

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЕРХТВЕРДЫХ И НОВЫХ УГЛЕРОДНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ

**ПРОТОКОЛ № 2021-03-04**

Ученого совета

от 4 марта 2021 г.

Состав Ученого Совета ФГБНУ ТИСНУМ утвержден решением собрания научных сотрудников и инженерно-технических работников ТИСНУМ от 15.11.2019 г. в количестве 12 человек.

Председатель: Бланк В.Д.

Заместитель председателя: Терентьев С.А.

Секретарь: Батов Д.В.

Присутствовали члены Ученого совета:

Усеинов А.С.      Буга С.Г.      Кульницкий Б.А.      Мордкович В.З.

Поляков С.Н.      Попов М.Ю.      Решетов В.Н.      Сорокин Б.П.

Сорокин П.Б.

**Повестка дня**

1. Предварительное рассмотрение диссертационной работы научного сотрудника отдела новых химических технологий и наноматериалов (НХТиНМ) федерального государственного бюджетного научного учреждения «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов» Лугвищука Дмитрия Сергеевича на тему: «Парциальное окисление природного газа как способ получения углерода с луковичной структурой».

**СЛУШАЛИ**

Сообщение Лугвищука Д.С., изложившего основное содержание своей диссертационной работы.

Тема диссертационной работы Лугвищука Д.С. утверждена на заседании Ученого совета федерального государственного бюджетного научного учреждения «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов» 19 марта 2020 г.(протокол № 2020-03-19).

Лугвищуку Д.С. были заданы следующие вопросы:

(д.ф.-м.н., Попов М.Ю.): В работе вы упомянули, при исследовании образца углерода с луковичной структурой методом спектроскопии комбинационного рассеяния в условиях высокого давления, была обнаружена новая мода при  $1550\text{ см}^{-1}$  при этом вы использовали зеленый лазер, для подтверждения положения данной моды следовало бы исследовать образец углерода УФ лазером, были ли проведены соответствующие исследования?

(д.ф.-м.н., Буга С.Г.): Почему в вашей работе вы сделали акцент на парциальном окислении как способе получения углерода с луковичной структурой, а не пиролизе?

(к.х.н. Митберг Э.Б.): Каковы преимущества углерода с луковичной структурой по сравнению с техническим углеродом? Вы использовали данный материал в качестве анодного в натрий ионных батареях, по сравнению с техническим углеродом, насколько данный материал показывает большую обратимую электрическую емкость?

(к.х.н. Соломоник И.Г.): Каким образом вы учитывали гетерогенный фактор при разработке камеры горения и сопла реактора парциального окисления? Почему была для сопла с эффективным водяным охлаждением была выбрана сталь марки ХН45Ю?

На все вопросы диссертантом были даны исчерпывающие ответы.

В обсуждении приняли участие: д.ф.-м.н., Бланк В.Д., д.х.н., Мордкович В.З., к.т.н., Батов Д.В., д.ф.-м.н., Буга С.Г., д.ф.-м.н., Попов М.Ю., к.т.н., Перфилов С.А., к.т.н., Терентьев С.А., д.ф.-м.н., Сорокин Б.П., к.х.н. Соломоник И.Г.,

к.х.н. Урванов С.А., к.х.н. Митберг Э.Б., к.х.н. Синева Л.В., к.т.н. Караева А.Р.

**Постановили:**

1. По итогам обсуждения на Ученом Совете рекомендовать к защите диссертационную работу Лугвищука Дмитрия Сергеевича на тему: «Парциальное окисление природного газа как способ получения углерода с луковичной структурой» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».
2. Принять Заключение Ученого Совета ФГБНУ ТИСНУМ по диссертационной работе Лугвищука Дмитрия Сергеевича на тему: «Парциальное окисление природного газа как способ получения углерода с луковичной структурой» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».

**Результаты голосования:**

за - 12, против - 0, воздержались – 0.

