

2. Комплексная модернизация нагревательных печей / А.М. Вохмяков, М.Д. Казяев, Б.Н. Арсеев [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. 2009. № 12. С. 56–59.
3. Проходная печь с шагающим подом для нагрева слитков из меди и ее сплавов / Д.И. Спитченко, А.М. Вохмяков, М.Д. Казяев [и др.] // Цветные металлы. 2014. №10. С. 83–87.

УДК 519.6

Ю. А. Каграманов, В. Г. Тупоногов, П. В. Осипов, Т. С. Курбанов, А. А. Емельянова
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРЯЧЕЙ СЕРООЧИСТКИ СИНТЕЗ-ГАЗА В ПЛОТНОМ СЛОЕ

Аннотация

Сорбенты на основе оксида цинка используются для очистки синтез газ от сероводорода до 1–20 ppm, что необходимо для работы газовой турбины в парогазовых циклах с внутрицикловой газификацией твердых топлив [1, 2]. Для расчета системы сероочистки газов в программном пакете Ansys Fluent была разработана компьютерная модель, включающая химические реакции в двухфазных дисперсных потоках. Выполнено моделирование гидродинамики и химических реакций в плотном слое сорбента, получено распределение объемных долей фаз с течением времени, изменение поля скоростей фаз, распределение массовых долей продуктов. Определены средние в интервале температур 300–510 °С кинетические константы реакции поглощения сероводорода оксидом цинка. Представлено сравнение экспериментов, проведенных на аппарате термогравиметрического анализа (ТГА), с результатами компьютерного моделирования.

Ключевые слова: ПГУ в внутрицикловой газификацией, горячая сероочистка, многофазная нестационарная гидродинамика, сорбенты, оксид цинка.

Abstract

Sorbents on the basis of oxide of zinc are used for cleaning synthesis gas from hydrogen sulfide till 1–20 ppm that is necessary for operation of the gas turbine in steam-gas cycles with IGCC [1, 2]. The computer model including chemical reactions in two-phase disperse streams has been developed for calculation of system of desulphurization of gases in a software package of Ansys Fluent. Modeling of hydrodynamics and chemical reactions in a dense bed of a sorbent is carried out, distribution of volume fractions of phases eventually, change of the field of speeds of phases, distribution of mass fractions of products is received. Averages in the range of temperatures of 300–510 °C kinetic constants of reaction of absorption of hydrogen sulfide by zinc oxide are defined. Comparison of the experiments made on the device of the thermogravimetric analysis (TGA) with results of computer modeling is presented.

Keywords: IGCC, hot desulfurization, multiphase CFD, sorbents, ZnO.

В парогазовых установках с внутрицикловой газификацией твердого топлива остро стоит проблема очистки синтез газов от сероводорода [1–2]. Требуемый диапазон содержания сероводорода в газе 1–100 ppm, что необходимо для бесперебойной работы газовой турбины либо топливных элементов (в зависимости от технологической схемы установки). Экспериментальные данные были получены на термогравиметрическом анализаторе. Численная обработка экспериментальных данных проводилась при помощи пакета Ansys Fluent с использованием объемной кинетической модели и нестационарной многофазной гидродинамики на основе модели сплошных сред. По данным обзоров литературы подобные численные исследования процесса поглощения сероводорода сорбентом на основе оксида цинка марки

ZnO₂SC ранее не проводились. Результаты работы могут быть полезны для проектирования и конструирования систем горячей сероочистки синтез газов.

Одним из наиболее простых и доступных методов определения кинетических характеристик реакций взаимодействия сорбента с газом является метод термогравиметрического анализа, суть которого заключается в регистрации изменения массы твердого образца с течением времени при высокотемпературной реакции его с газом, либо с реакционной составляющей смеси газов.

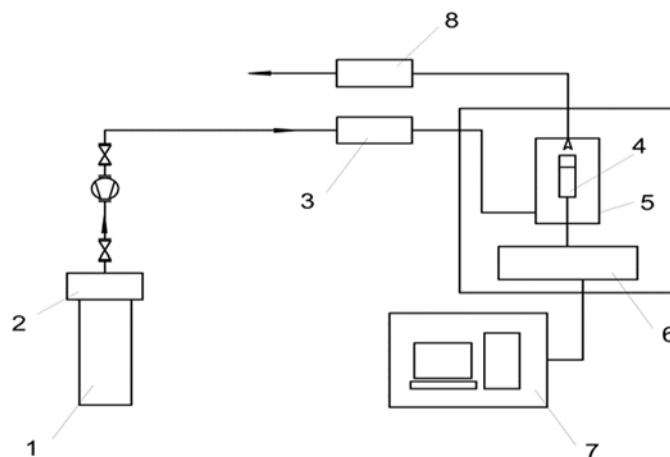


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда термогравиметрического анализа:
 1 – баллон со смесью аргона и сероводорода; 2 – редуктор; 3 – газоанализатор на входе в реактор; 4 – навеска с образцом; 5 – корпус реактора; 6 – весы; 7 – расчетный блок; 8 – газоанализатор на выходе из реактора

