

УДК 662.769.21; 504.054

ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И ПЕРСПЕКТИВЫ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ СЖИГАНИЯ ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА В ШТАТЕ СЕАРА, БРАЗИЛИЯ*

Е.М. До Сакраменто^{1}, Л.К. де Лима¹, С.Дж. Оливейра¹, Т.Н. Везироглу²*

¹Физический факультет, Государственный университет Сеары
Форталеза, СЕ 60740-000, Бразилия

тел.: (55-85)3101-9902; e-mail: elimonsa@bol.com.br

²Институт чистой энергии, Университет Майами
а/я 248294, Coral Gables, Флорида 33124-0620, США

тел.: +1(305)284-46-66; факс: +1(305)284-47-92

doi: 10.15518/isjaee.2019.04-06.028-035

Заключение совета рецензентов: 25.08.17 Заключение совета экспертов: 10.01.18 Принято к публикации: 18.04.18

Модель ветро-солнечной водородной энергетической системы была применена к штату Сеара, Бразилия, и были изучены перспективы сокращения выбросов загрязняющих веществ, образующихся при сжигании ископаемого топлива в данном федеральном штате. Это долгосрочное исследование моделирует три сценария введения водорода в энергетический баланс штата Сеара: быстрый, медленный и без введения водорода. Без учёта оксидов азота, если сжигание топлива продолжится, то, как показывают результаты, в обоих сценариях введения водорода в штате Сеара все выбросы загрязняющих веществ, образующихся при сжигании ископаемого топлива, в конечном итоге сократятся до нуля к 2060 г.

Ключевые слова: водородная энергия; загрязняющие вещества при сжигании ископаемого топлива; штат Сеара.

A HYDROGEN ENERGY SYSTEM AND PROSPECTS FOR REDUCING EMISSIONS OF FOSSIL FUELS POLLUTANTS IN THE CEARÁ STATE—BRAZIL

E.M. do Sacramento^a, L.C. de Lima^a, C.J. Oliveira^a, T. Nejat Veziroglu^b

^aDepartment of Physics, State University of Ceará
Fortaleza CE 60740-000, Brazil

^bClean Energy Research Institute, University of Miami
Coral Gables, FL 33124, USA

doi: 10.15518/isjaee.2019.04-06.028-035

Referred 25 August 2017 Received in revised form 10 January 2018 Accepted 18 April 2018

A model of a solar–wind hydrogen energy system was applied to the Ceará state—Brazil and the prospects for reducing emissions of fossil fuels pollutants in such federal state were studied. This long-term study simulates three scenarios of fast, slow and no introduction of hydrogen in the energy balance of the Ceará state. Not including nitrogen oxides, if fuel burning continues, results indicate that hydrogen energy eventually will reduce to zero all emissions of fossil fuels pollutants in the Ceará state by the year 2060 in both scenarios of hydrogen introduction.

Keywords: hydrogen energy; fossil fuels pollutants; Ceará state.

*Сакраменто Е.М. до, Лима Л.К. де, Оливейра С.Дж., Везироглу Т.Н. Водородная энергетическая система и перспективы сокращения выбросов загрязняющих веществ от сжигания ископаемого топлива в штате Сеара, Бразилия // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;04-06:28-35.

Ранее публиковалась в International Journal of Hydrogen Energy, 2008;33:2132-2137; doi:10.1016/j.ijhydene.2008.02.018
Copyright ©2008 International Association for Hydrogen Energy. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.



1. Введение

Развивающиеся страны, такие как Бразилия, нуждаются в быстром экономическом росте, и в то же время им придется столкнуться с растущими проблемами глобального потепления и сокращением запасов ископаемого топлива. Водород, получаемый из возобновляемых источников энергии, в конечном итоге будет способствовать устойчивому развитию таких стран.

Сеара, штат Бразилии, обладает огромным потенциалом возобновляемых источников энергии в форме солнечной, ветряной энергии и биомассы и, безусловно, поможет смягчить изменение климата. В BENCE (Энергетический баланс штата Сеара) [1] показано, что энергопотребление штата Сеара в 2000 г. составило 3,57 млн т у.т. (нефтяной эквивалент), или 0,17 ЭДж, что соответствует примерно 2,18 % от общего количества энергии, потребленной Бразилией в этом году. Из этого общего объема около 33 % приходится на ископаемое топливо, 44 % – на гидроэнергетику, 13 % – на древесину и древесный уголь, а оставшиеся 10 % – на скорлупу кешью, жмых сахарного тростника и другое. С другой стороны, мощность производства электрической энергии, использующего потенциал ветра штата Сеара, оценивается в 35 ГВт, что соответствует примерно 40 % установленной мощности производства электроэнергии в Бразилии в целом. В Бразилии начали изучать энергию ветра именно в Сеаре, и в настоящее время штат эксплуатирует 27 МВт ветряных ферм. Представляется вполне естественным, что этот огромный потенциал заменит ископаемое топливо в ближайшем будущем, главным образом, ввиду истощения запасов этого вида топлива и вреда окружающей среде, наносимого его использованием. Не являясь конкурентоспособной (стоимость), солнечная энергия, поступающая на один квадратный метр в день на территории Сеара, все же составляет около $6,7 \text{ ГДж} \cdot \text{м}^2 / \text{год}$, что считается одним из самых высоких уровней инсоляции в Бразилии.

