



Научная статья

УДК 547.785.51

DOI: 10.52957/27821900_2022_04_39

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ В СТРУЙНОМ ОДНОСТУПЕНЧАТОМ РЕАКТОРЕ СЕРНОКИСЛОТНОГО АЛКИЛИРОВАНИЯ

И. С. Гуданов, А. Е. Лебедев, А. Б. Капранова, А. А. Ватагин, Д. С. Долгин

Илья Сергеевич Гуданов, канд. техн. наук, доцент; Антон Евгеньевич Лебедев, д-р техн. наук, доцент; Анна Борисовна Капранова, д-р физ.-мат. наук, профессор; Александр Александрович Ватагин, старший преподаватель; Дмитрий Сергеевич Долгин, старший преподаватель, Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия, goudanov@yandex.ru, lae4444@mail.ru, Vatagerr@bk.ru, dim_dol.94@mail.ru

Ключевые слова: алкилирование, реактор, структура потока, геометрия реактора, сечение, гидравлическое сопротивление

Аннотация. В статье рассматривается реактор сернокислотного алкилирования струйного типа, предназначенный для получения высокооктанового компонента бензиновой фракции и авиационного топлива. В промышленных условиях в качестве сырья обычно используют узкие фракции, содержащие необходимые углеводороды. Из парафиновых углеводородов наибольшее практическое значение для алкилирования имеет изобутан. В настоящее время изобутан используется как сырье в сравнительно небольших количествах. Качество получаемого алкилата снижается в зависимости от используемого олефина. На промышленных установках организуются новые технические мероприятия, направленные на улучшение технико-экономических показателей работы. Таким образом, основными тенденциями современного процесса сернокислотного алкилирования являются: строительство новых мощных установок на основе совершенных технологий; увеличение ресурсов сырья для производства алкилбензина; поиск новых методов и катализаторов алкилирования изобутана олефинами и разработка на их основе высокоэффективных технологий.

Для цитирования:

Гуданов И.С., Лебедев А.Е., Капранова А.Б., Ватагин А.А., Долгин Д.С. Изучение структуры потоков в струйном одноступенчатом реакторе сернокислотного алкилирования // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2022 Т. 3, вып. 4. С. 39-43. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2022-3-4>

Введение

Из-за повышения количества используемого изобутана и серной кислоты для проведения реакции в промышленных условиях предпочитают алкилирование изобутана смесью бутиленов, которая может быть получена во многих крупнотоннажных процессах вторичной переработки нефти. Выход и качество продуктов алкилирования



определяется не только свойствами сырья и катализатора, но и условиями технологического процесса, такими как давление, температура, концентрация серной кислоты; концентрация изобутана в реакционной зоне, продолжительностью реакции и др. [1-3].

На эффективность процесса особое влияние оказывает конструкция реактора. Традиционно для сернокислотного алкилирования используют емкостные реакторы со струйным и механическим перемешиванием, с различными способами отвода избытка тепла реакции. Многообразие конструктивных оформлений реакционного оборудования обусловлено поиском компромисса между затратами изобутана, кислоты, временем реакции и качеством получаемого алкилата.

Основные стадии процесса сернокислотного алкилирования показаны на рис. 1. В качестве сырья для алкилирования на современных заводах обычно применяют бутан-бутиленовую фракцию. Технологическая схема установки сернокислотного алкилирования изобутана бутиленами состоит из следующих основных этапов: подготовка сырья, зона реакции, обработка углеводородной смеси, фракционирование продуктов [4-5].

В настоящее время существует множество технологических схем процесса сернокислотного алкилирования, но принцип работы у всех схожий. Сырьевая смесь, рециркулирующий изобутан и кислота подаются циркуляционными насосами по трубам и распыляются через сопла в реактор. При этом образуется тонкая эмульсия сырья с кислотой. Некоторое количество смеси выводится снизу реактора в холодильник для снятия тепла алкилирования с помощью хладагента и снова подается в трубы реактора. Продолжительность полного цикла циркуляции составляет 1-2 минуты.

