

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ТОПЛИВА ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА В
СРЕДЕ ASPEN HYSYS**

Кудратбеков Сардорбек Улугбек угли

Ташкентский государственный транспортный университет

sardorbek kudratbekov@gmail.ru

Абсаттаров Салохиддин Нуритдин угли

Ташкентский государственный транспортный университет

asn17t503@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

В работе описан процесс получения синтез-газа путем паровой конверсии метана (ПКМ) в условиях Uzbekistan GTL, который является основным промышленным методом для получения синтез-газа, применяемого для производства аммиака, метанола и других химических продуктов. В работе рассмотрены термодинамические аспекты процесса и влияние различных параметров на выход продукции и выбросы в атмосферу. Процесс ПКМ проходит при высоких температурах (до 930°C) и давлениях, а для его моделирования используется пакет Aspen HYSYS. На основе моделирования и экспериментальных данных определены оптимальные условия для процесса: содержание метана в природном газе — 94%, температура конверсии — 930°C. Анализ выбросов показал, что оптимальные параметры для минимизации загрязнений и сохранения производительности установки находятся при соотношении H_2/CO от 2,6 до 3.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Моделирование, синтез газ, природный газ, паровая конверсия метана, водород, оксид углерода, Aspen HYSYS.

ANNOTATION

The paper describes the process of producing synthesis gas by steam conversion of methane (SCM) under the conditions of Uzbekistan GTL, which is the main industrial method for producing synthesis gas used for the production of ammonia, methanol and other chemical products. The thermodynamic aspects of the process and the influence of various parameters on output and emissions into the atmosphere are considered in the work. The SCM process takes place at high

temperatures (up to 930°C) and pressures, and the Aspen HYSYS package is used to simulate it. Based on modeling and experimental data, optimal conditions for the process have been determined: the methane content in natural gas is 94%, the conversion temperature is 930°C. The emission analysis showed that the optimal parameters for minimizing pollution and maintaining plant performance are at an H₂/CO ratio from 2,6 to 3.

KEYWORDS

Modeling, synthesis gas, natural gas, steam conversion of methane, hydrogen, carbon monoxide, Aspen HYSYS.

ANNOTATSIYA

Ilmiy maqolada ammiak, metanol va boshqa kimyoviy mahsulotlarni ishlab chiqarishda qo'llaniladigan sintez-gaz olishning asosiy sanoat usuli bo'lgan Uzbekistan GTL sharoitida metanni bug'li konversiyalash (MBK) yo'li bilan sintez-gaz olish jarayoni tasvirlangan. Ushbu maqolada jarayonning termodinamik jihatlari va turli parametrlarning mahsulot ishlab chiqarilishining samaradorligiga va atmosferaga ta'siri ko'rib chiqilgan. Metanni bug' bilan konversiyalash jarayoni yuqori haroratlarda (930°C gacha) va bosimlarda amalga oshiriladi va uni modellashtirish uchun Aspen HYSYS paketidan foydalanildi. Modellashtirish va eksperimental ma'lumotlar asosida jarayon uchun optimal sharoitlar aniqlandi: tabiiy gaz tarkibidagi metan miqdori - 94%, konversiya harorati - 930°C. Chiqindilar tahlili shuni ko'rsatdiki, ifloslanishni minimallashtirish va qurilmaning ish unumdorligini saqlash uchun optimal parametrlar H₂/CO nisbati 2,6 dan 3 gacha bo'lishi aniqlandi.

KALIT SO'ZLAR

Modellashtirish, sintez gazi, tabiiy gaz, metanning bug'li konversiyasi, vodorod, uglerod oksidi, Aspen HYSYS.

ВВЕДЕНИЕ

GTL-технологии по переводу газа в жидкое состояние (gas to liquids technologies) интересуют все большее число компаний.

Химический способ монетизации природного газа для применения в качестве моторного топлива заключается в его превращении в жидкие углеводороды в процессе Фишера-Тропша. В данном процессе производится широкий спектр продукции: топлива, базовые масла, сжиженные углеводородные газы (СУГ), нефтя и твердые парафины. Такая продуктовая линейка открывает большее количество рынков для реализации, однако требует значительных капитальных затрат.

