

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Ермолаева Ильи Сергеевича «Повышение эффективности процесса получения синтетических жидких углеводородов из природного газа», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

Актуальность темы диссертации.

Интерес к технологиям переработки не нефтяного углеродсодержащего сырья (уголь, природные газы, биомасса) постоянно возрастает. Это связано с истощением разведанных месторождений, ужесточением условий добычи, нестабильностью цен на нефть. ХТЛ («x-to-liquid») технологии, включающие переработку углеродсодержащего сырья в синтез-газ (СГ) и синтез Фишера–Тропша (СФТ), позволяют получать синтетические углеводороды, которые могут быть использованы в качестве компонентов моторных топлив либо в качестве сырья для нефтехимического синтеза.

Большое количество работ в области ХТЛ посвящено совершенствованию отдельных стадий производства. Однако системных исследований комплексной технологии с позиций представления переработки исходного сырья в синтетические углеводороды как химико-технологическая система (ХТС) с учётом возможного взаимного влияния отдельных стадий на функционирование системы в целом недостаточно для обоснования оптимальных вариантов энерготехнологической схемы в конкретных условиях обеспечения ХТС сырьём и энергией.

Выполнить полноценные исследования ресурсоёмкости различных вариантов ХТС можно на основе методов термодинамического анализа. Перспективным является эксергетический метод, учитывающий реальные условия протекания химико-технологического процесса, которые влияют на возможность получения максимальной полезной работы, и позволяет выявить степень приближения рассматриваемой системы к идеальной.

Работа Ермолаева И.С. является актуальной, т.к. она направлена на решение проблемы обоснования вариантов эффективных по сырью и энергии ХТС получения синтетических углеводородов из природного газа (ПГ).

Цель диссертационной работы.

Целью работы является проведение анализа процесса получения синтетических жидких углеводородов (СЖУ) и выработка путей повышения его эффективности для создания энергосберегающей технологии получения СЖУ из ПГ на основе высокопроизводительных кобальтовых катализаторов СФТ минуя стадию гидрокрекинга продуктов.

Для достижения поставленной цели автор поставил и решил ряд задач:

- изучить влияние технологических параметров конверсии метана на эффективность технологии и обосновать выбор оптимальных параметров;
- изучить влияние параметров СФТ на эффективность технологии и обосновать выбор оптимальных параметров;
- изучить влияние циркуляции CO_2 на эффективность технологии и обосновать выбор оптимальной схемы;

- изучить влияние различных способов утилизации отходящих газов СФТ на эффективность технологии и обосновать выбор оптимальных путей переработки данных газов;
- выполнить сравнительный анализ предложенных и исследованных ХТС и обосновать выбор максимально эффективной схемы получения СЖУ.

Научная новизна исследования и полученных результатов.

Впервые проведены детальные сравнительные энерготехнологические расчеты возможных схем получения СЖУ из ПГ с применением различных способов получения синтез-газа, а также варьированием технологическими параметрами различных блоков и способов переработки отходящих газов СФТ.

Показано, что незначительное изменение параметров СФТ приводит к существенным изменениям эффективности всей схемы. Наибольшее влияние оказывает увеличение глубины переработки СГ на стадии СФТ. При этом, оптимизация параметров СФТ является более действенным способом повышения эффективности, нежели оптимизация стадии получения СГ. Наибольшая эффективность технологии достигается с использованием схем на основе кислородной конверсии CH_4 при 2-х ступенчатом СФТ и циркуляции отходящих газов (ОГ) СФТ в реактор конверсии CH_4 .

Для схем на основе паровой конверсии CH_4 установлено, что наибольшая эффективность достигается при увеличении температуры конверсии CH_4 и снижении количества подаваемой воды. При этом применение циркуляции CO_2 , образовавшегося в результате конверсии CH_4 и горения топлива, еще более существенно увеличивает эффективность таких схем, приближая ее к эффективности схем на базе кислородной конверсии CH_4 . В качестве альтернативы циркуляции CO_2 можно применять переработку ОГ СФТ посредством циркуляции, что позволяет компенсировать потери углерода в виде CO_2 .

