

## Международная конференция

Устойчивая энергетика в защиту окружающей среды. Изучение международного опыта  
г. Мары, 28 ноября 2024 г.

# «Зеленый» водород в Туркменистане – перспективы и вызовы. Модель солнца-водородной энергетической системы Туркменистана

Вепа Сарыев  
Аспирант НПЦ ВИЭ ГЭИТ

# ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ТУРКМЕНИСТАНА

---

## «Зеленый» водород в Туркменистане – перспективы и вызовы

**Докладчик: Сарыев Вепа Байрамгелдиевич**  
Аспирант, Государственный энергетический институт  
Туркменистана

# Основными преимуществами водорода

В основе преимуществ водорода заложен принцип более высокого уровня его удельной теплоты сгорания (120–140 МДж/кг против 50 МДж/кг у метана). Этот газ имеет малое гидродинамическое сопротивление, почти в семь раз большую теплопроводность по сравнению с воздухом и в 14 раз большую теплоемкость. Кроме того, при сжигании водорода не выделяются вредные газы.



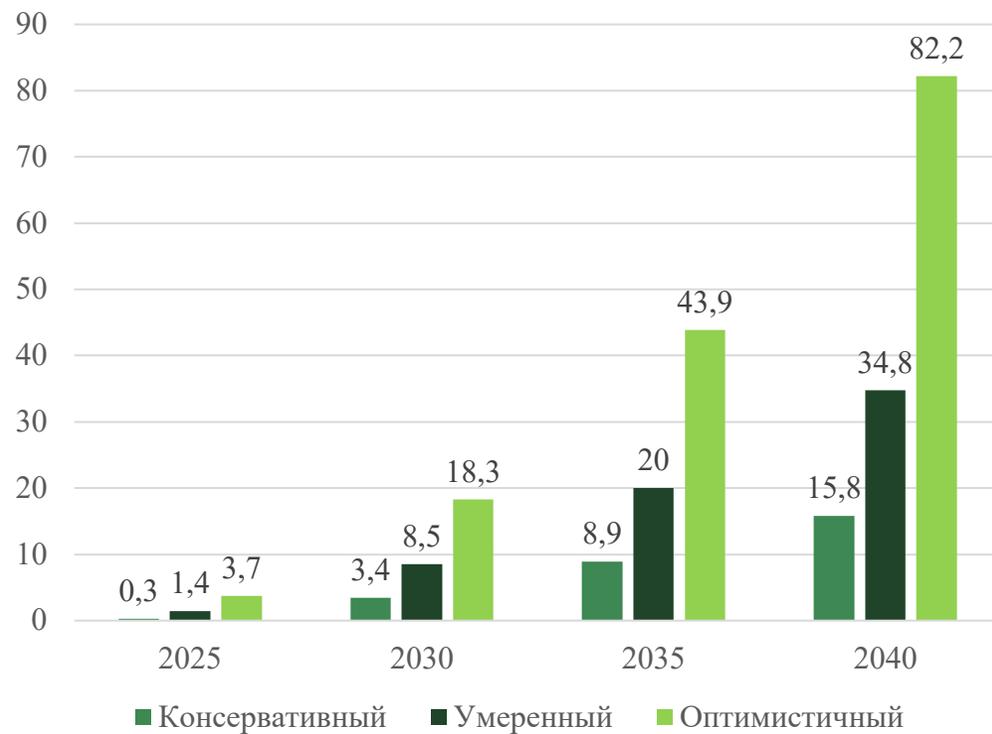
Источник контента: <https://naukatehnika.com/polucheniya-vodoroda-putem-rasshepleniya-vody.html>  
naukatehnika.com

# Технологии производства водорода

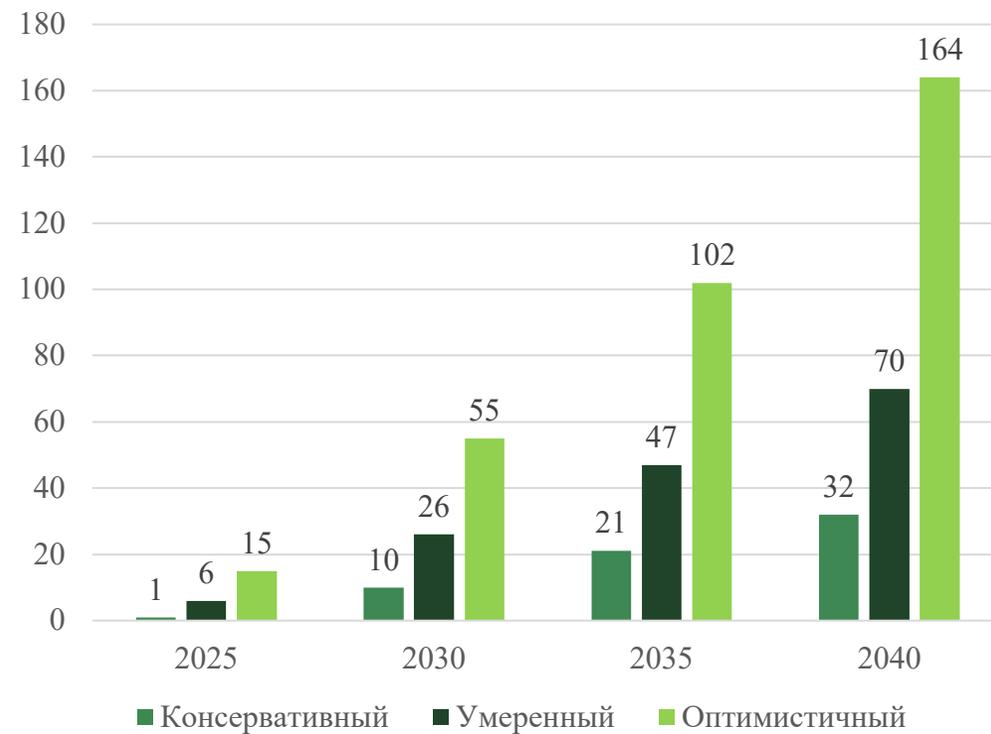


# Прогноз мирового рынка водородного топлива

МЛН. Т



МЛРД ДОЛЛАРОВ США



# Использование водорода в мире



# Нормативно-правовая база

---

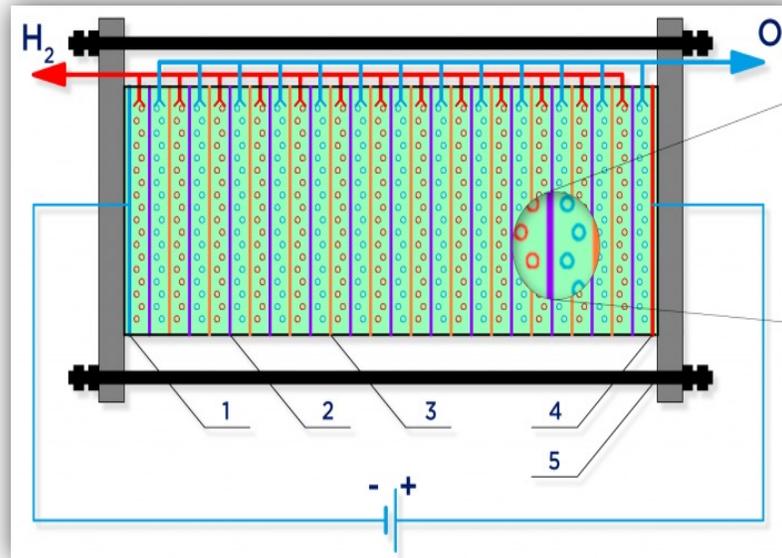
- ❖ **« Государственная программа по энергосбережению на 2018-2024 годы».**  
**Постановление Президента Туркменистана от 21.02.2018г.**
- ❖ **Программа развития энергетической дипломатии Туркменистана на 2021-2025 годы.** **Постановление Президента Туркменистана от 4.12.2020г.**
- ❖ **Национальная стратегия по развитию возобновляемой энергетики в Туркменистане до 2030 года.** **Постановление Президента Туркменистана от 4.12.2020г.**
- ❖ **Закон «О возобновляемых источниках энергии ». 13.03.2021г.**

---

❖ При активной поддержке Программы развития ООН наша страна подготовила **Определяемый на национальном уровне вклад Туркменистана (NDC)** на основе Парижского соглашения по изменению климата и утвердила его в мае 2022 года. Этот стратегический документ предусматривает сокращение выбросов парниковых газов на **20%** к 2030 году по сравнению с уровнем 2010 года.

