УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор – проректор по научной работе
Федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Ро[illegible]т дружбы народов
атриса Лумумбы»,
д.м.н., профессор

Костин А.А.
октября 2026 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**
**на диссертационную работу Тарасенко Михаила Александровича**
«Научно-технологические основы формирования мембранных катализаторов для процессов конверсии метана»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата химических наук по специальности
2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

**Актуальность темы диссертационной работы**

Обусловлена необходимостью разработки компактных и энергоэффективных установок для переработки природного газа с уменьшением габаритов реакторов и числа технологических стадий. Перспективным решением является применение пористых мембранных катализаторов, позволяющих управлять массопереносом и сочетать экзо- и эндотермические реакции. Для проектирования и масштабирования таких реакторов необходимы достоверные кинетические модели, учитывающие механизмы реакций в поровом пространстве катализатора. Особый интерес представляет углекислотная конверсия метана, позволяющая использовать парниковые газы для получения синтез-газа. Сочетание этого эндотермического процесса с экзотермическими реакциями окисления метана кислородом открывает возможности создания компактных установок, работающих в автотермических условиях.

**Новизна и практическая значимость проведенных исследований и полученных результатов**

Впервые было исследовано сопряжение процессов углекислотной конверсии метана и его окисления молекулярным кислородом в реакторе с пористым мембранным катализатором. Установлены закономерности тепло- и массопереноса, а также выявлено явление температурной инверсии при переходе

от углекислотной конверсии метана к комбинированному процессу. Полученные результаты интерпретированы на основе гипотезы об активном массопереносе тепловым скольжением в поровых каналах катализатора. Впервые проведена прямая оценка тепловых затрат, что позволило определить особенности компенсации тепловых потерь при сопряжении эндо- и экзотермических реакций.

Работа обладает выраженной практической значимостью, поскольку полученные результаты и разработанная кинетическая модель создают основу для масштабирования процесса и проектирования мембранных реакторов. Предложенный подход перспективен для создания компактных и энергоэффективных автотермических установок переработки природного газа и получения синтез-газа, что представляет интерес для развития отечественной газохимической промышленности.

**Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Эксперименты выполнены на высоком уровне с использованием современных методов анализа: рентгенофазового анализа, энергодисперсионного анализа, методов адсорбционных измерений и др.

Положения, выносимые на защиту, обладают научной новизной, не вызывают возражений, теоретически обоснованы и экспериментально доказаны. Выводы по работе соответствуют содержанию диссертации, не противоречат литературным данным, на которые имеются соответствующие ссылки в тексте диссертации, и базируются на экспериментальном материале.

**Апробация результатов исследования.**

Результаты исследований опубликованы и апробированы в 10 научных работах: 2 статьи в журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus и Chemical Abstracts, и 1 статья в журнале из перечня ВАК, 7 работ в виде докладов на конференциях.

**Анализ содержания диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка работ, опубликованных автором. Общий объем работы изложен на 167 страницах и включает в себя 37 рисунков, 16 таблиц, библиографию из 95 наименований и 1 приложение.

**Во введении** представлены актуальность работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Сформулированы цели и задачи.

**В главе 1** представлен обзор промышленных и исследовательских методов

получения синтез-газа и областей его применения. Рассмотрены преимущества мембранных реакторов и мембранных катализаторов, проанализированы каталитические системы для различных способов конверсии метана и методы их синтеза. Обоснована перспективность применения биметаллических мембранных катализаторов на основе Mo и W для углекислотной и кислородно-углекислотной конверсии метана, а также использования CVD-метода для их получения. Кроме того, рассмотрены механизмы переноса газов в пористой среде, включая тепловое скольжение и особенности массопереноса в пористых мембранах.

**В главе 2** описаны используемые материалы, газы и методика получения мембранных катализаторов методом CVD, включая формирование барьерного и биметаллического каталитического слоев на основе оксидов молибдена и вольфрама. Рассмотрены методы оценки каталитической активности, структуры, элементного состава, проницаемости и однородности катализаторов. Также разработана методика исследования взаимосвязи химических превращений и транспорта в пористом мембранном катализаторе на основе кинетической схемы промежуточных стадий углекислотной конверсии метана.

**Глава 3** содержит результаты исследования углекислотной и кислородно-углекислотной конверсии метана на пористых мембранных катализаторах. На основе кинетического анализа режимов работы мембранного реактора обоснован выбор наиболее подходящего и безопасного режима для кислородно-углекислотной конверсии. Получены катализаторы на основе оксидов Mo и W методом совместного осаждения в CVD реакторе, исследовано влияние температуры на формирование барьерного слоя и установлено, что наиболее интенсивное образование $WO_2$ происходит при 350 °C. Проведено сравнение катализаторов различного состава, выявившее высокую устойчивость и активность образца с избытком вольфрама (ТМ-10) при введении кислорода. Также изучено влияние кислорода на состав реакционной смеси, температурный режим и энергопотребление. Для объяснения выявленных эффектов рассмотрена взаимосвязь химических реакций, тепло- и массопереноса в пористой структуре катализатора, а также предложен механизм теплового скольжения.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты диссертационного исследования Тарасенко М.А. могут быть использованы на предприятиях химической и газохимической промышленности, занимающихся переработкой природного газа и получением синтез-газа (АО

«Аммоний», АО «Невинномысский Азот», ООО «Газпром нефтехим Салават»). С результатами исследований следует ознакомить Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН и Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН.

