



## ЮЖНАЯ ПАТАГОНИЯ: СИСТЕМА «ВЕТЕР – ВОДОРОД – УГОЛЬ» С СОКРАЩЕННЫМИ ВЫБРОСАМИ CO<sub>2</sub>\*

*Дж. Спаццафумо*

Университет Кассино, DIMSAT  
д. 43, Виа-Гаэтано-ди-Биасио, I-03043 Кассино, Италия  
тел.: +39 0585 52761; e-mail: spazzafumo@unicas.it.

doi: 10.15518/isjaee.2018.22-24.080-087

Заключение совета рецензентов: 07.06.18 Заключение совета экспертов: 15.06.18 Принято к публикации: 25.06.18

В Патагонии ветер является важным источником возобновляемой энергии, который может генерировать очень большое количество электроэнергии. Но в связи с нестабильностью генерации невозможно подключить такой большой объем энергии к сети. Электролиз может обеспечить хранение этой энергии в виде водорода, который может быть использован для производства пиковой мощности или для транспортных средств. Однако хранение и распределение водорода стоит очень дорого. С другой стороны, в Южной Патагонии имеются месторождения угля, которые сложно разрабатывать, но эту задачу можно решить, например, за счёт подземной газификации угля. К сожалению, использование угля приводит к высоким выбросам углекислого газа. Решить проблему превращения угля в метан и, в конечном итоге, генерирования электроэнергии можно с помощью водорода, полученного из энергии ветра. Таким образом, большое количество возобновляемой энергии может быть введено в энергетическую систему, и при этом выбросы углекислого газа будут снижены.

Ключевые слова: Аргентина; каменный уголь; ветер; водород; метан.

## SOUTH PATAGONIA: WIND/HYDROGEN/COAL SYSTEM WITH REDUCED CO<sub>2</sub> EMISSIONS

*G. Spazzafumo*

University of Cassino, DIMSAT  
Via G. Di Biasio 43, I-03043 Cassino, Italy  
tel.: +39 0585 52761; e-mail: spazzafumo@unicas.it.

doi: 10.15518/isjaee.2018.22-24.080-087

Referred 7 June 2018 Received in revised form 15 June 2018 Accepted 25 June 2018

Wind is a significant renewable energy source in Patagonia, which could generate a very large amount of electrical energy. However, it is not possible to put such a large amount of energy on to the grid due to instability issues.

\* Спаццафумо Дж. Южная Патагония: система «ветер – водород – уголь» с сокращенными выбросами CO<sub>2</sub> // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2018;22-24:80-87.

Ранее публиковалась в International Journal of Hydrogen Energy, 2013;38:7599-7604; <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.08.152>  
Copyright ©2012, Hydrogen Energy Publications, LLC. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.



Electrolysis could facilitate the storage of such energy in the form of hydrogen, which could be used for peak power production or for vehicles. However, hydrogen storage and distribution are still very expensive. On the other hand, South Patagonia has reserves of coal which exploitation is not easy. One solution could be underground coal gasification. Unfortunately, using coal results in high emissions of carbon dioxide. Hydrogen from wind energy could be the solution to convert coal to methane and to eventually generate electrical power. In this way, a large amount of renewable energy could be introduced to the energy system with a reduction in the emissions of carbon dioxide.

Keywords: Argentina; coal; wind; hydrogen; methane.



Джузеппе Спаццафумо  
Giuseppe Spazzafumo

**Информация об авторе:** доктор наук; доцент Университета Кассино и Южного Лацио; координатор международных симпозиумов HYPOTHESIS («Теоретические и технические решения по водородной энергетике»); член совета директоров IAHE (Международная ассоциация водородной энергетике); президент отдела энергетических систем IAHE.

**Награды:** награда имени Рудольфа А. Эррена от Международной ассоциации водородной энергетике (2018 г.).

**Образование:** Университет Пизы (Италия); докторская степень по энергетике (Университет Пизы, Италия).

**Область научных интересов:** водородные энергетические системы; системы топливных элементов; возобновляемые источники энергии; хранение энергии; преобразование электроэнергии в топливо; оценка жизненного цикла.

**Публикации:** более 80, опубликованных в международных журналах и в материалах конференций; одна книга (Бент Соренсен и Джузеппе Спаццафумо «Водород и топливные элементы»).

