

Применение водорода в энергетике: вопросы экологии



М.А. Савитенко –
АНО «Центр исследований и научных разработок
в области энергетики «Водородные технологические
решения»



Б.А. Рыбаков, к.т.н –
ООО «СК-Инжиниринг»

In brief

Hydrogen application for power generation: ecological issues.

The energy sector is in a constant state of change, perhaps more than ever. Stricter emissions requirements have come on the heels of shifting public support for environmental sustainability. Gas turbines are now expected to burn more variations of fuel and be more flexible in their application, all while competing with wind, solar, and battery storage systems. Alternatives to natural gas like hydrogen have garnered intense interest due to clean burning qualities and government support. Accordingly, most manufacturers offer turbines that can handle some level of natural gas-hydrogen blend. They are working to create future-proof turbines that can efficiently run on 100 % hydrogen or a high hydrogen blend. Transition process to hydrogen power generation is called decarbonization. Many developed countries endorsed the programs of hydrogen technologies development support. These technologies are first of all the technologies of green hydrogen generation. It is produced from the water by means of electrolysis with using electric power generated by renewable power stations.

В настоящее время появляется всё больше публикаций об использовании водорода в качестве топливного газа. Интерес к данной теме обусловлен тем, что при сжигании водорода образуется только водяной пар и не выделяется углекислый газ.

Процесс перехода к водородной энергетике называется «декарбонизацией». Во многих развитых странах приняты программы поддержки водородных технологий, в первую очередь, технологий производства «зеленого» водорода, т.е. получаемого из воды методом электролиза с помощью электроэнергии из возобновляемых источников энергии – ветра, солнца и воды (гидроэлектростанции).

При этом подразумевается, что такой подход приведет к снижению парникового эффекта, поскольку будет снижаться концентрация углекислого газа в атмосфере Земли.

Парниковый эффект

Рассмотрим основные причины усиления парникового эффекта. Понятие «парниковые газы» включает:

- газообразные составляющие атмосферы природного или антропогенного происхождения, которые поглощают и переизлучают инфракрасное излучение;
- газы с высокой прозрачностью в видимом диапазоне и с высоким поглощением в среднем и дальнем инфракрасном диапазоне.

К основным парниковым газам относятся: а) водяной пар; б) углекислый газ; в) метан; г) тропосферный озон. Присутствие таких газов в атмосферах планет приводит к парниковому эффекту.

Водяной пар. Водяной пар (H_2O) – главный природный парниковый газ. На его долю приходится более 60 % влияния на терморегуляцию нашей планеты. Потепление климата провоцирует усиленное испарение влаги, повышающее парниковый эффект.

Углекислый газ. Двуокись углерода (CO_2) составляет 0,03 % атмосферы. Источниками диоксида углерода в воздухе являются выбросы веществ во время извержений вулканов, антропогенные факторы (производственные

процессы, сжигание топлива), продукты жизнедеятельности (метаболизма, дыхания, гниения) живых организмов. Основные характеристики углекислоты: вещество без цвета и запаха, тяжелее воздуха, в больших количествах имеет кисловатый привкус и может вызывать отравления. В результате вырубки лесов, поглощающих CO_2 , концентрация в атмосфере выросла на 46 % в период с 1750 по 2017 гг. (с 280 до 405 ppm).

Метан. Метан (CH_4) продуцируется микроорганизмами, появляется вследствие биологических процессов на болотах, выделяется при горении лесов, его источниками являются домашнее животноводство и рисоводство. Период распада составляет 10–12 лет, но, несмотря на сравнительно короткий период и небольшую концентрацию, в сравнении с двуокисью углерода эффект от метана в 25 раз сильнее. В результате деятельности человека газ накапливается быстрее, чем поглощается естественным образом, повышая угрозу возникновения глобального потепления.

Тропосферный озон. Озоновый слой находится в стратосфере на высоте 20...25 км и защищает нашу планету от УФ-излучения. Тропосферный озон (O_3) приводит к усилению парникового эффекта, загрязняет атмосферу, подавляет наращивание растениями биомассы. Синтезируется при реакции оксида азота с окисью углерода в присутствии солнечного света, водяных паров и кислорода. Главные источники появления в атмосфере – транспорт, химические и промышленные выбросы. Превышения ПДК носят локальный характер, так как озон быстро разрушается.