# Возможность использования «зеленого» водорода в небольших населенных пунктах

I. Солнечная радиация и ФЭС II. Производительность электролизера III. Водоснабжение



IV. Пилотный проект по использованию «зеленого» водорода

V. Результат

# 1.1. Потенциал ВИЭ в Туркменистане

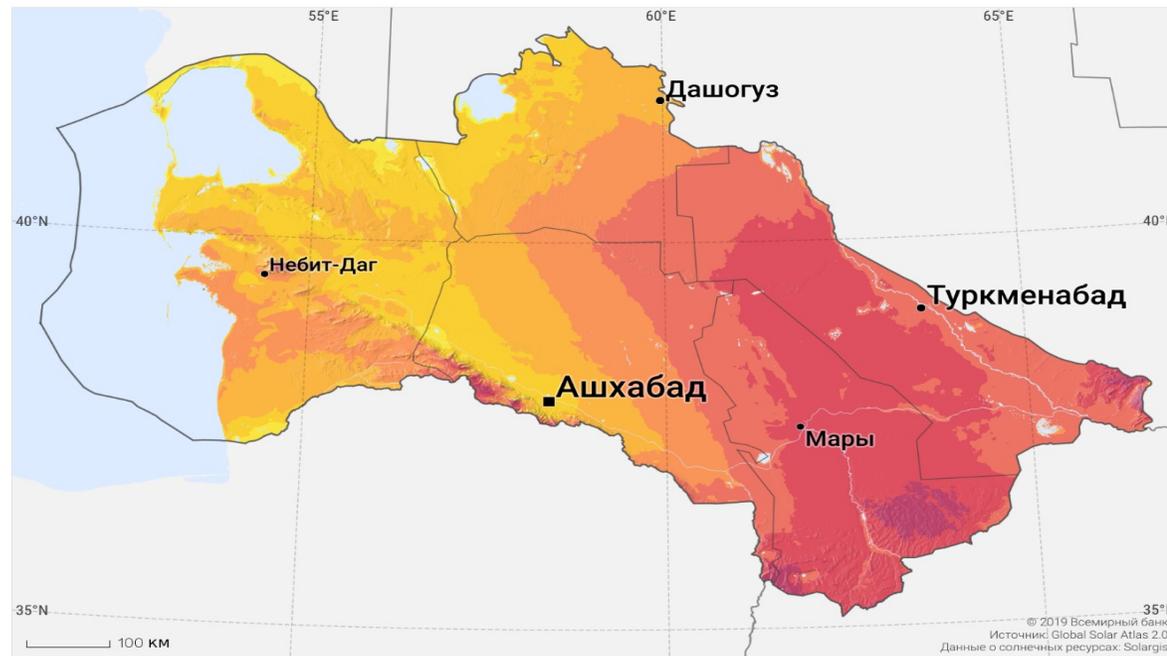


Потенциал ВИЭ в Туркменистане оценивается на уровне 110 млрд т.у.т. в год. Технический энергетический потенциал солнечной энергетики Туркменистана оценивается в 1,4 млрд т.у.т. в год.

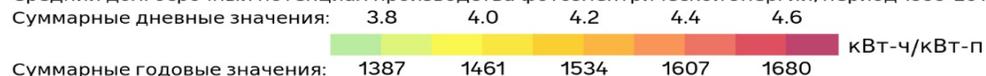
# 1.2. Энергетический потенциал Солнце в Туркменистане

КАРТА СОЛНЕЧНЫХ РЕСУРСОВ

**ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДСТВА  
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ  
ТУРКМЕНИСТАН**



Средний долгосрочный потенциал производства фотоэлектрической энергии, период 1999-2018 г.



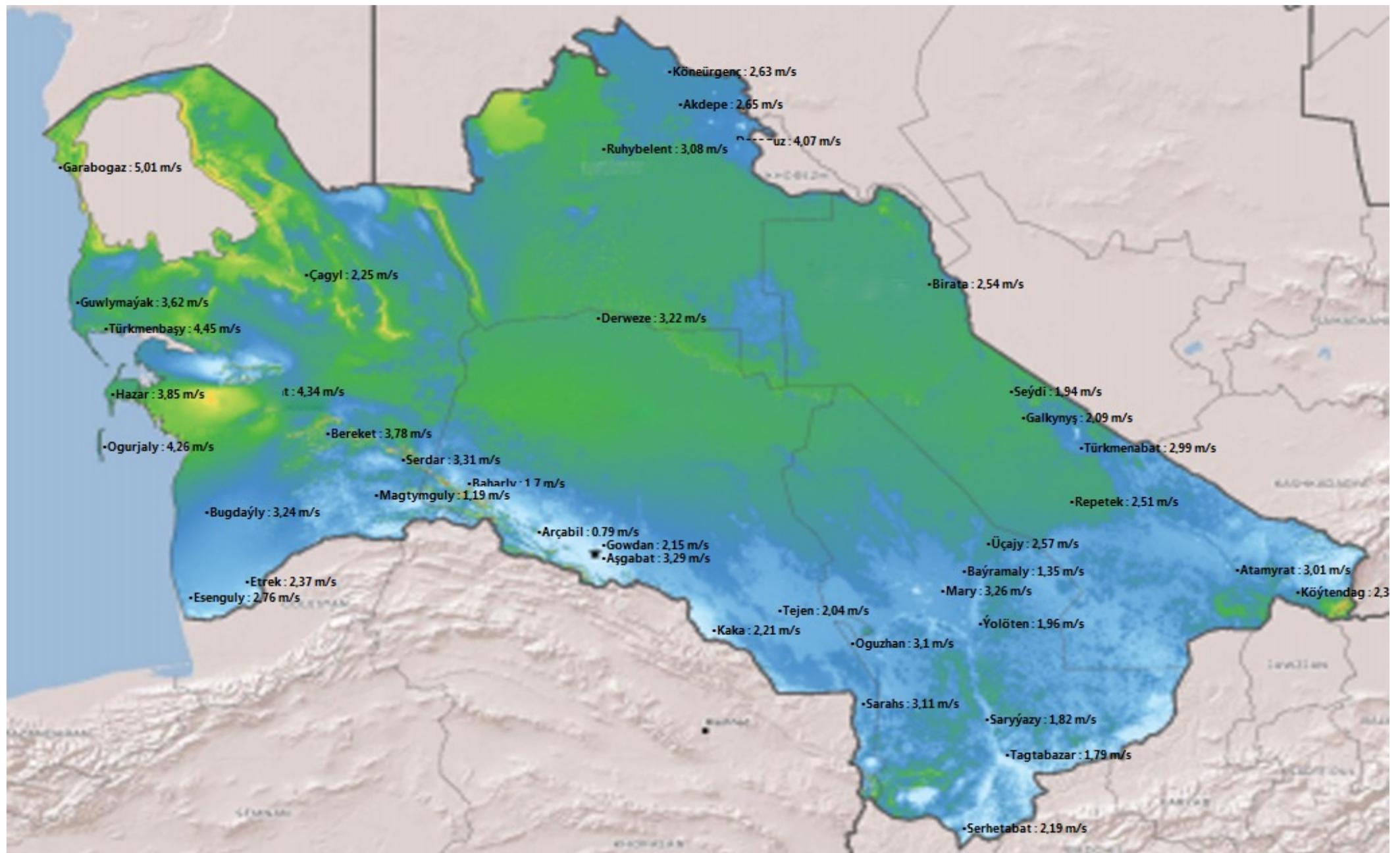
Карта опубликована Группой Всемирного банка при финансовой поддержке ESMAP, подготовлена организацией Solargis. Более подробную информацию и условия использования см. на веб-сайте <http://globalsolaratlas.info>.

