РАЗВИТИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗ-ГАЗА

Цуканов М.Н.

Д.ф.т.н., доцент кафедры "Технология переработки нефти и газа" Бухарского государственного технического университета

Аннотация. В статье рассмотрено развитие химических технологий на основе синтез-газа (смеси оксида углерода и водорода), являющегося универсальным исходным сырьём для производства топлива и химических продуктов. Проведён анализ традиционных и инновационных направлений использования синтез-газа, включая процессы Фишера–Тропша, синтез метанола, аммиака и олефинов. Особое внимание уделено современным тенденциям развития технологий GTL (Gas-to-Liquid), MTO (Methanol-to-Olefins), а также перспективам декарбонизации и интеграции возобновляемых источников энергии в химическую промышленность. Представлены схемы основных технологических процессов и направления их модернизации.

Ключевые слова: синтез-газ, химическая технология, Фишера–Тропша, метанол, GTL, MTO, водород, декарбонизация.

Annotatsiya. Maqolada sintez-gaz (uglerod oksidi va vodorod aralashmasi) asosidagi kimyoviy texnologiyalarning rivojlanishi ko‘rib chiqilgan. Ushbu aralashma yoqilg‘i va turli kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarish uchun universal xom ashyo hisoblanadi. Sintez-gazdan foydalanishning an’anaviy va innovatsion yo‘nalishlari tahlil qilingan, jumladan Fisher–Tropsh jarayonlari, metanol, ammiak va olefinlar sintezi. Alohida e’tibor GTL (Gas-to-Liquid), MTO (Methanol-to-Olefins) texnologiyalarining zamonaviy rivojlanish tendensiyalariga, shuningdek dekarbonizatsiya va qayta tiklanadigan energiya manbalarini kimyo sanoatiga integratsiya qilish istiqbollariga qaratilgan. Asosiy texnologik jarayonlar sxemalari va ularni modernizatsiya qilish yo‘nalishlari keltirilgan.

Kalit so‘zlar: sintez-gaz, kimyoviy texnologiya, Fisher–Tropsh, metanol, GTL, MTO, vodorod, dekarbonizatsiya.

Abstract. The article reviews the development of chemical technologies based on syngas (a mixture of carbon monoxide and hydrogen), which serves as a universal feedstock for fuels and chemical products. Both traditional and modern directions of syngas utilization are analyzed, including Fischer–Tropsch synthesis, methanol, ammonia, and olefin production. Special attention is given to the current trends in GTL (Gas-to-Liquid), MTO (Methanol-to-Olefins) technologies, and prospects for decarbonization and integration of renewable energy sources into the chemical industry. Schemes of key technological processes and modernization pathways are presented.

ISSN 3030-3907

Keywords: syngas, chemical technology, Fischer–Tropsch, methanol, GTL, MTO, hydrogen, decarbonization.

Введение

Синтез-газ (CO + H_2) занимает особое место в современной химической технологии, являясь связующим звеном между углеводородным и водородным направлениями промышленности. Его получение из природного газа, угля, биомассы и твёрдых отходов позволяет формировать устойчивую основу для производства широкого спектра продуктов — от моторных топлив до пластмасс и удобрений.

Исторически интерес к синтез-газу возник в первой половине XX века в связи с разработкой процесса Фишера–Тропша (1925 г.), обеспечивающего получение жидких углеводородов из газообразных источников углерода. Сегодня, на фоне энергетического перехода и экологических вызовов, этот интерес возрождается в контексте «зелёных» технологий.

Процесс Фишера–Тропша является одной из наиболее известных технологий преобразования синтез-газа в жидкие углеводороды (C_nH_{2n+2}). Катализаторы на основе кобальта и железа обеспечивают синтез дизельных фракций, парафинов и восков. На рисунке 1 показана упрощённая схема данного процесса.

