

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Лугвищука Дмитрия Сергеевича «Парциальное окисление природного газа как способ получения углерода с луковичной структурой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

### *Актуальность темы диссертационной работы*

Одним из магистральных направлений в области переработки природного и попутного нефтяного газов в настоящее время считают её эффективное увеличение, сопряженное с сокращением поступления углекислого газа в атмосферу и с обеспечением глубины и трансформации этих газов в продукты повышенной стоимости на базе новых технологий, обеспечивающих экономическую привлекательность названной трансформации. На практике в этом плане наиболее распространены одностадийная конверсия (пиролиз) указанных газов и получение широкой гаммы в основном органической продукции с использованием образующегося синтез-газа ( $H_2+CO$ ). Среди способов получения последнего парциальное окисление  $CH_4$  (РОХ – partial oxidation of methane) привлекает простотой аппаратного оформления и отсутствием необходимости использования катализатора, хотя имеет недостаток, обусловленный образованием аморфной сажи по причине побочных реакций. Однако он может быть превращен в достоинство, если в процессе РОХ обеспечить условия образования углерода с луковичной структурой (УЛС) – дефицитного материала с уникальными свойствами. Известные приемы лабораторного получения УЛС сложно или невозможно масштабировать, что определяет актуальность поставленной в

работе Лугвищук Д.С. основной цели – разработки процесса РОХ, обуславливающего возможность одновременного получения синтез-газа и УЛС с задаваемым стабильным качеством и регулируемым количественным выходом.

### *Цель диссертационной работы*

Цель диссертационной работы Лугвищука Д.С. состоит в разработке и исследовании процесса РОХ ПГ кислородом для одновременного получения синтез-газа и углерода с луковичной структурой, а также исследование физико-химических и прикладных свойств углерода с луковичной структурой. Цель работы и применяемые методы исследования соответствуют паспорту специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

### *Научная новизна исследования и полученных результатов*

Полученные в работе экспериментальные результаты, а также сформулированные на их основе заключения и выводы оригинальны, предложены впервые, обладают несомненной научной новизной, теоретической и практической значимостью. Разработанный процесс обеспечивает возможность существенного сокращения затрат на производство УЛС с заданным в определенных рамках ансамблем физико-химических показателей и достижения его выхода, близкого 63,5 г/ч на 1 н. м<sup>3</sup>/ч природного газа. Достоверность и обоснованность названных результатов, заключений и выводов обусловлены инженерным использованием квалифицированно созданной и оснащенной экспериментальной установки стендового масштаба наряду с надежным парком современной аппаратуры для физико-химического анализа и средств КИП и А.

### *Практическая значимость работы*

Из результатов исследования, представленных автором, научное значение имеют данные, представляющие собой информацию о закономерностях реализации процесса РОХ природного газа техническим кислородом, обеспечивающих возможность его эффективной переработки в стабильном режиме с параллельным получением двух товарных продуктов – синтез-газа и УЛС. С научной точки зрения значительную ценность представляет также выявленное в работе влияние значений ключевых параметров реализуемой технологии на выход и технические (в том числе физико-химические) характеристики её целевых продуктов.

Практическая важность выполненного исследования является более многосторонней, так как наряду с предложением разработанной технологии автором достаточно детально оценена эффективность использования полученных образцов УЛС и продуктов их модифицирования отжигом в воздушной атмосфере в решении достаточно широкого круга весьма важных прикладных задач.

### *Содержание диссертации и ее завершенность*

Диссертация Лугвищука Д.С., изложенная на 171 странице и включающая 68 рисунков, 14 таблиц и список литературы из 205 позиций, включает введение, литературный обзор, экспериментальную часть, полученные результаты и их обсуждение, а также заключение и выводы.

Введение отражает проблематику, востребованность и актуальность предмета исследования, состояние его освоенности, формулировку цели и задач, научной новизны, теоретической и практической значимости, вопросов использованной методологии и экспериментальных приемов, позиций выносимых на защиту положений и достоверности полученных результатов.

Раздел (часть) 1 диссертации, названный в её автореферате главой 1, содержит аналитический обзор опубликованных сведений о наиболее значимых способах производства на базе природного и попутного нефтяного газов синтез-газа, термодинамических особенностях, достоинствах и

недостатках процессов РОХ и родственных им технологий наряду с информацией о конструкции отдельных аппаратурных узлов при переработке природного газа путем РОХ. Здесь же изложен и обсужден ряд данных о приемах получения УЛС и некоторых его свойствах. Весьма тщательно и обстоятельно выполненный критический анализ приведенной информации завершен квалифицированной формулировкой цели и задач диссертационного исследования.

Вторая часть работы, обозначенная в автореферате главой 2, является её методическим разделом, в котором охарактеризованы использованные газы, экспериментальная установка исследования процесса РОХ природного газа, методики её эксплуатации при одновременном получении синтез-газа заданного состава и УЛС, задействованные в работе довольно многочисленные аппаратурные аналитические средства и методики. Этот раздел дает достаточно четкое представление о материально-техническом обеспечении выполненного эксперимента, средствах контроля его управлением и оценки качества получаемой продукции.