Продолжительность солнечного сияния в Туркменистане составляет 2768-3081 час в году, количество горизонтальной солнечной радиации в течение года составляет 1800 кВт\*ч/м<sup>2</sup>, 75% его территории высоко пригодны для солнечных электростанций, 11,5% - средние, 13,5% были объявлены неблагоприятными.

## 1.3. Энергетический потенциал ветра в Туркменистане

---

Около 40 % территории Туркменистана считается выгодным для использования энергии ветра, особенно на северо-западных регионах. В этих регионах среднегодовая скорость ветра достигает выше 4 м/с. На северном берегу Каспийского моря удельная мощность воздушного потока высока и достигает 100-135 Вт/м<sup>2</sup>. По всей территории Туркменистана чаще возникают слабые и средние ветры со скоростью от 0 до 5 м/с, из них повторяемость – со всех возможных ветров 75 – 85 %, общая площадь регионов со средней скоростью ветра в году выше 5 м/с из всей территории составляет 15%. А площадь регионов коэффициент использования мощности (для современных сооружений мощностью выше 250 кВт) которых выше 20% относительно общей территории выше на 20%. В общем, энергетическую мощность Туркменистана можно определить как 640 млрд. кВт·час. Данное время в нескольких регионах Туркменистана ведутся изучения энергетического потенциала ветра.



## 1.4. Сólнечная генера́ция

---

Это одно из направлений альтернативной энергетики, основанное на получении электрической энергии с использованием фотоэлектрических солнечных панелей и тепловой энергии, т.е. косвенно с использованием концентраторов .

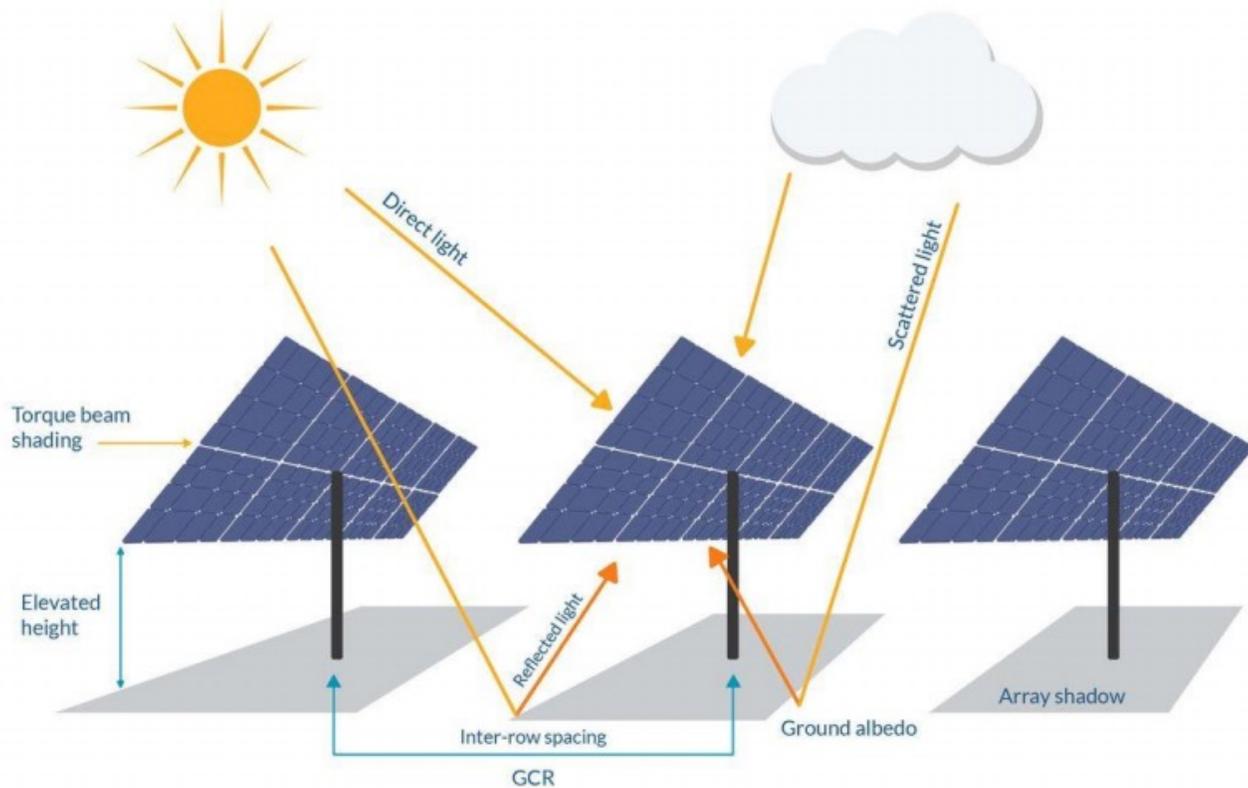
Солнечная генерация рассматривается как способ получения электроэнергии, достоинством которого является отсутствие вредных выбросов в процессе эксплуатации.

Источник контента: <https://naukatehnika.com/polucheniya-vodoroda-putem-rasshepleniya-vody.html> naukatehnika.com

# 1.5. Солнечные панели

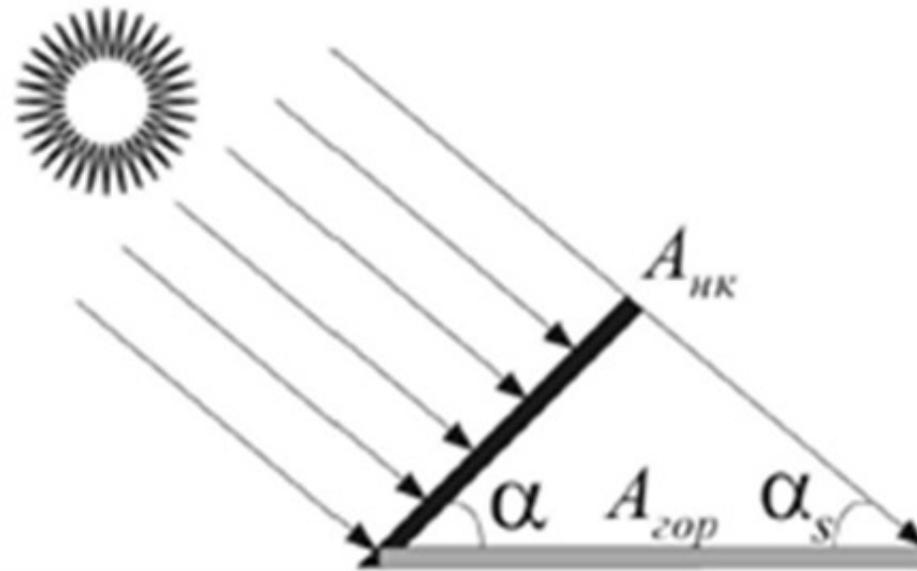


# 1.6. Двусторонние солнечные панели



# 1.7. Электрическая энергоэффективность солнечных панелей

Электрические энергетические характеристики солнечных панелей зависят не только от потенциала солнечной энергии в месте их установки, но и от угла ее наклона к горизонтальной плоскости.