**Вопросы и замечания по диссертационной работе**

1. В разделе 2.4 указано, что для анализа использовался азот в качестве внутреннего стандарта. При переходе от УКМ к КУКМ расход азота в пермеате изменялся (с 50 мл/мин в УКМ до 50/30 мл/мин в КУКМ). Как это было учтено в расчетах баланса? Насколько обоснованно использование азота в качестве внутреннего стандарта, если его подача различается по объему в реакторах (ретентат и пермеат), что может влиять на концентрацию на выходе из-за смешения потоков?
2. В разделе 3.2.4 представлен сравнительный анализ трех катализаторов (ТМ-6, ТМ-8, ТМ-10). Автор делает вывод, что ТМ-10 (с высоким содержанием вольфрама) является наиболее эффективным и стабильным. Однако в тексте отсутствует четкое физико-химическое объяснение, почему именно высокое содержание вольфрама (и, соответственно, низкое содержание молибдена) приводит к таким результатам. Как влияет соотношение Mo/W на электронные свойства активных центров, дисперсность нанесенной фазы или устойчивость к окислению?
3. В работе отмечается, что после испытаний происходит изменение состава поверхности (испарение молибдена) и снижение толщины слоя. Однако отсутствует обсуждение того, как эти деградационные процессы влияют на воспроизводимость кинетических экспериментов. Проводились ли повторные эксперименты на одном и том же образце? Если да, как менялась его активность и селективность со временем? Этот аспект важен для оценки практической применимости предложенных катализаторов.
4. В заключении (стр. 151) предложена новая кинетическая схема для процесса КУКМ, включающая стадии (V-VIII). Однако в работе не указаны значения констант скоростей для этих стадий и не представлена математическая модель, аналогичная модели для УКМ (уравнения 44-49). Утверждение, что «экспериментальное подтверждение может быть получено только в кинетическом

эксперименте», создает впечатление незавершенности исследования. Желательно либо привести хотя бы ориентировочные значения констант, либо четко обозначить границы применения предложенной схемы на текущем этапе.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

**Соответствие диссертации научной специальности**

Диссертационная работа, ее основные научные положения, результаты и выводы полностью соответствует паспорту специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ, в частности:

1. Общие научные основы и закономерности физико-химической технологии нефти и газа. Молекулярное строение нефти и нефтяных систем, физико-химическая механика нефтяных дисперсных систем, их коллоидно-химические свойства и методы исследования.

3. Катализаторы и каталитические процессы переработки углеводородного сырья.

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

Диссертационная работа Тарасенко М. А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития химической технологии топлива и высокоэнергетических веществ, а также мембранно-каталитической технологии конверсии метана. Новизна, обоснованность и достоверность полученных в работе результатов и выводов не вызывают сомнений. Основные положения диссертации прошли необходимую апробацию на научных конференциях и в публикациях автора.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом №103 ОД от 14.09.2023 г. (с последующими редакциями), а ее автор **Тарасенко Михаил Александрович** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Отзыв ведущей организации на диссертацию Тарасенко М.А. обсуждён и одобрен на заседании кафедры физической и коллоидной химии факультета физико-математических и естественных наук федерального государственного

автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (протокол № 0200-16-БУП-5 от 02 октября 2026 г.).

| | |
|---|---|
| Заведующий кафедрой физической и коллоидной химии факультета физико-математических и естественных наук ФГАОУ ВО РУДН им. Патриса Лумумбы, доктор химических наук | Чередниченко Александр Генрихович |
| Доцент кафедры физической и коллоидной химии факультета физико-математических и естественных наук ФГАОУ ВО РУДН им. Патриса Лумумбы, кандидат химических наук, доцент | Шешко Татьяна Федоровна |

Подпись заведующего кафедрой физической и коллоидной химии ФФМ и ЕН, д.х.н. А.Г. Чередниченко, а также доцента кафедры физической и коллоидной химии ФФМ и ЕН, к.х.н., доцента Т.Ф. Шешко подтверждаю:

Ученый секретарь Ученого Совета РУДН
**Курылев Константин Петрович**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (ФГАОУ ВО РУДН им. Патриса Лумумбы)

**Почтовый адрес (адрес организации):** 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
**Телефон:** +7 (495) 434-53-00
**Адрес электронной почты:** rudn@rudn.ru