
СВОБОДНАЯ ТРИБУНА

УДК 620.22.(082).629.78.546.78

DOI: 10.15372/KhUR2022365

Физико-химический наноробот (ФХНР) – двухстадийный генератор атомно-молекулярной сборки целевых продуктов нанотехнологии

Р. А. БУЯНОВ*Институт катализа СО РАН,
Новосибирск (Россия)**E-mail: bic@catalysis.ru*

Аннотация

По литературным и своим источникам информации приведен прогнозный анализ состояния и хода работ по созданию наноразмерных роботов разной природы и назначения. Выделено два принципиально разных метода их создания:

1. Метод молекулярной сборки или какой-то иной рукотворный вариант. Здесь решающим фактором является человек.

2. Альтернативный метод. Природа сама создает функциональные структуры управления нанотехнологиями. Проблема в том, чтобы их найти и запрограммировать.

Первый метод оказался слишком сложным и заманчивым лишь в воображении. Это как в поговорке: “Гладко было на бумаге, да забыли про овраги...”

Второй метод оказался крупной удачей. На базе добытых новых знаний был найден и расшифрован тот ранее неизвестный природный феномен, который обладал функциональной структурой. Был создан физико-химический наноразмерный робот (ФХНР), и сформированы научные основы технологии изготовления ФХНР разного назначения.

Ключевые слова: нанотехнология, физика, химия, раствор, феномен, функция, робот, кристалл, никель, карбид, графит

ВВЕДЕНИЕ

Эта статья завершает публикацию результатов исследований по теме, обозначенной в ее заголовке. Такая тема могла возникнуть лишь как одна из экзотических проблем молодой развивающейся науки о наноразмерном мире [1]. Планировалось создание наноробота, способного управлять нанотехнологиями, производящими полезные продукты. Решение такой проблемы имеет большое научное и прикладное значение. Сам замысел создания этого “феномена” пре-

бывал в густом тумане неопределенности. В таких условиях для планирования и начала работ по теме у исследователей было лишь несколько источников ориентирующей информации:

1. Научная интуиция.
2. Научная фантастика.
3. Рабочая гипотеза.
4. Логика мышления.

Их совокупность инициировала процесс познания и движения от научной интуиции к истине новых знаний. На начальном поисковом этапе работ в качестве манекена воображаемого

наноробота была выбрана дисперсная частица одного из многочисленных металлов таблицы Менделеева. К такому выбору нас подвигли размышления о значении методологии научного познания наноразмерного мира. Выбор оказался удачным. Был найден, расшифрован и всесторонне изучен ранее неизвестный природный феномен, в итоге получивший название “Физико-химический наноробот” (ФХНР) [2]. Такой феномен представлял собой полифункциональную наноразмерную структуру (ПНС) природного происхождения в виде наночастицы металла с уникальными свойствами из подгруппы элементов железа (Fe, Co, Ni). Мы предпочли никель (Ni). Дальнейшее углубленное изучение природы этого объекта завершилось созданием действующей модели наноробота.

В этой заключительной статье мы делаем попытку обобщить результаты научно-исследовательских работ по заданной теме и представить их в виде научных основ технологии изготовления ФХНР. В этом ее научное и прикладное значение.

ПРИРОДА ФУНКЦИЙ ФХНР В МНОГОСТАДИЙНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Механизму самоорганизации разнородных функций ФХНР в исполнении единой технологической программы мы посвятили отдельно статью [2], где рассмотрели результаты сканирования базовой демонстрационной модели ФХНР по всем стадиям нанотехнологии производства углеродных наноматериалов (УНМ). Оказалось, что в полном цикле стадий производства УНМ участвует семь разных по природе функций ФХНР. При этом каждая из них сопровождает какую-то одну стадию в технологической последовательности производства УНМ. Из этих семи функций четыре по природе принадлежат физическим (ф) наукам, а три – химическим (х). Возникает вопрос, как в наночастице никеля (ФХНР) сосуществуют и химические, и физические функции? Ответ оказался восхитительно простым и поэтому заслуживающим особого внимания и осмысления. Мы исходили из того, что в ФХНР существует два типа носителей функций. Для этого структуру ФХНР представили в виде “ореха”, состоящего из двух неразделимых, но суверенных носителей функций: трехмерного ядра (носителя физических функций) и его поверхности (“скорлупы”) – носителя химических функций. Становится понятным, как в одной частице металла никеля сосуществуют функции разной природы. Оста-

ется описать природу и свойства функции. В нашем случае для семистадийного процесса изучения зависимости свойств синтезируемых продуктов от условий их синтеза дает лишь картину извлечения атомарного углерода из углеводородов и его атомно-молекулярной сборки в структуру УНМ. Интегральные зависимости не раскрывают природу каждого объекта.