Председатель Ученого совета



В.Д. Бланк

Секретарь Ученого совета



Д.В. Батов

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Директор ФГБНУ ТИСНУМ  
\_\_\_\_\_ Терентьев С.А.  
\_\_\_\_\_ 2021 г.



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**федерального государственного бюджетного научного учреждения**  
**«Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных**  
**материалов» (ФГБНУ ТИСНУМ)**

Диссертация на тему: «Парциальное окисления природного газа как способ получения углерода с луковичной структурой» по научной специальности 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ, по техническим наукам, выполнена в Отделе новых химических технологий и наноматериалов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов».

В процессе подготовки диссертации Лугвищук Дмитрий Сергеевич, «29» апреля 1993 года рождения, проходил обучение в очной аспирантуре с 31.08.2016 по 31.08.2020, а также работал младшим научным сотрудником в отделе новых химических технологий и наноматериалов федерального государственного бюджетного научного учреждения «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов (справка об обучении (сроках обучения)) выдано ФГБНУ ТИСНУМ и РХТУ им. Д.И. Менделеева в 2020 и 2021 годах.

Научный руководитель: доктор химических наук, заведующий отделом новых химических технологий и наноматериалов, Мордкович Владимир Зальманович, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов».

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Парциальное окисления природного газа как способ получения углерода с луковичной структурой» принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что проблема переработки природного газа в Российской Федерации является одной из ключевых для стратегического развития страны. Несмотря на то, что по показателю добычи природного газа наша страна занимает одну из

лидирующих позиций, степень химической переработки продолжает сокращаться. В последние годы ведется поиск технологий, которые могли бы поднять уровень переработки природного газа в ценные химические продукты (метанол или синтетическая нефть) или полупродукты (синтез-газ), при этом обеспечение безотходного производства также приобретает важное значение. В работе Лугвищука Д.С. впервые показана и экспериментально подтверждена возможность одновременного получения синтез-газа и углерода с луковичной структурой (УЛС) в процессе некаталитического парциального окисления природного газа кислородом.

В последние годы также наблюдается бурное развитие химической науки о материалах, в связи с этим появляется повышенный интерес к синтезу новых материалов и их исследованию. Среди широкого спектра графитированных углеродных материалов УЛС представляет особый интерес благодаря своей квазисферической концентрической укладке графитовых слоев и уникальным набором свойств. На сегодня существует большое количество способов синтеза УЛС, среди них наибольшей популярностью пользуются: термический отжиг наноалмазов, электродуговой синтез, каталитическое осаждение из газовой фазы и пиролиз углеводородного сырья. При этом достигнуть высокой производительности в этих методах синтеза зачастую не удается. В работе Лугвищука Д.С. исследован высокопроизводительный способ получения УЛС в процессе парциального окисления (РОХ – partial oxidation) природного газа (ПГ) кислородом, с производительностью в час до 64 г с 1 н.м<sup>3</sup>/ч ПГ, одновременно с стабильным получением синтез-газа. Подробное исследование физико-химических свойств УЛС, синтезированного в процессе РОХ, а также реализованные автором возможности прикладного применения данного материала, несомненно позволяют дополнить и общую информацию об этом углеродном материале.

Разработка новых технологий и процессов, с помощью которых возможна экономически эффективная переработка природного газа в продукты с высокой добавленной стоимостью, сейчас особенно востребована, поэтому актуальность темы работы Д.С. Лугвищука не вызывает сомнений.

Научная новизна заключается в следующем:

В работе впервые предложен и экспериментально подтвержден способ получения УЛС в процессе парциального окисления природного газа кислородом. Показано, что процесс некаталитического парциального окисления можно модернизировать, и в результате, дополнительно к синтез-газу, получать ценный продукт, УЛС.