## 1.8. Расчет объема электрической энергии, вырабатываемой такой ФСС в течении года:

$$E = E_{udel,\beta} \cdot S = \sum_{i=1}^{12} E_{i,\beta} \cdot \eta_p \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_m \cdot S$$

---

где  $E$  –выработка ФСС в год;

$E_{udel,\beta}$  – удельная выработка ФСС с учетом наклона в течении года;

$S$  – площадь ФСС;

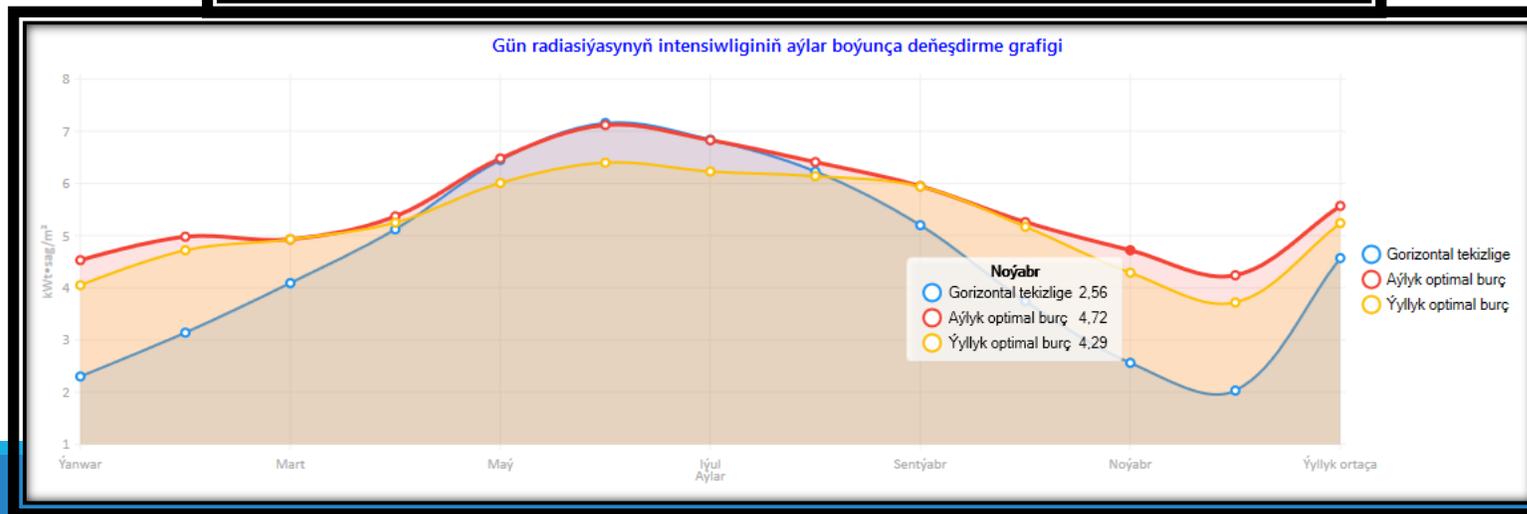
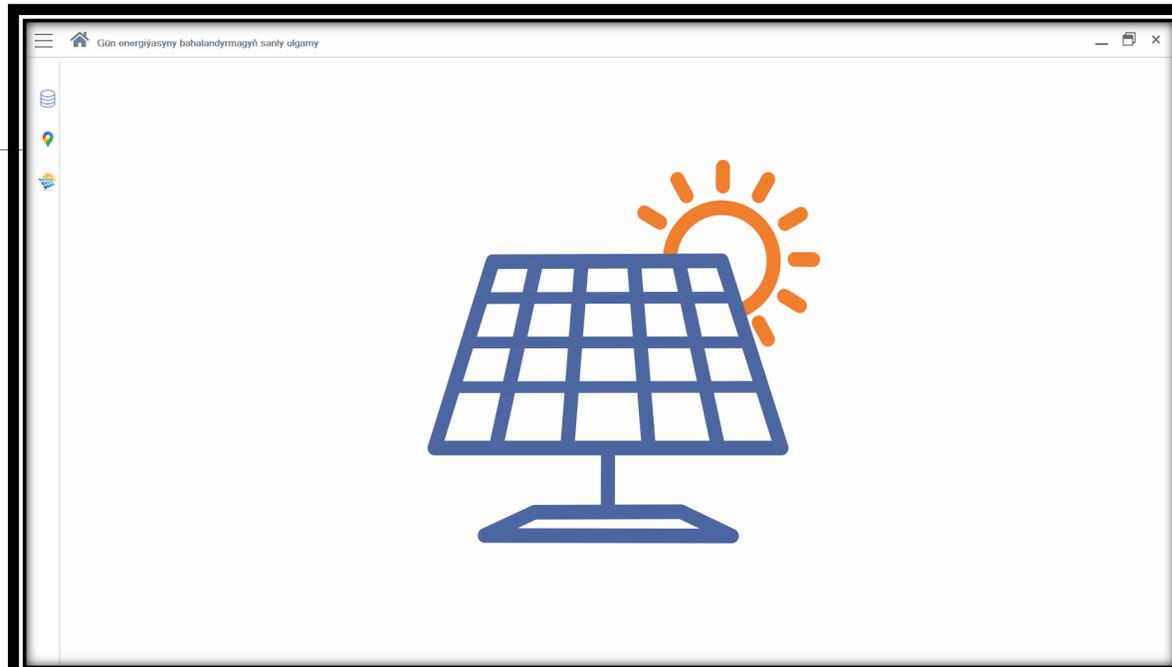
$E_{i,\beta}$  - приход солнечной энергии на оптимально ориентированную площадку с углом наклона  $\beta = 36^\circ$  на широтах расположения ФСС в  $i$ -том месяце.

$\eta_p$  Потери на ФСС составляет до 25%, а КПД

$\eta_{inv}$  преобразования из постоянного в переменный ток составляет 98,8%,

$\eta_m$  принятый КПД солнечного модуля 19,2 %.