**Information about the author:** Ph.D.; Associate Professor at University of Cassino and Southern Lazio; Coordinator of HYPOTHESIS (Hydrogen Power Theoretical and Engineering Solutions International Symposium) Series; Member of the Board of Directors of IAHE (International Association for Hydrogen Energy); President of IAHE Hydrogen Energy Systems Division.

**Awards:** the Rudolph A. Erren Award from the International Association for Hydrogen Energy, 2018.

**Education:** graduate in mechanical engineering (University of Pisa, Italy) and doctorate in energy engineering (University of Pisa, Italy).

**Research interests:** hydrogen energy systems; fuel cell systems; renewable energy sources; energy storage; power to fuel; life cycle assessment.

**Publications:** more than 80 papers published on international journals and conference proceedings; one book (Bent Sørensen and Giuseppe Spazzafumo “Hydrogen and Fuel Cells”).

## 1. Introduction

В настоящее время одна из основных проблем, с которыми сталкивается энергетический сектор, – это необходимость сокращения выбросов двуокиси углерода. Кроме того, наблюдается очередной пик добычи нефти и природного газа, которые являются ископаемым топливом и больше всего применяются на транспорте и в жилищном секторе. Среди наиболее используемых первичных источников энергии уголь, по-видимому, отличается тем, что далек от пика производства и его месторождения не так концентрированы географически. Поскольку возобновляемые источники энергии не могут удовлетворить весь спрос на энергию в короткий / среднесрочный период, следует рассмотреть возможность использования угля.

К сожалению, уголь имеет самое высокое соотношение углерода и водорода, и его сжигание приводит к самым высоким выбросам углекислого газа.

В настоящее время почти все возобновляемые источники энергии генерируют электроэнергию, но в недостаточном для удовлетворения спроса количестве. Для дальнейшего использования потенциала таких источников требуется система хранения, и

водород считается наилучшим решением. Однако для транспортных и жилых объектов необходимо, чтобы подача водорода был распределенной, а строительство подходящей инфраструктуры довольно дорого.

Одной из технологий, предлагаемых для производства заменителя природного газа (SNG), является улавливание диоксида углерода из атмосферы и последующее метанирование с помощью водорода [1]. Однако, несмотря на то что было много теоретических разработок, практически задача удаления атмосферного углекислого газа пока не решена.

Аргентина имеет значительные запасы угля, которые сложно извлекать, и использует уголь для выработки электроэнергии. Эта страна также обладает большим потенциалом ветра, который может быть использован для производства водорода. Наконец, в Аргентине существует большая инфраструктура для распределения природного газа: более 28 000 км трубопровода для распределения более 40 Гм<sup>3</sup>/год природного газа [2]. Такая инфраструктура может быть задействована для распределения SNG. С учетом всех этих факторов сокращение количества импортируемых ископаемых видов топлива и выбросов углекислого газа представляется возможным.



Список обозначений	
Аббревиатуры	
CC	Комбинированный цикл
CNG	Сжатый природный газ
E	Электролизер
GCS	Система газоочистки
GHG	Парниковый газ
HCNG	Водород и сжатый природный газ (смесь)
NMHC	Неметановые углеводороды
M	Метанатор
SNG	Заменитель природного газа
SR	Реактор Сабатье
UCG	Подземный газификатор угля
UCHG	Подземный гидрогазогенератор угля
WS	Водоотделитель

## 2. Запасы угля и подземная газификация угля

Добыча угля в Аргентине главным образом была сосредоточена в Рио-Турбио (Санта-Крус), уголь в основном предназначался для производства электроэнергии на заводе, расположенном в Сан-Николасе (Буэнос-Айрес) [3], но в 2003 г. добыча была прекращена. Уголь из Рио-Турбио является суббитуминозным, и его запасы оцениваются в 580 миллионов тонн.

Однако есть несколько мощных пластов лигнита в Санта-Крус. Два основных пласта находятся в Рио-Койле (5 000 млн. тонн) и в Рио-Санта-Крус (2 350 млн. тонн), на них приходится более половины известных запасов нефти и природного газа в Аргентине.