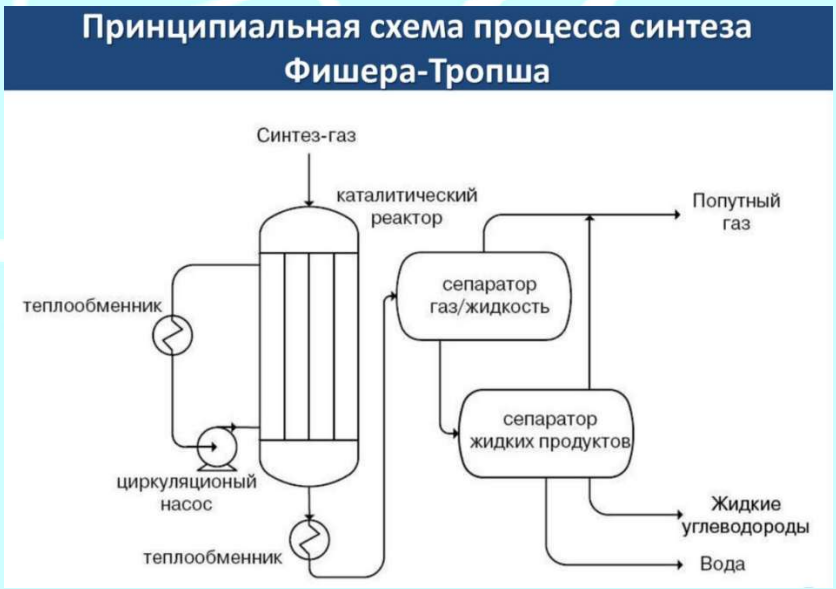


Рисунок 1 – Схема процесса Фишера–Тропша

Синтез метанола и MTO-технология

Синтез метанола (CH_3OH) из синтез-газа — один из важнейших химических процессов, обеспечивающих промежуточное звено для получения множества производных. Современные каталитические системы ($Cu/ZnO/Al_2O_3$) позволяют достигать высокой селективности и экономичности процесса. В последующем метанол используется в

ISSN 3030-3907

технологии MTO (Methanol-to-Olefins), где образуются этилен и пропилен — ключевые мономеры для нефтехимии.

Технологии GTL (Gas-to-Liquid) получили широкое развитие благодаря крупным проектам компаний Shell и Sasol. Эти процессы включают получение синтез-газа из природного газа (через паровой риформинг) и его последующую конверсию в жидкие топлива.

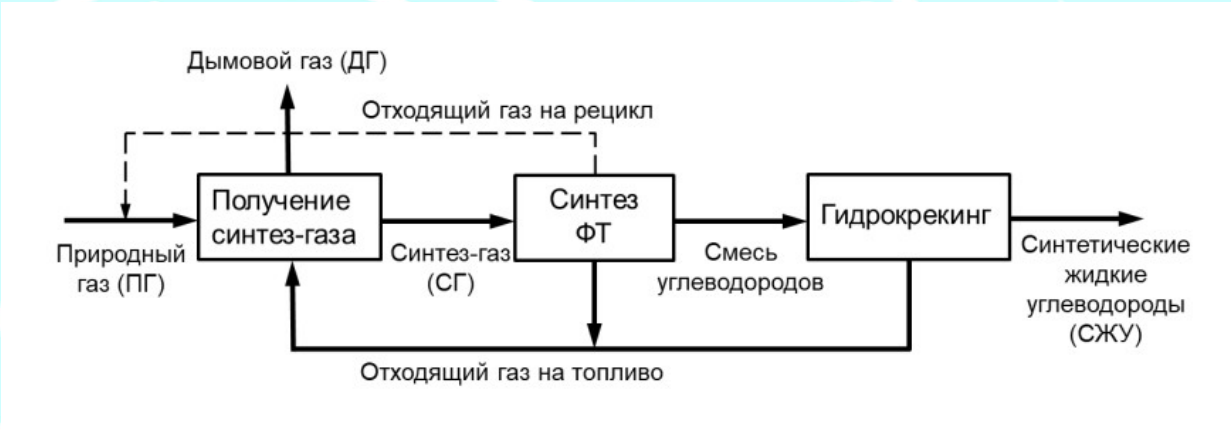


Рисунок 2 – Принципиальная схема GTL-процесса

Современные исследования сосредоточены на создании катализаторов нового поколения и интеграции возобновляемых источников энергии в процесс получения синтез-газа. Электрохимическое и плазменное реформирование метана, а также использование CO_2 в качестве исходного компонента позволяют снизить углеродный след химического производства. Перспективными направлениями являются:

- **Bio-to-Syngas:** получение синтез-газа из биомассы и бытовых отходов;
- **Power-to-Gas:** использование избыточной электроэнергии для электролиза воды с получением H_2;
- **CO_2-to-Methanol:** прямая конверсия диоксида углерода в метанол.

Интеграция процессов на основе синтез-газа с возобновляемыми источниками энергии открывает возможности для перехода к углеродно-нейтральной химической промышленности. Использование биогаза, водорода и улавливание CO_2 создают предпосылки для формирования «замкнутого углеродного цикла».

Согласно прогнозам Международного энергетического агентства (IEA), к 2050 году доля синтез-газа из возобновляемых источников может составить более 40% в структуре производства химических продуктов.

Применение синтез – газа

Синтез-газ служит исходным сырьем для производства многих химических и нефтехимических продуктов, таких как метанол и другие оксигенаты1, продукты синтеза Фишера-Тропша, а также используется для восстановления железной руды.