Каждая функция имеет свою природу. В арсенале нашего ФХНР всего их семь – по числу стадий в рабочем цикле робота, производящего УНМ. Накопленная нами информация [2–4] позволила наполнить каждую функцию предназначением участвовать в одной из стадий нанотехнологий.

В табл. 1 представлены результаты изучения природы и назначения функций, собрана научная информация о функциях на каждой стадии нанотехнологии. Сам ФХНР представлен в виде семи стадий производства УНМ.

О ПРИРОДЕ ДВИЖУЩИХ СИЛ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА

Здесь затронем вопрос о природе движущих сил и факторе интенсивности, стимулирующих нанотехнологический процесс синтеза УНМ на протяжении всех семи стадий. Согласно термодинамике, для процесса распределения вещества движущей силой является химический потенциал (μ). В нашем случае градиент μ между стадиями 3х и 7ф определяет степень неравновесности и интенсивности процесса. Нанотехнологический процесс сопровождается выравниванием μ до одинакового низшего значения. В табл. 1 представлены все 7 стадий и функций ФХНР в их технологической последовательности. Стадия 3 представляет особый интерес. Здесь на поверхности никелевого “ореха” по механизму карбидного цикла [5–7] происходит разложение углеводородов с образованием короткоживущих высокоактивных атомов углерода и никеля в соотношении 1 : 1. Такая концентрация атомов углерода в короткоживущей смеси атомов {C + Ni} на поверхности “ореха” на порядки превышает его концентрацию при контакте “ореха” с графитом на стадии 7ф. Нам не известна величина μ в смеси {C + Ni} (стадия 3), но прямым количественным аналогом химического потенциала для процесса распределения вещества (углерода) может служить градиент его концентрации между стадиями 3х (генерация смеси {C + Ni}) и стадии 7ф (атомно-молекулярная сборка УНМ). За короткое время самостоятельной жизни атомы углерода или ре-

ТАБЛИЦА 1

Функции ФХНР, поэтапно управляющие нанотехнологиями

Стадия	Функция	Процесс
0	Гипноны – наноразмерные частицы металлов в состоянии равновесия с окружающей средой [9]	Нарушение равновесия с переходом гипнонов в ПНС [9]
1х	Поверхность ФХНР (ПНС)	Хемосорбция углеводородов на поверхности ФХНР (ПНС)
2х	Поверхность ФХНР (ПНС)	Разложение углеводородов по механизму карбидного цикла [5–7] с образованием и выделением промежуточных короткоживущих карбидоподобных соединений $[\text{Ni}-\text{C}]$
3х	Поверхность ФХНР (ПНС)	Разложение $[\text{Ni}-\text{C}] \rightarrow \text{Ni} + \text{C}$. Образование на поверхности ФХНР (ПНС) смеси короткоживущих атомов $\text{Ni} + \text{C}$
4ф	Кристаллохимическое сродство никеля к углероду. Никель – акцептор электронов. Никелевый массив ФХНР в роли буферной емкости для хранения в ней атомарного углерода (катионов) в виде твердого раствора внедрения	Блокирование процесса рекомбинации атомов углерода в сажу путем растворения их в массе буферной емкости
5ф	Буферная емкость для хранения и транспортировки углеродных атомов	Образование пересыщенного раствора атомарного углерода в буферной емкости до его критического значения (предел устойчивости)
6ф	Достижение предела устойчивости пересыщенного раствора углерода в буферной емкости	Бифуркация твердого раствора атомов углерода в буферной емкости. Образование зародыша новой фазы углерода
7ф	Диффузионный транспорт атомов углерода через массу буферной емкости от стадии 3х к стадии 7ф	Атомно-молекулярная сборка нового углеродного наноматериала за счет притока атомов углерода из стадии 3х [10]

Примечание. х – химическая функция; ф – физическая функция.