Для того чтобы разработать такие ресурсы, И.Б. Шаламук [4] предложил технологию подземной газификации угля (UCG), которая представляет собой процесс газификации *in-situ*, осуществляемый в угольных пластах, путем введения окислителей и восстановления произведенного синтез-газа на поверхности. Экспериментальные испытания проводились в нескольких странах, в бывшем Советском Союзе около 50 лет назад действовало пять промышленных установок UCG. Одна из них (АООТ «ЕВРОСТИГАЗ»), расположенная в Ангрене (Узбекистан), работает с 1961 г. и продолжает производить 1 млн кубических метров синтез-газа в день [5]. В настоящее время несколько исследователей работают над UCG для анализа и улучшения процесса с особым упором на получение водорода в качестве конечного топлива [6–9].

UCG облегчает разработку месторождений угля, извлечение которого с помощью других технологий экономически нецелесообразно. Это, по-видимому, относится и к лигнитным пластам Санта-Крус, где ликвидация горнодобывающей деятельности с ее твердыми отходами и замена транспорта угля газопроводом выгодны и с экономической, и с экологической точки зрения.

В целом установка UCG имеет три скважины:

- скважину-зажигательницу, в которую закачивается газообразное топливо для инициирования процесса горения;

- нагнетательную скважину, в которой окислитель (воздух или кислород и пар) подаются в пласт;
- производственную скважину, из которой извлекается полученный синтез-газ.

Полученный синтез-газ может заменить природный газ на электростанциях с комбинированным циклом, что позволит повысить эффективность преобразования по сравнению с прямым использованием угля.

Регулирование потока окислителя позволяет контролировать процесс сгорания при температурах от 700 °С до 1 500 °С. При этом для разложения угля в процессе пиролиза используется тепло, выделяемое при сгорании. В ходе последующих реакций газификации получают синтез-газ, который в основном состоит из монооксида углерода, водорода, метана, диоксида углерода и водяного пара. В зависимости от качества угля в процессе реакций также образуются небольшие количества загрязняющих веществ, таких как оксид азота и сероводород. Что касается веса лигнита, то он содержит 60 ÷ 70 % углерода, 5 ÷ 6 % водорода, 20 ÷ 30 % кислорода, 0,5 ÷ 1,5 % азота и 1 ÷ 4 % серы. Это означает, что лигнит имеет среднюю эмпирическую формулу  $C_4H_4O$  со следами азота и серы.

Однако на синтез-газ сильно влияет тип окислителя. При использовании воздуха синтез-газ оказывается сильно разбавленным азотом ввиду его большого количества в окислителе, поэтому синтез-газ можно сжигать непосредственно на месте для производства электроэнергии. В случае кислорода теплопроводность выше, потому что синтез-газ может быть значительно разбавлен только диоксидом углерода. Наконец, добавление пара приводит к более высокой концентрации водорода.

Таким образом, UCG позволяет эффективно использовать угольные ресурсы с несколькими преимуществами, но не может значительно снизить выбросы парниковых газов (ПГ), связанные с эксплуатацией угля. Выработанный  $CO_2$  мог быть снова частично закачан в пласты, где уголь был обработан путем объединения UCG с технологией захвата и хранения углерода (CCS).

### 3. Ветровые ресурсы и электролиз

В большинстве стран, и особенно в Патагонии, характеристики ветра подходят для производства электроэнергии. Патагонию можно рассматривать как область, расположенную между 38° и 56° южной широты. В зоне между 40° и 50° юж. ш. ветры постоянно дуют от западного – юго-западного (W-SW) до юго-западного (SW) направления. При этом для большей части региона средняя скорость ветра находится в диапазоне 9 ÷ 12 м/с, а коэффициент мощности, возможно, является самым высоким в мире (например, 42 % в Комодоро Ривадия и 47 % в Пико-

Трункадо) [10]. Такие условия характерны только для некоторых островов или плавучих установок и нехарактерны для материка.

Очевидно, что такой потенциал для производства энергии слишком велик, чтобы его можно было полностью подключить к электрической сети, так как это создало бы нестабильность самой сети. В связи с этим в качестве системы накопления энергии было предложено производство водорода [11]. Фактически, Южная Патагония имеет значительные ресурсы ветра, воды и земли (табл. 1) и может стать одной из основных областей производства водорода в мире [12].