В основе технологии «Uzbekistan GTL» лежит процесс фазы суспензионной дистилляции компании «Sasol» (Sasol Slurry Phase Distillate

Process™) (процесс SPD). Он состоит из трех этапов. На первом этапе природный газ соединяется с кислородом и образует синтез-газ. Синтез-газ затем подвергается конверсии Фишера-Тропша с образованием парафинистой синтетической сырой нефти. На конечном этапе синтетическая сырая нефть подвергается крекингу для получения конечной продукции. [1]

Синтез газ — это смесь оксида углерода с водородом в различных отношениях.

Топливо GTL — это полностью синтетическое высококачественное топливо [2], производимое из природного газа с использованием запатентованной технологии Sasol. Данное топливо считается топливом премиального класса, которое имеет следующие особенности:

Топливо GTL:

- Практически нулевое содержание серы (<5 мг/кг)
- Очень высокое цетановое число (>70)
- Практически нулевое содержание ароматических углеводородов ($<0,5$ масс. %)
- Практически без запаха и бесцветный
- Отвечает всем требованиям Европейского стандарта EN15940

Основной проблемой Республики Узбекистан является резкое ухудшение экологического состояния в Республике. По данным IQAir [3] во всех областях Республики превышена норма по содержанию мелких частиц, PM 2,5 которые в свою очередь возникают при работе ДВС на некачественном топливе и при работе нефтеперерабатывающих и нефтегазодобывающих заводов (рис. 1). Для улучшения этого состояния в работе определены оптимальные параметры синтез газа для получения максимальной производительности и обеспечения минимальных выбросов в атмосферу.



Рисунок 1. Диаграмма превышения норм по выбросам в атмосферу мелких частиц PM 2.5

ЛИТЕРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЯ

Паровая конверсия метана — наиболее широко распространенный промышленный метод получения синтез-газа, на основе которого сейчас производится почти 95 % синтез-газа для производства аммиака, метанола и других продуктов. В ПКМ образуется богатый водородом синтез-газ с отношением $H_2/CO = 3$. Широкое промышленное внедрение технологии ПКМ началось с 1960-х гг., когда ускорился переход с угля на природный газ в качестве сырьевого источника химической промышленности. [4]

В промышленных условиях паровая конверсия проводится на никелевых катализаторах при температуре 800—1000 °С, давлении 30—50 атм и высоком соотношении $H_2/CO = 2,5-3,0$, необходимом для снижения коксообразования. Этот процесс является примером промышленного каталитического процесса, для которого решены сложнейшие технологические задачи, в то время как многие принципиальные вопросы теории процесса остаются до сих пор неясными.

В первом потоке подается природный газ обогащенный метаном (табл. 1).

Таблица 1. Состав природного газа подаваемого из Шуртанского ГХК

Мольные доли					
метан	оксид углерода	диоксид углерода	водород	пар	азот

При моделировании процесса применяется термодинамический пакет Пенг-Робинсона. А также применяется два набора реакций: 1-конверсионная; 2-равновесная реакция. В первом потоке подается газ из Шуртанского ГХК. Во втором потоке подается пар.

Природный газ подается в печь для повышения температуры, после чего температура на выходе составит $T_1 = 370^\circ\text{C}$, а перепад давления составит $\Delta P_1 = 1,96 \cdot 10^5$.

Пар подается в печь для повышения температуры, после чего температура на выходе составит $T_1 = 370^\circ\text{C}$, а перепад давления составит $\Delta P_1 = 1,96 \cdot 10^5$.

Далее оба потока направляются в смеситель. После смешивания объединенный поток отправляется на подогреватель, температура на выходе

составит $T_1 = 500^\circ\text{C}$, а перепад давления составит $\Delta P_1 = 1,96 \cdot 10^5$. После чего поток еще раз отправляется на подогреватель, температура на выходе составит $T_1 = 870^\circ\text{C}$, а перепад давления составит $\Delta P_1 = 1,96 \cdot 10^5$.

Далее поток отправляется в конверсионный реактор, температура на выходе составит $T_1 = 930^\circ\text{C}$, а перепад давления составит $\Delta P_1 = 1,96 \cdot 10^5$. На выходе из конверсионного реактора в составе газа отношение водорода к оксиду углерода составит 3.