# 1.9. Цифровая система разработки солнечного кадастра





TÜRKMENISTANYŇ MALIÝE WE YKDYSADYÝET MINISTRLOGI  
INTELLEKTUAL EÝEÇILIK BOÝUNÇA DÖWLET GULLUGY

**№ 208**  
**EHM ÜÇIN PROGRAMMANYŇ**  
**ŞAHADATNAMASY**



TÜRKMENISTANYŇ MALIÝE WE YKDYSADYÝET MINISTRLOGI  
INTELLEKTUAL EÝEÇILIK BOÝUNÇA DÖWLET GULLUGY

**№ 208 EHM ÜÇIN PROGRAMMANYŇ**  
**ŞAHADATNAMASY**

EHM üçin programmanyň ady: **Gün kadastryny işläp taýýarlamagyň sanly ulgamy (GKITSU)**

Haýyşnamanyň gelen senesi: **13.01.2022**

Haýyşnamanyň № **207**

Hukuk eýesi (ýurt): **Allanazarow Nurmuhammet Aganazarowič (TM)**

Awtorlary (ýurt): **Allanazarow Nurmuhammet Aganazarowič (TM)  
Saryýew Kakageldi Atajanowič (TM)  
Jumaýew Aganiýaz Ýagşyýewiç (TM)  
Saryýew Wepa Baýramgeldiýewiç (TM)**

Döwlet reyestrinde bellige  
alnan senesi: **01.02.2022**

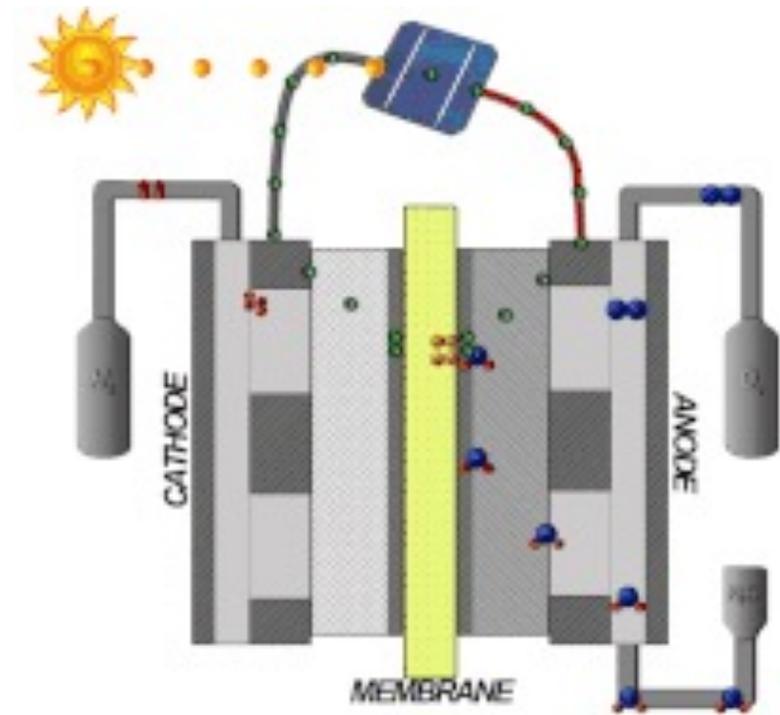


Başlyk  **A. Annaniýazow**

# 2.1. Производство «Зеленого» водорода

С использованием солнечной энергии существует технология получения водорода.

Система состоит из солнечного элемента на основе перовскита, подключенного к электродам из катализатора, который электролизует воду. Когда солнечный свет попадает на солнечный элемент, он производит электричество, которое приводит в действие катализатор, который затем расщепляет воду на кислород и водород. Этот водород называют «зеленым» водородом.



## 2.2. Расчет масса водорода , получаемая выбранным электролизером соответствующей мощностью:

---

$$m = \sum_{i=1}^{12} m_i = \sum_{i=1}^{12} \eta_{el} \cdot t_i \cdot N_i$$

где  $m$  – масса полученного водорода в течении года;

$m_i$  – масса водорода, получаемая электролизером в  $i$ -том месяце;

$\eta_{el}$  – эффективность работы электролизера;

$t_i$  – количество часов работы электролизера с установленной максимальной производительностью в день;

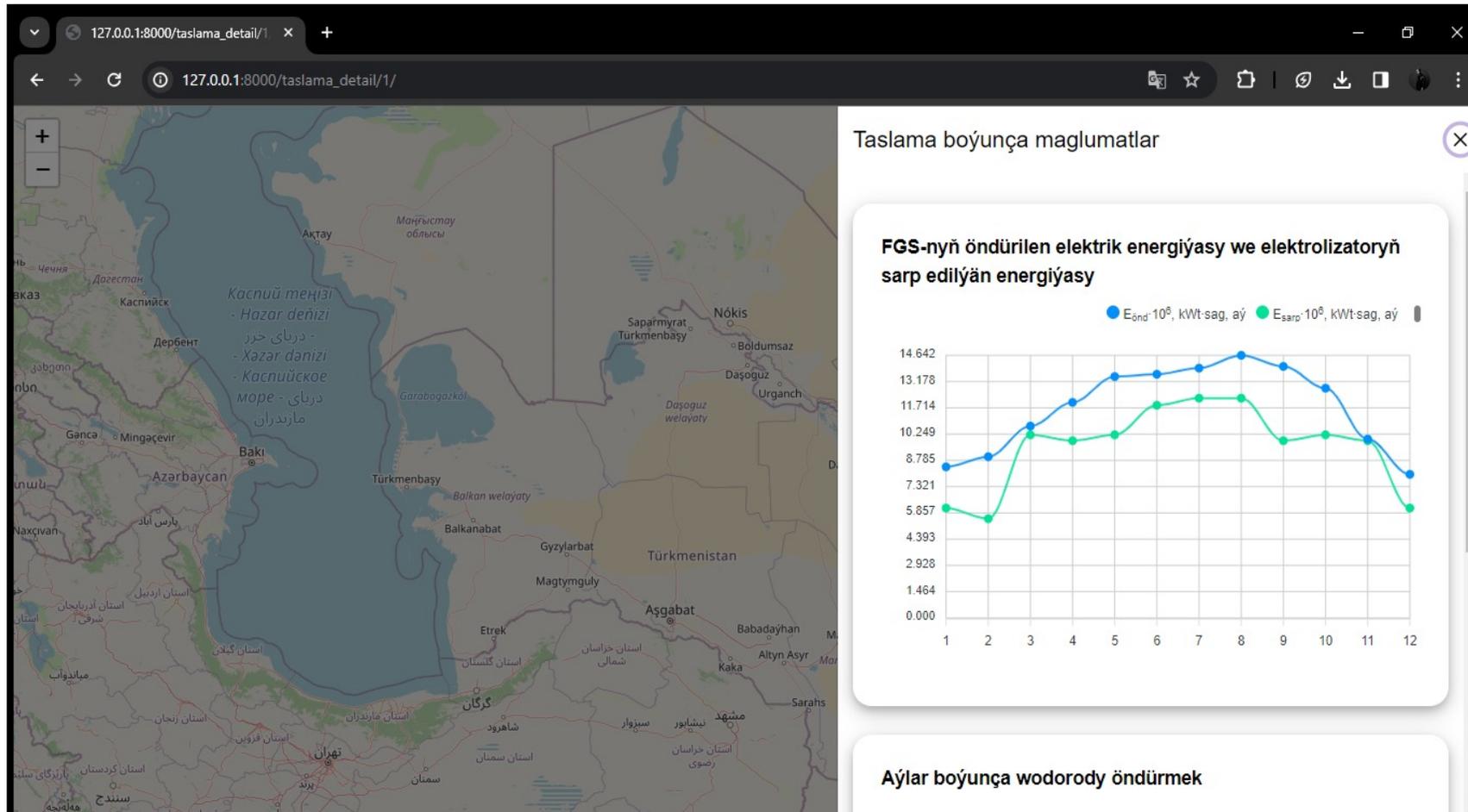
$N_i$  – количество дней в месяц.