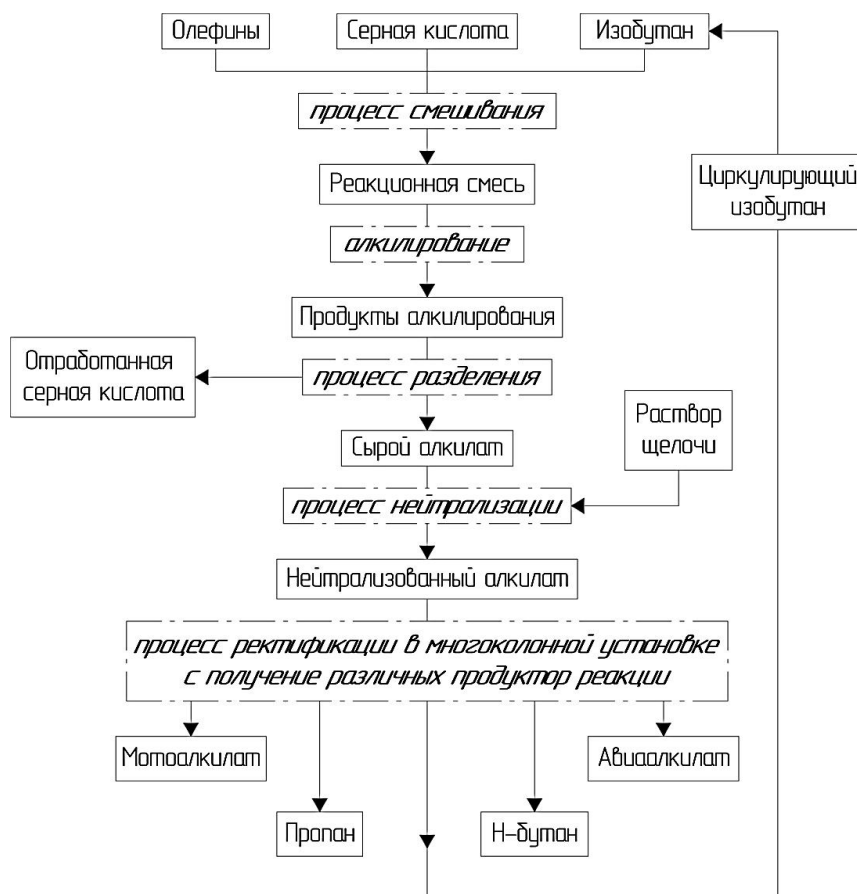


Рис. 1. Основные стадии сернокислотного алкилирования



Часть эмульсии из реактора непрерывно выводится в отстойник, где разделяется на углеводороды и кислоту. Углеводороды – это непрореагировавшая часть и алкилат, которые направляются на фракционирование, а кислота возвращается в реактор. Выделенный во фракционирующем отделении изобутан также возвращается в реактор [6].

Структура потока в реакторе сернокислотного алкилирования

Опыт эксплуатации действующего струйного реактора алкилирования с 2010 г. на установке 25/7 ОАО «Славнефть-ЯНОС» показал достаточно низкое значение коэффициента эжекции (1,5-1,8) [1-4]. Как было установлено, одной из причин являлось повышенное гидравлическое сопротивление циркуляционному потоку на некоторых участках реактора, в частности, - на участке сопел [1, 7, 10, 11]. Не вызывает сомнения также влияние зон отрыва потока на входе во внутреннюю циркуляционную трубу, а также вязкое пристеночное трение, обусловленное большим содержанием концентрированной серной кислоты [1-10].

Одним из способов уменьшения гидравлического сопротивления циркуляционному потоку в рамках модификации только элемента реактора «тарелка + сопла» было предложено использовать сопла меньшего объема за счет уменьшения их высоты (300 мм вместо 340 мм) при сохраненных диаметрах сопла среза (55 мм) и входа [1].

Для этих целей было проведено моделирование гидродинамической обстановки во внутреннем объеме реактора. С использованием современных систем автоматизированного проектирования была разработана 3D-модель

струйного реактора, осуществлено формирование расчетной сетки с требуемыми параметрами элементов и проведен численный расчет. На рис. 2 показана схема реактора и фрагмент нерегулярной Т-сита на его поверхности.

Некоторые результаты расчётов:

- коэффициент эжекции $K = 2,2-2,5$ (вариация зависит от выбора модели турбулентности, для модели $k-\varepsilon - 2,5$) (минимальное повышение не менее 30%);
- скорость на срезе сопла 14 м/с;
- перепад давления в сопле 1,5 атм. (в предыдущем варианте 0,6 атм.);
- время пребывания – максимальное 42 с, среднее 12 с.