Таблица 1  
Чубут и Санта-Крус: население и ресурсы ветра, воды, земли  
Table 1  
Chubut and Santa Cruz: wind, water, land and population

	Скорость ветра, м/с	Коэффициент мощности, %	Средний поток реки, м <sup>3</sup> /день	Площадь, км <sup>2</sup>	Плотность жит./км <sup>2</sup>
Чубут	6 ÷ 10	42	7 150 000	225 000	1,8
Санта-Крус	7 to >10	47	66 700 000	244 000	0,8

По этим причинам несколько лет назад компания S.A. Sapex [13] провела анализ потенциального объема производства водорода с использованием энергии ветра в Южной Патагонии. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Потенциальный объем производства водорода в Чубуте и Санта-Крус  
Table 2  
Hydrogen production potential in Chubut and Santa Cruz

Установленная мощность ветра	16 120 МВт
Коэффициент мощности	45 %
Годовой объем производства водорода	13,3 млн м <sup>3</sup> LH <sub>2</sub>
Годовой объем производства кислорода	5,6 млн т
Годовая потребность в воде	11 млн м <sup>3</sup>
Годовой объем сокращения выбросов CO <sub>2</sub>	40,5 млн т
Требуемая площадь (Санта-Крус и Чубут)	0,334 %

В Патагонии производство водорода в качестве системы хранения энергии ветра было протестировано в двух местах: Пико Траункадо (Санта-Крус) и Диадема (Чубут), которые эксплуатируются компанией Nuchico S.A. (дочерняя компания Sapex. S.A.). Технология электролиза проходила проверку на протяжении двух столетий, несколько производителей в мире применяют электролиз для получения водорода, но хранение и распределение водорода все еще остается сложной задачей: газообразный водород слишком объемный, жидкий водород слишком дорогой, а гидриды металлов слишком тяжелые.

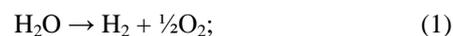
### 4. Производство сжатого природного газа

Даже если запасы угля в Санта-Крус сосредоточены не в той же самой области, где дуют самые сильные ветры, там всё же имеется достаточный ветровой потенциал для выработки электроэнергии (рис. 1). Существуют и другие варианты, которые

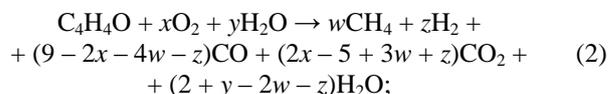
могли бы помочь в дальнейшем в использовании таких ресурсов, а также решить несколько самых острых проблем.

Что касается идеального процесса, то первое решение может состоять из следующих шагов:

- электрическая энергия, генерируемая ветром, подается электролизерам для генерации водорода и кислорода:



- небольшая часть генерируемого кислорода используется вместе с паром в качестве окислителя для UCG с целью получения синтез-газа; регулирование соотношения между кислородом и водяным паром позволяет контролировать температуру реакции:



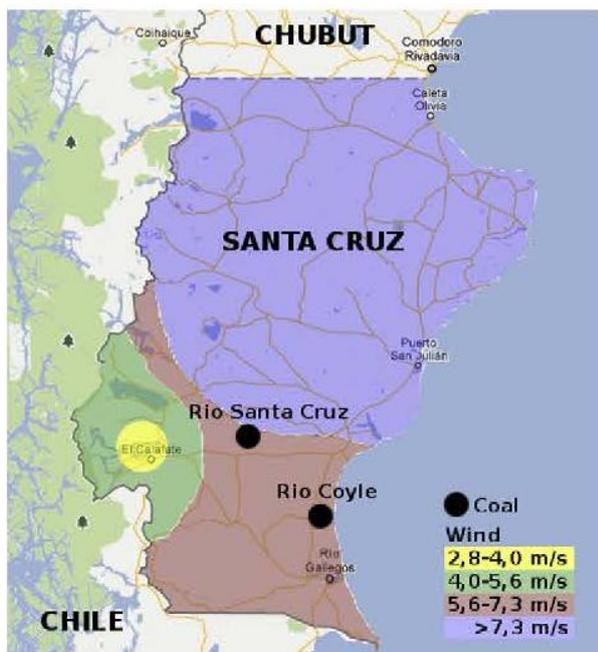
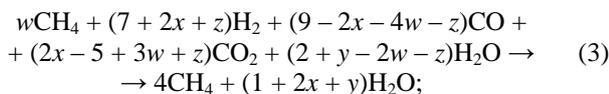
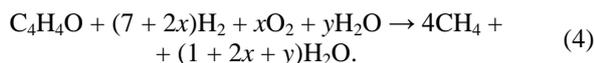


Рис. 1 – Месторождения угля и скорость ветра в провинции Санта-Крус  
Fig. 1 – Coal & wind in the province of Santa Cruz

• полученный синтез-газ подается в реактор метанирования вместе с водородом из электролизеров:



• образующийся пар конденсируется и отделяется для получения чистого метана. Таким образом, общая реакция (2) и (3) будет иметь следующий вид:



На рис. 2 показана схема системы.

