

DOI: 10.33184/dokbsu-2021.2.1

Гидродинамическое моделирование потоков в реакторе в жидкофазном алкилировании

А. А. Хисамова^{1*}, О. С. Травкина^{1,2}, И. М. Губайдуллин^{1,2}

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет
Россия, Республика Башкортостан, 450064 г. Уфа, улица Космонавтов, 1.

²Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН
Россия, Республика Башкортостан, 450075 г. Уфа, Проспект Октября, 141.

*Email: ahisamova@mail.ru

Статья посвящена исследованию гидродинамики потоков в реакционной зоне, сопровождающаяся интенсивным выделением тепла, в известном термokatалитическом процессе как сернокислотное алкилирование. Известно, что данный процесс имеет ряд установок, различающихся способом отвода теплоты, и поддержание температуры в нужном диапазоне является основополагающим фактором для определения эффективности установки в целом. Поэтому важным этапом является анализ поведения потоков внутри реактора с целью повышения эффективности работы установок. В результате исследования потоков внутри реактора с помощью численного гидродинамического моделирования можно добиться хорошего теплообмена и перемешивания за счет снижения застойных зон в реакционной зоне.

Ключевые слова: сернокислотное алкилирование, контакторный реактор, гидродинамика потоков.

Реакция углеводородов C_3 - C_5 , катализируемая минеральной кислотой, получила широкое практическое значение для получения ценного компонента бензина высшего качества. Алкилирование имеет множество ключевых преимуществ, включая наивысшее среднее качество всех компонентов, доступных для бензинового пула, повышенное количество бензина на объем сырой нефти и высокую теплоту сгорания [1]. Общий процесс представляет собой смесь сложных реакций, и, следовательно, требуется строгий контроль рабочих условий и соотношений, чтобы гарантировать предсказуемые результаты.

Обеспечение бесперебойных режимных параметров осуществляется в той части установки, где непосредственно протекают химические реакции. Реакторный блок представляет горизонтальный аппарат, внутри которого имеется замкнутый холодильный цикл для отвода тепла реакции и перемешивающее устройство для интенсивного и

тщательного преобразования смеси углеводородов с кислотой в диспергированную эмульсию [2]. При опыте эксплуатации оптимальный диапазон температур варьируется от 7 до 10 °С. И такой хороший теплообмен необходимо поддерживать ввиду того, что происходит усиление побочных реакций или застывание кислоты при разнице значения от строго регламентированного [3, 4].

Оперируясь на технологические параметры и их влияние на процесс, для хорошего теплообмена с охлаждающими трубками необходимо учесть:

- скорость циркулирующего потока должна быть равномерной по всей длине охлаждающих трубок;
- зоны застоя и зоны с высокой скоростью потока должны быть минимальными;

Настоящей работой является изучение потоков в реакционной зоне сернокислотного алкилирования в программном комплексе SolidWorks. 3D разработанной модели содержит: корпус, циркуляционную трубу, трубки охлаждения, объединенный в трубный пучок охлаждения, крышку охлаждения. Внешний вид представлен на рисунке 1.



Рис. 1. 3D модель контакторного реактора.

Моделирование течения потока в аппарате осуществлялось встроенной программой Flow Simulation. Для решения задачи моделирования используется алгоритм построения расчетных сеток (расчетная область), в которых решение предусматривает систему дифференциальных уравнений движения, неразрывности, энергии, теплопроводности стенок. Каждая ячейка представляет собой конечный объем, в котором скорости изменения физических величин сбалансированы потоками этих величин через грани ячейки. Моделирование течения всегда предполагает проведение расчетов одних и тех же физических процессов с фиксированными начальными и граничными условиями на нескольких сетках: "грубой", "средней", "мелкой" [5]. Сечения подобраны исходя из наиболее проблемных мест в объеме реактора.

Первоначальная модель реактора имеет циркуляционную трубу меньшей длины. Это конструктивная особенность модели реактора до модернизации. Гидродинамические расчеты данной модели приняты как исходные (первоначальное состояние) параметры.

По результатам исследований была выявлена значительная застойная зона возле трубной решетки, представленная на рисунках 2–3, которая образуется за счет «сваливания» потока в конце циркуляционной трубы, также наблюдается зона с высокой скоростью течения вдоль трубного пучка соответствующий ламинарному режиму течения, о чем свидетельствуют низкие значения скоростей по удалению от центральной оси реактора. В связи с наличием застойных зон, зоны теплообменных поверхностей трубных пучков работают недостаточно эффективно, из-за чего действительная температура в реакторе выше, чем могла бы быть при эффективном теплообмене с охватом всех теплообменных поверхностей.

