

УДК 544.431.53

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПРОЦЕССА СУХОЙ ТЕПЛОЙ СЕРООЧИСТКИ СИНТЕЗ-ГАЗА В РЕАКТОРЕ С ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ КИПЯЩИМ СЛОЕМ

**Я. О. Морозов¹, У. В. Жижина², Ю. А. Каграманов³,
С. А. Грицук⁴, В. Г. Тупоногов⁵**

^{1,2,3,4,5} Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

² uly-zhh@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе произведено моделирование гидродинамики процесса сухой теплой сероочистки синтез-газа в реакторе с циркуляционным кипящим слоем (ЦКС). С помощью модели выполнены расчеты влияния скорости, массы слоя и удельного расхода твердых частиц по высоте реактора на концентрацию твердой фазы. Проведена верификация расчетов на холодном стенде с циркуляционным слоем.

Ключевые слова: синтез-газ, сероочистка, ЦКС, ANSYS

MODELING OF HYDRODYNAMICS OF THE PROCESS OF DRY WARM DESULPHURIZATION OF SYNTHESIS GAS IN A REACTOR WITH A CIRCULATING FLUIDIZED BED

**I. O. Morozov¹, U. V. Zhizhina², Y. A. Kagramanov³,
S. A. Gritsuk⁴, V. G. Tuponogov⁵**

^{1,2,3,4,5} Ural Federal University named after the First
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

² uly-zhh@mail.ru

Abstract. In this paper, the hydrodynamics of the process of dry warm desulphurization of synthesis gas in a reactor with a CFB was simulated. The model was used to calculate the effect of the velocity, bed mass, and specific flow rate of solid particles over the reactor height on the solid phase con-

centration. The calculations were verified on a cold stand with a circulating fluidized bed.

Keywords: synthesis gas, desulfurization, CFB, ANSYS

Введение. Благодаря недавно появившимся системам сухой тепловой сероочистки синтез-газа (WGC), эффективность парогазового цикла (IGCC) может существенно увеличиться [1], при одновременном уменьшении капитальных и эксплуатационных затрат [2].

Схема сероочистки состоит двух реакторов, рис. 1.

