

## О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЧИСТОЙ УГОЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ

*Зырянов В.В.*

*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск*

Стратегия развития энергетики нуждается в сильной корректировке. К основным производителям энергии относятся угольные ТЭС и атомные электростанции. Высокая доля газа в энергобалансе России является исключением и является временным явлением. После катастрофы на АЭС Фукусима программы развития в мире атомной энергетики либо замораживаются, либо сворачиваются. Принятые международные соглашения – Киотский протокол и последующие документы – фактически накладывают запрет на угольную энергетику. Развитие сетевой энергетики на основе т.н. альтернативных источников – ветра, солнца и т.п., не конкурентоспособно даже при мощной бюджетной поддержке и создании преференций. Экологические издержки производства «чистой» энергии из альтернативных источников на самом деле очень значительны, особенно в местах изготовления оборудования. Мировые лидеры в производстве солнечных энергоустановок объявили о своем банкротстве, несмотря на размещение производства в основном в Китае с его дешевой рабочей силой и при реализации батарей в развитых странах в тепличных условиях законодательной и финансовой поддержки. Технология чистой угольной генерации на основе сжигания высококачественных углей в кислороде, получаемого на селективных мембранах из перовскитов при  $T > 800$  °С, десятки лет разрабатывалась при поддержке Министерства Энергетики США. Построена даже опытная станция Wattenfall в Германии по технологии американской корпорации AirProducts. Цена электроэнергии, получаемой из хорошего угля из разреза вблизи станции, оказалась сопоставимой с ветровой. Очень вероятно, что известная международная кампания о всемирном потеплении, вызванном антропогенной эмиссией углекислого газа, инициирована участниками подобных проектов, чтобы скрыть провал идеи и продолжить бюджетное финансирование работ с учетом возможности захвата  $\text{CO}_2$  с последующим захоронением в геологических структурах при сжигании угля в чистом кислороде. Только такая постановка задачи (под прикрытием заботы о планетарной экологии) может оправдать явную неэффективность существующей ИТМ-технологии (ион-транспортной мембранной технологии) получения чистого кислорода для энергетики. Подобная схема была ранее реализована по «проблеме» озоновых дыр (производство фреонов прекращено, а дыры остались). Похожие схемы отработывались в медицине (птичий грипп и т.п.). Отметим, что нет доказательств потепления *вследствие* антропогенной эмиссии углекислого газа. Наоборот, потепление океана – главного хранителя  $\text{CO}_2$ , из-за периодической солнечной активности должно привести к росту его содержания в атмосфере. С учетом стоимости захвата  $\text{CO}_2$ , сжижения и транспортировки к местам захоронения цена производимой энергии будет абсолютно неприемлема для экономики. Действительно, станции обычно располагают вблизи угольных разрезов, чтобы снизить существенную долю транспортных затрат в стоимости

энергии, а при сжигании угля масса производимого углекислого газа растет в 3.67 раза согласно уравнению химической реакции:  $C + O_2 = CO_2$ .

Тем не менее, решение проблемы производства чистой энергии из угля существует, но не в рамках устаревшей концепции моно-производства, в данном случае энергии. Запасы качественного угля также сильно ограничены, как и углеводородов - их хватит на 600 и 50 лет соответственно. Твердые отходы при производстве энергии сжиганием углей столь значительны, что доля затрат на их обслуживании составляет примерно 1/3 в их себестоимости. Утилизация золошлаковых отходов в целом на планете составляет лишь 25%. Золо и шлаки являются самым массовым отходом промышленности. Предложена новая концепция распределенной мультигенерации с производством из низкокачественных твердых топлив микросферических материалов и энергии как би-продукта путем сжигания в атмосфере обогащенного кислородом воздуха. На рис. 1 показан образец микросферы из твердого топлива (50% угля с зольностью 20% - 50% Веселовской глины), полученный вдуванием молотой смеси в разогретую до 1280 °С печь. Доля микросфер в денежном выражении в комплексной технологии сжигания высокзолных неостребованных углей с неорганическими добавками типа глины варьируется от 40 до 90%, а доля собственно электроэнергии может достигать до 0, т.е. представлять собой чистое производство дефицитных материалов с получением электроэнергии лишь для собственных нужд. Атмосфера с повышенным содержанием кислорода необходима в данном случае для полного выгорания углерода и создания в реакторе достаточно высокой температуры при высокой зольности топлива. Если долю электроэнергии в производстве поднять до 50%, то такое исполнение может заполнить нишу автономных источников энергии с мощностью в диапазоне 0.1-10 МВт, рис. 2.

