

УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Новосибирский
государственный технический университет»,
д.т.н., профессор



Батаев А.А.

«30» сентября 2025г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Скичко Евгении Абдулмуталиповны «Синтез углеродных нанотрубок:
исследование, моделирование, оптимизация, масштабирование, применение»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности
2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Актуальность темы диссертационной работы

Вопросы переработки углеводородов ряда C_1 - C_4 в последнее время активно рассматриваются отечественными нефтяными компаниями в силу требований к декарбонизации. Каталитический пиролиз в данном случае является серьезной альтернативой многим другим способам переработки легких углеводородов. При этом образуются два продукта, которые интересны для промышленности: водород и углеродные нанотрубки (УНТ). Первый может использоваться в водородной энергетике, а область применения УНТ очень обширна, включая технологии бетонов, полимерных композитов и проводящих покрытий, электроники и др. Уход крупнейшей компании по производству одностенных углеродных нанотрубок (OCSIAL) с российского рынка требует проработки новых подходов в организации технологических процессов производства УНТ, их моделирования и аппаратного оформления, применительно к задачам повышения выхода углеродного продукта. Такие исследования интересуют R&D и инновационные подразделения крупнейших нефтяных компаний РФ, поэтому диссертационная работа Скичко Е.А. является, несомненно, актуальной и имеет очень большое значение для российской промышленности и затрагивает не только экологическую составляющую переработки углеводородов, но и вопросы эффективного ведения технологических процессов, их оптимизации.

Новизна и практическая значимость проведенных исследований и полученных результатов

Скичко Е.А. были выявлены оригинальные закономерности, которые очень редко рассматриваются в отечественной литературе в последнее время. В то же время в зарубежной литературе данные вопросы сейчас очень активно обсуждаются. Выявлены новые зависимости скорости роста, выхода УНТ, времени дезактивации катализатора в процессе каталитического пиролиза от концентрации водорода в исходной метановодородной смеси и температуры процесса.

Предложен механизм синтеза многостенных УНТ, учитывающий выявленное влияние концентрации водорода в исходной газовой смеси. С учетом данного механизма проведено математическое моделирование кинетических закономерностей синтеза УНТ каталитическим пиролизом.

Разработана математическая модель полупромышленного шнекового реактора непрерывного действия, проведена оптимизация режима его работы. Разработана модель технологической схемы каталитического пиролиза метановодородных смесей с получением многостенных УНТ и водорода.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Эксперименты выполнены на высоком уровне с использованием современных методов анализа: электронной микроскопии, рентгенофазового анализа и др. Использованные приборы, реактивы и методы исследования адекватны намеченной цели и задачам. Моделирование проведено также на высоком уровне, проведена статистическая обработка полученных результатов. Кинетические закономерности и их моделирование не вызывают вопросов.

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 17 научных работах, из которых: 3 статьи в изданиях, индексируемых в международных

базах данных; 5 статей, входящих в перечень ВАК. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, свидетельство о государственной регистрации базы данных. Результаты работы полноценно апробированы на международных конференциях, включая ведущие зарубежные конференции CHISA (2010 г.), ECCE (2011 г.) и др.

Анализ содержания диссертационной работы

Работа состоит из введения, четырех глав, выводов по каждой из глав, заключения, списка использованных источников и пяти приложений.

Во Введении рассмотрена актуальность и практическая значимость работы. Сформулированы цели и задачи.

Глава 1 содержит литературный обзор технологии производства УНТ, кинетических моделей их синтеза.

Глава 2 содержит описание методики эксперимента, описание объектов и методов исследований, описание методик моделирования.

Глава 3 содержит результаты математического моделирования кинетических закономерностей синтеза УНТ каталитическим пиролизом метановодородных смесей переменного состава.

Глава 4 содержит результаты математического моделирования, оптимизации режима работы шнекового реактора каталитического пиролиза метана, а также результаты испытаний УНТ в различных приложениях.