Количество кислорода и пара, которое используется для UCG, влияет на количество водорода, необходимое для процесса метанирования, и количество конденсируемого пара. Поскольку процесс метанирования ограничивает производство оксидов углерода, количество полученного метана существенно не изменяется.

Очевидно, что настоящий процесс также создает загрязняющие вещества, которые необходимо удалить.

При этом выделяются два интересных побочных продукта:

- остаточный кислород, поскольку используется лишь небольшая часть кислорода, образующегося при электролизе;
- регенерированная теплота, поскольку процессы газификации и метанирования полностью экзотермичны, и такое тепло можно использовать непосредственно или для выработки электроэнергии.

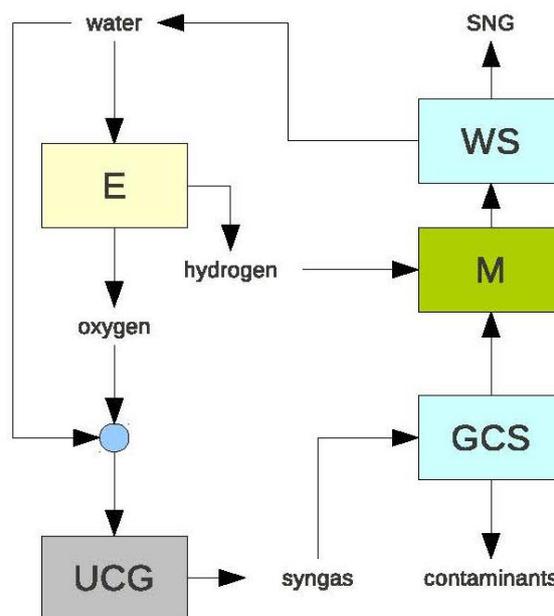
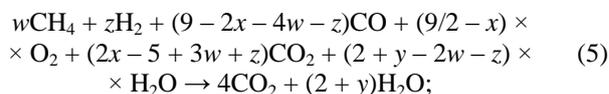


Рис. 2 – UCG + метанирование синтез-газа  
Fig. 2 – UCG + methanation of syngas

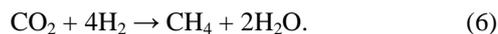
Второе решение может быть больше сфокусировано на выработке электроэнергии и может состоять из следующих этапов:

• синтез-газ, полученный по реакции (2), сжигается частью остаточного кислорода из электролизеров для выработки электроэнергии на электростанции с комбинированным циклом:

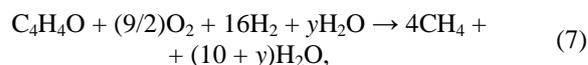


• пар, содержащийся в выхлопных газах, конденсируется и отделяется от двуокиси углерода; для устранения загрязнений требуется очистка синтез-газа или отработавшего газа;

- часть двуокиси углерода впрыскивается в пласт;
- остаточная часть двуокиси углерода подается в реактор метанирования вместе с водородом из электролизеров для получения синтез-газа, который после конденсации пара состоит в основном из метана и водорода и имеет характеристики, подобные природному газу:



Следовательно, общая реакция (2) + (5) + (6):



что совпадает с реакцией (4) при  $x = 9/2$ .

Сжигание топлива в кислородной среде, реакция (5), широко изучалось с начала 1980-х гг. [14]. Такое



сжигание топлива позволяет генерировать только углекислый газ и пар, что даёт возможность легко захватывать и хранить углерод. Демонстрационная установка была реализована компанией Clean Energy Systems [15, 16].

Экзотермическая реакция (6) – реакция Сабатье – всесторонне изучена. Для этой реакции требуется, чтобы дымовой газ, полученный по реакции (5), был охлажден до температуры около 350 °С, что позволяет преобразовать до 98 % диоксида углерода. Помимо этого, требуется металлический катализатор, обычно никель или рутений [17].

На рис. 3 показана схема системы.