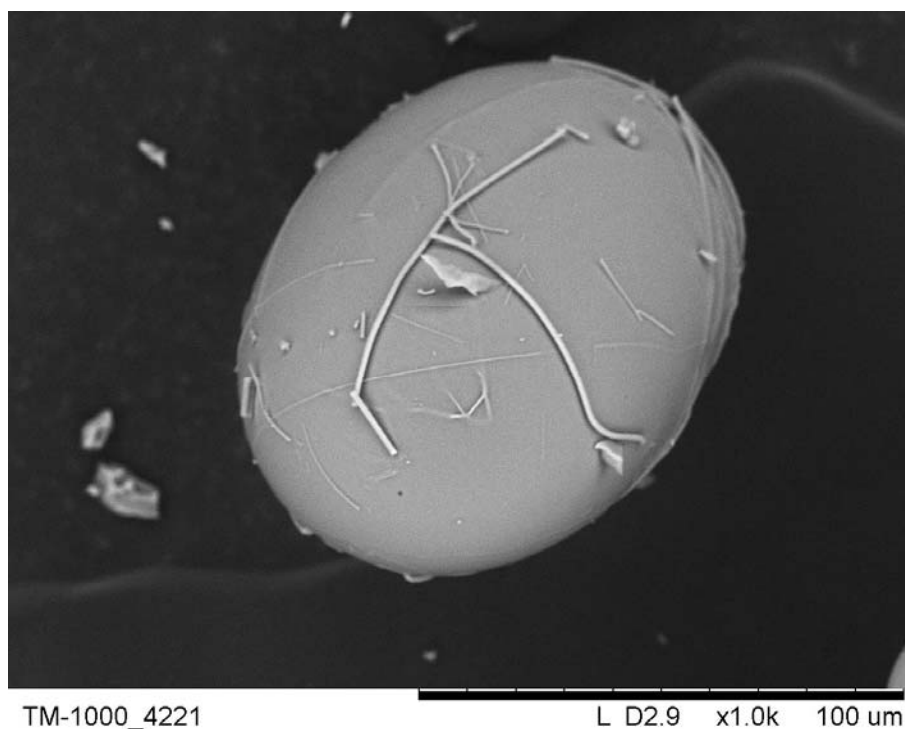


Рис. 1. Стеклоанная микросфера, полученная сжиганием смеси угля с глиной 50:50.

Ключом к созданию нового направления, удовлетворяющего требованиям Киотского протокола лучше альтернативных предложений, является получение дешевого кислорода. Для производства дешевого обогащенного кислородом воздуха предлагаются среднетемпературные тонкие многослойные мембраны из нанокерметов  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{Ag}$ , рис. 3-4. В этом материале стабилизированный оксид висмута со структурой флюорита имеет максимальную кислородную подвижность в среднем диапазоне температур 400-600 °С, а серебро не только отличный электронный проводник, но и обладает каталитической активностью в реакциях кислородного обмена.

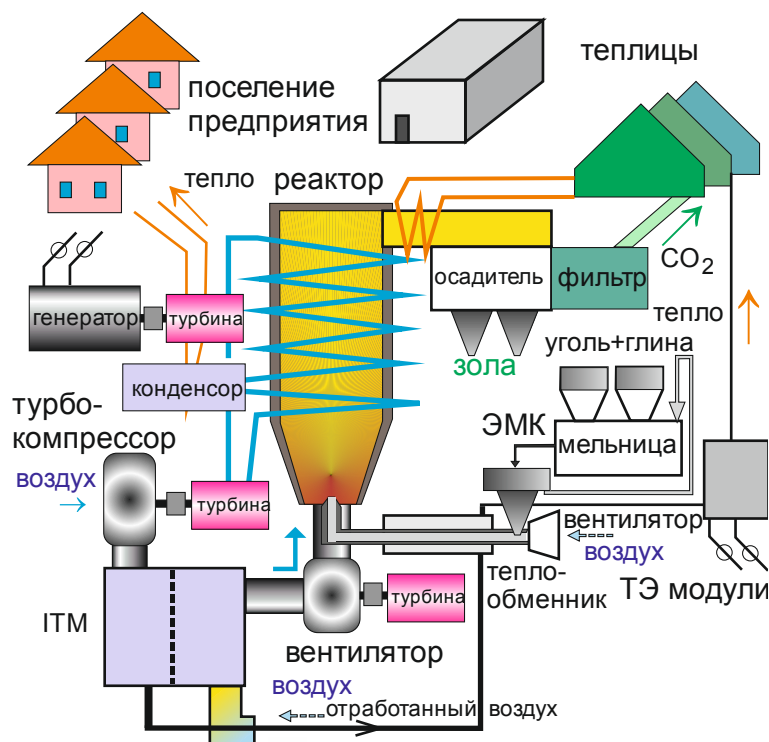


Рис. 2. Схема концепции распределенной мультигенерации.