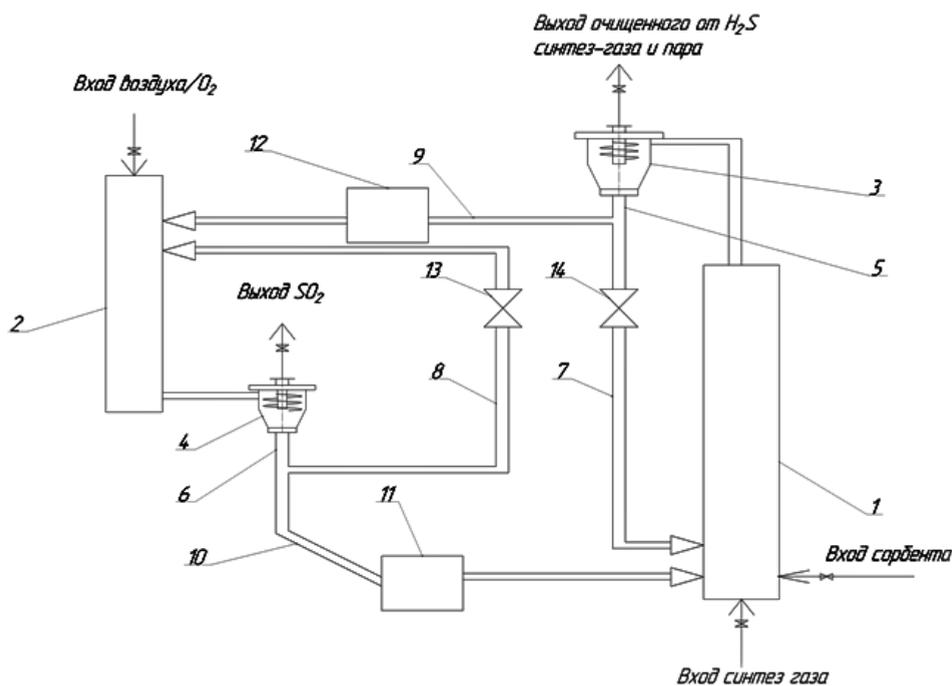


Рис. 1. Элемент схемы ПГУ

Синтез-газ и поток сорбента, содержащий оксид цинка, подаются в подъемную шахту адсорбера с циркуляционным кипящим слоем 1, в которой смешиваются и вступают в реакции. Далее двухфазная смесь поступает в циклон адсорбера 3, в котором происходит отделение сорбента, содержащего сульфид цинка, от очищенного сероводорода газа. В опускном стояке адсорбера 5 поток разделяется, часть сорбента поступает в перепуск адсорбера 7, а другая — в переточную трубу адсорбера 9, на которой установлен гидрозатвор адсорбера 12, препятствующий

щий перетеканию кислорода в объем адсорбера. Регенерация сорбента происходит в шахте регенератора 2. Преимуществом такой схемы является нисходящая компоновка регенератора, в которой поток сорбента падает и не требует лишних затрат энергии на подъем [3]. Отделение восстановленных частиц сорбента, содержащих оксид цинка, от газа, содержащего оксид серы, происходит в циклоне регенератора 4. Далее очищенный сорбент выпадает в опускной стояк регенератора 6 и разделяется на два потока. Часть сорбента поступает в перепуск регенератора 8, а другая — в переточную трубу регенератора 10 и направляется обратно в подъемную шахту адсорбера, проходя через гидрозатвор регенератора 11, препятствующий смешению газовых потоков синтез газа и кислорода.

Методика расчета. Расчет гидродинамики производится в первую очередь, его результаты дают представление о распределении концентраций частиц и об их времени пребывания в установке, на основе этих расчетов будет строиться расчет гетерогенных процессов. Для расчетов использовалась программа ANSYS Fluent.

Результаты. Концентрация твердой фазы показала монотонное убывание по высоте подъемной шахты, рис. 2. До отметки в один метр различия между режимами не наблюдается, т. к. масса слоя неизменна (рис. 2, а). После этой отметки начинает усиливаться вклад нисходящих потоков, твердая фаза осыпается в десять раз интенсивнее при скорости 3,75 м/с в сравнении с режимом со скоростью 6,3 м/с. Увеличение массы слоя приводит к поднятию уровня концентрации без изменения наклона кривой. Изменение массы слоя также не изменило монотонность убывания концентрации (рис. 2, б).

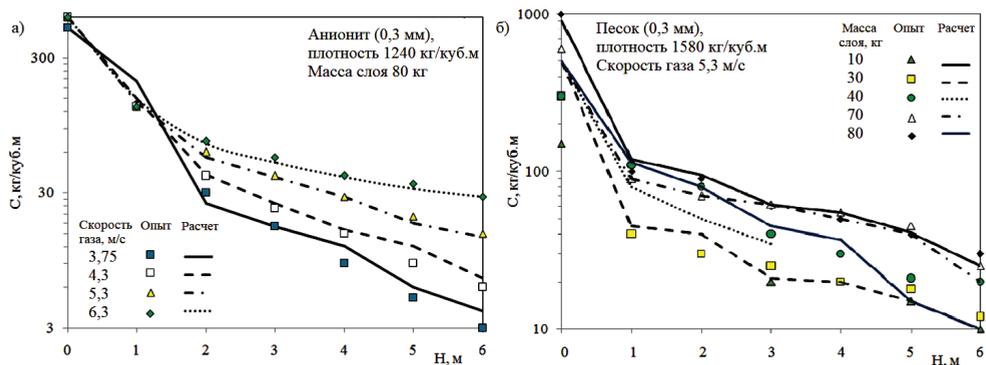


Рис. 2. Влияние скорости (а) и массы слоя (б) на распределение концентрации твердой фазы по высоте

Влияние материала аналогично массе слоя не вносит корректировок в форму кривой концентрации, меняя лишь ее уровень. Уровень кривой концентрации песка выше уровня кривой анионита, пропорционально разнице плотностей. Аналогичная ситуация наблюдается и с удельным массовым расходом твердой фазы (рис. 3).

