

По результатам, которые приведены в таблице 1, можно сказать, что наибольшая выработка МТБЭ была в январе. Установка МТБЭ-1 весь месяц работала на ИИФ и выработка МТБЭ составила 22862,02 тонны. Из таблицы видно, что особенностью процесса является изменение состава углеводородного сырья [2].

Целью работы является проектирование установки синтеза МТБЭ одной из производственных линий цеха и исследование влияния состава углеводородного сырья на эффективность процесса.

Особенностью данного процесса является изменение состава углеводородного сырья ИИФ (изобутан-изобутиленовая фракция) и БИФ (бутилен-изобутиленовая фракция).

Объектом исследования является реактор предварительного синтеза Р-230.

Реактор представляет собой прямоточный испарительно-адиабатический аппарат. Его модель в среде HYSYS представлена на рисунке 2.

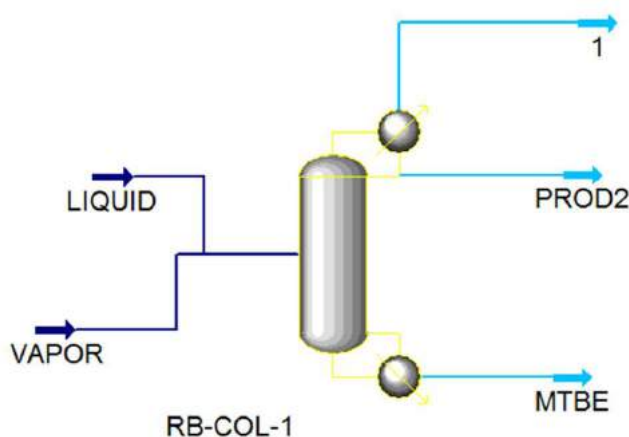


Рис. 2. Модель реактора синтеза МТБЭ

В работе была проведена верификация модели, а также проанализирована работа установки за период с января по март 2016 г. для разного состава углеводородного сырья.

#### Литература

1. Технологический регламент ПАО «Омский каучук» процесса получения метил-трет-бутилового эфира.
2. Технический отчет цеха химического завода за январь, февраль и март 2016 года.

### НЕСТАЦИОНАРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С УЧЁТОМ ДЕЗАКТИВАЦИИ КАТАЛИЗАТОРА

А.А. Татаурщиков, Е.П. Коткова

Научный руководитель: профессор Э.Д. Иванчина, доцент Н.И. Кривцова  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия

Каталитическая гидроочистка широко используется во вторичной нефтеперерабатывающей промышленности. Основная цель этого процесса заключается в значительном снижении содержания серы в нефтепродуктах. В настоящее время наблюдается нехватка и недостаточная проработанность промышленно применимых математических моделей гидроочистки дизельного топлива, особенно учитывающих химическую кинетику процесса и дезактивацию катализатора гидроочистки.

Данное исследование сосредоточено на обработке экспериментальных данных полученных на лабораторном оборудовании и при анализе мониторинга промышленной установки гидроочистки. Цель – разработка математической модели, которая могла бы адекватно описать данные промышленной установки гидрообессеривания ЛГ-24/7 с предложенным в ходе исследования видом кинетической схемы и функциональной зависимостью дезактивации катализатора.

Данные, которые использовались при расчёте кинетических параметров для разрабатываемой модели, были получены как при помощи лабораторного оборудования, так и из базы данных мониторинга установки ЛГ-24/7.

Лабораторный эксперимент проводили с использованием такого оборудования, как газожидкостный хроматограф «Кристалл-2000М» для измерения концентрации серосодержащих веществ в продукте гидроочистки дизельного топлива. Мини-реактор с неподвижным слоем катализатора использовался для проведения процесса гидрообессеривания. В качестве сырья для реактора использовали фракцию дизельного топлива (180...320°C) с

общим содержанием серы 1,4% масс. В лабораторном эксперименте использовался алюмо-кобальт-молибденовый катализатор, предоставленный ООО «Киришинефтеоргсинтез». Лабораторная установка состояла из проточной системы с испарителем, реактора со специальной металлической сеткой, на которую был помещён катализатор. Продукты реакции попадали в конденсатор. Процесс гидрообессеривания проводили с 10 мл катализатора ГДК-202.