Список использованных источников содержит 178 источников.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты диссертационного исследования Скичко Е.А. могут быть использованы заводами и компаниями, занимающимися нефтепереработкой, нефтехимией, заинтересованными вопросами переработки легких углеводородов C_1 - C_4 , попутного нефтяного газа, снижением выбросов CO_x (ПАО «Лукойл», ПАО «Газпром нефть», ПАО «НК «Роснефть» и др.).

Вопросы и замечания по диссертационной работе

1. Стр. 75. Указано, что выход УНТ варьировался в диапазоне 22,4 – 31 г/г_{кат}. Хотелось бы узнать, с чем связаны такие высокие значения выходов, которые совершенно не коррелируют с данными, представленными в литературе. Для синтеза многостенных углеродных нанотрубок считается

успешным получить, например, хотя бы 10 г/г_{кат} (сырье: метан), а представленные выходы существенно выше данного значения.

2. Стр. 81. «На катализаторе с 45% активной фазы образование активных центров происходит медленнее, о чем свидетельствует более длинный индукционный период, и скорость роста УНТ меньше по сравнению с катализатором с 60 % активной фазы». Здесь целесообразно говорить о блокировании активных центров, поскольку центры на наночастицах блокируются образующимся углеродом. Скорость образования углерода и его количество у системы с 60% активной фазы выше по сравнению с 45%, что приводит к падающей активности (~50 мин процесса) у первого и продолжающего работать катализатора второй системы, соответственно.

3. На рисунке 3.1 показаны расчетные и экспериментальные кривые, однако, не указан важный параметр для сравнения результатов – коэффициент детерминации R^2 . Особенно хотелось бы узнать его для температуры 700°C и причину его отклонения от значений для 725-800°C.

4. Стр. 114. Не ясна корреляция между выходом углерода 1,7 г/г_{кат.}, полученным на установке со шнековым реактором, и данными, указанными в главе 2, где выходы достигали до 31 г/г_{кат.} В чем причина такой весомой разницы?

5. Стр. 124. Указано, что «....настройка скорости вращения шнека может быть ограничена конструктивными особенностями реактора». В принципе, данная проблема технически решается. Возникает вопрос, насколько экономически будет обосновано использование частотного преобразователя и редуктора, обеспечивающих достаточно низкую частоту вращения (низкое время пребывания) и момент, необходимый для вращения шнека с учетом объема образующегося материала?

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не снижают высокой оценки диссертационной работы.

Тема диссертационной работы, ее основные научные положения, результаты и выводы полностью соответствуют паспорту специальности 2.6.13.

Процессы и аппараты химических технологий (пункты: п. 1. Фундаментальные исследования явлений переноса энергии, массы и импульса в химико-технологических процессах и аппаратах; п. 2. Способы, приемы, методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещение сыпучих материалов в технологических аппаратах и схемах; п. 4. Способы, приемы, методология исследования химических, тепловых, массообменных и совмещенных процессов, совершенствование их аппаратного оформления; п. 13. Развитие теории и практики создания процессов, аппаратов, технологий, обеспечивающих создание автоматизированных цифровых производств).

Автореферат соответствует структуре и содержанию диссертации. Диссертационная работа Е.А. Скичко является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании экспериментальных и теоретических исследований решена актуальная проблема разработки нового углерод-углеродного материала с повышенными физико-механическими характеристиками. Теоретические положения, выводы и практические рекомендации, сформулированные в исследовании, отличаются научной обоснованностью и достоверностью. Полученные результаты, принадлежащие Е.А. Скичко, обладают научной новизной и имеют существенное практическое значение для развития технологий синтеза многослойных углеродных нанотрубок, перспективных для создания новых конструкционных материалов, а также в области водородной энергетики.

Представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 14 сентября 2023 г., а ее автор, Скичко Евгения Абдулмуталиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий.

Отзыв на диссертационную работу рассмотрен и утвержден на заседании кафедры химии и химической технологии «29» августа 2025 г. (Протокол №6 от «29» августа 2025 г.).

Доктор химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Адрес: Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20

Тел.: 8-383-346-08-01

e-mail: bannov@corp.nstu.ru



Баннов А.Г.