комбинируют в сажу, или успевают раствориться в никелевой массе “ореха”, образуя твердый раствор углерода в никеле. Нам удалось расшифровать и изучить способ консервации (защиты от рекомбинации) атомов углерода. Оказалось, что при определенных условиях атомарный углерод может храниться в виде твердого раствора в массе никеля. Так, под псевдонимом “буферная емкость” вся масса никелевой частицы стала участником нанотехнологии (стадия 4). В нашем случае первородная частица никеля представляет собой экзотическую структуру в виде трехмерной решетки из положительных ионов, плавающую свободно в плотном электронном газе [8]. Внедрение атомарного углерода в междоузлия такой решетки возбуждает и повышает его реакционную способность.

Буферная емкость стала последним аккордом в создании демонстрационного образца ФХНР. Создан тестовый образец робота, способный извлекать атомарный углерод из структуры углеводородов и осуществлять из них атомно-молекулярную сборку трехмерных УНМ с разными свойствами. Таким образом, ФХНР обрел второй псевдоним: двухстадийный генератор высокоактивных короткоживущих атомов углерода (ДГАУ). В этом процессе участвуют две управляющие стадии (см. табл. 1):

1. Стадия 3х – каталитическая генерация активных атомов углерода.

2. Стадия 5ф, 6ф – образование пересыщенного раствора атомарного углерода (в буферной емкости) до критического значения (предела устойчивости). Рост фактора интенсивности.

Вторая стадия (5ф и 6ф) – это экзотика природы и событие в термодинамике. Пересыщение твердого раствора углерода достигает предела устойчивости. Для перехода углерода из пересыщенного раствора в никелевой частице в стабильную графитовую фазу на первой зародышевой стадии химический потенциал углерода в растворе должен превышать химический потенциал малой первичной затравки новой фазы углерода. При достижении зародышем новой фазы некоторого критического размера происходит бифуркация всей системы с ее расслоением на две фазы: графит и никелевый буфер. Графит образует зародыш новой фазы УНМ, которая продолжает расти за счет притока атомов углерода из стадии 3х (см. табл. 1).

Так был сформирован задел, ставший научной основой технологии создания новых типов ФХНР. Эпилогическое завершение работ по программе пробуждает память ее исполнителей о самой удачной и продуктивной идее, которая их посетила в поиске ответа на вопрос: с чего

начать? Тогда мы начали с выбора наночастицы никеля на роль воображаемого робота.

Объем полученной новой информации составил содержание ряда статей. Можно предположить, что это вызовет затруднение у читателей, так как данная статья – завершающая, и она не может ответить на все вопросы предыдущих статей, а ознакомление со всем объемом работ представляет естественные трудности. Для заинтересованных по существу темы советуем ознакомиться с содержанием хотя бы трех статей [2–4].

ЯВЛЕНИЕ ФХНР

Так в мире ученых появился созданный ими феномен с аббревиатурой ФХНР. По своим возможностям в роли наноробота феномен превзошел все ожидания своих ученых “родителей”.

Создание ФХНР – это успех в одном из направлений науки о нанотехнологиях. По мнению ректора МГУ академика В. А. Садовниченко: “XXI век будет веком наноматериалов и нанотехнологий. Нанотехнологии – это прорыв в будущее”.

История сотворения нашего наноробота поучительна. Заметный след в ней оставила методология познания наноразмерного мира. Однако она слишком молода и возникает чувство, что между макро- и наномирами проходит граница, на которой понятия не всегда адекватны, а логика демократична.

Два слова – “предвидение” и “управление” – для специалистов звучат как тест на знание предмета во всех подробностях. Управляя клавишами пианино, композитор создает симфонию звуков. Создавая наш феномен (робота), мы познали природу секретов управления функциями ФХНР и ассортиментом нанопродуктов. Был создан демонстрационный образец робота с максимальным числом стадий нанотехнологий и ассортиментом получаемых материалов.

Под ассортиментом наноразмерных материалов мы понимаем набор продуктов разного химического состава, строения или назначения.

Заняв свою позицию в науке, ФХНР высветил новые проблемы. Об одной из них мы уже сообщали [2]. Возникла необходимость переосмысления нашего представления о механизмах ряда технологий как о “каталитических”. Оказалось, что некоторые из них по своей природе подлежат отнесению к нанотехнологиям с участием ФХНР.