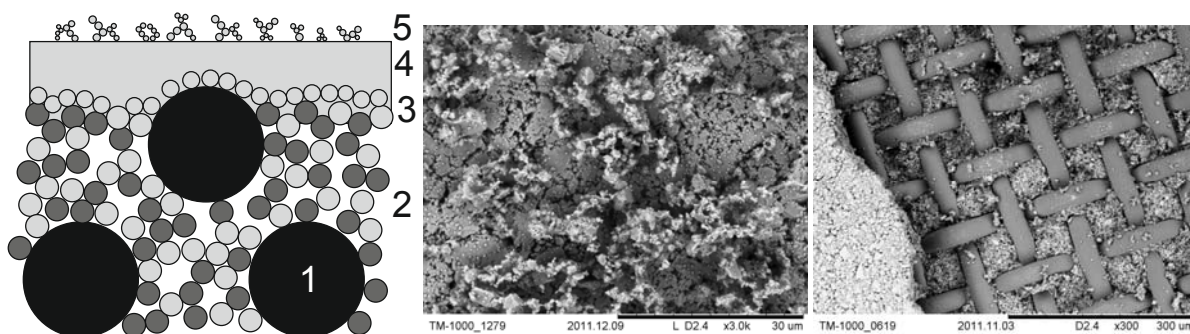


Рис. 3. Схема многослойной мембраны, вид сверху и снизу соответственно.

При создании нанокермета поток кислорода должен перейти в оптимальный режим смешанного контроля кинетики. Многослойные мембраны из многоуровневых нанокомпозитов изготовлены и находятся в тестировании на проницаемость. Решается сложная проблема герметизации краев мембраны с держателем для проведения измерений потока.

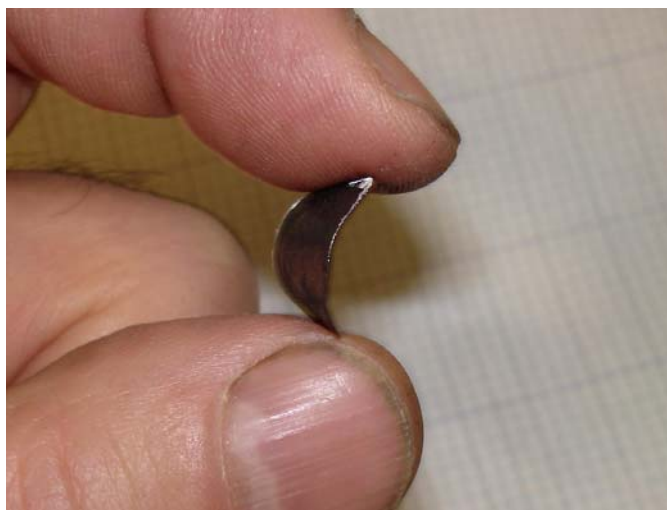


Рис. 4. Гибкая многослойная мембрана из нанокермета.

Расчетная производительность мембран при сдувании кислорода воздухом и получении 40% кислорода становится достаточной для сжигания низкокачественных твердых топлив при стоимости мембранного блока в десятки раз дешевле, чем равного по производительности оборудования для свинговой (адсорбционной) технологии разделения воздуха, рис. 5.