В табл. 1 приведены данные по влиянию основных парниковых газов на создание парникового эффекта. Как следует из табл., углекислый газ занимает здесь второе место после водяного пара.

Сжигание водорода и метана

Сравним количество выбросов в атмосферу парниковых газов при сжигании водорода и метана, который является основным компонентом природного газа. При соединении двух

молекул водорода (H_2) с одной молекулой кислорода возникают две молекулы воды. Реакция соединения водорода и кислорода сопровождается выделением энергии:



При сжигании одного килограмма водорода выделяется 120 МДж тепловой энергии и 9 кг водяного пара. При соединении одной молекулы метана с двумя молекулами кислорода возникают две молекулы воды и одна молекула углекислого газа. Реакция соединения метана и кислорода сопровождается выделением тепловой энергии:



При сжигании одного килограмма метана выделяется 50 МДж тепловой энергии, а также 2,75 кг углекислого газа и 2,25 кг водяного пара, т.е. 5 кг парниковых газов. Для получения 120 МДж тепловой энергии потребуется сжечь 2,4 кг метана. При этом в атмосферу попадет 6,6 кг углекислого газа и 5,4 кг водяного пара, то есть 12 кг парниковых газов. Данные приведенных выше расчетов сведены в табл. 2.

Из приведенного расчета видно, что при получении одинакового количества энергии суммарные выбросы парниковых газов при сжигании метана на 30 % выше, чем при сжигании водорода. При этом выбросы водяного пара при сжигании природного газа на 40 % ниже, чем при сжигании водорода.

Из табл. 1 видно, что влияние водяных паров на парниковый эффект более чем в два раза превышает влияние углекислого газа. Если учесть этот факт, то парниковый эффект от сжигания 1 кг водорода будет соизмерим с 2,4 кг метана. То есть при выделении одинакового количества энергии влияние водорода и метана на парниковый эффект соизмеримо.

Важно отметить, что для получения одинакового количества энергии при реакции водорода с кислородом расходуется на 20 % меньше кислорода, чем при сжигании метана. Вместе с тем, из публикаций зарубежных средств массовой информации можно сделать вывод, что на усиление парникового эффекта оказывает влияние только углекислый газ. Более того, Евросоюз планирует ввести так называемый «углеродный налог» на все импортируемые в ЕС товары.

Одним из стратегических направлений водородной энергетики в странах Европы является производство водорода методом электролиза воды. При этом ставка делается на ветровую энергию.

Табл. 1. Процентное содержание парниковых газов

№	Парниковый газ	Формула	Процентное содержание
1	Водяной пар	H_2O	36...72
2	Углекислый газ	CO_2	9...26
3	Метан	CH_4	4...9
4	Озон	O_3	3...7

Табл. 2. Выбросы парниковых газов при сжигании водорода и метана

	Масса сжигаемого газа	
	1 кг водорода (H_2O)	2,4 кг метана (CH_4)
Масса кислорода, участвующего в реакции, кг	8	9,6
Выделение тепловой энергии, МДж	120	120
Масса водяного пара, кг	9	5,4
Масса углекислого газа, кг	–	6,6
Суммарная масса парниковых газов, кг	9	12

Табл. 3. Характеристики природного газа, метана и водорода

Характеристики (при нормальных условиях)	Природный газ	Метан CH_4	Водород H_2
Объемная низшая теплота сгорания, МДж/м ³	36,6	35,88	10,79
Плотность, кг/м ³	0,746	0,717	0,09
Относительная плотность	0,58	0,55	0,07
Массовая низшая теплота сгорания, МДж/кг	49	50	120
Объемное нижнее число Воббе (WI), МДж/кг	48	48,2	40,7

Аккумуляирование водорода в газотранспортной системе

В странах Европы предлагается с помощью вырабатываемой ночью энергии ветропарков производить водород по нулевым или даже отрицательным тарифам, а полученный водород подмешивать к природному газу в систему газоснабжения. В этом случае система газопроводов будет играть роль огромного аккумулятора водорода.