Далее газ охлаждается, температура на выходе составит $T_1 = 355^\circ\text{C}$, а перепад давления составит $\Delta P_1 = 1,96 \cdot 10^5$. Далее газ отправляется в равновесный реактор, где происходит окисление CO до CO_2 , а перепад давления составит $\Delta P_1 = 1,96 \cdot 10^5$:



Степень конверсии в этих реакторах составляет 66,85%. Далее газ отправляется в охладитель (рис. 2), температура на выходе составит $T_1 = 210^\circ\text{C}$, а перепад давления составит $\Delta P_1 = 1,96 \cdot 10^5$.

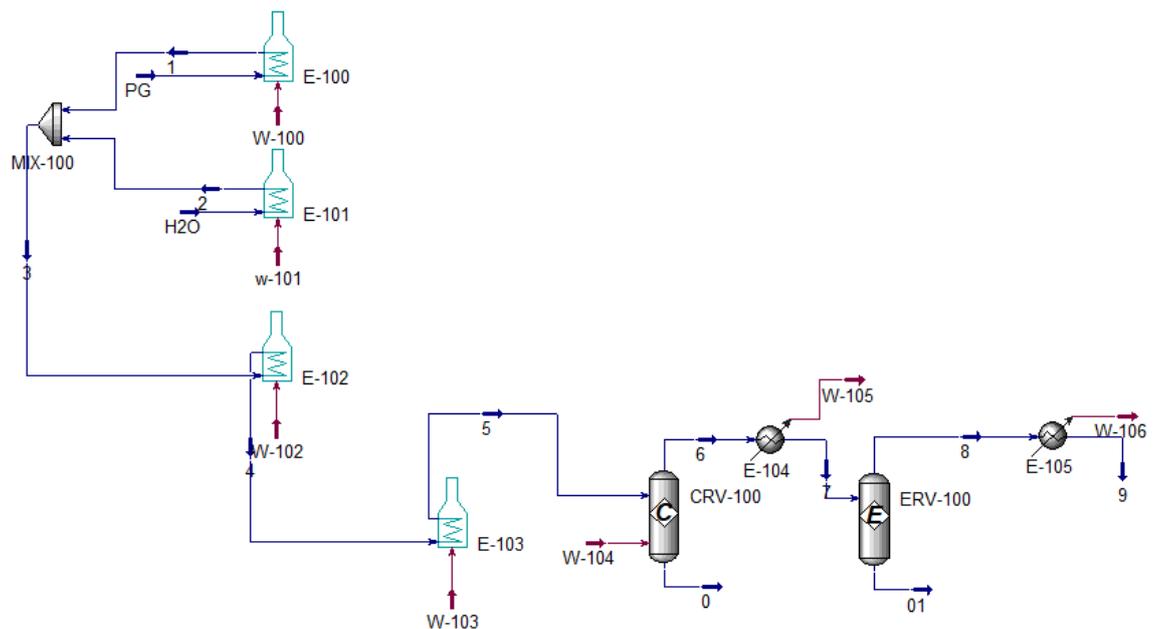


Рисунок 2. Цифровой двойник установки получения синтез газа

Далее для нахождения оптимальной температуры конверсии при отношении водорода к оксиду углерода от 2,6 до 3, с минимальными выбросами в атмосферу и сохранением производительности применим мультипликативный критерий оптимизации.

Основная зависимость представляет собой:

$$A = \frac{Q_B}{V_C} \quad (2)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Был смоделирован процесс получения синтез-газа из природного газа в Aspen HYSYS. [5]. Исследовано влияние отношения водорода к оксиду углерода на такие параметры синтез газа, как концентрация веществ во входном газе, температура процесса конверсии метана паром, производительность установки и выбросы в атмосферу.