## 2.3. ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА НА ТЕРРИТОРИИ ТУРКМЕНИСТАНА

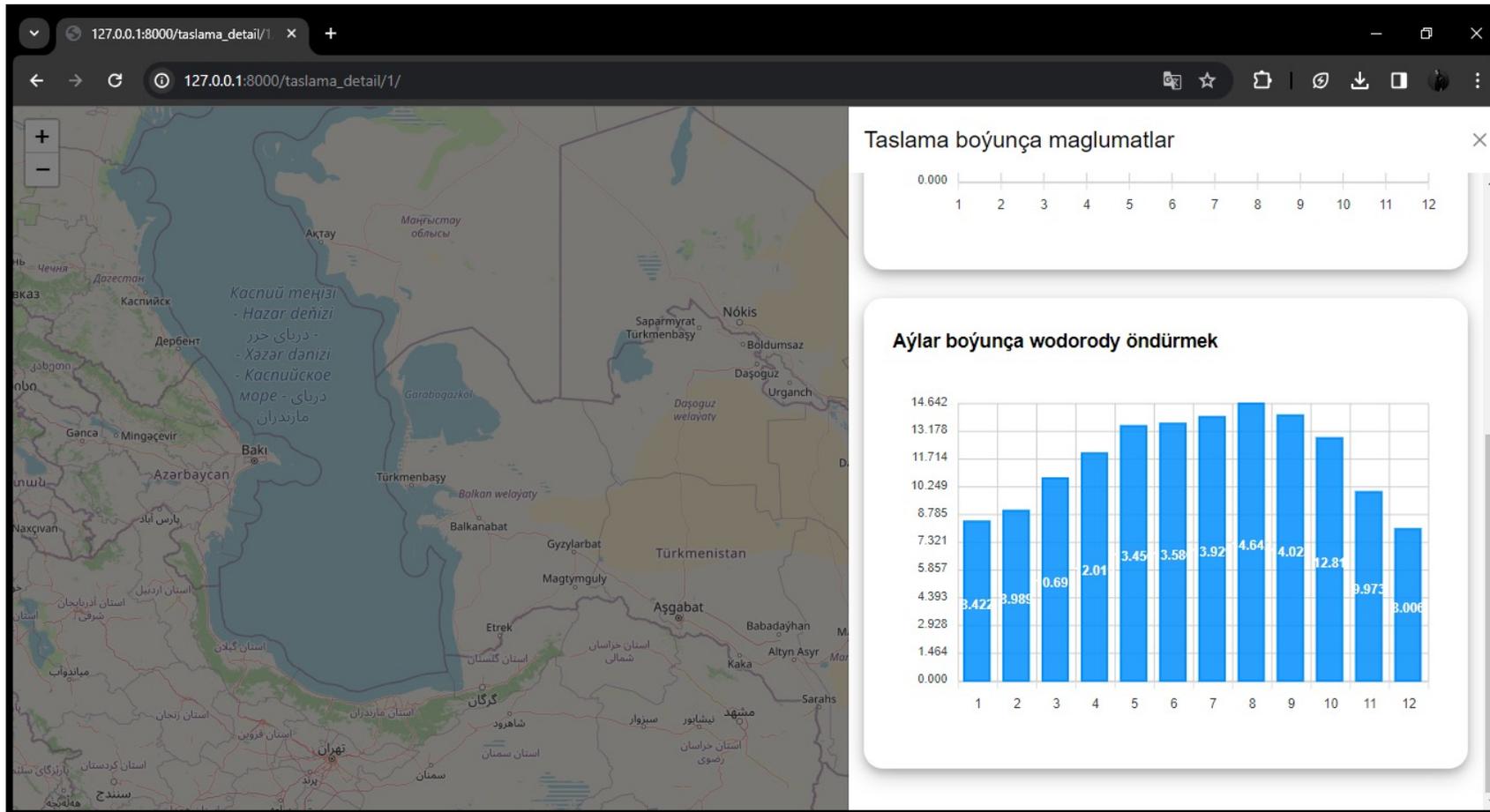
The screenshot shows a web browser window with the URL 127.0.0.1:8000. The page header includes the logo and name 'TÇWOGSU'. A sidebar on the left contains menu items: 'Täze taslama girizmek', 'Täze gün panel girizmek', 'Täze inwentor girizmek', and 'Täze elektrolizer girizmek'. A modal window titled 'Maglumaty girizmek' is displayed in the center, containing the following form elements:

- Input field: 'Taslamaňyň ady'
- Input field: 'Fotoelektrik gün stansiýanyň kuwwaty, watt'
- Input field: 'Gün paneli saýlaň'
- Input field: 'Inventory saýlaň'
- Input field: 'Elektrolizeri saýlaň'
- Input field: 'Işe girizilýän elektrolizeriň kuww'
- Input field: 'Gün stansiýanyň ýerleşýän ýerini s'
- Input field: 'Gün panelleriniň ýerleşdiriliş burçui'
- Section: 'Aýlar boýunça sagat sany'
- Month selection buttons: ýanwar, fewral, mart, aprel, maý, iýun, iýul, awgust, sentýabr, oktýabr, noýabr, dekabr
- Buttons: 'Çyk' (red) and 'Tassyklamak' (purple)

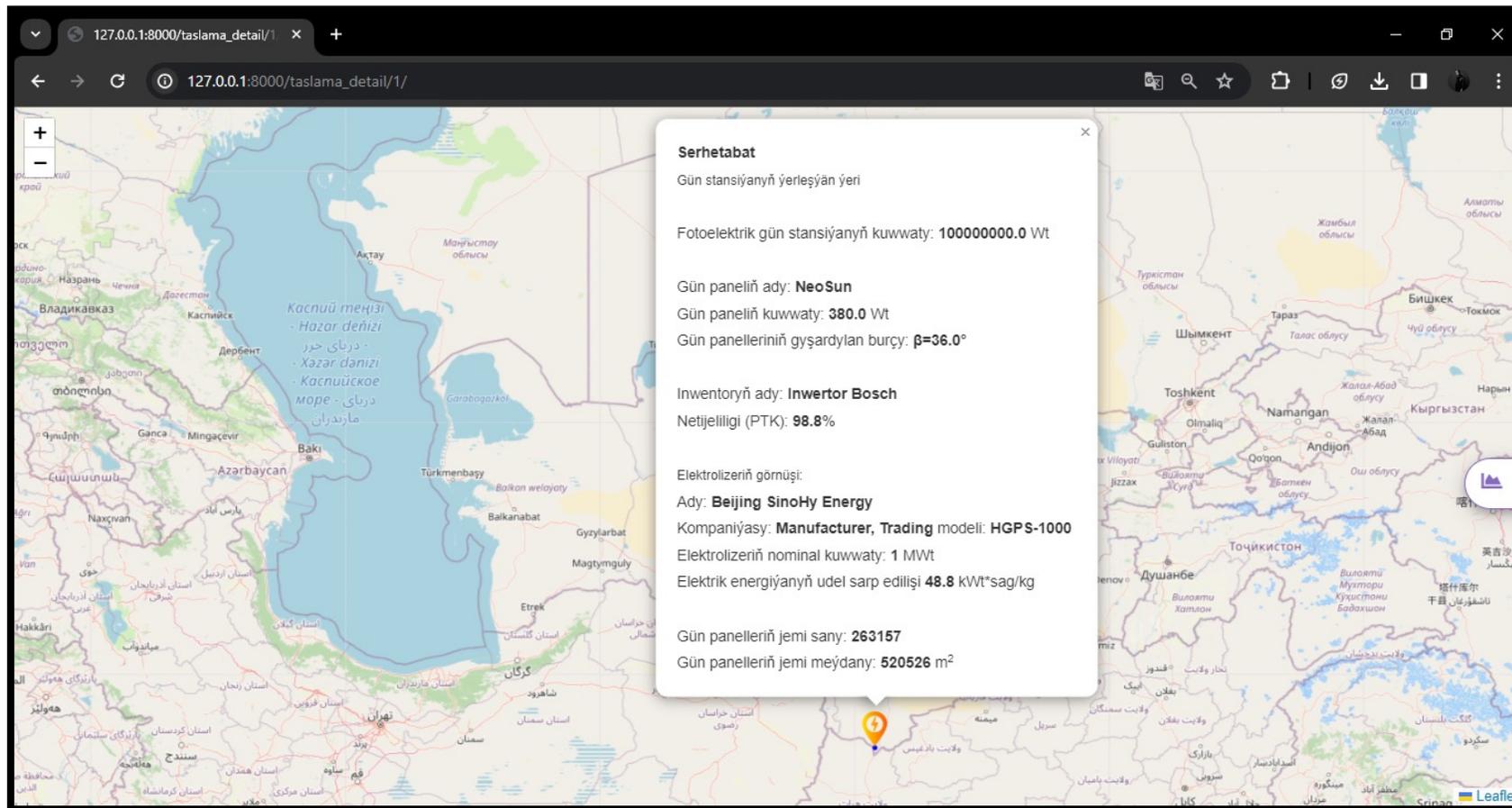
## 2.4. Вырабатываемая электрическая энергия ФСС и потребляемая энергия электролизера (синий. выруб. энерг. ФСС, зеленый. потребл. энерг. электролизера)