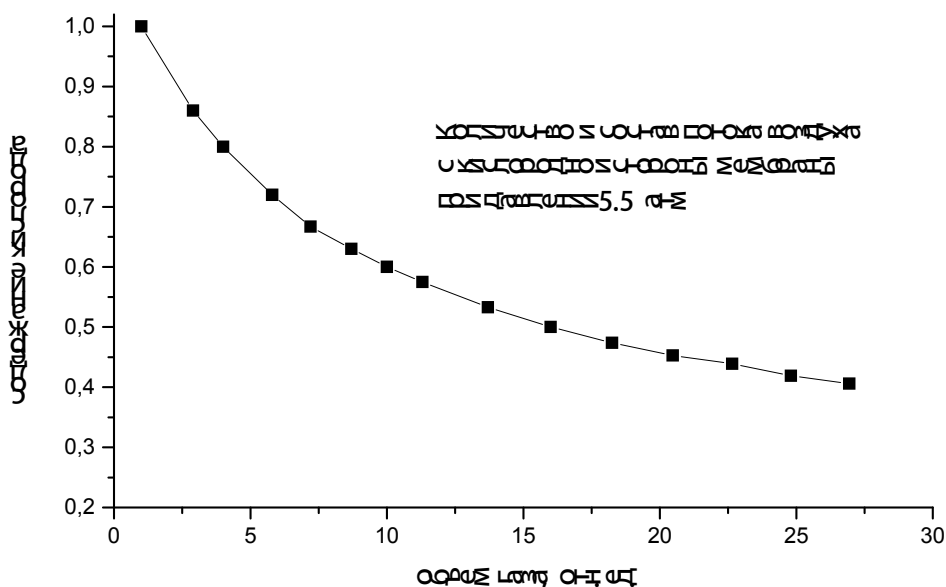


Рис. 5. Зависимость производительности мембраны от содержания кислорода в обогащенном воздухе.

Другим преимуществом предлагаемой мембранной технологии является малое собственное потребление электроэнергии и использование отходов тепла для турбокомпрессоров и вентиляторов. Перепад парциальных давлений кислорода по разные стороны мембраны можно обеспечить одностадийными турбинами – 4 и 0.7 Бар по разные стороны мембраны. Изготовление предложенных

мембран несложно перевести в поточное производство с низкой стоимостью, т.к. самая дорогая и низко производительная операция обжига отсутствует. Главные недостатки ИТМ-технологии – высокотемпературный процесс (обычные конструкционные материалы непригодны), толстые мембраны (поток кислорода лимитируется диффузией), высокое давление воздуха до 18 Бар (требуется компрессора с огромным потреблением электроэнергии), получение чистого кислорода (для полного сжигания угля достаточно обогащенного кислородом воздуха). Эти недостатки устранены в новой версии ИТМ-технологии, которая предлагается в первую очередь для распределенной генерации (рис. 1), т.к. в этом случае в полной мере реализуются все позитивные черты новой концепции. Полная реализация концепции – создание сбалансированного по производству-потреблению поселения обеспечивает максимально высокую прибыльность проекта, несопоставимую по срокам и доходности с обычной энергетикой, и создает основу для распространения новых стандартов жизни. Недостаток распределенной генерации – нестабильность потребления энергии, легко устраняется использованием ночного избытка энергии в подсветке теплиц (которые имеют аномально высокую производительность при использовании части отходящего углекислого газа), подготовке твердого топлива, а также в зарядке электромобилей. Главный тренд в автомобилестроении сдерживается отсутствием инфраструктуры для зарядки. В предлагаемой концепции этот тренд получает поддержку без дополнительных бюджетных затрат.

Разработан также термоэлектрический нано-композит  $\text{BiSbTe/WC}$  с добротностью  $ZT=1.37$  при  $150^\circ\text{C}$ , пригодный для получения электроэнергии из отходов тепла с эффективностью существующих солнечных элементов. Термоэлектрические модули эффективно дополняют предлагаемую концепцию распределенной генерации, т.к. получаемое электричество при малых расстояниях до потребителей можно использовать прямо без конверсии.

Общеизвестная концепция комплексного использования природного сырья требует междисциплинарного подхода. Немногие случаи реализации относятся к полиминеральному сырью с высокой стоимостью продуктов, но даже и в этом случае отходы представляют интерес как техногенное сырье. Уголь – такое же природное сырье, в котором собственно горючий материал представляет лишь часть. Малозольных углей, на которые рассчитывают в современных технологиях газификации, ВУС и подобных процессах, совсем немного. Существенную долю в их цене составляет транспортировка с потреблением жидкого топлива или газа. Новая концепция мультигенерации основана именно на использовании неостребованных низкокачественных высокозольных углей, сланцев, а также огромных накопленных запасов отходов обогащения углей и даже зол уноса с высоким содержанием недожога, рис. 1. В предлагаемой технологии сжигания углей в обогащенном кислородом воздухе можно использовать в качестве добавки даже шламы водоочистки, которые накапливаются в огромных количествах. Других экономически приемлемых решений этой серьезной экологической проблемы не существует. Ёмкость рынка на микросферические наполнители составляет примерно  $3 \cdot 10^9$  Т/год, а годовое потребление угля  $10^9$  Т/год, т.е. нет ограничения развитию новой концепции.

## Литература

1. Zyryanov V.V. Distributed multigeneration of clean energy by low ranked coals combustion in oxygen enriched atmosphere. 243 ACS Meeting, San Diego, March 25-29, 2012. Fuel Division, Catalysis for Clean Energy Technologies. Presentation 592.
2. Зырянов В.В. Нанокompозиты различной структуры для экологически чистого производства электроэнергии из угля. Конструкции из композиционные материалы, 2012, 3, с. 23-35.