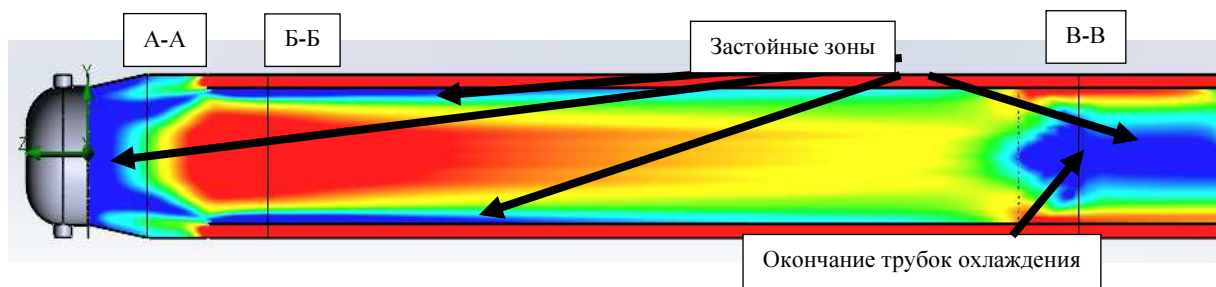


Рис. 2. Скорости потоков при первоначальном варианте.

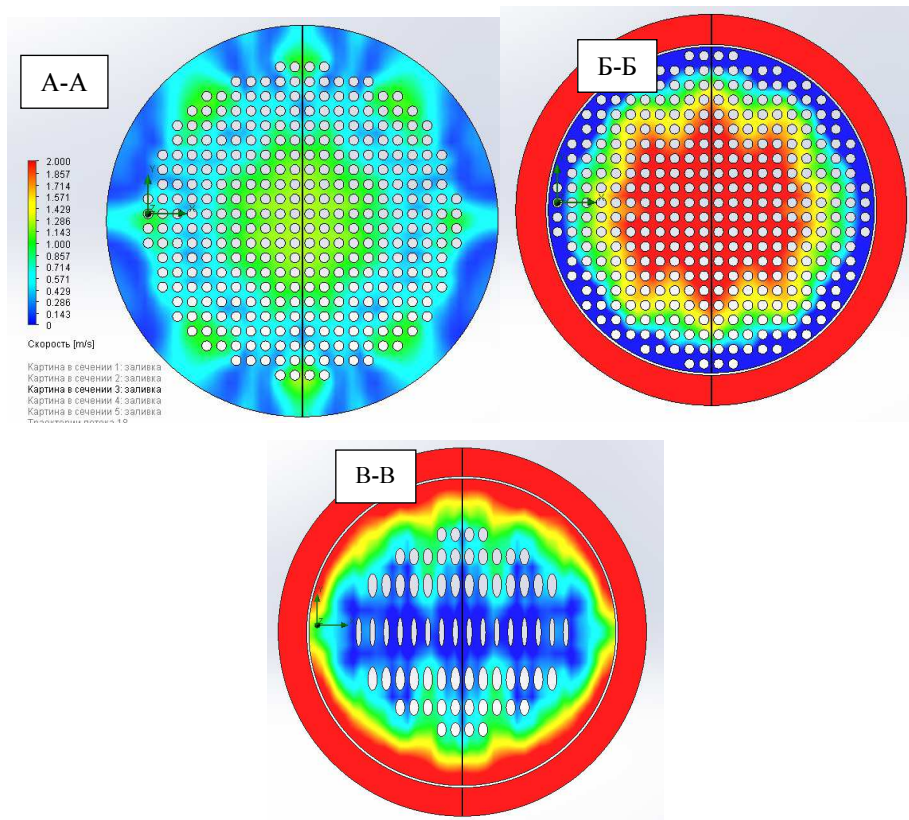


Рис. 3. Распределение скоростей потока: 1- в сечении А-А, 2- в сечении Б-Б, 3- в сечении В-В.

В ходе гидродинамического моделирования в предложенном варианте выявлено, что у основания трубного пучка произошло «размывание» застойной зоны, однако на выходе из циркуляционной трубы наблюдается зона со значительным торможением потока на удалении от центральной оси, представленные на рисунках 4–5. Помимо этого на выходе из трубок теплообмена также наблюдается застойная зона. Это может быть связано с тем, что при изгибе теплообменных трубок они оказывают дополнительное сопротивление потоку у центральной оси, при этом поток направляется в зону с меньшим гидравлическим сопротивлением, т.е. к периферии.

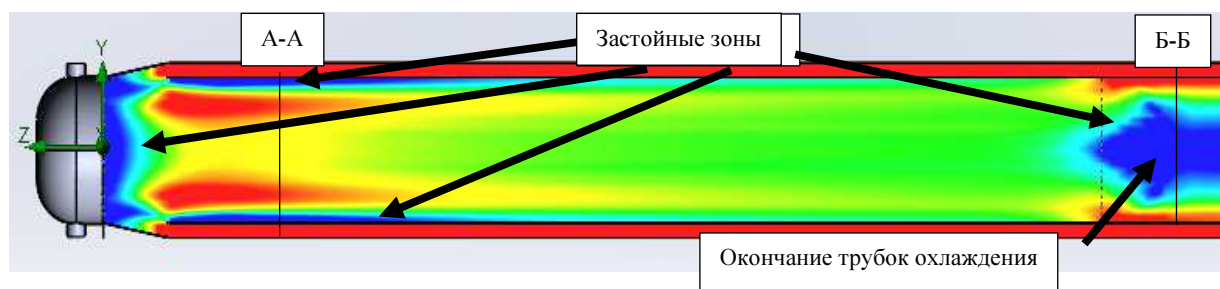


Рис. 4. Распределение скоростей потока в сечении А-А и Б-Б.