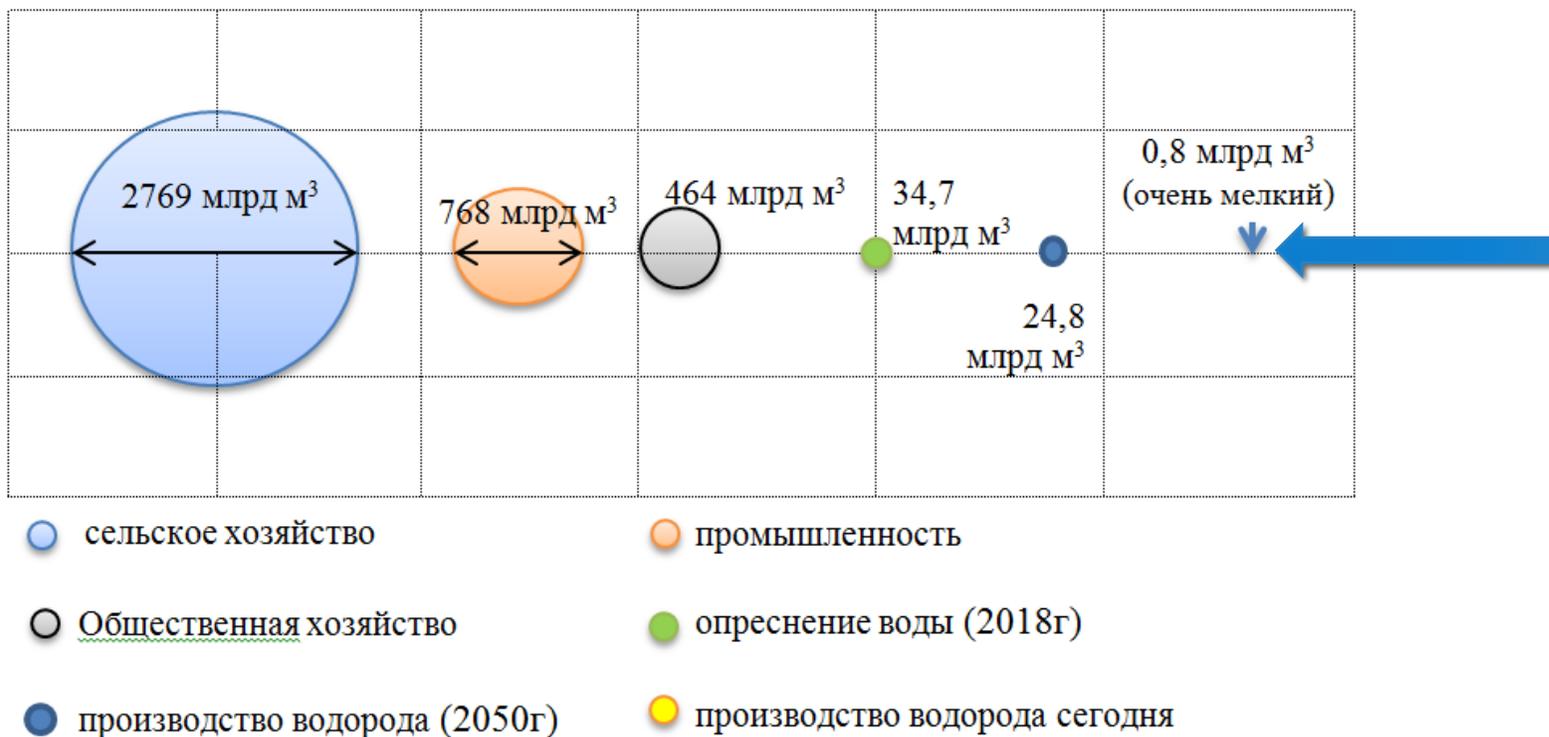
## 2.5. Производство водорода в течении месяца



## 2.6. Отображено данный о производстве энергии, потреблении, эффективности ВИЭ и других параметрах

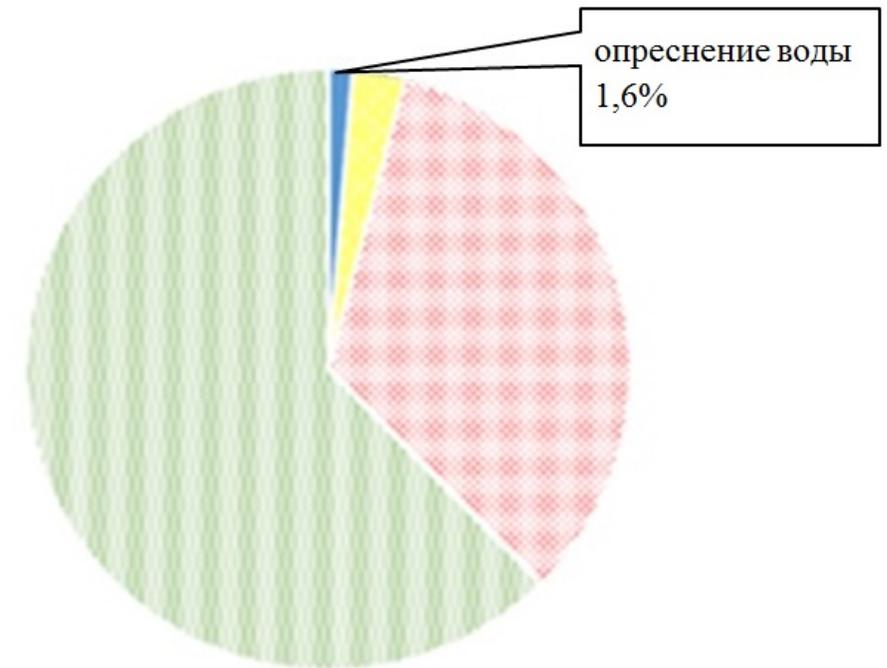


# 3.1. Потребность в воде для удовлетворения всех мировых энергетических потребностей за счет «зеленого» водорода



Источник : <https://energypost.eu/hydrogen-production-in-2050-how-much-water-will-74ej-need>

