

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**на диссертационную работу Ермолаева Ильи Сергеевича на тему «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 диссертационной работы

На протяжении многих десятилетий основным сырьем топливной промышленности и основного органического синтеза является нефть. В связи с постепенным истощением нефтяных запасов, усложнением условий добычи внимание исследователей переключается на альтернативные виды углеродсодержащих полезных ископаемых. В частности, природного газа (ПГ), при переработке которого возможно получение традиционных продуктов нефтехимии, в том числе моторных топлив и масел. Также, актуальными являются задачи экологии и утилизации попутных нефтяных газов (ПНГ).

В ряду технологий получения жидких углеводородов важнейшее место занимает синтез Фишера-Тропша (ФТ). Многие лидеры в этой области, компании “Сасол” и “Шелл”, недавно ввели в эксплуатацию заводы синтетических углеводородов в Катаре (2006, 2011 гг) и Нигерии (2014 г). Поскольку известные в настоящее время процессы получения синтетических жидких углеводородов (СЖУ) по своим экономическим параметрам не отвечают практическим требованиям, и не могут обеспечить необходимую рентабельность превращения газообразных углеводородов в востребованные химические продукты, серьезные успехи в данном направлении крайне востребованы и актуальны.

### Цель диссертационной работы

Целью диссертационной работы Ермолаева И.С. было проведение анализа процесса получения СЖУ и выработка путей повышения его эффективности для создания энергосберегающей технологии прямого получения СЖУ из ПГ минуя стадию гидрокрекинга продуктов.

### Научная новизна исследования и полученных результатов

В существующих коммерческих технологиях, основным продуктом синтеза являются воски, которые требуют стадии их гидрокрекинга с получением жидких углеводородов. В работе же докторанта Ермолаева И.С. рассматривается процесс прямого получения СЖУ из ПГ на базе процесса синтеза ФТ, минуя стадию гидрокрекинга продуктов.

Автором впервые были проведены детальные сравнительные энерготехнологические расчеты возможных схем прямого получения СЖУ из ПГ с применением различных способов получения синтез-газа (СГ), варьированием технологических параметров различных блоков, способов переработки отходящих газов синтеза, утилизацией тепла, балансами по электроэнергии, пару, воде и воздуху.

### Практическая значимость работы

Полученные результаты проведенного анализа являются практически значимыми и могут быть использованы для создания новой энергоэффективной технологии получения СЖУ из ПГ и ПНГ через стадию получения СГ. Практическая значимость полученных диссертантом результатов подтверждена тем, что они были использованы при проектировании и строительстве опытно-промышленной установки получения СЖУ мощностью 4100 т/год компанией ООО «ИНФРА технологии».

### Содержание диссертационной работы и ее завершенность

Диссертационная работа Ермолаева И.С. построена традиционным способом. Она изложена на 199 стр. машинописного текста, содержит 51 таблицу, 99 рисунков и 6 приложений. Работа состоит из введения, обзора литературы, методики проведения расчета и анализа, трех глав, посвященных обсуждению полученных результатов, практической реализации технологии, основных выводов и списка цитируемой литературы, включающего 172 наименования.

Во введении обоснована актуальность работы, ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту, а также представлена апробация работы.

В первой главе рассмотрены общие сведения об основных и вспомогательных процессах технологии получения СЖУ из ПГ. В частности, рассмотрены процессы сероочистки и предриформинга перерабатываемого газа, конверсии метана в синтез-газ, очистки синтез-газа от диоксида углерода, регулирования соотношения  $H_2/CO$  в синтез-газе посредством извлечения  $H_2$  и конверсии  $CO$ , а также непосредственно синтеза ФТ. Рассмотрены различные технологические схемы получения СЖУ из ПГ и схемы проведения синтеза ФТ. Также в данной главе рассмотрены вопросы термодинамического анализа химико-технологических систем (ХТС).

В второй главе представлена методика проведения расчета и анализа. Показана последовательность построения моделей и проведения расчета. Приведены исходные данные и допущения, принятые при расчете. В качестве критериев оптимизации использовались такие параметры как углеродная эффективность и эксергетический КПД процесса, а также балансы по производству и потреблению водяного пара и электроэнергии.

В третьей главе описаны результаты исследования ХТС на базе паровых способов конверсии метана. Представлены и описаны технологические схемы исследуемых процессов и материально- тепловые балансы. Проанализировано влияние основных параметров стадии получения синтез-газа и стадии синтеза ФТ на технологию. Рассмотрено применение различных циркуляционных схем переработки отходящих газов синтеза. Приведены экспериментальные данные по изучению влияния соотношения  $H_2/CO$  в синтез-газе на параметры синтеза и эффективность переработки ПГ в СЖУ. Сделаны выводы об оптимальной схеме получения СЖУ из ПГ на базе паровых способов конверсии метана.

В четвертой главе приведены результаты исследования ХТС на базе кислородных способов конверсии метана и сделаны выводы об оптимальной схеме получения СЖУ из ПГ на базе кислородных способов конверсии метана.

В пятой главе проведено сравнение ХТС на базе паровой и кислородной конверсии метана. Представлены основные преимущества и недостатки рассматриваемых схем и дальнейшие пути повышения эффективности.

В шестой главе показана практическая реализация технологии. Представлено описание построенной опытно-промышленной установки получения СЖУ из ПГ, в основу которой были положены результаты проведенного в данной работе анализа. Также приведено описание опытной установки получения СЖУ из метана, на которой были получены исходные данные для проведения анализа.