В ходе моделирования были получены графики зависимостей:

1) изменения отношения на выходе H_2/CO при разном содержании метана на входе (рис. 3);

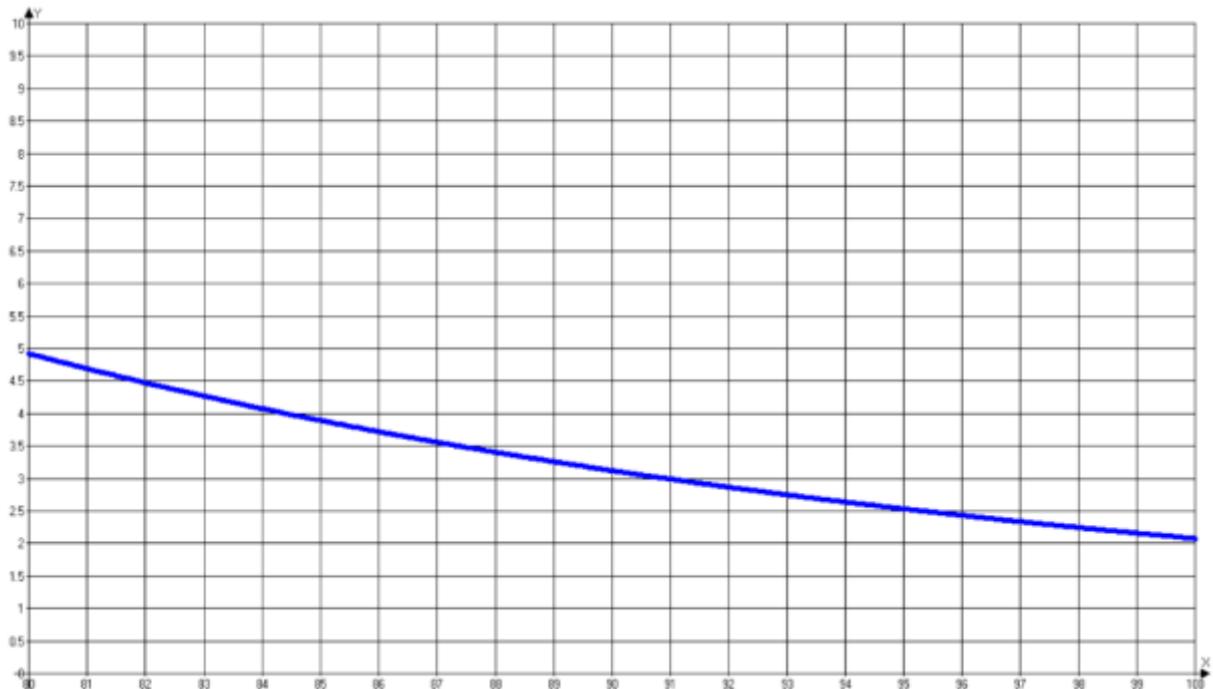


Рисунок 3. Изменение отношения на выходе H_2/CO при разном содержании метана на входе

2) изменения отношения на выходе H_2/CO при разной температуре конверсии (рис. 4);