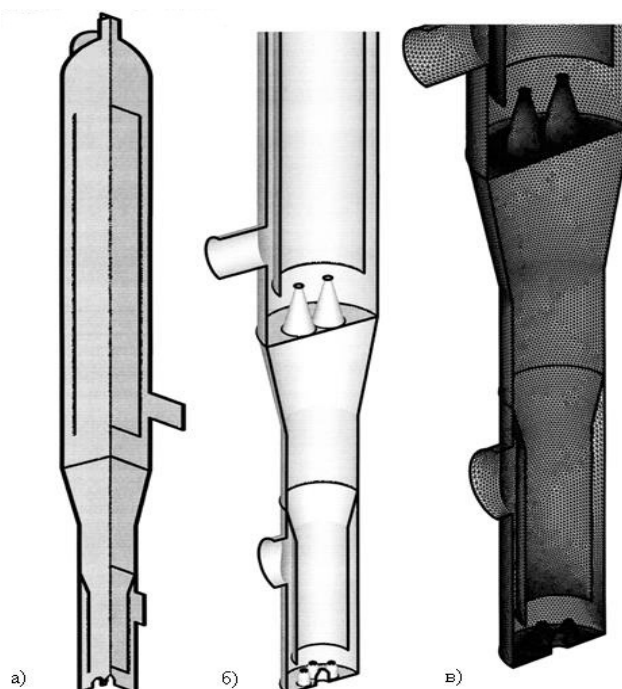


Рис. 2. Геометрия реактора и расчётная сетка: а – контрольные сечения среза; б – геометрия в разрезе; в – нерегулярная Т-сетка на поверхности изделия



Численные результаты, представленные по данному реактору, были получены с помощью программно-вычислительного комплекса OpenCFDLimited. Основные из них линии тока и изоантуры скорости в контрольных сечениях реактора показаны на рис. 3 б.