Выводы, сделанные диссертантом, соответствуют содержанию работы. Диссертация имеет прикладной характер.

#### Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Полученные результаты базируются на непротиворечивых уравнениях материального и теплового баланса, а также классических уравнениях термодинамики. Моделирование процессов проводилось в лицензионном программном комплексе Aspen Hysys. Достоверность также подтверждается сопоставлением с литературными данными и с данными испытаний опытно-промышленной установки получения СЖУ предоставленными ООО «ИНФРА технологии».

#### Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные результаты проведенного анализа могут быть использованы при обосновании выбора промышленной схемы получения СЖУ из ПГ, а приемы оптимизации технологического процесса, использованные автором, могут быть применены к другим химико-технологическим процессам.

#### Замечания и рекомендации к работе:

1. В диссертации И.С. Ермолаева во второй главе не приведены обоснования выбора параметров допущений при построении модели: перепадов давления в реакторах, теплообменниках, температура отходящих дымовых газов и т.д. Необходимы ссылки на литературные источники или подтверждающие расчеты по стандартным методикам. Выбранные значения потребления пара и электроэнергии блоком МДЭА-очистки, а также состав водородсодержащего газа после мембранный очистки также не обоснованы.

2. При рассмотрении влияния параметров блока синтеза СЖУ в качестве базовой была рассмотрена схема SDR МДЭА, в которой предполагается извлечение CO<sub>2</sub> из дымовых газов. Несмотря на то, что при этом наблюдается максимальная эффективность, привлекательной нахожу схему SDR ГИБРИД, по причине более простого аппаратурного оформления и, вероятно, более дешевой стоимости. Считаю целесообразным про-

вести исследование влияния параметров блока синтеза СЖУ на основе технологии SDR ГИБРИД как базовой.

3. В диссертации при рассмотрении технологии на базе паровой конверсии метана приводятся данные по потреблению и производству технологического пара и электроэнергии, при этом производство пара всегда меньше его потребления, а избыток пара используется для производства электроэнергии. Таким образом в сухом остатке установка не производит и не потребляет технологический пар, а значимым показателем для установки является производство или потребление извне электроэнергии. В связи с этим считаю целесообразным поиск оптимального технологического решения, направленного на минимизацию потребления установкой ПГ, как сырья и топлива, при нулевом балансе по электроэнергии.

4. Достижение высокой эффективности процесса в большинстве случаев связано с повышением капитальной стоимости строительства. Поэтому считаю разумным проводить оптимизационные энергетические исследования совместно с расчетами капитальных затрат на строительство установки. При такой форме оптимизации критериями экономической эффективности могут служить срок окупаемости и чистый дисконтируемый доход.

5. Рисунки к главе 3.3 очень запутаны:

- В названии говорится о влиянии температуры, а на оси абсцисс показана циркуляция CO<sub>2</sub>;
- Наблюдается нагромождение данных на одном графике: эксергия, остаточный метан, отношение H<sub>2</sub>O/CH<sub>4</sub>, циркуляция CO<sub>2</sub>, температура.

Сделанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные результаты диссертации. Замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором при подготовке доклада, представляемого к защите. Работа является законченной и выполнена автором самостоятельно на современном научно-техническом уровне.

#### Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям

Большая часть результатов отражена в публикациях и апробирована на профильных конференциях. На основе полученных результатов опубликованы 6 статей в рецензируемых научных журналах, тезисы 10 докладов и получен 1 патент на изобретение.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает основное содержание диссертации и достигнутые результаты.

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 пе-

реработки сырья. Технологии подготовки нефти к переработке. Энергосберегающие технологии. Технологии приготовления товарных нефтепродуктов;

№ 3 - Катализаторы и каталитические процессы переработки углеводородного сырья;

№ 11 - Научные основы и закономерности физико-химической технологии и синтеза специальных продуктов. Новые технологии производства специальных продуктов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Ермолаева Ильи Сергеевича на тему «Повышение эффективности процесса получения синтетических углеводородов из природного газа», представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, выполненную самостоятельно на высоком научном уровне, на актуальную тему, в которой получены новые и важные сведения о создании технологии получения синтетических жидких углеводородов из природного газа.

Соискатель продемонстрировал умение проводить качественное исследование химико-технологических систем, а также знание и умение использовать расчетные методы.

Научные положения и выводы, сформулированные автором, не вызывают сомнений. Результаты диссертационной работы оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью. Большая часть результатов отражена в публикациях и апробирована на профильных конференциях.

Диссертация Ермолаева Ильи Сергеевича на тему «Повышение эффективности процесса получения синтетических углеводородов из природного газа» соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ермолаев Илья Сергеевич **заслуживает** присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Кандидат химических наук,  
главный специалист службы исследований и разработок  
ООО «Оргнефтехим-Холдинг»



Вахрушин Павел Александрович

«30 » мая 2019 г.

Подпись Вахрушина Павла Александровича  
Заверяю начальник отдела кадров

  
М.П.

Шендря Диана Ильинична



123557, Россия, г. Москва, Магистральный 1-й тупик, д.5а, помещение 35, Телефон: +7 (499) 372-52-30  
e-mail: [info@onh-holding.ru](mailto:info@onh-holding.ru); [vahrushin\\_pa@onh-holding.ru](mailto:vahrushin_pa@onh-holding.ru)