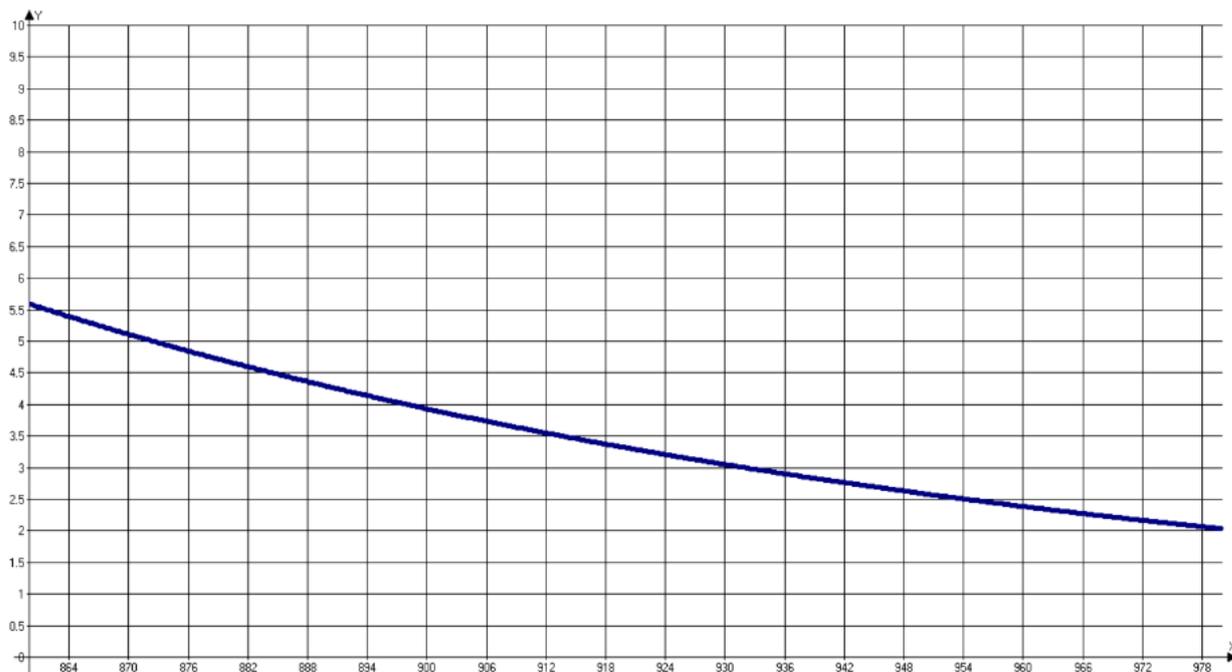


Рисунок 4. Изменение отношения на выходе H₂/CO при разной температуре конверсии

3) график зависимости производительности от отношения H₂/CO (рис. 5);

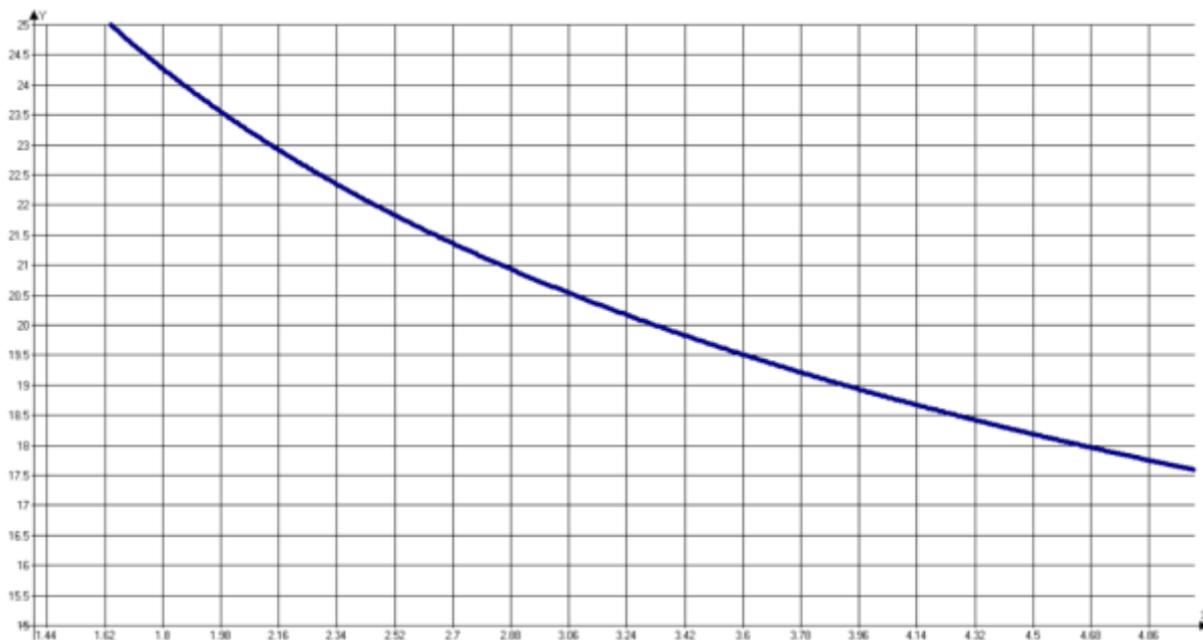


Рисунок 5. График зависимости производительности от отношения H₂/CO

4) график зависимости выбросов от отношения H₂/CO (рис. 6);