Практическая значимость работы.

Показаны и обоснованы пути повышения эффективности технологии получения СЖУ из ПГ. Полученные результаты являются практически значимыми, использованы при проектировании и строительстве установки компании ООО «ИНФРА Технологии» и могут быть применены для создания промышленной технологии получения СЖУ при проектировании заводов различной мощности.

Содержание диссертации и ее завершенность.

Диссертация изложена на 199 стр. машинописного текста, содержит 51 таблицу и 99 рисунков. Список цитируемой литературы включает 172 наименования. Имеется 6 приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, их достоверность, основные положения, выносимые на защиту, а также данные о структуре и объеме диссертационной работы.

В литературном обзоре приведены сведения о конверсии природного газа и СФТ, а также ряда вспомогательных процессов в технологии получения СЖУ из ПГ. Представлены основы термодинамического анализа химико-технологических систем. Рассмотрены современные технологические процессы, их аппаратное оформление и влияние основных параметров на сами процессы и на технологию в целом. Рассмотрены принципиальные технологиче-

ские схемы получения СЖУ из ПГ, а также вопросы, связанные с оптимизацией схем.

Методика проведения термодинамического анализа, выбор параметров моделей, принципы построения схем и расчета изложены во второй главе. Показано, что схема обладает большим числом прямых и обратных связей, как внешних, так и внутренних. Их изменение будет сильно сказываться на эффективности технологии в целом. Составлены материальные и тепловые балансы исследуемых ХТС и рассчитаны значения основных составляющих эксергии рассматриваемых потоков, как для схемы в целом, так и для укрупненных блоков и отдельных аппаратов. Проведен термодинамический анализ исследуемых ХТС, найдены наиболее эффективные схемы и пути повышения их эффективности

В третьей главе представлен термодинамический анализ технологии получения СЖУ на базе паровой конверсии CH_4 . По результатам анализа существующих технологий, в качестве базовой была выбрана схема с пароуглекислотной конверсией метана. Выполнено исследование и проанализированы полученные результаты по влиянию на эффективность ХТС: циркуляции CO_2 технологии на базе паровой конверсии; параметров стадии конверсии CH_4 ; параметров стадии синтеза ФТ; переработки отходящих газов синтеза ФТ.

В четвертой главе представлен термодинамический анализ технологии получения СЖУ на базе кислородной конверсии метана с использованием вариантов парциального окисления (схема РОХ) и автотермического риформинга (схема АТТ). Проанализировано влияние на эффективность технологии количества кислорода O_2 и переработки отходящих газов синтеза ФТ.

В пятой главе проведено сравнение оптимальных схем паровой и кислородной конверсии природного газа.

В шестой главе представлены сведения о практической реализации технологии по результатам проведенного в данной работе термодинамического анализа. Описаны две экспериментальные установки мощностью до 10 кг/сутки по СЖУ и одна демонстрационная установка мощностью 4100 т/год.

Диссертация написана автором самостоятельно, содержит новые научные результаты по взаимному влиянию отдельных стадий в процессе получения синтетических жидких углеводородов (СЖУ) и разработки энергосберегающей технологии получения СЖУ из ПГ. Работа обладает внутренним единством, последовательность изложения материала логична; научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, являются новыми и свидетельствуют о личном вкладе автора диссертации в науку о технологии переработки природного газа в синтетические жидкие углеводороды.

Заключение и выводы, сделанные диссертантом, соответствуют содержанию работы. Основные идеи, положения, результаты, выводы и содержание диссертации отражены в автореферате в полной мере.

Диссертация имеет прикладной характер. В приложениях приведены сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

В работе моделирование рассматриваемой ХТС осуществлялось посредством лицензионного программного обеспечения ASPEN HYSYS V8.8. Программный комплекс и полученные результаты базируются на непротиворечивых уравнениях материального и теплового баланса, классических уравнениях термодинамики. Полученные результаты согласованы с результатами аналогичных исследований, апробированы на научных форумах, основные положения диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях. Достоверность результатов, научных положений и выводов подтверждается сопоставлением с литературными данными и с предоставленными компанией ООО «ИНФРА технологии» (Москва) данными испытаний опытных и опытно-промышленных установок получения СЖУ.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Рекомендуется использовать: при подготовке исходных данных к проектированию производств СЖУ из природных газов («Газпром», «Роснефть», «Новатек», «Газпромнефть» и др.); при разработке конструкций реакторов конверсии природного газа для получения синтез-газа и водорода с учётом изменения содержания C_2-C_4 и окислителей; в учебном процессе ВУЗов по направлению «Химическая технология».