Эти недоразумения возникли из-за незнания механизмов некоторых химических технологий. Уточним: каталитические технологии не могут производить трехмерные (объемные) продукты (см. табл. 1, стадии 2х и 3х). Объемные продукты могут производиться по нанотехнологиям (см. табл. 1, стадии 6ф и 7ф).

В связи с этим упомянем лишь несколько примеров синтеза в сопровождении ФХНР. Все они синтезируют трехмерные продукты (см. табл. 1, стадии 6ф и 7ф):

1. Создана новая базовая композиция высокоселективных катализаторов разного назначения. Композиция состоит из наноразмерных частиц металлов, закрепленных на торцах наноразмерных углеродных трубок [11–13].

2. Разработан способ допирования азотом углеродных наноматериалов. Получен образец с содержанием азота до 8 мас. % [14].

3. Проведен теоретический анализ и найдены условия, при которых ФХНР обретает возможность управлять нанотехнологией синтеза наноразмерных алмазов из легких углеводородов при атмосферном давлении и температуре до 1000 К [15].

4. Обнаружено и описано экстремальное состояние сверхпересыщенного твердого раствора внедрения атомарного углерода (в форме катионов) в наноразмерных кристаллах никеля. Описаны условия возникновения и роста пересыщенного раствора до предела его устойчивости, за которым происходит бифуркация системы с расслоением твердого раствора на две фазы: графит и никель [15, 16].

5. Разработаны способы утилизации вредных хлорорганических отходов по механизму карбидного цикла (МКЦ). В процессе утилизации хлорорганики образуется два полезных продукта – УНМ и HCl [17–19].

6. Изучен процесс и кинетика газификации графита и алмаза на никеле, платине и железе в среде водорода. Создан процесс гравирования поверхности алмазов путем селективной газификации углерода [20, 21].

Здесь отметим еще один парадокс. Физико-химический наноробот выглядит как арьергард от имени спящих гипнонов. В таблице Д. И. Менделеева нашли свои ниши десятки элементов, представляющих собой металлы. Лишь один из них обрел жизнь в образе многостадийной нанотехнологии (ФХНР). Остальные металлы в образе гипнонов продолжают спать. С точки зрения методологии познания – это парадокс. Анализ природы и пробуждения от такой мас-

совой летаргии может открыть новые направления по изучению реакционной способности бывших гипнонов. И каждый из них сможет найти свою научную нишу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Раздел “Заключение” в научной статье имеет смысл лишь в том случае, если она предлагает читателю новые научные или прикладные знания. Только такая информация достойна рекламы.

Мир наноразмерных объектов и миллиардных долей открылся для ученых своей новизной и надеждой. Говорят, что надежда – это единственное благо, которым невозможно пресытиться. В этом живет секрет пожизненного служения ученого науке.

В наноразмерном мире надежда стала тропой первопроходцев и первооткрывателей. Образулась новая обширная область науки о нанотехнологиях, нанороботах, наноматериалах, наноструктурах...

Темы с приставкой “нано-” пришли в Институт катализа СО РАН. Одной из них стала работа по созданию наноразмерного робота. В 2020 году эта работа завершилась. Был создан демонстрационный образец робота (ФХНР), работающий в заданном режиме. По своей архитектуре, замыслу и новизне полученные научные и прикладные результаты аналогов не имеют.