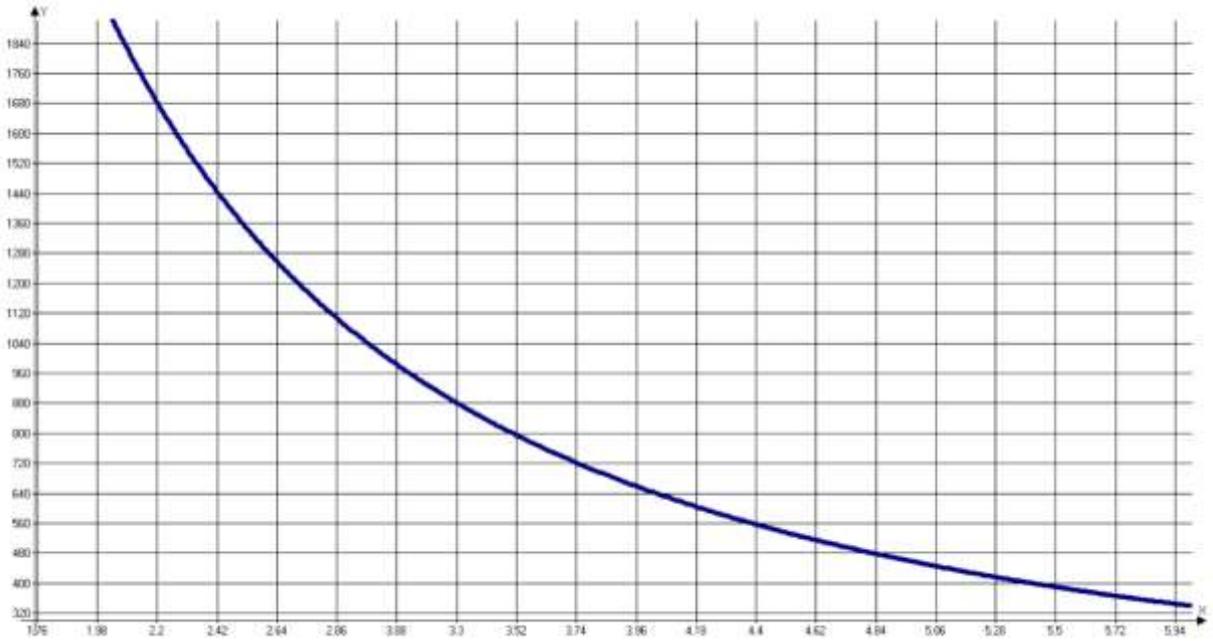
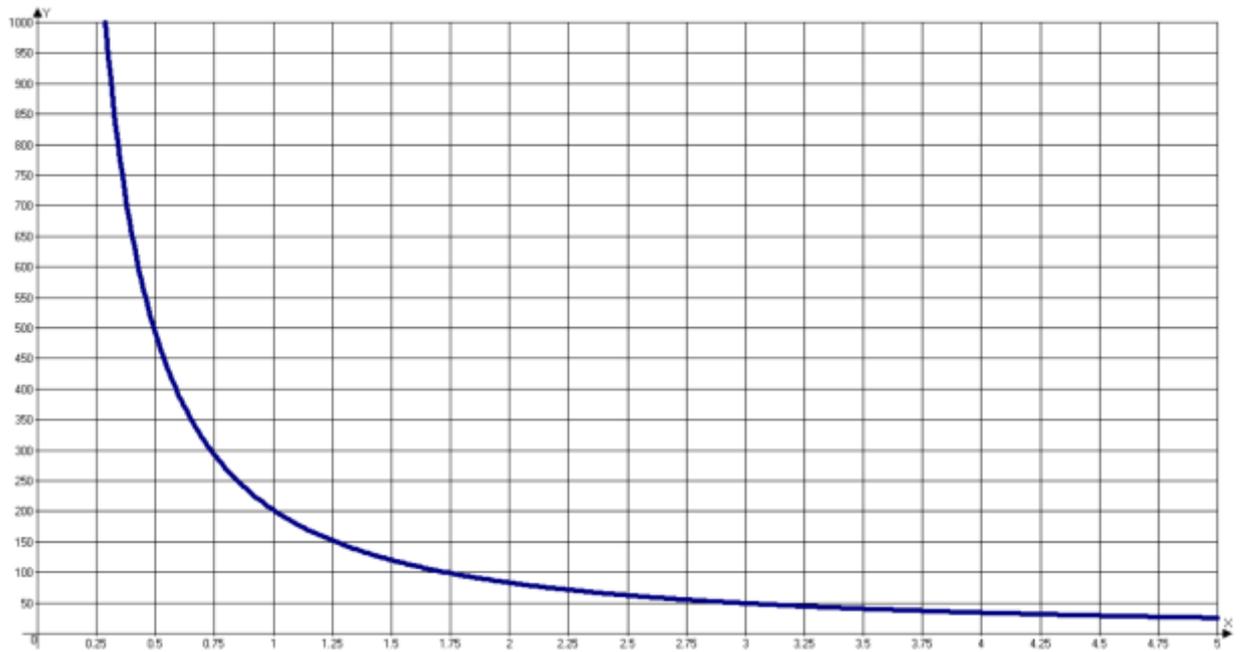


Рисунок 6. График зависимости выбросов от отношения H_2/CO

5) график мультипликативной функции зависимости выбросов к производительности установки.



ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя полученные результаты на рисунке 3 можно заметить, что с увеличением концентрации метана во входном газе уменьшается отношение водорода к оксиду углерода в выходном газе.

Рисунок 4 демонстрирует уменьшение отношения на выходе H_2/CO при увеличении температуры конверсии. Характер кривой близок к гиперболическому. При температуре $978\text{ }^\circ\text{C}$ отношение водорода к оксиду углерода составляет 2,1.

График зависимости на рисунке 5 показывает, что с увеличением отношения H_2/CO производительность установки синтез газа уменьшается.

Аппроксимируя полученный график выявляется функция зависимости, которая выглядит следующим образом:

$$V_c = 29,2 \cdot \left(\frac{n(H_2)}{n(CO)} \right)^{-0,315} \quad (2)$$

На рисунке 6 установлено, что с увеличением отношения водорода к оксиду углерода падает значения выбросов в атмосферу, что благоприятно сказывается на окружающую среду.

Аппроксимируя полученный график получим следующую зависимость:

$$Q = 5910,42 \cdot \left(\frac{n(H_2)}{n(CO)} \right)^{-1,59} \quad (3)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследования показали, что наилучший результат при конверсии метана достигается при содержании метана в природном газе около 94% и температуре конверсии $930\text{ }^\circ\text{C}$. Эти параметры обеспечивают высокую производительность установки.

2. Идеальное отношение H_2/CO составляет 3, что является оптимальным для большинства промышленных приложений, требующих высокого содержания водорода в синтез газе.

3. Моделирование в Aspen HYSYS подтвердило, что для минимизации выбросов в атмосферу и поддержания высокой производительности необходимо поддерживать отношение H_2/CO в диапазоне от 2,6 до 3 при температуре $930\text{ }^\circ\text{C}$. Этот диапазон обеспечивает лучшие экологические и производственные показатели.

4. При снижении отношения H_2/CO выбросы вредных веществ в атмосферу увеличиваются. Поэтому важна тщательная оптимизация процесса для уменьшения негативного воздействия на окружающую среду.

5. Полученные данные позволяют предложить оптимальные условия эксплуатации установок для получения синтез газа, что повышает эффективность производства и снижает экологические риски.

Таким образом, предложенные условия паровой конверсии метана (температура 930°C и отношение водорода к оксиду углерода от 2,6 до 3) являются наиболее эффективными как с точки зрения производительности, так и с точки зрения экологической безопасности.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1) GTL-технологии по переводу газа в жидкой состояние [Электронный ресурс]- Режим доступа: <https://www.uzgtl.com>. Дата обращения: 01.10.2024.

2) API 521, API 2510, NFPA 30, NFPA 325. . [Электронный ресурс]- Режим доступа: <https://paktechpoint.com/buildings-fire-protection-codes-standard/>. Дата обращения: 02.10.2024.

3) Официальный сайт компании по мониторингу качества атмосферного воздуха [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iqair.com>. Дата обращения: 04.10.2024.

4) Паровая конверсия метана. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/ngk/148023-konversiya/>. Дата обращения: 04.10.2024.

5) Официальный сайт компании Aspen HYSYS по созданию симуляторов химических процессов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.aspentech.com/en/products/engineering/aspen-hysys>. Дата обращения: 04.10.2024.