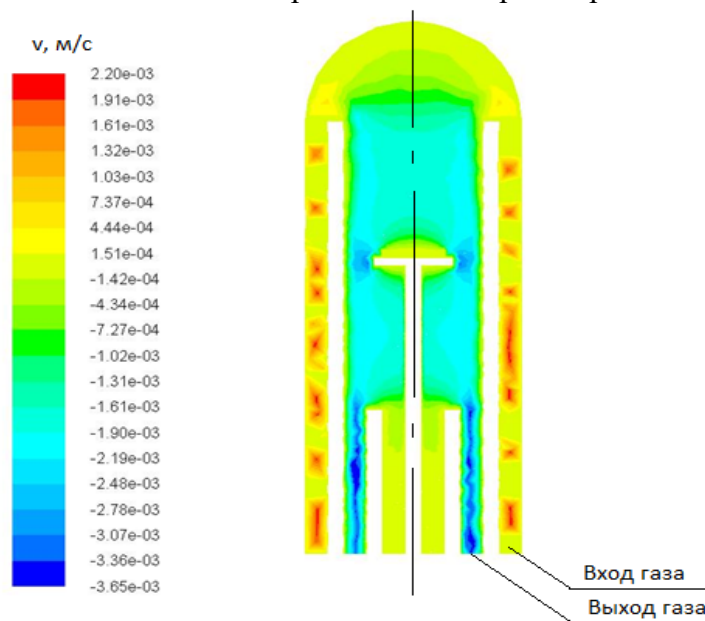


Рис. 2. Контуры скоростей газа вдоль вертикальной оси

На рис. 2 и рис. 3 представлены контуры и линии тока скоростей потока газовой фазы. В верхней части реактора, над и под навеской и в закрытой линии защитного газа, как и ожидалось, скорости были близки нулю. На входе и на выходе, а также в сужениях между навеской и стенкой поток достигал своих максимальных значений по скорости 2–3 мм/с.

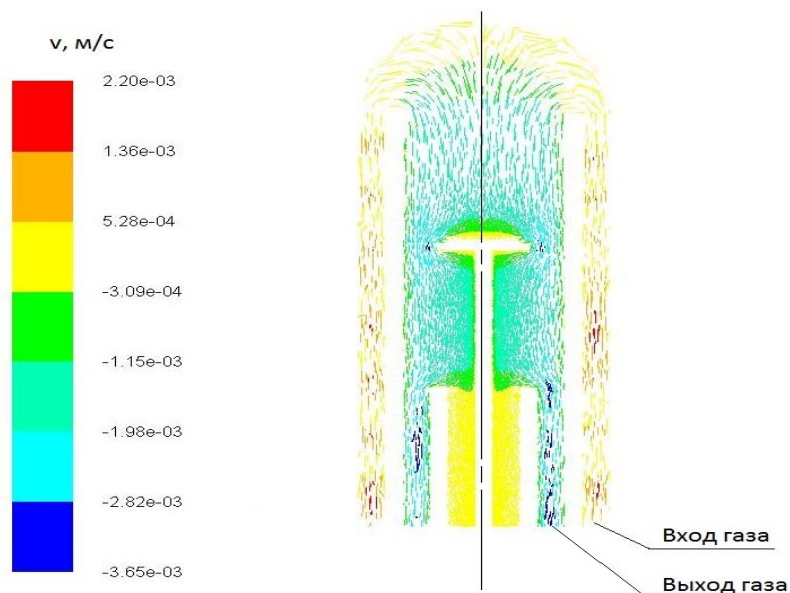


Рис. 3. Линии потока газа

Скорость твердой фазы была нулевой, поэтому объем не менял своего положения, и оставался в пределах тигля, что видно при рассмотрении распределения обратной порозности твердой фазы на рис. 4.