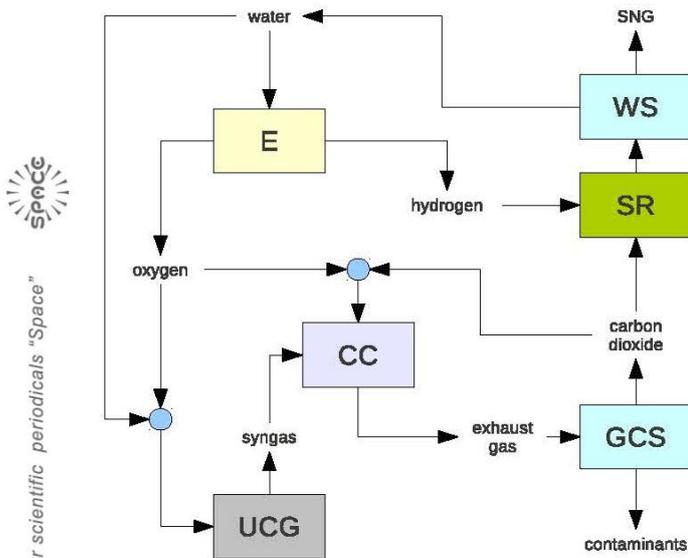


Рис. 3 – UCG + CC + реактор Сабатье  
Fig. 3 – UCG + CC + Sabatier reactor

Кроме того, в этом случае выделяются остаточный кислород и тепло, которые могут быть восстановлены по реакции Сабатье и использованы на электростанции с комбинированным циклом.

Вместо простой камеры сгорания в кислородной среде можно использовать батарею твердооксидных топливных элементов на синтез-газе и кислороде, которая превосходит камеру сгорания в кислородной среде [18]. Такая батарея может преобразовать около 80 ÷ 85 % синтез-газа. Отходящий анодный газ содержит остаточное топливо, смешанное только с диоксидом углерода и паром, а отходящий катодный газ – с кислородом. Поэтому два вида отходящего от электролизера газа могут подаваться в кислородную камеру сгорания, как и в предыдущей компоновке, что приводит к более высокой общей эффективности.

Дальнейшее улучшение может быть достигнуто за счёт подачи в катод воздуха, а не чистого кислорода, поскольку азот высвобождается из катодного выхода в атмосферу [19]. В связи с этим потребность электростанции в кислороде снижается в 5 ÷ 6 раз.

Другим вариантом исследования является подземная гидрогазификация угля (UCHG). В этом случае уголь газифицируется водородом, а для контроля температуры реакции используется пар. Прямым результатом является метан:



На рис. 4 показана схема системы.

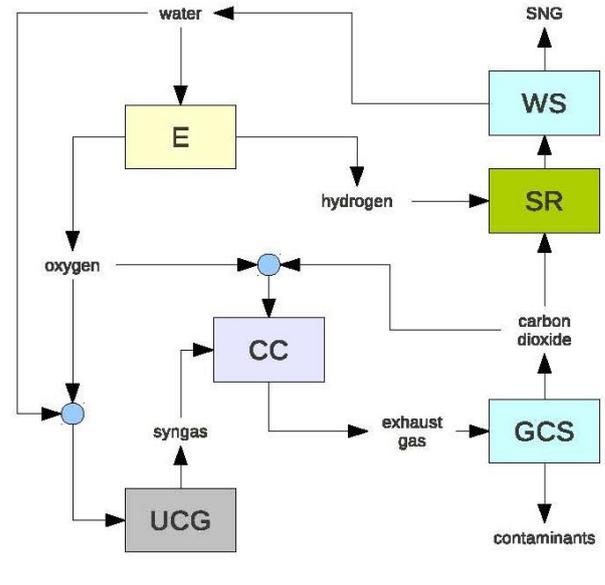


Рис. 4 – Система UCHG  
Fig. 4 – UCHG system

Количество образующихся оксидов углерода и загрязняющих веществ очень низкое. При использовании водорода возникает серьезная проблема с обеспечением безопасности, однако подземная закачка водорода, как в этом случае, не должна создавать никакого риска, так как подземная среда заполняется водородом, метаном, парами и оксидами углерода без свободного кислорода для создания взрывчатой смеси.

Поскольку гидрогазификация является экзотермическим процессом, тепло может быть извлечено и использовано для выработки электроэнергии. Наконец, в этом случае весь кислород, получаемый электролизерами, доступен для коммерческого использования.