Впервые получено покрытие на основе суспензии УЛС/гексан, которое находится в сверхгидрофобном состоянии с краевым углом смачивания в  $152^\circ$ . Исследованы способы нанесения таких покрытий и определен концентрационный предел частиц УЛС в гексане, который составляет 2 - 3 мг/мл.

В работе впервые исследован высокопроизводительный способ получения углерода с луковичной структурой в процессе РОХ ПГ кислородом. Определены и экспериментально подтверждены основные технические и технологические решения, которые способствуют синтезу углерода с луковичной структурой. Показана возможность регулировки степени графитизации полученного углерода с луковичной структурой.

Впервые проведено исследование УЛС в условиях высокого давления (до 48 ГПа) с применением пластических деформаций в алмазных наковальнях. Показано, что УЛС претерпевает частично обратимый фазовый переход после обработки давлением, однако, квази-сферическая концентрическая структура графитовых слоев в образце нанолуковиц сохраняется.

Практическая ценность работы состоит в том, что был представлен способ получения УЛС в процессе РОХ ПГ техническим кислородом, данный метод позволяет значительно сократить затраты на синтез УЛС. Была разработана установка с производительностью по синтез-газу до  $8 \text{ н.м}^3/\text{ч}$  на которой была продемонстрирована что, регулировка условий ведения процесса РОХ позволяет получать УЛС с конкретным набором химико-физических свойств, что может быть использовано для синтеза УЛС под конкретные прикладные задачи. Продемонстрирована возможность использования УЛС в натрий ионный батареях, а также в создании покрытий, находящихся в сверхгидрофобном состоянии. Результаты работы могут быть использованы для разработки и проектирования опытно-промышленных установок переработки ПГ в синтез-газ и УЛС как ценного продукта с высокой добавленной стоимостью.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 6 публикациях в рецензируемых изданиях, из них 6 статей в журналах индексируемых в международных системах цитирования Web of Science и Scopus.

Публикации, в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. **Lugvishchuk D.S.**, Kulchakovskiy P.I., Mitberg E.B., Mordkovich V.Z. Soot Formation in the Methane Partial Oxidation Process under Conditions of Partial Saturation with Water Vapor // *Pet. Chem.* — 2018. — Vol. 58. — № 5. — P. 427–433.

2. Mordkovich V.Z., **Lugvishchuk D.S.**, Mitberg E.B., Kulnitskiy B.A., et al. Formation of concentric shell carbon by homogeneous partial oxidation of methane // *Chem. Phys. Lett.* — 2018. — Vol. 713. — P. 242–246.

3. **Lugvishchuk D.S.**, Mordkovich V.Z., Mitberg E.B., Karaeva A.R., et al. Natural gas partial oxidation process as a way to synthesize onion-like carbon // *Fullerenes, Nanotub. Carbon Nanostructures.* — 2020. — Vol. 28. — № 4. — P. 250–255.

4. **Lugvishchuk D.S.**, Mitberg E.B., Kulnitskiy B.A., Skryleva E.A., et al. Irreversible high pressure phase transformation of onion-like carbon due to shell confinement // *Diam. Relat. Mater.* — 2020. — Vol. 107. — P. 107908.

5. Eseev M.K., Kapustin S.N., **Lugvishchuk D.S.**, Mordkovich V.Z., et al. A Superhydrophobic Coating Based on Onion-Like Carbon Nanoparticles // *Tech. Phys. Lett.* — 2020. — Vol. 46. — № 11. — P. 1120–1123.

6. Kapustin S.N., Lyah N.L., **Lugvishchuk D.S.** Hydrophobic surface based on carbon nano-onions // *AIP Conference Proceedings.* — 2020. — Vol. 2313. — № 1. — P. 060034.

Результаты диссертации представлены на 7 международных и всероссийских конференциях.

Публичные доклады на международных научных мероприятиях:

1. **Лугвищук Д.С.**, Митберг Э.Б., Мордкович В.З. Образование сажи в процессе высокотемпературного парциального окисления метана в присутствии паров воды // XII Международная конференция молодых ученых по нефтехимии (Звенигород, 17-21 сентября): сборник тезисов. — 2018. — С. 558-561.