Солнечная и ветровая энергии непостоянны, поэтому могут быть недоступны в тот момент, когда необходима энергия. Опция заключается в том, чтобы сохранять такой вид энергии в периоды низкого спроса и использовать его при высоком спросе. Существует много технологий хранения, таких, например, как аккумуляторы, технологии хранения водорода, сверхпроводниковые накопители магнитной энергии, маховики, электрохимические конденсаторы и хранение энергии в виде закачанной воды и сжатого воздуха [2]. Водород в качестве энергоносителя может храниться либо в виде газа, либо в виде жидкости, а также в гидридах металлов, химических гидридах, стеклянных микросферах или криоадсорберах [3]. Для штата Сеара такие передовые технологии будут очень полезны, когда будет действовать

широкая программа использования возобновляемых источников энергии.

Рассматривая водород в качестве метода накопления энергии, Сакраменто [4] провел исследование, в котором адаптировал, включая энергию ветра, всемирно известную модель солнечной водородной энергетической системы к штату Сеара. Модель «солнечной водородной энергетической системы» является новаторским исследованием, проведенным доктором Т. Неджатом Везироглу и его сотрудниками в 1970-х гг. Эта модель была применена ко многим странам мира, включая Бразилию [4]. В этом исследовании многие параметры, такие как население, спрос на энергию, производство энергии, производство водорода, цены на энергию, валовой продукт, загрязнение воздуха и качество жизни, взаимосвязаны. В конечном итоге для Сеара произведенный с помощью панелей фотовольтаических ячеек и ветровых турбин электролитический водород будет служить в качестве энергоносителя и при ускоренном темпе внедрения заменит ископаемое топливо. Предусмотрено три сценария введения водорода: 1) быстрый; 2) медленный и 3) без введения водорода.

Учитывая, как водородная энергия может способствовать смягчению последствий изменения климата, Манзини и др. [6] изучили сокращение выбросов парниковых газов (ПГ) с использованием возобновляемых источников энергии в Мексике до 2025 г. и пришли к выводу, что сценарий, в который включен водород, является лучшим выбором энергетической политики для такой страны. Хетланд и Малдер [7] рассмотрели предпосылки для поставок в сравнении с потребностями в первичной энергии, выбросами ПГ и ожиданиями затрат, при которых водород и топливные элементы должны рассматриваться как топливо для европейского транспортного сектора. Грановским и соавторами [8] были изучены экономические аспекты внедрения водорода и солнечной энергии в производство электроэнергии и последующее сокращение выбросов ПГ. Авторы [8] пришли к выводу, что введение «возобновляемого» водорода в качестве топлива для транспортных средств с топливными элементами вместо бензина может привести к экономически эффективному сокращению выбросов ПГ только в том случае, если эффективность транспортного средства на топливных элементах будет более чем в два раза выше, чем у автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. На основе перечисленных статей, в данной работе выбросы парниковых газов и выпадение кислотных дождей для штата Сеара оцениваются по трем сценариям при долгосрочном моделировании. Анализируется возможное экологическое будущее штата Сеара с точки зрения использования ископаемого топлива, выработки возобновляемой энергии и снижения выбросов загрязняющих веществ.



Список обозначений	
<i>Буквы латинского алфавита</i>	
<i>B</i>	Электрическая энергия для опреснения
<i>C_f</i>	Стоимость ископаемого топлива
<i>C_h</i>	Стоимость водорода
<i>C₁</i>	Константа
<i>C₂</i>	Константа
<i>E</i>	Потребление энергии / спрос
<i>G</i>	Валовой продукт
<i>H</i>	Скорость производства (потребления) водорода
<i>L</i>	Качество жизни
<i>P</i>	Загрязнение
<i>Q</i>	Население
<i>R</i>	Запасы ископаемого топлива
<i>S</i>	Солнечная инсоляция
<i>t</i>	Время
<i>U</i>	Загрязнение от ископаемого топлива на единицу энергии
<i>V</i>	Безразмерный модификатор времени удвоения
<i>W</i>	Безразмерный модификатор роста
<i>Буквы греческого алфавита</i>	
δ	Доля ископаемого топлива, добываемого в год
ε	Отношение загрязнения, производимого водородом, к загрязнению, производимому ископаемым топливом
η	Отношение эффективности использования водорода к эффективности использования ископаемого топлива
θ	Удвоение времени
<i>Индексы нижние</i>	
<i>c</i>	Составной
<i>d</i>	Потребность
<i>e</i>	Энергия
<i>f</i>	Ископаемое топливо
<i>g</i>	Валовой продукт
<i>ger</i>	Генерируемая энергия
<i>h</i>	Водород
<i>n</i>	Число (год)
<i>0</i>	Первый год
<i>p</i>	Производство
<i>q</i>	Население
<i>r</i>	Безразмерное соотношение
<i>w</i>	Ветер

2. Формулирование модели

Модель энергии водорода, обсуждаемая в этом исследовании, очень хорошо объяснена во многих других работах по водородной тематике, а в работе Альмогрена и Везироглы [9] обобщены практически все связанные с такой моделью публикации. В настоящей работе, ввиду ограничений по ее объёму, эта модель будет описана кратко. Как подчеркивалось во введении, модель включает в себя различные взаимосвязанные параметры, такие как население, валовой национальный продукт, производство энергии, спрос на энергию, цены на энергию, производство водорода, загрязнение окружающей среды и качество жизни.

Согласно де Лиме и Везироглы [5], соотношение между потреблением энергии E_n в год t_n и E_{n-1} в год t_{n-1} можно выразить следующим образом:

$$E = E_{n-1} \exp[0,6931(W_n)(1/\theta_0 V_{qn} + 1/\theta_e V_{en})], \quad (1)$$

где V_{qn} и V_{en} – безразмерные модификаторы численности и прироста энергии времен удвоения θ_q и θ_e соответственно, а W_n – модификатор прироста населения. По сути, модификатор V_{qn} является функцией населения, а V_{en} – функцией цен на ископаемое топливо и водородную энергию, ресурсов ископаемого топлива и соотношения спроса на энергию на душу населения. Модификатор W_n является функцией безразмерных переменных, таких как валовой продукт на душу населения, коэффициент загрязнения, а также численность населения, или скученность. Выражение для W_n было оценено Eljrushi, цитируемым Лютфи и Везироглы [10], следующим образом:

$$W_n = 1,3 - 0,22(G_{rqw})^{1,0} (P_{rw})^{0,1} (Q_{rw})^{0,5} - 0,08 / (G_{rqw})^{1,0} (P_{rw})^{0,1} (Q_{rw})^{0,5}. \quad (2)$$

Каждая из констант в формуле (2) определяется с учетом статистических данных для всего мира, и для региона применяется модель водородной энергии.



Для случая штата Сеара Сакраменто [4] определили все константы – полученное выражение для модификатора W_n выглядит следующим образом:

$$W_n = 1,3 - 0,077(G_m)^{1,0}(P_m)^{0,1}(Q_m)^{0,5} - 0,228 / (G_m)^{1,0}(P_m)^{0,1}(Q_m)^{0,5}, \quad (3)$$

где коэффициент скученности $Q_m = Q_n / Q_0$; коэффициент валового продукта на душу населения $G_m =$

$$G_n = G_{n-1} \exp[0,6931(W_n)(1/\theta_{q0}V_{qn} + 1/\theta_{e0}V_{en} + 1/\theta_{g0}V_{gn})],$$

где θ_{g0} – компонент времени удвоения, относящийся к технологическому прогрессу; V_g – его модификатор, который является функцией коэффициента скученности.

В этой модели водород будет введен в энергетическую матрицу штата Сеара с экспоненциальной скоростью со временем удвоения θ_h . Однако производство водорода будет ограничено спросом на топливо, потреблением топлива, производством ископаемого топлива, а также капиталом, доступным для инвестиций в заводы по производству водорода. Производство водорода будет выражаться следующим уравнением:

$$H_n = H_{n-1} \exp(0,6931/\theta_{hm}), \quad (5)$$

где θ_{hm} – переменное время удвоения, представляющее введение водорода в энергетический баланс штата Сеара и обозначенное как

$$\theta_{hm} = C_1 + C_2(n-1), \quad (6)$$

где C_1 и C_2 – константы, значения которых определяют сценарий, по которому вводится водород.

Произведенный водород в конечном итоге заменит ископаемое топливо. Водород будет получать электролизом обессоленной и деминерализованной морской воды. В связи с высоким потенциалом энергии ветра в прибрежной зоне штата Сеара, здесь предлагается использовать такую энергию на установке опреснения морской воды в виде электрической энергии. Как описано Лютфи и Везируглу [10], в солнечной части системы фотоэлектрическая батарея будет собирать солнечный свет и превращать его в электричество. Будет установлен электролизер, который будет использовать произведенное электричество для того, чтобы разделить воду на составляющие ее элементы – водород и кислород. Компрессоры будут сжимать водород до необходимого давления. Количество ветряных турбин, необходимое для производства электроэнергии для опреснительной установки, будет определяться как

$$GER_n = B_{wn} / E_{ger}, \quad (7)$$

$= G_n Q_0 / G_0 Q_n$; коэффициент воздействия на окружающую среду $P_m = P_n / P_0$.

В некотором смысле G (валовой внутренний продукт, как в случае со штатом Сеара) представляет собой измерение общего объема производства товаров и услуг нации или одного конкретного региона, обозначая его экономическую активность и доход. Отношения между G_n в год t_n и G_{n-1} в год t_{n-1} также можно выразить в следующей форме:

$$(4)$$

где B_{wn} – требуемая электрическая энергия в год t_n для опреснения морской воды; E_{ger} – энергия, генерируемая каждой ветряной турбиной.

Загрязнение, вызванное использованием ископаемого топлива и использованием водорода, можно записать следующим образом:

$$P_n = U(F_{dn} + \epsilon H_n), \quad (8)$$

где P_n – количество загрязнения в год t_n ; U – загрязнение на единицу потребленной ископаемой энергии; F_{dn} – потребность в ископаемом топливе в год t_n ; ϵ – отношение загрязнения, произведенного водородом на единицу энергии водорода, к загрязнению, произведенному ископаемым топливом на единицу энергии; H_n – производство водорода в рассматриваемом году. Для оценки долгосрочного воздействия на окружающую среду использования ископаемого топлива и последующего сокращения выбросов парниковых газов и выпадения кислотных дождей из-за использования водорода в энергетическом балансе штата Сеара, коэффициент выбросов каждого загрязняющего вещества был установлен в единицах потребляемой энергии. Учитывая данные ICF Консалтинг [11] по транспортному сектору, средний коэффициент выбросов CO_2 составляет: 72,86 кг / ГДж; CH_4 – 0,0054 кг / ГДж; SO_x – 0,4 кг / ГДж; а NO_x – 0,0132 кг / ГДж.

Вообще концепции качества жизни населения различны в разных обществах, поэтому, для того чтобы это понятие можно было определить в целом, оно должно включать множество факторов. В этой модели для определения показателя качества жизни были рассмотрены три измеряемых фактора: безразмерный валовой внутренний продукт, безразмерное загрязнение и безразмерное население. Согласно Лютфи и Везируглу [10], качество жизни будет повышаться с увеличением валового продукта, а с ростом населения и загрязнением – снижаться. Принимая это во внимание, показатель качества жизни L_n можно выразить следующим образом:

$$L_n = (G_m) / (P_m)(Q_m). \quad (9)$$



3. Данные и вычисления

Отправной точкой в этом моделировании является 2000 г., а охватываемый период времени продолжается до 2110 г. Следующие начальные условия, времена удвоения и коэффициенты были вычислены или взяты из литературы.

Население мира и время удвоения населения [9]

$$Q_{w0} = 6,1 \cdot 10^9, \theta_{qw0} = 59 \text{ лет.}$$

Компонент потребления энергии из ископаемого топлива и удвоения времени потребления энергии благодаря усилиям по повышению уровня жизни [12]

$$E_{w0} = 0,21 \cdot 10^9 \text{ ТДж/г, } \theta_{ew0} = 92 \text{ года.}$$

Ресурсы ископаемого топлива [9] и доля оставшихся ресурсов ископаемого топлива, которые добываются за год [13],

$$R_{w0} = 5,99 \cdot 10^9 \text{ ТДж, } \delta_w = 0,035 / \text{лет.}$$

Скорость производства водорода и отношение эффективности использования водорода к эффективности использования ископаемого топлива [9]

$$H_{w0} = 3,2 \cdot 10^6 \text{ ТДж/г, } \eta_w = 1,35.$$

Цена жидкого ископаемого топлива (цена бензина / л на АЗС) [14] и цена сжатого водорода [15]

$$C_{f0} = 22,00 \text{ долл. США / ГДж,}$$

$$C_{h0} = 8,00 \text{ долл. США / ГДж.}$$

Валовой мировой продукт и компонент удвоения валового мирового продукта вследствие технологических достижений [4]

$$G_{w0} = 45 \cdot 10^{12} \text{ долл. США; } \theta_{gw0} = 57 \text{ лет.}$$

Коэффициенты загрязнения U и соотношения загрязнения ε [11]

$$U = 73,28 \text{ кг / ГДж ископаемого топлива; } \varepsilon = 0,04.$$

Население штата Сеара и время удвоения населения [16]

$$Q_0 = 7,43 \cdot 10^6 \text{ долл. США; } \theta_{q0} = 40 \text{ лет.}$$

Потребление топлива и компонент времени удвоения расхода топлива благодаря усилиям по повышению уровня жизни [1]

$$E_0 = 0,17 \text{ ЭДж; } \theta_{e0} = 17 \text{ лет.}$$

Запасы ископаемого топлива и доля оставшихся запасов ископаемого топлива, которые добываются за год [1],

$$R_0 = 110,24 \text{ ПДж; } \delta = 0,035 / \text{год.}$$

Предполагая, что производство водорода за счёт ветровой и солнечной энергии начнется в 2015 г., темпы производства водорода будут составлять

$$\text{для } 2000 \text{ г. } \leq t < 2015 \text{ г., } H_n = 0;$$

$$\text{для } t = 2015 \text{ г., } H_n = 1,7 \cdot 10^6 \text{ ГДж / год.}$$

Были выбраны три разные скорости времени удвоения водорода:

- 1) $\theta_{hn} = 2,0 + 0,2(n - 1)$, быстрое введение водорода;
- 2) $\theta_{hn} = 2,0 + 0,25(n - 1)$, медленное введение;
- 3) $\theta_{hn} = \infty$, водород не вводится.

Среднегодовая глобальная солнечная инсоляция в Сеарах [17]

$$S_{av} = 6,7 \text{ ГДж} \cdot \text{м}^2 / \text{год.}$$

Валовой внутренний продукт, обусловленный нормальным ростом, и компонент времени удвоения валового внутреннего продукта, обусловленный достижениями в области технологий и производительности [18],

$$G_0 = 11,5 \cdot 10^9 \text{ долл. США; } \theta_{g0} = 57 \text{ лет.}$$

Коэффициенты загрязнения U и соотношения загрязнения ε [11]

$$U = 73,28 \text{ кг / ГДж ископаемого топлива; } \varepsilon = 0,04.$$

4. Результаты и обсуждение

Учитывая, что в центре внимания настоящей работы находится влияние использования водорода в энергетическом балансе штата Сеара как формы сокращения выбросов парниковых газов и выпадения кислотных дождей, здесь будут показаны результаты, относящиеся только к этому вопросу. Следует отметить, что готовится полная статья о применении ветро-солнечной водородной энергетической системы в Сеара, которая будет впоследствии представлена для публикации. Однако будут обсуждаться данные о населении, спросе на энергию, цене на энергию и валовом внутреннем продукте, поскольку они напрямую влияют на будущие выбросы загрязняю-



ших веществ при сжигании ископаемого топлива в этом штате Бразилии.

До 2050 г. население штата Сеара будет одинаково расти независимо от рассматриваемого сценария. После 2050 г. сценарии быстрого и медленного введения водорода способствуют увеличению темпов роста населения, и к 2080 г. численность населения стабилизируется на уровне 15,2 млн человек. Применяемая модель идеально соответствует демографическому прогнозу Бразильского института географии и статистики (IBGE), сделанному до 2020 г. [18]. В сценарии без введения водорода население достигнет максимума в 13,8 млн человек к 2060 г. Такие данные указывают на то, что более низкий уровень загрязнения и более высокие показатели качества жизни обеспечивают лучшие условия для увеличения численности населения. Что касается будущей потребности в энергии штата Сеара, то в ситуации, когда водород не вводится, потребность в энергии достигнет значения насыщения 1,88 ЭДж к 2060 г., а в двух других ситуациях пиковое значение 2,33 ЭДж будет достигнуто к 2075 г. Это в значительной степени отражает тот факт, что введение водорода в энергетический баланс штата Сеара может способствовать установлению более высокого уровня жизни его населения. Валовой внутренний продукт на душу населения в штате Сеара по неводородному сценарию увеличится примерно до 15 000 реалов (2 000 дол. США) в 2060 г. В обоих сценариях введения водорода пик в размере 18 500 реалов будет достигнут примерно в 2080 г. Эта разница в основном связана с более высокой эффективностью использования и гораздо меньшим ущербом для окружающей среды ветро-солнечной водородной энергетической системы. Что касается затрат на производство водорода к 2000 г., цена на производство 1 ГДж ветро-солнечной водородной энергии в штате Сеара оценивается приблизительно в 22 дол. США, что примерно в три раза выше стоимости энергии 1 ГДж ископаемого топлива. Однако к 2015 г. стоимость обоих видов топлива будет одинаковой, и прогнозы показывают, что к 2025 г. стоимость водородной энергии достигнет 9 дол. США за каждый ГДж, а стоимость энергии ископаемого топлива составит около 13 дол. США за ГДж и к 2080 г. достигнет приблизительно 18 дол. США за ГДж.

На рис. 1 представлена динамика выбросов CO₂ в штате Сеара до 2110 г. для трех рассмотренных сценариев. К 2070 г. в штате Сеара будет ежегодно выбрасываться 40 млн т CO₂, если не использовать водород. С введенным водородом пик выбросов достигнет 20 млн т в 2035 г. и 25 млн т в 2040 г. для

случаев быстрого и медленного введения соответственно. Нулевые выбросы CO₂ будут достигнуты после 2055 г.

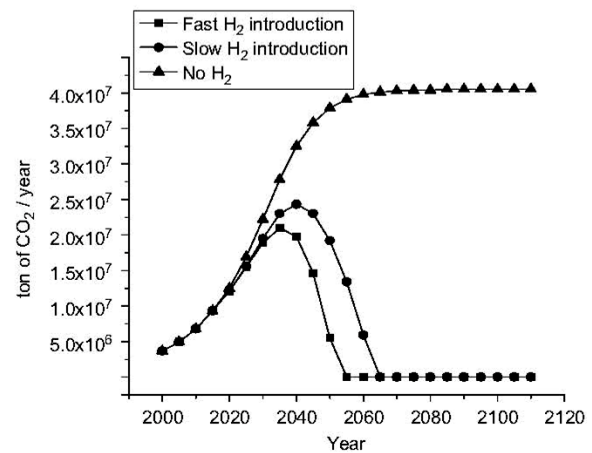


Рис. 1 – Выбросы углекислого газа в штате Сеара
Fig. 1 – Emissions of carbon dioxide in the Ceará state

Выбросы метана в Сеара по годам показаны на рис. 2. До 2025 г. все сценарии имеют одинаковый вид. В ситуации, когда водород не вводится в энергетический баланс Сеара, выбросы CH₄ достигнут максимума в 30 000 т в 2060 г. При быстром введении водорода выделенное количество будет максимальным при 16 000 т в 2035 г. и 18 000 т. в 2040 г., снижение до нуля произойдет после 2055 г.

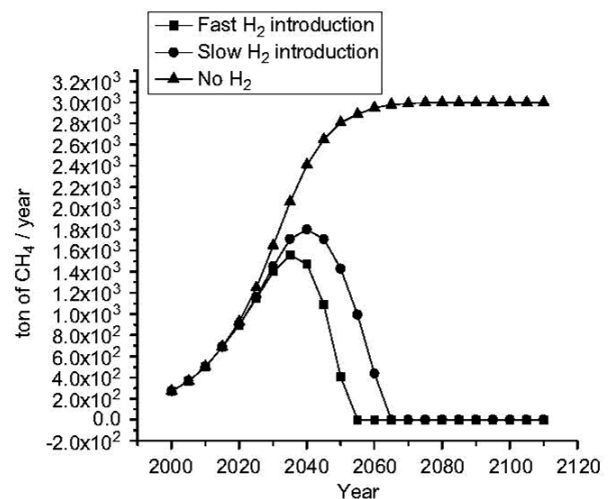


Рис. 2 – Выбросы метана в штате Сеара
Fig. 2 – Emissions of methane in the Ceará state

Как видно на рис. 3, к 2060 г. штат Сеара будет нести ответственность за выбросы около 220 000 т SO₂ в результате использования ископаемого топлива. В ситуации быстрого и медленного введения водорода в качестве энергоносителя выбросы оксидов серы составят 120 000 т и 140 000 т соответственно после 2035 г. и снизятся до нуля после 2055 г.



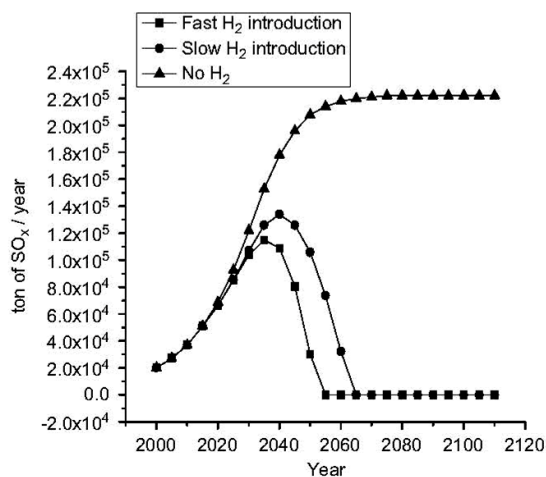


Рис. 3 – Выбросы оксида серы в штате Сеара
Fig. 3 – Emissions of sulphur oxide in the Ceará state