Добавление большего количества водорода, чем требуется в реакциях (3), (6) и (8), способствует завершению преобразования оксидов углерода и приводит к получению SNG – газа, состоящего из смеси метана и водорода. Такой газ подходит для распределения и использования в чистых двигателях внутреннего сгорания [20–22].

## 5. Заключение

Углекислый газ, образующийся при утилизации угля, не уменьшается по сравнению с простым UCG, поскольку выбросы углекислого газа в атмосферу проис-

ходят при использовании SNG. Однако описанные процессы облегчают эксплуатацию значительной части ветрового потенциала и приводят к сокращению глобальных выбросов углекислого газа.

В табл. 3 указаны параметры выбросов, которые производит Ford F-150, работающий на сжатом природном газе (CNG) или на смеси водорода и CNG (HCNG) [23].

Таблица 3  
Результаты испытаний на выбросы для смешанных видов топлива HCNG и 100% CNG

Emissions test results for blended HCNG fuels and 100% CNG

Table 3

Топливо	NMHC	CH <sub>4</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
CNG	-80 %	+967 %	-63 %	-34 %	-24 %
15% HCNG	-78 %	+1 000 %	-70 %	-26 %	-27 %
30% HCNG	-89 %	+1 050 %	-73 %	-25 %	-28 %

Эти данные представляют собой вариации относительно эталонного случая (бензина). Помимо выбросов метана, характерных для двигателей, работающих на СПГ, выбросы всех загрязняющих веществ и парниковых газов значительно снижены. HCNG с 15 % водорода по объему считается совместимым с существующей инфраструктурой передачи и распределения природного газа. Корректировка содержания водорода в SNG до такого же уровня и

замена бензина на SNG приведет к значительному снижению загрязнения, что очень важно, особенно в городской среде.

Для того чтобы оценить влияние выбросов на парниковый эффект, необходимо учитывать, что метан оказывает гораздо более сильное воздействие, чем углекислый газ. А для того чтобы получить эквивалентные выбросы CO<sub>2</sub>, необходимо умножить выбросы метана в 23 раза (табл. 4).

Парниковый эффект

Таблица 4

GHG effect

Table 4

Топливо	CO <sub>2,eq</sub>	
Бензин	622,176	
CNG	476,044	-23,5 %
15% HCNG	455,236	-26,8 %
30% HCNG	451,274	-27,5 %

Для полного сравнения необходимо также учитывать выбросы, связанные с добычей/производством и распределением рассматриваемых видов топлива. Однако сделать это очень сложно.

Наконец, следует учитывать, что в предложенных системах генерируемая электроэнергия не содержит углерода, что в значительной степени способствует сокращению выбросов парниковых газов.

Следующим шагом станет моделирование предлагаемых систем, чтобы сравнить их по таким показателям:

- снижение энергетической зависимости от импортируемых ископаемых видов топлива;
- снижение энергетической зависимости от ископаемого топлива;
- сокращение выбросов парниковых газов.

## References

[1] Muradov N.Z., Veziroglu T.N. Green path from fossil-based to hydrogen economy: an overview of carbon-neutral technologies. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2008;33(23):6804–39.

[2] [www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ar.html](http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ar.html) (04/11).

[3] Brooks W.E., Finkelman R.B., Willett J.C., Torres I.E. World Coal Quality Inventory: South America, U.S. Geological Survey Open-file report 2006-1241.

[4] Schalamuk I.B. Recursos Energéticos Geológicos no tradicionales. HYFUSEN 2011. Mar del Plata: June 6–9, 2011.

[5] [www.lincenergy.com](http://www.lincenergy.com) (09/11).

[6] Yang L., Zhang X., Liu S., Yu L., Zhang W. Field test of largescale hydrogen manufacturing from underground coal gasification (UCG). *Int. J. Hydrogen Energy*, 2008;33(4):1275–85.

[7] Liu S.-Q., Wang Y.-Y., Zhao K., Yang N. Enhanced-hydrogen gas production through underground gasification of lignite. *Mining Sci. Technol.*, 2009;19(3):389–94.

[8] Stańczyk K., Howaniec N., Smoliński A., Świądrowski J., Kapusta K., Wiatowski M., et al. Gasification of lignite and hard coal with air and oxygen enriched air in a pilot scale ex situ reactor for underground gasification. *Fuel*, 2011;90(5):1953–62.