Скорость газа максимальна на оси и минимальна (равна нулю) на стенке. Снижение скорости приводит к возникновению нисходящего потока сорбента вблизи стенки, она распределяется неравномерно и имеет экстремум. У стенки направление скорости отрицательно, но ввиду отсутствия сопротивления со стороны газа по модулю скорость твердой фазы максимальна. Вблизи стенки наблюдается скачек концентрации твердой фазы, кольцевое уплотнение, характерное для дисперсного потока (рис. 4).

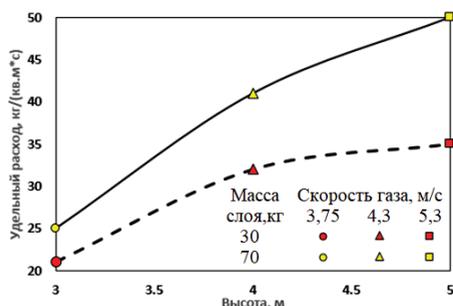


Рис. 3. Удельный расход твердых частиц по высоте реактора

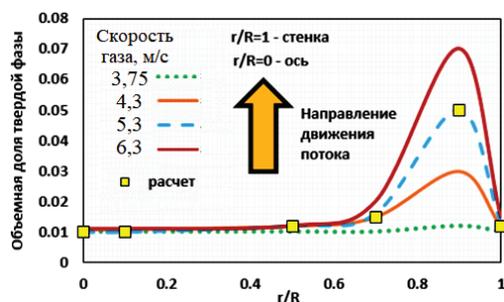


Рис. 4. Радиальное распределение объемной доли твердой фазы

Результаты показывают адекватность расчетной модели и совпадение с результатами экспериментов [4].

Заключение. Выбранная расчетная модель подтвердила свою адекватность при сравнении результатов расчетов по ряду параметров в широком диапазоне режимов работы установки в холодном режиме при атмосферном давлении. Были обнаружены сходимости при оценке концентраций твердой фазы вдоль высоты реактора при переменных скоростях, массах слоя и плотностях гранул.

Список источников

1. Abaimov N. A., Ryzhkov A. F. Development of advanced air-blown entrained-flow two-stage bituminous coal IGCC gasifier [Electronic resource] // EPJ Web of Conf. 2017. Vol. 159. P. 1–5. DOI: 10.1051/epjconf/201715900001 (date of access: 15.11.2020).

2. Monazam E. R., Shadle L. Fuel Gas Clean-up in a Transport Reactor: Model Development and Analysis [Electronic resource] // 18th International Conference on Fluidized Bed Combustion, May 22–25, 2005. Toronto, Ontario, Canada. DOI: 10.1115/FBC2005-78082 (date of access: 15.11.2020).

3. Ghadirian E., Abbasian J., Arastoopour H. CFD simulation of gas and particle flow and a carbon capture process using a circulating fluidized bed (CFB) reacting loop [Electronic resource] // Powder Technology. 2019. Vol. 344. P. 27–35. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.11.102 (date of access: 15.11.2020).

4. Hydrodynamics of interconnected reactors for polygeneration systems and chemical looping combustion and gasification [Electronic resource] / G. A. Ryabov [et al.] // JP Journal of Heat and Mass Transfer. 2016. Vol. 13, iss. 1. P. 1–22. DOI: 10.17654/HM013010001 (date of access: 15.11.2020).