Натурные исследования, проведенные в Европе, показали, что при концентрации водорода в природном газе не более 10 % он не оказывает негативного влияния на металл газопроводов, а также незначительно изменяет число Воббе метановодородной смеси.

Число Воббе (Wobbe Index – WI) является признанным международным критерием взаимозаменяемости газообразных топлив. Оно определяется как отношение объемной теплоты сгорания топливного газа к квадратному корню относительной плотности газа при нормальных или стандартных условиях:

$$WI = Q_H (\text{об.}) / (\rho_{ГКС} / \rho_{ВНУ})^{0,5}, \quad (3)$$

где $Q_H (\text{об.})$ – объемная теплота сгорания газа, ρ_G – плотность газа при нормальных условиях, ρ_V – плотность воздуха при нормальных условиях.

Рис. 1. График зависимости CO_2 от концентрации H_2 в топливном газе

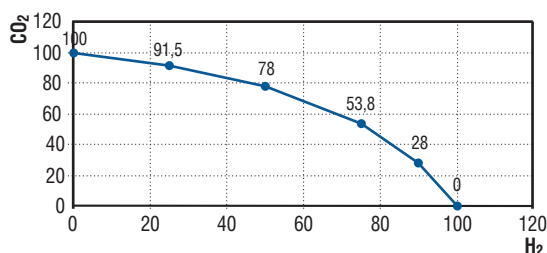
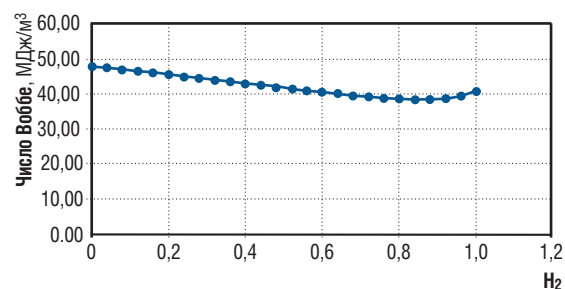


Рис. 2. График зависимости числа Воббе от объемной концентрации водорода



Этот критерий был сформулирован в 1927 г. итальянским инженером Альфредо Воббе. В табл. 3 приведены характеристики, такие как плотность (ρ), низшая теплота сгорания (НТС) и низшее число Воббе (WI) метана, водорода и природного газа. Из табл. видно, что объемная теплота сгорания водорода в 3,4 раза меньше, чем природного газа, плотность водорода меньше в 8,3 раза, массовая теплота сгорания водорода в 2,4 раза выше по сравнению с природным газом, а число Воббе водорода ниже всего на 18 %.

При сжигании водородосодержащих газов (ВСГ) выбросы углекислого газа в атмосферу будут снижаться по сравнению с выбросами CO_2 , образующимися при сжигании природного газа, как показано на рис. 1.

Из графика видно, что при относительно небольших концентрациях водорода в метановодородном топливе снижение выбросов углекислого газа в атмосферу незначительно. Чтобы достичь снижения выбросов CO_2 на 50 %, необходимо подмешать к природному газу 75 % водорода. При увеличении концентрации водорода в газотранспортной системе будет снижаться число Воббе водородосодержащего газа. На рис. 2 показана зависимость WI от концентрации водорода в ВСГ.

В большинстве стран Европы, а также на территории Российской Федерации допустимое отклонение значения числа Воббе составляет ± 5 % от номинального значения. Таким образом, эти нормы не позволяют значительно увеличить концентрацию водорода в существующей газотранспортной системе. Ежегодно по Единой газотранспортной системе (ЕГС) РФ транспортируется около 700 млрд м^3 природного газа, следовательно, 10 % от этого объема составит 70 млрд м^3 , или 6,3 млн тонн водорода.

Чтобы произвести такой объем водорода методом электролиза, потребуется около 350 млрд кВт·ч электроэнергии в год, или 40 ГВт электрической мощности. Согласно недавно принятой энергостратегии до 2035 года, РФ планирует к 2024 г. экспортировать 0,2 млн тонн водорода, а к 2035 г. — 2 млн тонн. При подмешивании 2 млн тонн

водорода к природному газу ЕГС средняя объемная концентрация водорода в нем составит около 3 %, что практически не изменит физико-химических свойств газа.

