



маршруту, Дж/кмоль; ρ_B – плотность катализатора, кг/м³; ρ – плотность реакционной смеси, кг/м³.

По модели реактора (3)–(12) проведены расчеты режимов работы реактора в диапазоне давлений 0.1 – 4.5 МПа и температур в реакционной зоне 750 – 1050 °С. По модели рассчитаны основные габариты опытно-промышленного реактора производительностью по синтез-газу – 2 000 000 м³/год. С использованием результатов моделирования работы реактора рассчитаны материальные потоки работы химико-технологической схемы паровой конверсии метана.

Работа выполнялась в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Государственный контракт П1550).

Библиографические ссылки

1. Jarosch K. Modelling the catalytic steam reforming of methane: discrimination between kinetic expressions using sequentially designed experiments. / Jarosch K.; Solh T. El; H. I. de Lasa//Chem. Eng. Sci., 2002. V. 57. P. 3439.
2. Choudhary T.V. Stepwise methane steam reforming: a route to CO-free hydrogen / T.V. Choudhary, D.W. Goodman.//Cat. Lett., 1999. V. 59. P. 93.
3. Froment G.F. Production of synthesis gas by steam- and CO₂-reforming of natural gas. / G.F. Froment. //J. Molec. Cat. A: Chemical, 2000. V.163. P. 147.
4. Писаренко, Е.В. Исследование кинетики реакции паровой конверсии метана. / Е.В. Писаренко, С.В. Белянина. // Успехи в химии и химической технологии: Сб. науч. тр. [под ред. П.Д. Саркисова и В.Б. Сажина]; / РХТУ им. Д.И. Менделеева М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. Том XXI. № 1. С. 17-20.

УДК 519.7(665.612.3+661.721)

Е.В. Писаренко

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА МЕТАНОЛА БЕЗ РЕЦИКЛА ПО СЫРЬЮ

Simulation and modeling of the processes of methanol production from syngas and syngas production from natural gas has been carried out. Energy and resource-saving process scheme of methanol production from natural gas has been suggested. Three reactor methanol unit providing 75-80 % conversion of syngas was calculated. Raw methanol contained 94-99 % mass. of desired product. It was shown that process implementation resulted in sharp decrease in raw materials and energy consumption.

Проведено моделирование процессов получения метанола из синтез-газа и получения синтез-газа из природного газа. Предложена энерго- и ресурсосберегающая схема



процесса получения метанола из природного газа. Рассчитан трехреакторный узел получения метанола, обеспечивающий 75-80 % конверсию исходного синтез-газа. Получаемый метанол-сырец имеет высокое содержание целевого продукта 94-99 мас. %. Показано, что реализация данного процесса получения метанола приводит к резкому сокращению расходных норм по сырью и энергии.

Синтез метанола из природного газа является одним из крупнотоннажных производств химической промышленности [1]. На первой стадии производства после предварительной сероочистки и предриформинга природный газ по различным технологиям конвертируется в синтез-газ, а на второй стадии сухой синтез-газ превращается в метанол [2]. Основные недостатки традиционных промышленных технологий следующие:

1) необходимость использования рецикла по синтез-газу вследствие его низкой конверсии в метанол (объемная скорость рециркуляционного газа превышает в 8-15 раз объемную скорость исходного сырьевого потока),

2) недостаточно высокая селективность каталитического процесса, что приводит к образованию большого количества органических продуктов, затрудняющих последующее выделение чистого метанола из метанол-сырца.

Рассматривается новый вариант проведения конверсии синтез-газа в метанол, который не имеет указанных выше недостатков. Для прогнозирования работы оборудования, обеспечивающего высокое энерго- и ресурсосбережение, требуется построение новых моделей, дающих возможность рассчитать содержание целевых и побочных продуктов на отдельных стадиях производства метанола с высокой точностью.

Цель настоящей работы – анализ и моделирование процесса конверсии природного газа в метанол для его интенсификации, которая позволит сократить себестоимость производимой продукции.

При проведении экспериментальных исследований по изучению кинетики реакции получения метанола и по результатам моделирования этого процесса в стендовых реакторах была обнаружена область высокоселективного протекания процесса получения метанола. При этом в метаноле-сырце, полученном по новой технологии содержание азеотропов не превышало $3 \cdot 10^{-4}$ %мас. и количество побочного продукта – воды было в несколько раз меньшим, чем в метаноле-сырце промышленных производств. Экспериментально показано при этом, что области высокоселективного протекания процесса конверсии синтез-газа могут быть организованы в каталитических аппаратах за счет регуляризации каталитических слоев, подачи в исходное сырье инертных реагентов, внешних тепловых воздействий на каталитические слои.

Построена общая химико-технологическая схема (ХТС) процесса конверсии природного газа в метанол. Проведена оптимизация режимов работы ХТС. Показано, что для снижения себестоимости целевого продукта на 15 – 20 % необходима организация нового реакторного узла синтеза метанола. Он должен состоять из трех кожухотрубчатых реакторов, работающих без рецикла по сырью по однопроходной схеме. Метанол-сырец, полученный на промотированном медно-цинковом катализаторе, практически не со-



держит органических примесей. Последнее обстоятельство позволяет значительно упростить блок ректификации.

Получаемый по новой технологии метанол-сырец имеет высокую чистоту и вследствие этого для ряда производств он может быть либо товарным продуктом, например для газовой промышленности, либо исходным сырьем для получения диметилового эфира, этилена, пропилена, моторных топлив. Для полученного высокоочищенного метанола количество и объем промышленных ректификационных колонн значительно сокращается, что приводит к снижению металлоемкости производства и сокращению энергозатрат. Так как процесс получения метанола происходит по безрециркуляционной по сырью схеме, то отпадает необходимость использования энергозатратного рецикла. Последнее обстоятельство также способствует повышению рентабельности метанольных производств. И, наконец, так как получение метанола в целом проводится при мягких режимах синтеза метанола, то увеличивается также и длительность эксплуатации промышленных катализаторов.

Работа выполнялась в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Государственный контракт П1550).

Библиографические ссылки

1. C. R. H. de Smet Design of adiabatic fixed-bed reactors for the partial oxidation of methane to synthesis gas. Application to production of methanol and hydrogen-for-fuel-cells / C. R. H. de Smet ; M. H. J. M. de Croon; R. J. Berger; G. B. Marin; J. C. Schouten.//Chem. Eng. Sci. 56 (2001) P. 4849.
2. Devinger Mahajan Integrating low-temperature methanol synthesis and CO₂ sequestration technologies: application to IGCC plants / D.Mahajan; A. W. Golland.//Catalysis Today. 84 (2003). P.71.

УДК 541.12:665.612

Е.В. Писаренко, В.В. Фатеев

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА И ВОДОРОДА ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Energy- and resource-saving way of dimethyl ether and hydrogen synthesis from natural gas is proposed. The possibility of implementation of new technology of methanol production without synthesis gas recirculation followed by methanol dehydration to dimethyl ether over low temperature catalysts, steam methanol reforming to hydrogen combined with CO₂ use in the production cycle and hydrogen generation in PSA unit to create efficient modular type plants of dimethyl ether and hydrogen production is demonstrated.