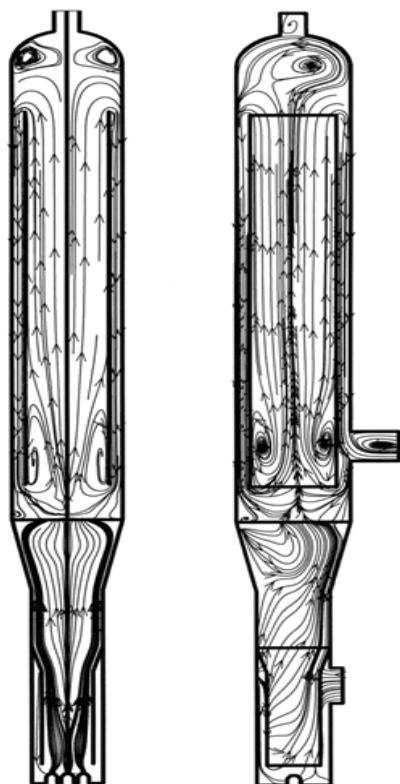


Рис. 3. Линии потока в сечениях

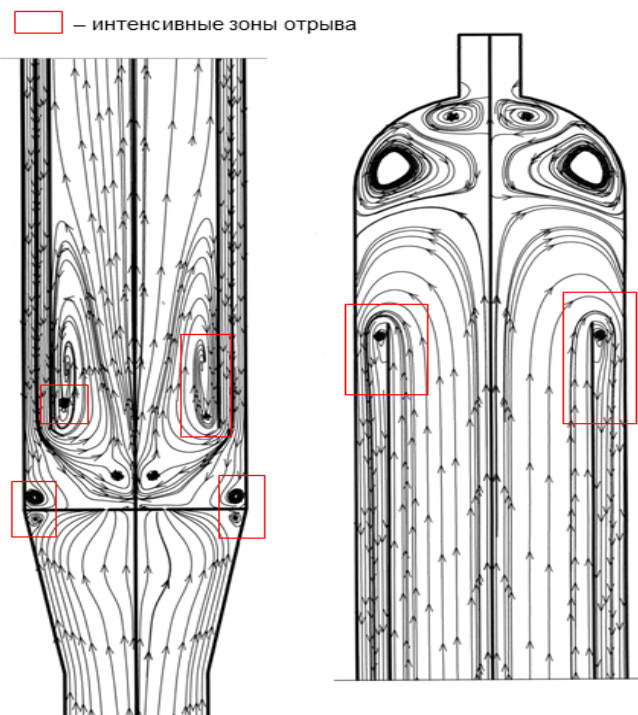


Рис. 4. Детализация структуры потоков

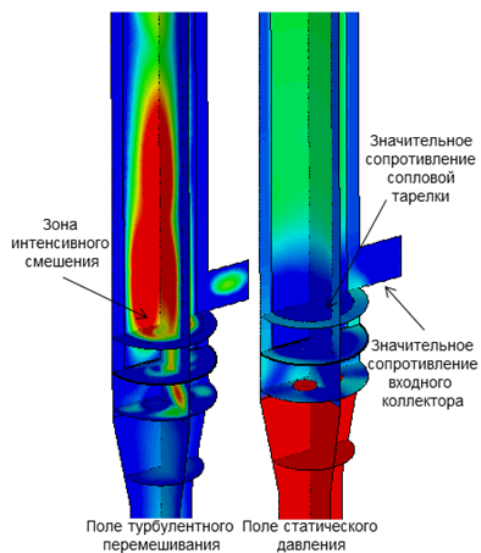


Рис. 5. Зоны смешения реагентов в реакторе

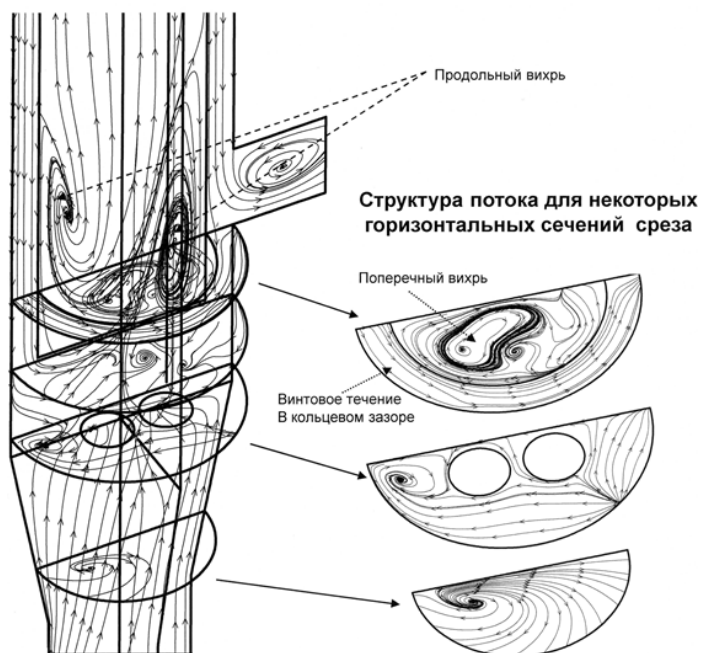


Рис. 6. Детализация линий потока в продольных и поперечных сечениях реактора



Выводы и рекомендации

Основные выводы по проведенному анализу, а также результаты расчета следующие:

1. Наличие продольных вихрей, приводящих к отрывным течениям на входе в циркуляционную трубу снизу и выходе из неё сверху;
2. Возникновение поперечных вихрей вокруг сопел эмульгационной решётки и в коническом переходе на выходе из зоны диспергирования приводит к различному времени пребывания компонентов в реакционном объёме и образованию побочных продуктов;
3. Большое сопротивление сопловой решётки ведёт к снижению производительности, увеличению областей низкой интенсивности перемешивания;
4. Низкая эффективность работы распределительных устройств коллектора ввода олефинового сырья;
5. Несовершенство конструкции форсунок нижней решётки.

Список источников

1. Долгин Д.С., Гуданов И.С., Лебедев А.Е., Ватагин А.А. К вопросу о повышении эффективности струйного реактора серноокислотного алкилирования // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2022 № 7. С. 7-9.
2. Гуданов И.С., Лебедев А.Е., Капранова А.Б., Сибрина Т.М., Виноградова Е.А. Математическая модель структуры потоков в пульсационном кристаллизаторе // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2021. Т. 2, вып. 1. С. 91–102. DOI: 10.52957/27821900_2021_01_86. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2021tom2no1>
3. Гуданов И.С., Лебедев А.С., Ватагин А.А., Долгин Д.С. Разработка высокоэффективной конструкции струйного реактора серноокислотного алкилирования // *Инженерный вестник Дона*. 2018. № 4. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5262>
4. Gudanov I.S., Lebedev A.E., Dolgin D.S. Problem of Updating Design of Horizontal Cascade Reactor for Sulfuric Acid Alkylation of Isoparaffins by Olefins // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2020. Vol. 55(11-12). P. 958-962. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10556-020-00720-z> DOI 10.1007/s10556-020-00720-z
5. ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез». Технологический регламент установки серноокислотного алкилирования. Ярославль, 2003.
6. Козлов Б.И. Процессы алкилирования, изомеризации и полимеризации в нефтепереработке. М.: Химия, 1990. 65 с.
7. Капранова А.Б., Лебедев А.Е., Мельцер А.М., Неклюдов С.В., Брыкалов А.С. Анализ основных характеристик дросселирования жидкости в регулирующем осевом клапане // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2021. Т. 1, вып. 1. С. 104–112. DOI: 10.52957/27821900_2021_01_86. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2021tom2no1>
8. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. Калуга, 2002. 850 с.
9. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. Уфа: Гилем, 2002. 672 с.
10. Козин В.Г., Солодова Н.Л., Башкирцева Н.Ю., Абдуллин А.И. Современные технологии производства компонентов моторных топлив. Казань: КГТУ, 2008. 328 с.
11. Романов И.А. Производство бензина. М.: Стройиздат, 2006. 512 с.

Поступила в редакцию 26.11.2022

Одобрена после рецензирования 30.11.2022

Принята к опубликованию 14.12.2022