В Российской Федерации единственным владельцем газотранспортной системы является ПАО «Газпром». В соответствии с пунктом 7 «СТО Газпром 089-2010» (Физико-химические показатели газа горючего природного, поставляемого и транспортируемого по магистральным газопроводам) теплота сгорания низшая при стандартных условиях должна быть не менее 31,8 МДж/м³.

Низшая объемная теплота сгорания водорода при стандартных условиях равна 10 МДж/м³, то есть в три раза меньше, чем допускается по СТО. Следовательно, без изменения нормативной базы подмешивание водорода к природному газу газотранспортной системы невозможно.

Повышение КПД энергетических установок

Одним из способов уменьшения выбросов в атмосферу углекислого газа является повышение эффективности энергетических установок. Повышение КПД приводит к сокращению потребления топлива на киловатт-час электроэнергии, тем самым уменьшая выбросы CO_2 на единицу произведенной электроэнергии. В тепловой энергетике, использующей в качестве топлива природный газ, наиболее высокий КПД имеют парогазовые установки, в состав основного оборудования которых входят газотурбинные и паротурбинные установки, котлы-утилизаторы. КПД современных парогазовых установок превышает 60 %.

Дополнительную возможность снижения выбросов в атмосферу углекислого газа обеспечивает переход тепловых электростанций и котельных на водородосодержащий газ, а именно, смесь природного газа и водорода.

Сжигание метановодородной смеси в газовых турбинах

Зарубежные производители газотурбинных установок проводят интенсивные исследования по использованию в качестве топлива

метановодородных смесей. Исходя из работы «Gas turbine innovations, with or without hydrogen» (Turbomachinery International. Rosy Pasquariello. Dec. 4, 2020) следует:

- В наиболее популярных газовых турбинах Ansaldo Energia GT36 H-класса и AE94.3A F-класса можно сжигать газ с содержанием водорода, соответственно, до 50 % и до 25 %.
- Газовая турбина 7HA производства GE мощностью 384 МВт, оснащенная системой сжигания multi-tube, известная как DLN2.6e, может работать на смеси природного газа и водорода с объемной долей водорода до 50 %.
- Компанией OPRA – датским изготовителем ГТУ – разработана система сжигания, позволяющая сжигать 100 % водорода.
- В 2018 г. Kawasaki Heavy Industries продемонстрировала, что турбина M1A-17 мощностью 1 МВт может сжигать 100 % водорода.
- Компанией Mitsubishi Power разработана турбина, которая может работать на смеси, состоящей из 30 % водорода и 70 % природного газа. Ведется работа по увеличению доли водорода до 100 %. Газовая турбина Advanced Class JAC серии J позволяет достигнуть КПД в парогазовом цикле 64 %. Для этой ГТУ Mitsubishi Power разрабатывает низкоэмиссионные камеры сгорания multi-cluster для работы на 100 %-м водороде. Технология заимствована из ракетной техники, разработанной МНП.
- Все ГТУ компании Siemens Energy большой мощности (от SGT5-2000E до SGT5/6-9000HL) способны работать на смеси природного газа и водорода с объемной концентрацией до 30 %. ГТУ SGT-600 может работать с концентрацией водорода до 60 %, а SGT-800 – до 50 %. В ближайшее время они смогут работать на смеси с концентрацией водорода 75 %.

При переходе на водородосодержащий газ в ГТУ необходимо учитывать, что в результате сжигания, кроме водяного пара и углекислого газа, образуются оксиды азота. В ряду основных загрязнителей атмосферы они занимают особое место из-за высокой токсичности. В валовом выбросе всех токсичных веществ на них приходится 6...8 %, но по токсичности доля NO_x оценивается примерно в 35 %. Даже концентрация 150...200 мг/м³ при кратковременном вдыхании способна вызвать отек легких. Оксиды азота, как и СО, способны соединяться с гемоглобином крови и могут вызывать изменение состава крови.