2. **Lugvishchuk D.S.**, Mitberg E.B., Mordkovich V.Z. Giant Concentric Shell Carbon as a Valuable By-product of Homogeneous Partial Oxidation of Natural Gas // III International Workshop on Electromagnetic Properties of Novel Materials (Москва, 18-20 декабря): сборник тезисов. — 2018 — P. 133.

3. **Lugvishchuk D.S.**, Mitberg E.B., Mordkovich V.Z. Natural gas partial oxidation process as a way to synthesize graphitized carbon soot // 14th International Conference «Advanced Carbon Nanostructures» (ACNS'2019) (Санкт-Петербург 1-5 июля): сборник тезисов. — 2019. — P. 146.

4. **Lugvishchuk D.S.**, Mitberg E.B., Karaeva A.R., Kirichenko A.N., Kulnitskiy B.A., Mordkovich V.Z. Characterization of graphitized carbon formed as a byproduct of partial oxidation of natural gas // 16-1-5): . — 2019. — P. 148.

14th International Conference «Advanced Carbon Nanostructures» (ACNS'2019) (Санкт-Петербург 1-5 июля): сборник тезисов.—2019. —Р. 148.

5. Лугвищук Д.С., Митберг Э.Б., Караева А.Р., Мордкович В.З. Исследование условий синтеза углеродных графитированных онионных структур в рамках процесса парциального окисления природного газа техническим кислородом// «Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение» (GRS-2019) (Тамбов, 13-15 ноября): сборник тезисов.— 2019. — С. 153-154.

6. Чуркин В.Д., Лугвищук Д.С., Попов М.Ю., Кульницкий Б.А., Скрылева Е.А. Исследование стабильности онионоподобного углерода при высоких давлениях // Двенадцатая Международная конференция «Углерод : фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология» (Москва, г. Троицк 27-28 октября):сборник тезисов.— 2020. — С.212.

Публичные доклады на всероссийских научных мероприятиях:

1. Лугвищук Д.С., Митберг Э.Б., Мордкович В.З. Особенности процесса высокотемпературного парциального окисления метана // Труды 61-й Всероссийской научной конференции МФТИ (Москва, г. Троицк, 19–25 ноября): сборник тезисов «Электроника, фотоника и молекулярная физика». — 2018. — С. 46-48.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 05.17.07 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ» в части 4, 7, 10 и 11.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Лугвищука Дмитрия Сергеевича является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Лугвищуку Дмитрию Сергеевичу; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Парциальное



окисления природного газа как способ получения углерода с луковичной структурой» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.07 – «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ».

Диссертация рассмотрена на заседании ученого совета Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов», состоявшемся «04» марта 2021 года, протокол № 2021-03-04. В обсуждении приняли участие: д.ф.-м.н., Бланк В.Д., д.х.н., Мордкович В.З., к.т.н., Батов Д.В., д.ф.-м.н., Буга С.Г., д.ф.-м.н., Попов М.Ю., к.т.н., Перфилов С.А., к.т.н., Терентьев С.А., д.ф.-м.н., Сорокин Б.П., к.х.н. Соломоник И.Г., к.х.н. Урванов С.А., к.х.н. Митберг Э.Б., к.х.н. Синева Л.В., к.т.н. Караева А.Р.

Принимало участие в голосовании 12 человек. Результаты голосования: «За» - 12 человек, «Против» - 0 человек, воздержались - 0 человек, протокол № 2021-03-04 от «04» марта 2021 г.

«04» марта 2021 г.

\_\_\_\_\_

(подп



\_\_\_\_\_

шего заключение)

(ученый секретарь, к.т.н., Д.В. Батов)

*фамилия, имя, отчество - при наличии, ученая степень,  
ученое звание, наименование структурного подразделения,  
должность*