[9] Prabu V., Jayanti S. Integration of underground coal gasification with a solid oxide fuel cell system for



clean coal utilization. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2012;37(2):1677–88.

[10] Potencial de energía eólica en Argentina, www.argentina.eolica.org.ar; August 19, 2009.

[11] Bolcich J.C. “Hydrogen Patagonia: Prospero e’ il vento”. HYPOTHESIS V; September 7–10, 2003. Porto Conte, Italy.

[12] Diadema hydrogen production plant. New Delhi, India: WHTC 2009; August 26–28, 2009.

[13] Raballo S., Llera J. Large scale wind hydrogen production in the Argentine Patagonia. In: International conference for renewable energies, Bonn, Germany, June 1–4, 2004.

[14] Steinberg M. A carbon dioxide power plant for total emission control and enhanced oil recovery. BNL, 30046; August 1981.

[15] Devanna L. Coal-based oxy-fuel system evaluation and combustor development. In: 2nd workshop international Oxy-combustion Research Network, Windsor (CT), USA, January 25–26, 2007.

[16] Devanna L. Oxy-fuel combustion technology e advanced turbine development for pressurized oxy-combustion commercial scale-up. In: West Coast Regional Carbon Sequestration Partnership e annual business meeting, Lodi (CA), USA, October 24–26, 2011.

[17] Takenaka N., Shimizu T., Otsuka K. Complete removal of carbon monoxide in hydrogen-rich gas stream through methanation over supported metal catalysts. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2004;29(10):1065–1073.

[18] Viteri F., Anderson R.E. Combined fuel cell and fuel combustion power generation systems, patent US 6,868,677 B2, March 22, 2005.

[19] Thermo-electric cogenerator, patent pending IT MS20090006, 2009.

[20] Dimopoulos P., Bach C., Soltic P., Boulouchos K. Hydrogenatural gas blends fuelling passenger car engines: combustion, emissions and well-to-wheels assessment. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2008;33(23):7224–36.

[21] Ortenzi F., Chiesa M., Scarcelli R., Pede G. Experimental tests of blends of hydrogen and natural gas in light-duty vehicles. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2008;33(12):3225–9.

[22] Genovese A., Contrisciana N., Ortenzi F., Cazzola V. On road experimental tests of hydrogen/natural gas blends on transit buses. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2011;36(2):1775–83.

[23] Karner D., Francfort J. Hydrogen/CNG blended fuels. Performance testing in a Ford F-150. INEEL/EXT-03-01313. U.S. Department of Energy, FreedomCAR & Vehicle Technologies Program, Advanced Vehicle Testing Activity; November 2003.



## POWER & ALTERNATIVE ENERGY ASIA

16th International Exhibition & Conference  
19 - 21 March 2019 at Karachi Expo Centre

### Международная конференция и выставка по энергетике в Карачи, Пакистан

Международная конференция и выставка по энергетике и альтернативным источникам энергии 16th Power & Alternative Energy Asia 2019 пройдет с 19 по 21 марта в Карачи, Пакистан, в составе интегрированного промышленного показа ITIF Asia 2019. Это событие охватывает производство электроэнергии, передачу и распределение, развитие новых источников энергосберегающих технологий. Выставка приглашает ведущих производителей и поставщиков оборудования и услуг для секторов: электроэнергетики, гидроэлектростанции, тепловых технологий, природного газа, топлива, ядерной и солнечной энергии систем водоснабжения, сетей передачи электроэнергии, производителей энергосберегающего оборудования и технологий, безопасности, строительства, ремонтных и обслуживающих организаций.

Основные группы товаров: альтернативные энергетические системы, система управления и автоматизации, котлы и вспомогательное оборудование, кабели и аксессуары, электрические приводы, электротехническое оборудование, генераторы: гидро-, турбо-, газ-, дизель-; теплообменное оборудование и восстановление, независимые производители электроэнергии, промышленная энергетика, атомная энергетика, реле, автономные источники энергии, паровые турбины, электроэнергетические, парогазовые и газотурбинные установки, уличное освещение, распределительные устройства, технологии энергосбережения и энергоэффективности, стабилизаторы напряжения и регуляторы, ветрогенераторы, источники энергии, водородная энергетика, геотермальная энергетика, солнечная энергетика, ядерная энергетика, биоэнергетика.

<https://expo-asia.ru/exhibitions/powerenergy2019> по материалам <http://www.powerasia.com.pk/>