Важнейшими оксидами азота являются монооксид NO и диоксид NO₂, которые объединяются общей формулой NO_x. Остальные

известные оксиды азота не являются биологически значимыми. Причиной их образования является окисление азота воздуха в факеле горелочных устройств. Оксиды азота образуются непосредственно в зоне горения и наиболее интенсивно – в зоне самых высоких температур пламени.

Экспериментальные исследования показывают, что при увеличении доли водорода в топливном газе выбросы оксидов азота в выхлопных газах ГТУ возрастают. Так, исследования, проведенные компанией «Сименс» на камерах сгорания ГТУ SGT-700/800 показали, что при концентрации 30 % водорода в смеси с природным газом выбросы NO_x незначительно выше, чем при сжигании природного газа, а при переходе на 100 %-й водород концентрация NO_x в выхлопных газах ГТУ возрастает на 30 % (см. «Исследование камеры сгорания газовых турбин SGT-700/-800 на гибкость по топливу и нагрузке»//Турбины и Дизели. 2020, №6).

Получение водорода методом электролиза из воды

При электролизе вода разлагается на водород (H₂) и кислород (O₂), причем из двух молекул воды образуется две молекулы водорода и одна молекула кислорода:



Из девяти литров дистиллированной воды электролизом можно получить 1 кг водорода и 8 кг кислорода. Следовательно, чтобы произвести 6,3 млн тонн водорода для заполнения ЕГС России с концентрацией водорода в природном газе 10 % потребуется 56,7 млн тонн дистиллированной воды.

Получить дистиллированную воду из сырой воды можно с помощью мембранных техноло-

🔧 ГТУ SGT-800 может работать на газе с концентрацией водорода до 50 %



гий (обратный осмос) или термическими методами. Независимо от выбранной технологии, в результате очистки останется вода с повышенным содержанием примесей, которую необходимо утилизировать. На сегодня существуют две основные технологии очистки воды до состояния дистиллированной: многократное кипячение с конденсацией и обратный осмос.

Вода, как известно, — ценнейший природный ресурс. Она играет исключительную роль в процессах обмена веществ, составляющих основу жизни, огромно ее значение в промышленном и сельскохозяйственном производстве. Для многих живых существ она служит средой обитания.

Рост городов, бурное развитие промышленности, интенсификация сельского хозяйства, значительное расширение орошаемых земель и ряд других факторов все больше обостряют проблемы, связанные с обеспечением водой. Потребности в воде огромны — ежегодный ее расход на земном шаре по всем видам водоснабжения составляет 3300...3500 км³. Развитие энергетики также приводит к резкому увеличению ее потребности.

Большая часть воды после ее использования для хозяйственно-бытовых нужд возвращается в реки в виде стоков. Дефицит пресной воды уже сейчас становится мировой проблемой и заставляет ученых всех стран мира искать пути для решения этой проблемы. На современном этапе определяются такие направления: более полное использование и расширенное воспроизводство ресурсов пресных вод, разработка новых технологических процессов, позволяющих предотвратить загрязнение водоемов и свести к минимуму потребление свежей воды.

Выбор оптимальных технологических схем очистки воды — достаточно сложная задача,

что обусловлено многообразием находящихся в ней примесей и высокими требованиями к качеству очистки воды. При выборе способа очистки примесей учитывают не только их состав в сточных водах, но и требования, которым должны удовлетворять очищенные воды. При сбросе в водоем учитываются ПДС (предельно допустимые сбросы) и ПДК (предельно допустимые концентрации веществ), а при использовании очищенных сточных вод в производстве — требования, необходимые для осуществления конкретных технологических процессов.

Для приготовления из сточных вод технической воды или обеспечения условий сброса очищенных сточных вод в водоемы большое значение имеет технико-экономическая оценка способов подготовки воды. Экономическое преимущество имеют, как правило, замкнутые системы водоиспользования. Однако процесс замены современных производств безотходными, в том числе и с полностью замкнутой системой водоиспользования, довольно длительный. Поэтому часть очищенных сточных вод сбрасывают в водоемы. В этих случаях необходимо соблюдать установленные нормативы для относительной концентрации вредных веществ в очищенных сточных водах.

