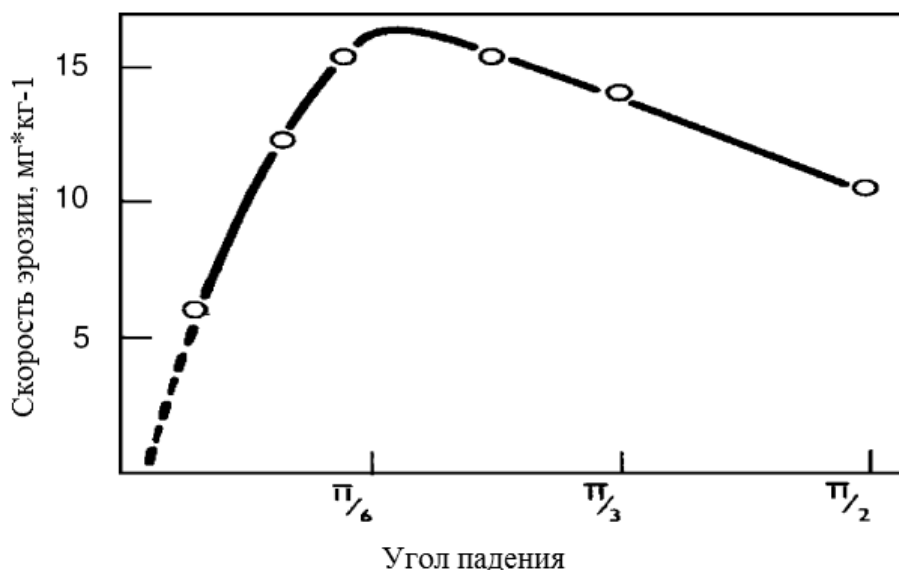


Рис. 2. Зависимость скорости эрозии мягкой стали от угла падения частиц

Из рис. 2 видно, что при низких углах падения скорость эрозии увеличивается с увеличением угла падения до достижения максимального значения под углом между  $25^{\circ}$  и  $30^{\circ}$ . После этого скорость эрозии быстро снижается с пикового значения.

Одним из наиболее применимых для моделирования абразивного износа является программный продукт CFX. На первом этапе планируется построить модель ГО со спиральными трубами, в ней будет варьироваться форма перегородки (рис. 3). При этом за оптимальный вариант будет принят тот, в котором количество линий тока с углом падения относительно поверхности труб  $(20-40)^\circ$  будет минимальным.

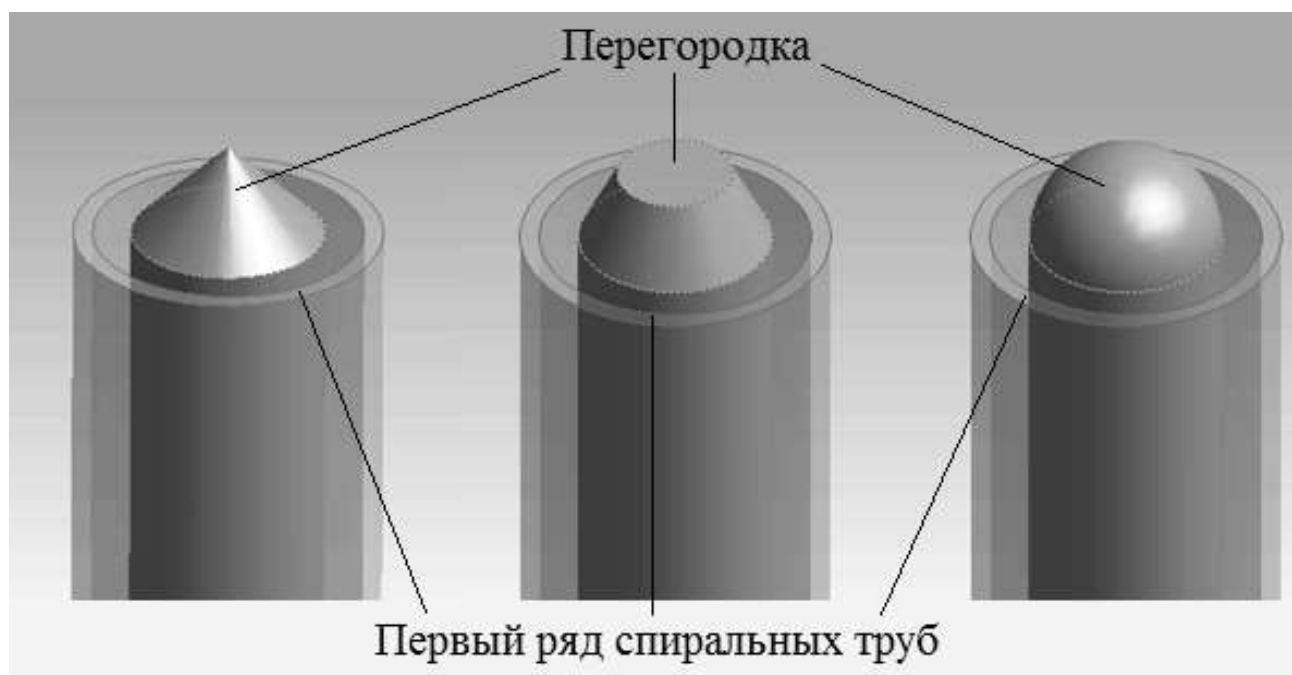


Рис. 3. Различные формы перегородки

*Исследование выполнено в Уральском федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00524).*

#### Список использованных источников

1. Гибридные ПГУ на твердом топливе / Т. Ф. Богатова, А. Ф. Рыжков, Н. В. Вальцев, П. В. Осипов, С. И. Гордеев // Энергетик. 2014. № 12. С. 12–16.
2. Convective heat transfer characteristics of high-pressure gas in heat exchanger with membrane helical coils and membrane serpentine tubes / Zhen Yang, Zhenxing Zhao, Yinhe Liu, Yongqiang Chang, Zidong Cao // Experimental Thermal and Fluid Science. 2011. № 35. P. 1427–1434.
3. Cooler Systems for Gasification Plants / SCHMIDTSCHЕ SCHACK [Электронный ресурс]. URL: <http://arvos-group.com/media/1164/energy-recovery.pdf> (дата обращения 25.11.2017)
4. A model to predict erosion on mild steel surfaces impacted by boiler fly ash particles / J. G. Mbabazi, T. J. Sheer, R. Shandu // Wear. 2004. Vol. 257. № 5–6. P. 612–624.