Третий раздел диссертации, изложенный семью подразделами, но фигурирующий в автореферате в качестве главы 3 и представленный в нем четырьмя этапами последовательного освещения материала, содержит результаты исследования процесса РОХ природного газа при использовании технического кислорода, полученного УЛС и возможностей его практического использования.

Результатами исследований, выполненных в работе и ориентированных на совершенствование эффективности переработки природного газа, заложены технологические основы процесса его управляемого стабильного парциального окисления техническим кислородом с получением синтез-газа и УЛС, установлен ансамбль технических характеристик последнего и оценен ряд направлений его прикладного использования, что четко соответствует сформулированной во введении диссертации цели работы и сопряженным с ней задачам.

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

Как идею работы, охарактеризованную во введении диссертации, так и её исполнение путем создания стендовой экспериментальной установки, её отладки, выполнения на ней ансамбля исследований, ориентированных на разработку рациональных условий реализации процесса РОХ природного газа, обеспечивающих одновременное получение синтез-газа и УЛС, и изучения характеристик и оценки области прикладного использования последнего единым стержнем объединяет жесткая направленность технологической цепи «сырьё-переработка-продукция» на производство сравнительно новой разновидности углерода, что четко отражает перечень положений (результатов), вынесенных на защиту.

*Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации*

Очевидный интерес к производству новых эффективных углеродных материалов при переработке природного и попутного нефтяного газов, изучению их свойств и оценке рациональности использования в различных областях науки и техники применительно к производству и применению УЛС дает основание полагать, что результаты и выводы диссертационного исследования Лугвищука Д.С., представляющего собой одну из пионерских разработок в данной области, являются, по мнению оппонента, достаточно фундаментальной основой для дальнейшего углубленного изучения разработанной технологии, особенно в части аппаратного оформления её реакторного узла, и сферы прикладного использования названного целевого продукта.

*Замечания и рекомендации к работе*

1. На стр. 91 работы отмечено, что «...керамическое исполнение сопла оказалось не технологичным решением...», однако причины такой «не технологичности» четко не пояснены;
2. Насколько достоверно и значимо для характеристики УЛС заключение о степени гомогенизации испытуемого образца, сделанное на основании данных ДТА? – стр. 108;
3. Нет пояснения причин отсутствия замкнутости петли гистерезиса рис. 3.25 практически во всем интервале относительных давлений и разнохарактерного поведения адсорбционной и десорбционной ветвей изотермы в областях менее и более  $P/P_0 = 0,85$ ; с чем связано наличие этой специфичной точки пересечения названных ветвей?;
4. Чем руководствуется автор, необоснованно используя термин «абсорбируемое вещество» применительно к фиксации твердой поверхностью паров органических соединений? – стр. 141, 142.
5. В тексте диссертации встречается достаточно большое количество не устраненных автором различных орфографических ошибок, невнятных словосочетаний, и повторяющихся слов, например, «Преимущества этого процесса сравнению...» - стр. 16 или «...от положения сопла в камере горения сопла.» - стр. 83.

Высказанные замечания не снижают общей ценности обсуждаемой работы и не влияют на главные результаты диссертации. Замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены диссертантом. Работа является законченной и выполнена автором самостоятельно на высоком научно-техническом уровне.

*Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям*

Результаты, представленные в диссертации, отражены в 13 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:

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

7. Физико-химические методы исследования твердых горючих ископаемых с целью повышения качества топлив и нетопливных продуктов на базе углей разной степени углефикации, а также сланцев, торфов, тяжелых нефтяных остатков.

10. Электродные технологии и технологии производства углеродных материалов различного назначения, технический углерод. Новые виды сырьевых углеродистых материалов.

11. Научные основы и закономерности физико-химической технологии и синтеза специальных продуктов. Новые технологии производства специальных продуктов.

### *ЗАКЛЮЧЕНИЕ*

Диссертация Лугвищука Дмитрия Сергеевича на тему «Парциальное окисление природного газа как способ получения углерода с луковичной структурой» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи парциального окисления природного газа техническим кислородом с обеспечением одновременного производства синтез-газа и углерода луковичной структуры.

Диссертация Лугвищука Дмитрия Сергеевича на тему «Парциальное окисление природного газа как способ получения углерода с луковичной структурой» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к работам на соискание степени кандидата наук, а ее автор Лугвищук Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Официальный оппонент,  
профессор кафедры промышленной  
экологии Российского химико-технологического  
университета имени Д.И. Менделеева,

д.т.н., профессор  (Клушин В.Н.)

«12» июня 2021 г.

Клушин Виталий Николаевич

Специальность ученой степени:

11.00.11 – Охрана окружающей среды и рациональное использование  
природных ресурсов

125047, ГСП, г. Москва, А-47, Миусская пл., д. 9

Рабочий телефон: +7 (499) 978-89-01

E-mail: [klouch@muctr.ru](mailto:klouch@muctr.ru), [DVK1971april@mail.ru](mailto:DVK1971april@mail.ru)

Подпись   
**УДОСТОВЕРЕН**  
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
УТУ ИМ. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА