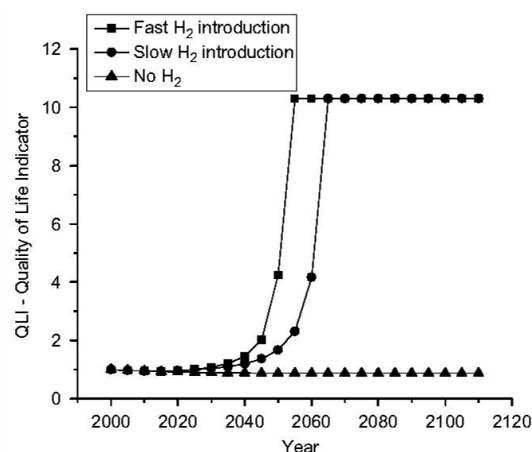


Рис. 5 – Показатель качества жизни
Fig. 5 – The quality of life indicator

На рис. 4 представлены годовые выбросы NO_x в штате Сеара. Без введения водорода выбросы кислотных осадков к 2070 г. составят 75 000 т. С введением водорода эти показатели составят 45 000 т или 50 000 т к 2040 г., независимо от скорости введения водорода. После 2040 г. выбросы снизятся и после 2060 г. достигнут значения 20 000 т. Нулевые выбросы были бы достигнуты, если бы энергия водорода могла использоваться без сжигания для преобразования, как, например, в топливных элементах.

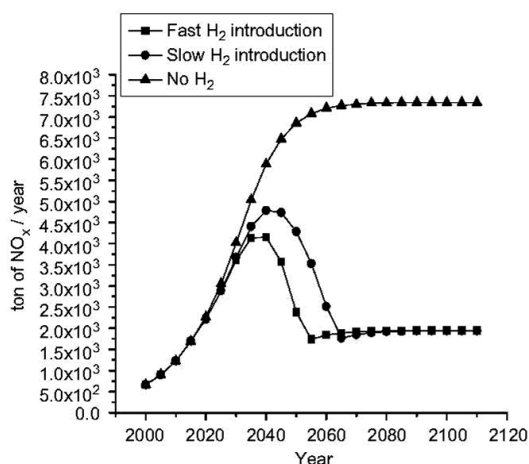


Рис. 4 – Выбросы оксида азота в штате Сеара
Fig. 4 – Emissions of nitrogen oxide in the Ceará state

На рис. 5 показан показатель качества жизни в штате Сеара до 2110 г. Следует отметить, что при постоянном использовании ископаемого топлива качество жизни не улучшится и будет немного ниже уровня 2000 г. Использование водорода, произведённого из возобновляемых источников энергии, повлияет на качество жизни в штате Сеара, а затем, после 2040 г., в результате сокращения загрязнения и увеличения доходов на душу населения, оно резко повысится – в 10 раз по сравнению с 2000 г.

Этот уровень будет достигнут в 2050 г. по сценарию быстрого внедрения водорода и в 2060 г. по медленному сценарию.

5. Заключение

В этой работе подтверждена возможность использования ветр-солнечного водорода в качестве энергоносителя для замены ископаемого топлива и уменьшения загрязнения, выделяемого штатом Сеара приблизительно за столетие. Результаты показали, что, если огромные ресурсы солнечной и ветровой энергии штата Сеара будут преобразованы в водород, большинство выбросов парниковых газов и кислотных осадков будут обнулены к 2060 г. Вследствие этого, качество жизни населения штата Сеара будет улучшено, а окружающая среда будет лучше защищена.

Благодарности

Один из авторов (Л.С. де Лима) благодарит Бразильский национальный совет по научно-техническому развитию (CNPQ) за финансовую поддержку.

Acknowledgement

One of the authors (L.C. de Lima) thanks the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ) for financial support.

References

- [1] BENCE 2000—Balanc-o Energético do Estado do Ceará 2000. Coordenadoria de Energia e Comunicações da SEINFRA— Secretaria da Infra-Estrutura do Estado do Ceará, Fortaleza, CE; 2000. p. 103.
- [2] Shakyа B.D., Aye L.U., Musgrave P. Technical feasibility and financial analysis of hybrid wind-photovoltaic system with hydrogen storage for Cooma. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2005;30:9–20.
- [3] Sherif A.S., Barbir F., Veziroglu T.N. Wind energy and the hydrogen economy—review of the technology. *Solar Energy*, 2005;78:647–60.