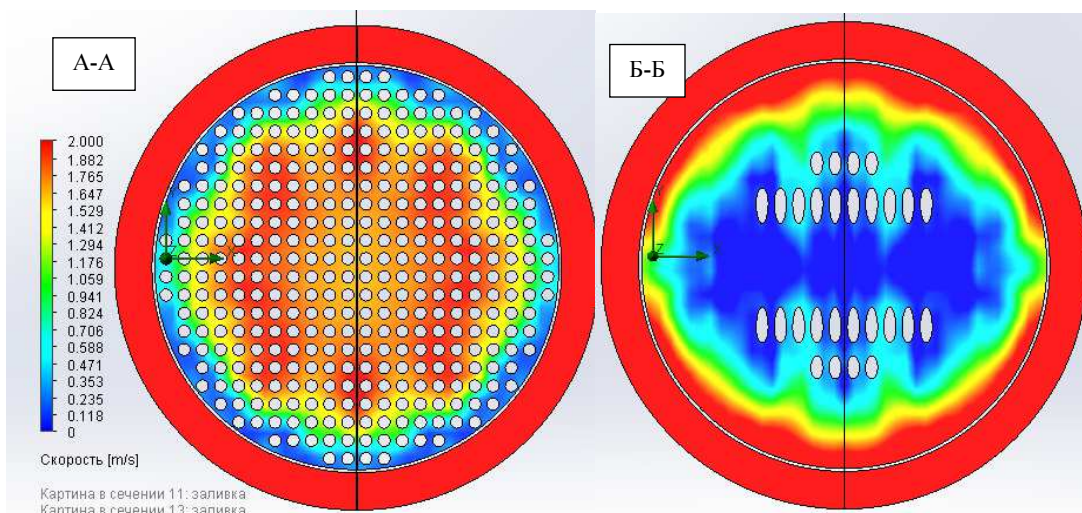


Рис. 5. Распределение скоростей потока в сечении А-А и Б-Б.

В связи с вышеуказанным, установлено, что в модернизации нуждается большинство существующих установок серноокислотного алкилирования, это связано с конструктивными особенностями реакторного блока в ходе гидродинамического моделирования выявлены застойные зоны, способствующие снижению эффективности работы реактора. Так как поддержание температуры и создание интенсивного перемешивания реагентов являются ключевыми параметрами в процессе, поэтому повышение эффективности работы реакторного блока достигнуто за счет метода сокращения за-

стойных зон, тем самым, повысив интенсивность перемешивания, турбулизации и эффективность теплообмена.

Литература

1. Özyurt D. B., Rich M. K., Pike R. W., Knopf F. C., Hopper J. R., Yaws C. L. On-line optimization, energy analysis and environmental impact assessment of sulfuric acid catalyzed alkylation process. Proceedings of the Sixth Topical Conference on Refining Processes/ AIChE National Meeting, New Orleans, LA (March 30 – April 3, 2003)
2. Дорогочинский А.З., Лютер А. В., Вольпова Е. Г. Серноокислотное алкилирование изопарафинов олефинами. – М.: Химия, 1985.– 191 с.
3. Trambouze P. Petroleum refining. Vol. 4 Materials and equipment. Paris: Éditions Technip, 1995.740 p.
4. Алкилирование изопарафинов олефинами / Солодова Н. Л., Абдуллин А. И., Емельянычева Е. А. // Вестник Казанского технологического университета. Т.18, №9 2015. – 117–121 с.
5. Чирков Д. В. Методы конечных разностей и конечных объемов для решения задач математической физики. Учебное пособие. Новосибирск: НГТУ, 2013. С. 86.

Статья рекомендована к печати лабораторией математической химии Института нефтехимии и катализа УФИЦ РАН (д-р.хим. наук, Д. Ш. Сабиров)

Hydrodynamic simulation of reactor flows in liquid phase alkylation

A. A. Hisamova^{1*}, O. S. Travkina^{1,2}, I. M. Gubaidullin^{1,2}

¹*Ufa State Petroleum Technical University*

1 Kosmonavtov, 450064 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.

²*Institute of Petrochemistry and Catalysis, Russian Academy of Sciences*

141 Prospekt Oktyabrya, 450075 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.

*Email: ahisamova@mail.ru

In the article we present results of hydrodynamic study of flows in the process of sulfuric acid alkylation in a contactor reactor. This process has a number of installations that differ in the method of heat removal. Keeping the temperature in the correct range is fundamental to determining the efficiency of the entire installation. Therefore, the analysis of the behavior of flows inside the reactor is an important step in order to improve the efficiency of the installations. As a result of modeling, it is possible to achieve good heat transfer and mixing by reducing the stagnant zones in the reaction zone.

Keywords: sulfuric acid alkylation, contactor reactor, flow hydrodynamics.