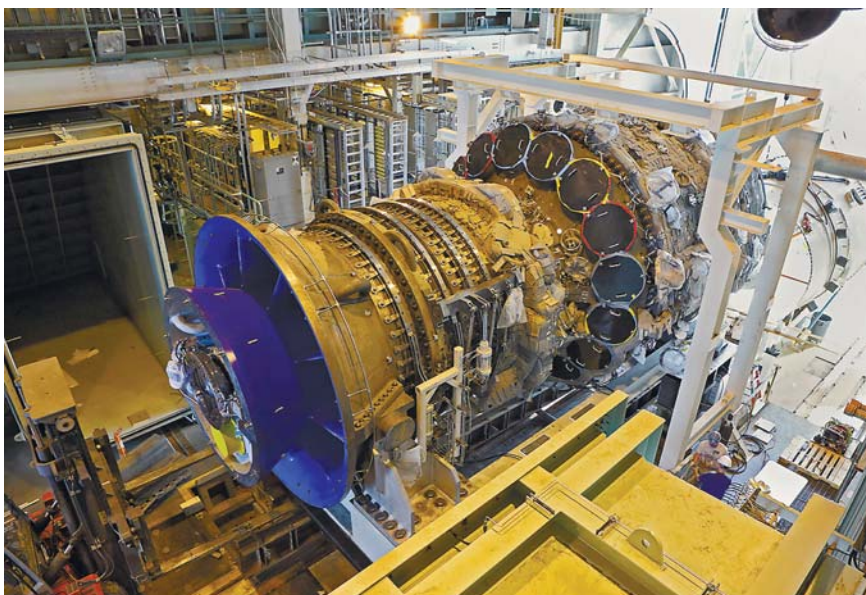
Применяемые схемы очистки должны обеспечивать максимальное использование очищенных вод в основных технологических процессах и минимальный их сброс в открытые водоемы. При широком внедрении оборотных систем имеются дополнительные резервы по сокращению расхода свежей воды и уменьшению сброса сточных вод в водоемы (совершенствование технологических процессов, повышение эффективности очистки). Сточные воды являются чистыми, если их отведение в водные объекты не приводит к нарушению норм качества воды в контролируемом створе или пункте водоиспользования.

Большое значение имеет надежный контроль степени очистки сточных вод, так как с ужесточением требований к качеству очищенных вод уровень ПДК большинства вредных веществ снижается и, следовательно, возрастают трудности их определения. Кроме того, контроль усложняется при определении концентраций вредных веществ в сильно разбавленных сточных водах.

Морская вода, ветер и водород

В целях декарбонизации атмосферы развитые страны планируют увеличить производство электроэнергии с помощью возобновляемых источников энергии, в частности ветровых электростанций. Современный подход к ветро-

⚡ Газовая турбина 7НА производства GE мощностью 384 МВт может работать на смеси природного газа и водорода с объемной долей водорода до 50 %



энергетике характеризуется тем, что, во-первых, увеличивается мощность ветропарков и, во-вторых, их создание осуществляется на морском шельфе.

Лидером по строительству морских ветропарков (Wind farms) в настоящее время является Великобритания. К 2030 г. суммарно в стране планируется построить 50 ГВт мощностей ветропарков – из них 40 ГВт на морском шельфе.