Замечания и рекомендации по работе:

1. Как итоговый результат в диссертации отмечается (стр. 171) «Благодаря принятым техническим решениям, установка получилась **компактной и капиталоемкой** с высокой эффективностью переработки. Все модули располагаются в габаритах морских контейнеров, что обеспечивает легкую транспортабельность установки». Можно ли считать, что полученный результат («...установка получилась...капиталоемкой...») является положительным техническим результатом работы?!
2. Термодинамические расчёты без кинетических не позволяют решать проблему интенсивности работы реакторов. Поэтому «компактность» любой установки, в т.ч. МАРК 100, определяется в значительной степени **интенсивностью** работы катализаторов, ад(аб)сорбентов, мембран, тепло- и массообменной аппаратуры.
3. Вывод № 6 по главе 3 (стр. 137) в части «...снижаются размеры всей стадии получения СГ на 32 %...» не подтверждён результатами, изложенными в главе 3.
4. В литературном обзоре (стр. 28) указано, что "Основными процессами для обработки больших потоков газа являются **абсорбционные** с использованием химических и физических абсорбентов и их комбинации [68]. Так, например, наиболее используемый метод это двухстадийная сероочистка. На первом этапе происходит гидрирование серосодержащих соединений, а на втором поглощение полученного сероводорода". На самом деле в производстве аммиака используют адсорбционные способы очистки от сернистых соединений.
5. В списке опубликованных работ по теме диссертации (автореферат) не указан номер патента. Вероятно, это патент (Ru) № 2014153237 «Способ получения синтетических жидких углеводородов из природного газа»; авторы

:Ермолаев В.С., Ермолаев Илья Сергеевич, Мордкович В.З. Опубликовано 2016.07.20

6. Замечания редакторского характера:

- Стр. 27 - "на рис. 7 показано **влияние** изменения равновесного состава СГ на выходе из риформера при изменении температуры конверсии".
- Стр.28 - Неудачно сокращение «кол-ва воды»;
- В диссертации автор использует разные единицы измерения давления: бар (с.25, 27), атм (с.27), МПа (с.47), что некорректно;
- Стр. 65 - Непонятна фраза «...энергию которых невозможно использовать, либо же теряется». Чем отличаются эти энергии?
- Стр. 75 - « 10) В расчетах **приятно**» ошибка;
- Стр. 168 - «Установка состоит из стадии очистки метана...».

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не умаляют впечатления от рассматриваемой диссертации, как о законченной работе, выполненной на современном научно-техническом уровне.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям.

Результаты, представленные в диссертации, отражены в 17 научных публикациях и апробированы на профильных конференциях, основные научные результаты опубликованы в 6 статьях в рецензируемых научных изданиях,

По тематике исследования, методам, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 05.17.07 – химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ в пунктах:

2. Технологии и схемы процессов переработки нефтяного сырья на компоненты. Конструктивное оформление технологий и основные показатели аппаратуры установок для переработки сырья. Технологии подготовки нефти к переработке. Энергосберегающие технологии. Технологии приготовления товарных нефтепродуктов;

4. Подготовка продуктов переработки нефти и газа для нефтехимического синтеза;

12. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Ермолаева Ильи Сергеевича на тему «Повышение эффективности процесса получения синтетических углеводородов из природного газа», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки по созданию энергосберегающей технологии получения СЖУ из ПГ, имеющие существенное значение для развития отрасли синтетического топлива страны на основе газохимии.

Диссертация Ермолаева Ильи Сергеевича на тему «Повышение эффективности процесса получения синтетических углеводородов из природного га-