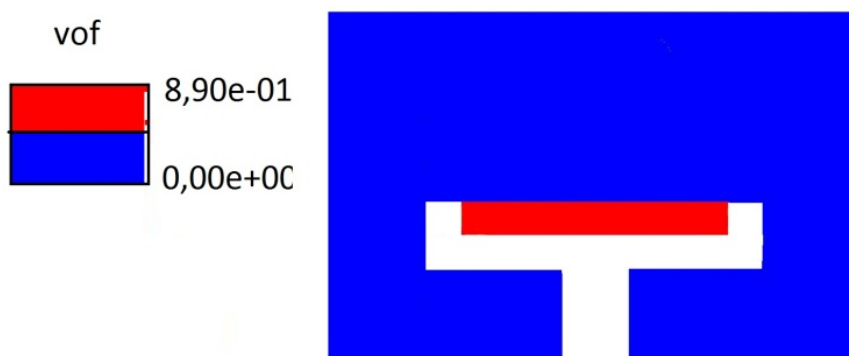


Рис. 4. Объемные доли твердой фазы

Опыты позволили получить кинетические константы, приведенные в таблице 1, на основе которых было произведено компьютерное моделирование процесса поглощения сероводорода оксидом цинка.

Таблица 1

Кинетические константы сорбента ZnO		
Средние константы в интервале температур (300–510 °С)		
E_a , кДж/моль	k_{co} , 1/с	Порядок реакции
35,7	0,00023	1

Проведенные исследования позволили определить энергию активации E_a и предэкспоненциальный множитель k_{co} . Расчетная модель может быть использована в дальнейшем для более сложных геометрий и гидродинамических режимов, таких как псевдооживленный слой и циркуляционный кипящий слой, используемый в системах горячей сероочистки.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Giuffrida A. Thermodynamic analysis of air-blown gasification for IGCC applications // Applied Energy. – 2011. № 88. 3949–3958.
2. Woolcock P.G. A review of cleaning technologies for biomass derived synth gas. Biomass and bioenergy 52 (2013) 54 – 84.
3. Zhiwei M. Desulfurization kinetics of ZnO sorbent loaded on semi-coke support for hot coal gas / M. Zhiwei, X. Zheng, L. Chang, R. He, W. Bao // Journal of Natural Gas Chemistry. – 2012. – № 21. – P. 556–562.

УДК 66.021.4

Д. А. Камнева, Н. Б. Лошкарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ ГАЗА И ТЕПЛООБМЕНА ВНУТРИ ШАРОВЫХ ЕМКОСТЕЙ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Аннотация

В данной работе представлено компьютерное моделирование процессов движения газа и теплообмена внутри шаровой ёмкости для хранения нефтепродуктов. Исследование проводилось с использованием САПР SolidWorks, а именно с помощью модуля Flow Simulation. Итоги моделирования представлены графически и представляют собой поля распределения температур и скоростей. Полученные в ходе исследования данные были проанализированы. На основе результатов моделирования движения газов в резервуаре определены оптимальные скорости газа на входе в шаровую ёмкость. Анализ распределения температур позволил выявить труднодоступные для нагрева места в резервуаре.

Ключевые слова: шаровые резервуары; компьютерное моделирование; температурные поля; скоростные поля; SolidWorks; Flow Simulation.

Abstract

In this report, we present a computer simulation of the processes of gas motion and heat exchange inside a spherical tank for storage of petroleum products. The study was done using SolidWorks, namely using the Flow Simulation module. The simulation results are presented graphically and contain the temperature and velocity distribution fields. The data obtained during the study were analyzed. Based on the results of modeling the movement of gases, the optimal gas velocities at the entrance to the tank capacity are determined. Analysis of the distribution of temperatures made it possible to identify places that are difficult to access for heating in the tank.

Keywords: spherical tank; computer modeling; temperature field; velocity field; SolidWorks; Flow Simulation.

Шаровые резервуары – это ёмкости, применяемые для хранения нефтепродуктов. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими видами хранилищ. Во-первых, шаровые резервуары имеют меньшую поверхность по сравнению с цилиндрическими, благодаря чему при их изготовлении тратится меньше металла на единицу веса продукта. Во-вторых, в несколько раз снижается количество используемых приборов контроля и датчиков, устанавливаемых в каждой ёмкости. В-третьих, шаровые резервуары позволяют значительно сократить площадь резервуарного парка при одинаковом объеме хранимого продукта и уменьшить разводку продуктопроводов между ёмкостями [1].

Объем рассматриваемого шарового резервуара 2000 м³, масса корпуса резервуара 300 т, внутренний диаметр корпуса составляет 16600 мм.