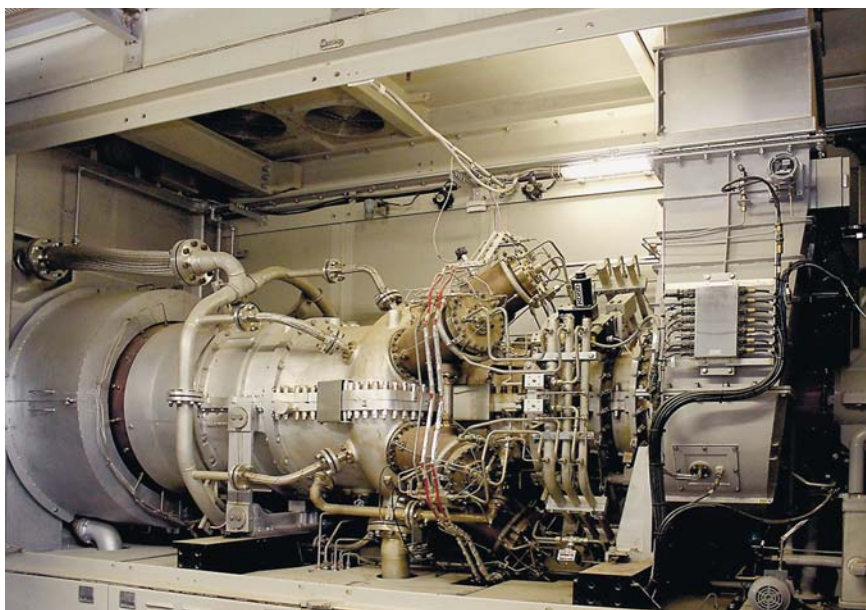
Япония планирует построить к 2030 г. 10 ГВт морских ветровых электростанций и к 2040 г. увеличить их мощность до 30...45 ГВт. Германия – построить 40 ГВт ветровых электростанций на шельфе Балтийского моря к 2040 г. В Индии к 2030 г. планируется ввести 30 ГВт мощностей морских ветростанций. К 2035 г. США планирует создать 30 ГВт ветропарков на шельфе.

В чем преимущество сооружения ветропарков на море по сравнению с их строительством на суше? Во-первых, это не приводит к отчуждению земель сельскохозяйственного назначения, а во-вторых, появляется возможность производить водород в промышленных масштабах из опресненной морской воды. Третьим преимуществом является то, что сточные воды, образующиеся в результате опреснения морской воды, можно сбрасывать обратно в море.

Почему для производства водорода методом электролиза перспективно применение энергии ветра? Потому что в отличие от солнечных электростанций ветрогенераторы могут работать и в ночное время, но поскольку ночью потребность в электроэнергии снижается, то вырабатываемая в это время энергия может как аккумулироваться, так и использоваться для производства водорода.

Европейский консорциум Oyster получил 5 млн евро на реализацию проекта по исследованию возможностей объединения морских ветроэнергетических установок (ВЭУ) с приспособленными для морских условий электролизерами для производства «зеленого» водорода. Финансирование обеспечило совместное предприятие по топливным элементам и водороду (FCH2-JU) – государственно-частное партнерство Европейской комиссии.

Консорциум образован компаниями Orsted, Siemens Gamesa, ITM Power и Element Energy. В настоящее время он разрабатывает электролизер мегаваттного масштаба, предназначенный для производства «зеленого» водорода непосредственно на ветрогенераторах морского базирования, откуда газ будет далее транспортироваться на берег. Опытные образцы электролизеров уже прошли испытания на суше.



Система электролизера Oyster будет спроектирована таким образом, чтобы иметь достаточно компактные размеры для интеграции в морской ветрогенератор с учетом производительности отдельно взятой модели. В системе будут осуществляться опреснение и очистка воды, что позволит использовать морскую воду в качестве сырья для электролиза.

Проект направлен на то, чтобы наладить производство водорода по цене, способной конкурировать с ценой на природный газ (с учетом, что последняя будет обложена соответствующим «углеродным» налогом). Реализация проекта должна начаться в 2021 году и продолжится до конца 2024-го.

Водородные топливные элементы

С помощью топливных элементов из водорода можно получать электрическую и тепловую энергию без образования вредных веществ, таких как оксиды азота.

Водородный топливный элемент генерирует электричество в процессе электрохимической реакции, в которой атомы поступающего под давлением водорода разлагаются на электроны и протоны. Электроны поступают во внешнюю цепь, создается электрический ток. Далее протоны проходят через мембрану, где с ними соединяются кислород и электроны. Единственным побочным продуктом такой реакции является водяной пар и тепло.

Системы на водородных топливных элементах не имеют движущихся частей, потеря КПД при их работе минимальна. И хотя цены на водородные топливные элементы пока достаточно высоки, однако надежность и простота эксплуатации такого оборудования компенсируют этот недостаток.