ISSN 3030-3907

Получение метанола

Метанол, один из основных продуктов многотоннажной химии, широко используется для получения множества ценных химических веществ: формальдегида, сложных эфиров, аминов, растворителей, уксусной кислоты. Мировое производство метанола превышает 20 млн. т в год, и спрос на него постоянно растет, что связано с наметившейся тенденцией использовать метанол в новых областях, например для получения высокооктановых бензинов, топлива для электростанций, как сырья для синтеза белка и т.д.

С этапами изучения химии метанола связаны имена величайших химиков. Впервые метанол был обнаружен еще в середине XVII века Робертом Бойлем при изучении продуктов перегонки дерева, однако в чистом виде метиловый спирт, или древесный, получаемый этим способом, был выделен только через 200 лет: тогда впервые удалось очистить его от примесей сопутствующих веществ, прежде всего уксусной кислоты и ацетона. В 1857 году Марселен Бертло получил метанол омылением хлористого метила. Процесс сухой перегонки древесины долгое время оставался, пожалуй, единственным способом производства метанола. Сейчас он полностью вытеснен каталитическим синтезом из оксида углерода и водорода. Получение метанола из синтез - газа впервые было осуществлено в Германии в 1923 году фирмой BASF2. Процесс проводился под давлением 100-300 атм. на оксидных цинк-хромовых катализаторах (ZnO-Cr2O3) в интервале температур 320-4000С, производительность первой промышленной установки доходила до 20 т/сутки. Интересно, что в 1927 году в США был реализован промышленный синтез метанола, основанный не только на монооксиде, но и на диоксиде углерода. В настоящее время в результате развития и усовершенствования процесса получения метанола из синтез - газа используются реакторы большой мощности с производительностью до 2000 т метанола в сутки. Разработаны более активные катализаторы на основе оксидов цинка и меди, которые позволили смягчить условия синтеза - снизить давление до 50-100 атм., а температуру - до 2500С.

Суммарная реакция образования метанола:

$$CO + 2H_2 \leftrightarrow CH_3OH$$

Является сильно экзотермичной. Поскольку реакция протекает с уменьшением объема, повышение давления способствует увеличению конверсии синтез - газа.

Было предложено несколько механизмов образования метанола. Один из них предполагает ряд последовательных стадий гидрирования

ISSN 3030-3907

хемосорбированного на катализаторе монооксида углерода, при этом образуются промежуточные поверхностные соединения:

Второй механизм предполагает образование поверхностного гидрида, внедрение монооксида углерода в связь металл-водород с образованием поверхностного формильного производного, дальнейшее гидрирование которого приводит к образованию гидроксиметиленового производного, аналогичного приведенному в предыдущей схеме:

Согласно третьему механизму, CO внедряется в поверхностный гидроксил, при этом образуются промежуточные соединения, связанные с поверхностью катализатора через кислородный мостик. Последующее гидрирование образующегося формиата и дегидратация приводят к метанолу:

Следует отметить еще один экспериментально обоснованный механизм синтеза (А.Я.Розовский), согласно которому метанол образуется при восстановлении диоксида углерода. Монооксид углерода является лишь источником CO2:

$$CO + H2O = CO2 + H2$$

$$\mathbf{CO2 + 3H2 = CH3OH + H2O}$$

Как и во многих других случаях, однозначное установление истинных механизмов химических реакций представляет значительную трудность, и до сих пор в синтезе метанола имеются неразгаданные моменты.

Заключение

Развитие химической технологии на основе синтез-газа является стратегическим направлением для обеспечения устойчивого развития энергетики и промышленности. Внедрение инновационных катализаторов, «зелёных» источников сырья и цифровых технологий управления процессами позволит значительно повысить эффективность и экологическую безопасность химического производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dry, M.E. Fischer–Tropsch Synthesis: Catalysts and Chemistry. *Applied Catalysis A: General*, 1996, Vol. 138, pp. 319–344.
2. Twigg, M.V. Catalyst Handbook. 2nd ed. Wolfe Publishing, 1989.
3. Rostrup-Nielsen, J.R., Sehested, J., Nørskov, J.K. Hydrogen and Synthesis Gas by Steam- and CO_2 Reforming. *Advances in Catalysis*, 2002, Vol. 47, pp. 65–139.
4. Cheng, W.-H., Kung, H.H. Methanol Production and Use. CRC Press, 1994.
5. Bridgwater, A.V. Renewable Fuels and Chemicals by Thermal Processing of Biomass. *Chemical Engineering Journal*, 2003, Vol. 91, pp. 87–102.

ISSN 3030-3907