Сернистые соединения присутствуют в дизельных фракциях, главным образом, в форме сульфидов, гомологов тиофена и, в меньших количествах, меркаптанов и дисульфидов. В целом, начальной стадией разработки математической модели заключается в термодинамическом расчёте. Данный этап основан на физико-химических законах и обеспечивает высокую степень адекватности модели реальному процессу гидрообессеривания.

Разработанная математическая модель основана на законе действующих масс и представляет собой систему дифференциальных уравнений, отражающих изменения в концентрациях реагентов. Таким образом, математическая модель выполняет расчёт материального баланса соединений серы в процессе гидроочистки. Активность катализатора в отношении серосодержащих соединений учитывается как часть эффективной константы скорости, рассчитанной в рамках данной научно-исследовательской работы ранее [1, 2].

Таблица 1

Математическая модель материального и теплового баланса

| Скорость реакции                                                                                                                                                                                                      | Дифференциальные уравнения материального баланса                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $W_1 = k_1 C_{MDST} C_{H_2}^V$ $W_2 = k_2 C_{BT} C_{H_2}^V$ $W_3 = k_3 C_{DBT} C_{H_2}^V$ $W_4 = k_4 C_{SHC} C_{H_2}^V$ $W_5 = k_5 C_{Arom} C_{H_2}^V$ $W_6 = k_6 C_{Olefins} C_{H_2}^V$ $W_7 = k_7 C_{Ar} C_{H_2}^V$ | $G * \frac{\partial C_{MDST}}{\partial Z} + G * \frac{\partial C_{MDST}}{\partial V} = -A_1 * W_1$ $G * \frac{\partial C_{BT}}{\partial Z} + G * \frac{\partial C_{BT}}{\partial V} = -A_2 * W_2$ $G * \frac{\partial C_{DBT}}{\partial Z} + G * \frac{\partial C_{DBT}}{\partial V} = -A_3 * W_3$ $G * \frac{\partial C_{SHC}}{\partial Z} + G * \frac{\partial C_{SHC}}{\partial V} = A_1 * W_1 + A_5 * W_5 - A_4 * W_4$ $G * \frac{\partial C_{Arom}}{\partial Z} + G * \frac{\partial C_{Arom}}{\partial V} = A_2 * W_2 + A_3 * W_3 - A_5 * W_5 - A_7 * W_7$ $G * \frac{\partial C_{Olefins}}{\partial Z} + G * \frac{\partial C_{Olefins}}{\partial V} = A_4 * W_4 - A_6 * W_6$ $G * \frac{\partial C_{Coke}}{\partial Z} + G * \frac{\partial C_{Coke}}{\partial V} = A_6 * W_6 + A_7 * W_7$ <p>(Здесь: <i>Arom</i> – ароматические углеводороды)</p> |
| Дифференциальное уравнение теплового баланса                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Начальные условия                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $dC_i = C_{i,0}; t = 0$ $Z = 0; V = 0; C = C_0; T = T_0$                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Катализатор ГДК-202 проявляет высокую активность в отношении сернистых соединений, обеспечивая удаление серы из дизельного топлива до 98–99% масс. в процессе гидроочистки. Химическая активность серосодержащих соединений возрастает в ряду, начиная с дибензотиофенов, бензотиофенов, и заканчивая сульфидами. Скорость гидрообессеривания уменьшается, когда число алкильных заместителей в гомологах бензотиофенов и дибензотиофенов увеличивается, следовательно, скорость гидрирования дибензотиофенов намного ниже, чем у бензотиофенов. Разрабатываемая математическая модель позволит делать выводы об исходных причинах, влияющих на качество процесса, прогнозировать качество продукта в зависимости от технологических параметров в заданных пределах и помогает оптимизировать процесс гидроочистки.

#### Литература

1. N.I. Krivtcova, A.A. Tataurshchikov, E.D. Ivanchina, E.B. Krivtsov, Mathematical Modelling of Diesel Fuel Hydrodesulfurization Kinetics, *Procedia Chemistry*, Volume 15 (2015) 180–186.
2. N.I. Krivtcova, A.A. Tataurshchikov, I.D. Ivanchina, E.B. Krivtsov, A.K. Golovko, Calculation of the Kinetic Parameters of the Hydrofining Process of Diesel Fraction Using Mathematical Modeling, *Procedia Engineering*, Volume 113 (2015) 73–78.