Полученные новые научные знания публиковались в разных журналах. Данная статья завершает публикации по этой теме, а раздел “Заключение” в ней ограничивается информацией об успешном создании ФХНР. Такое компактное представление о работе способствует детерминистическому восприятию всего массива новых знаний, полученных при создании наноробота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Нанотехнология. Азбука для всех / Под ред. Ю. О. Третьякова. М.: Физматлит, 2008. 368 с.
- 2 Буянов Р. А., Мишаков И. В. Физико-химический наноробот в нанотехнологии // *Химия уст. разв.* 2019. Т. 27, № 2. С. 219–227.
- 3 Буянов Р. А., Пармон В. Н. О полифункциональных монокристаллических структурах как о нанороботах, управляющих нанотехнологиями // *Катализ в промышленности.* 2013. № 3. С. 11–15.
- 4 Буянов Р. А., Пармон В. Н. Дисперсные никелевые частицы как полифункциональные наноразмерные структуры – химические нанороботы, синтезирующие углеродные наноматериалы // *Российские нанотехнологии.* 2015. Т. 10, № 3–4. С. 35–41.
- 5 Чесноков В. В., Буянов Р. А., Афанасьев А. Д. О механизме карбидного цикла зауглероживания // *Кинетика и катализ.* 1979. Т. 20, № 2. С. 477–480.
- 6 Буянов Р. А., Чесноков В. В., Афанасьев А. Д. Каталитическое образование углеродных отложений из углеводородов на металлах подгруппы железа // *Известия СО АН СССР. Сер. хим. наук.* 1981. № 9. С. 28–33.
- 7 Буянов Р. А. Закоксование катализаторов. Новосибирск: Наука, 1983. 207 с.
- 8 Федоров В. Б., Шоршоров М. Х., Хакимова Д. К. Углерод и его взаимодействие с металлами. М.: Металлургия, 1978. 208 с.
- 9 Пригожин И., Стенгерс И. Синергетика. От прошлого к будущему. Порядок из хаоса (Новый диалог человека с природой). М.: УРСС, 2003. 310 с.
- 10 Зайт В. Диффузия в металлах. М.: Изд-во иностр. лит., 1958. 382 с.
- 11 Молчанов В. В., Чесноков В. В., Буянов Р. А., Зайцева Н. А. Новые металл-углеродные катализаторы. I. Способ приготовления, область применения // *Кинетика и катализ.* 1998. Т. 39, № 3. С. 407–415.
- 12 Молчанов В. В., Чесноков В. В., Буянов Р. А., Зайцева Н. А., Зайковский В. И., Плясова Л. М., Бухтияров В. И., Просвирин И. П., Новгородов Б. Н. Новые металл-углеродные катализаторы. II. Причины селективного действия никелевых катализаторов в реакциях гидрирования // *Кинетика и катализ.* 1998. Т. 39, № 3. С. 416–421.
- 13 Молчанов В. В., Чесноков В. В., Буянов Р. А., Зайцева Н. А., Зайковский В. И. Новые катализаторы типа металл-нитевидный углерод: от фундаментальных исследований к технологии // *Кинетика и катализ.* 2005. Т. 46, № 5. С. 701–710.
- 14 Подьячева О. Ю., Исмагилов З. Р., Буянов Р. А. Разработка способа допирования углеродных наноматериалов азотом // *Химия уст. разв.* 2016. Т. 24, № 1. С. 57–60.
- 15 Буянов Р. А., Пармон В. Н. Теоретическое обоснование условий работы физико-химического наноробота в производстве наноалмазов и других углеродсодержащих нанокompозитов // *Химия уст. разв.* 2016. Т. 24, № 5. С. 705–711.
- 16 Буянов Р. А. О растворимости углерода в металлах подгруппы железа и некоторых следствиях из нее // *Химия уст. разв.* 2000. Т. 8, № 3. С. 347–352.
- 17 Мишаков И. В., Чесноков В. В., Буянов Р. А., Пахомов Н. А. Закономерности разложения хлорсодержащих углеводородов на металлах подгруппы железа // *Кинетика и катализ.* 2001. Т. 42, № 4. С. 598–603.
- 18 Мишаков И. В., Буянов Р. А., Чесноков В. В. Способ утилизации хлоруглеводородов на никель- и кобальтсодержащих катализаторах // *Катализ в промышленности.* 2002. № 4. С. 33–39.
- 19 Мишаков И. В., Чесноков В. В., Буянов Р. А., Чувилин А. Л. Условия получения и структура разупорядоченных графитовых нитей, образующихся при разложении хлорпроизводных углеводородов на Ni- и Co-содержащих катализаторах // *Доклады Академии наук.* 2002. Т. 386, № 1. С. 65–68.
- 20 Гайдай Н. А., Киперман С. В. Кинетика реакции взаимодействия сорбированного никелем углерода с водородом // *Кинетика и катализ.* 1974. Т. 15, № 4. С. 954–962.
- 21 Григорьева А. П., Лифшиц С. Х., Шамаев П. П. Механизм гидрирования углерода в присутствии никеля, железа и платины // *Кинетика и катализ.* 1977. Т. 18, № 4. С. 948–952.