- [4] Sacramento E.M. Um sistema de energia a hidrogenio solareólico para o estado do Ceará. Dissertação de Mestrado em Ciências Físicas Aplicada, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE; 2007.
- [5] de Lima L.C., Veziroglu T.N. Long-term environmental and socio-economic impact of a hydrogen energy program in Brazil. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2001;26:39–45.
- [6] Manzini F., Islas J., Martinez M. Reduction of greenhouse gases using renewable energies in México 2025. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2001;26:145–9.
- [7] Hetland J., Mulder G. In search of a sustainable hydrogen economy: how a large-scale transition to hydrogen may affect the primary energy demand and greenhouse gas emissions. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2007;32:736–47.
- [8] Granovskii M., Dincer I., Rosen M.A. Greenhouse gas emissions reduction by use of wind and solar energies for hydrogen and electricity production: economic factor. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2007;32:927–31.
- [9] Almogren S., Veziroglu T.N. Solar-hydrogen energy system for Saudi Arabia. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2004;29:1181–90.
- [10] Lutfi N., Veziroglu T.N. A clean and permanent energy infrastructure for Pakistan: solar-hydrogen energy system. *Int. J. Hydrogen Energy*, 1991;16(3):169–200.
- [11] ICF Consulting. Protocolos para Medição e Geração de Dados relativos a Gases de Efeito Estufa. 2005. Available on: http://www.aracruz.com.br/doc/pdf/amb_mudancas_protocol_v1.pdf. Accessed on May 16, 2007.
- [12] International Energy Agency: World Energy Outlook 2002. Available on: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/weo2002.pdf>. Accessed on March 17.
- [13] Abdallah M.A.H., Asfour S.S., Veziroglu T.N. Solar-hydrogen energy system for Egypt. *Int. J. Hydrogen Energy*, 1999;24:505–17.
- [14] Como Funcionam os Precos da Gasolina nos Estados Unidos. Available on: <http://hsw.uol.com.br/prec-os-da-gasolina.html>. Accessed on February 08, 2007.
- [15] Dutton, AG. A review of potential hydrogen production and delivery costs. Energy Research Unit, CLRC Rutherford Appleton Laboratory, May 2002. Available on: http://www.h2net.org.uk/PDFs/Systems/hydrogen_pres005_h2net.pdf. Accessed on April 12.
- [16] IPECE—Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Available on: <http://www.ipece.ce.gov.br>. Accessed on January 15, 2007.
- [17] Carvalho P.C.M., Pontes R.S.T., Oliveira Jr D.S., Riffel D.B., Oliveira R.G.V., Mesquita S.B. Estudo estatístico de radiação solar visando o projeto de unidades de dessalinização acionadas por painéis fotovoltaicos sem baterias. In: 5_ Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, Campinas, Brazil; October 2004.
- [18] Ruschmann Consultores. Análise da dinâmica social do estado do Ceará. 2002. Available on: http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/prodetur/downloads/docs/pdits_ce_vol_i_diagn_5_social.pdf. Accessed on December 12, 2006.



CAOL*2019
INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED OPTOELECTRONICS AND LASERS

September 06-08, 2019 | SOZOPOL, BULGARIA

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED OPTOELECTRONICS AND LASERS CAOL*2019

The 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL*2019) will be held in Sozopol, Bulgaria, September 06 - 08, 2019. CAOL*2019 will provide a forum for scientists in a wide area of laser physics and optoelectronics. The conference will cover wide frontiers in laser physics, photonics, nanotechnology, material physics, nonlinear optics and optical communications. Its characteristic feature is a stronger emphasis on the mathematical, physical and technological aspects of the problems in hand, together with detailed analysis of application problems. The technical program will consist of invited lectures and regular contributed papers.

This year in the frame of CAOL we will organize two accompanying events, Scientific Workshop on Data Science in Modern Optoelectronics and Laser Engineering (DSMOLE*2019) and Scientific Workshop "Measurement Uncertainty: scientific, normative, applied and methodical aspects" (UM*2019). DSMOLE*2019 will be dedicated to problems arising from merging of modern optoelectronics and laser engineering with data science, artificial and computational intelligence. UM*2019 will cover cutting-edge developments in metrology and adjacent fields.

CAOL conference has long history. Previous conferences were successfully held in 2003, 2005, 2008, 2010 and 2013 in Crimea, Ukraine, in 2006 in Guanajuato, México, and in 2016 in Odessa, Ukraine. Information on the previous international meetings on optoelectronics and lasers can be found in IEEE Photonics Society Newsletter (formerly IEEE/LEOS Newsletters): 4-1999, 4-2000, 4-2001, 3-2004 2-2006, 2-2009, 4-2010, 4-2011 etc.

Conference will be held in collaboration with IEEE/IPS, OSA and SPIE, and Regional Chapters of those societies.

The Conference Proceedings will be published in English and will be available at the registration desk. All accepted contributions will be submitted to IEEE Xplore Digital Library, as well as other Abstracting and Indexing (A&I) databases (Scopus, Web of Science, Google Scholar). Please pay attention that "No-show" papers won't be included in the IEEE Xplore Digital Library.

For Participants from Ukraine and FSU countries special grants to partial reduction of the registration fee will be available.

<http://www.caolconferences.org/>