🔗 В 2018 г. Kawasaki Heavy Industries продемонстрировала, что турбина M1A-17 мощностью 1 МВт может сжигать 100 % водорода

В качестве источников электроэнергии топливные элементы на водороде имеют следующие преимущества:

- надежность;
- низкие требования к техническому обслуживанию;
- высокий уровень автономности системы;
- компактность системы;
- отсутствие вредных выбросов и низкий уровень шума.

На сегодня существует несколько производителей готовых комплексных систем на водородных топливных элементах, уже хорошо зарекомендовавших себя на мировом рынке.

Основной недостаток — небольшая мощность топливных элементов. Поэтому можно применять их в качестве резервных источников электропитания, а также на предприятиях, потребляющих незначительное количество энергии и ориентированных на экспорт своей продукции в страны Европы, поскольку там планируется в ближайшее время ввести так называемый «углеродный налог» на все импортируемые товары.

Водяной пар или углекислый газ?

Независимо от способа получения электроэнергии — из водорода или водородосодержащего газа — в качестве побочного продукта образуется водяной пар, который будет попадать в воздушную атмосферу. Молярная масса водяного пара равна 18 г/моль, что существенно ниже молярной массы воздуха (29 г/моль), поэтому водяной пар будет всегда подниматься вверх до тех пор, пока не сконденсируется и не выпадет на землю в виде дождя.

Особенностью воды, в отличие от углекислого газа, является то, что она не разлагается в естественных условиях. При сжигании 70 млрд м³ водорода (объем водорода, необходимый для заполнения ЕГС России с объемной концентрацией 10 % в течение года) в атмосферу дополнительно будет выбрасываться 56,7 млн тонн водяного пара в год.

Следовательно, при промышленных объемах производства водорода и выработке электроэнергии в атмосферу будет выбрасываться огромное количество водяного пара. Соответственно, концентрация водяных паров в атмосфере Земли будет ежегодно увеличиваться.

Углекислый газ намного тяжелее воздуха, и после попадания в атмосферу он опускается на землю или водную поверхность. Углекислый газ является строительным материалом для растительных организмов, и повышение его концентрации стимулирует рост растений. С помощью процесса фотосинтеза (солнечной

энергии) растения разлагают углекислый газ с образованием кислорода, который необходим для дыхания живых организмов.

Кислород

Параллельно с выделением из воды водорода методом электролиза будет образовываться кислород. Из девяти литров дистиллированной воды электролизом, кроме одного килограмма водорода, можно получить восемь килограммов кислорода. Соответственно, из 56,7 млн тонн воды при электролизе будет образовываться 50,4 млн тонн кислорода. Вряд ли можно найти полезное применение такому объему кислорода, поэтому предполагается, что при получении водорода методом электролиза кислород будет выбрасываться в атмосферу. Плотность кислорода незначительно превышает плотность воздуха, поэтому при отсутствии ветра он будет концентрироваться в месте его получения. Хорошо это или плохо?

Чистый кислород может приводить к следующим вредным и даже опасным последствиям:

- ускорение процесса коррозии металлов;
- при наличии источника пламени в чистом кислороде может гореть даже железо;
- образовывать взрывоопасную смесь с водородом, называемую «гремучей смесью».

Следовательно, с точки зрения обеспечения безопасности, на электролизных станциях необходимо предусмотреть устройства, рассеивающие кислород в окружающем воздухе.

Сокращение выбросов водяных паров в атмосферу

При оценке теплотворной способности топлива принято различать высшую и низшую теплоту сгорания. Низшая — это количество теплоты, выделяемое при сжигании без учета теплоты конденсации водяных паров, а высшая — учитывает эту теплоту. Высшая теплота сгорания природного газа превышает низшую на 10...11 % в зависимости от состава газа.

Технически конденсация водяных паров дымовых газов осуществима, но реализуется в очень редких случаях, поскольку экономически это не всегда выгодно. В топливных элементах, помимо электрической энергии, образуется водяной пар, который можно конденсировать для получения тепловой энергии, а также воды, которую можно использовать для получения водорода. Таким образом, технически выбросы водяного пара в атмосферу можно минимизировать, снизив тем самым вредное влияние водяного пара на климат. **Д**