## 3.2. Потенциал работы электролизера из-за соленой воды



Источник : <https://energypost.eu/hydrogen-production-in-2050-how-much-water-will-74ej-need>

## 4.1. Пилотный проект по маломасштабному использованию «зеленого» водорода в Туркменистане

---



## 4.2. Электростанция комбинированного цикла мощностью 10 МВт

---



## 4.3. Технические характеристики ФСС мощностью 7 МВт

t/b	Названия и характеристики устройств	Сумма, количество
1	Суммарная мощность солнечных панелей	7 МВт
2	Количество солнечных панелей, 575 Вт	12175
3	Тип солнечных панелей	монокристалл
4	Площадь, покрытая солнечными панелями	31451,1м <sup>2</sup>
5	Установка солнечных панелей	В фиксированном состоянии
6	Мощность солнечной панели	575 Вт
7	Коэффициент эффективности солнечных панелей	22,26%
8	Угол отклонения относительно горизонтальной плоскости	38 <sup>0</sup>
9	Ориентация солнечной панели	Юг
10	Количество электроэнергии, производимой в течение среднего солнечного дня	35943,2 кВт·ч
11	Количество электроэнергии, произведенной в среднем за год	12,356546·10 <sup>6</sup> кВт·ч= 12,356546 миллион. кВт·ч

## 4.4. Технические характеристики электролизерной установки с мощностью 1 МВт

Технические характеристики	Значение и единица измерения
Номинальная мощность	1 МВт
Производительность по водороду	300 Нм <sup>3</sup> /ч, 27кг/ч
Регулирование производительности по водороду	15-100%
Удельный расход электроэнергии	4,4 кВт·ч/Нм <sup>3</sup> , 48,88 кВт·ч/кг
Давление водорода на выходе	30-200 кгс/см <sup>2</sup>
Удельная плотность водорода	0,08988 кг/Нм <sup>3</sup>
Нижняя теплотворная способность (НТС)	119,96 МДж/кг (т.е. 33,32 кВт·ч/кг или 3,00 кВт·ч/Нм <sup>3</sup> )

## 4.5. В ходе вычислений были приняты следующие допущения: количество часов работы электролизера с установленной максимальной

---

производительностью в день: январь, февраль, декабрь – **3 часа**,  
март, апрель, май, сентябрь, октябрь, ноябрь – **5 часов**,  
июнь, июль, август – **6 часов**;

Мощность электролизера была выбрана исходя из того, что ФСС будет покрывать его потребности в электроэнергии, следовательно производство водорода будет зависеть от выработки и режима работы ФСС. Исходя из этого, было решено выбрать электролизер мощностью **4 МВт**.

## 4.6. Потенциал работы электролизера из-за дождевой воды

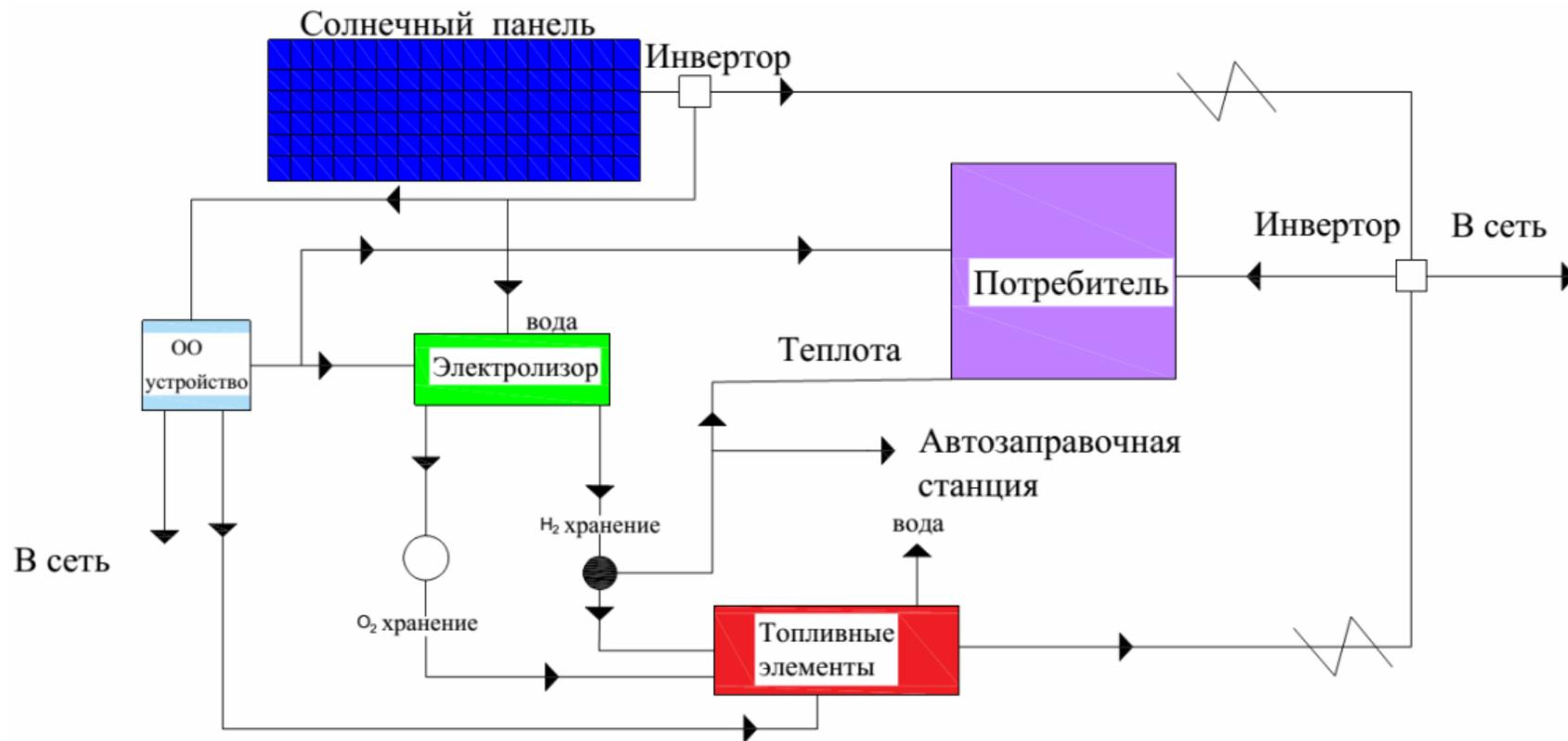


Место	Средне-годовое количество осадков, мм	Соотношение количества воды, необходимой для электролизера, к количеству воды, собранной из осадков
Туркменское озеро «Алтын-асыр» (4 МВт)	200	3,5

## 4.7. Пилотный проект по установке производства «зеленого» водорода на Туркменском озере «Алтын Асыр»

<i>Технические параметры и информация</i>	<i>Значение и единица измерения</i>
Населенный пункт, координаты	Туркменское озеро «Алтын Асыр»: с.ш 40° 44'; в.д. 56° 47'
Количество солнечных панелей	12175
Тип солнечных панелей	монокристалл
Выработка электрической энергии ФСС за год	$12,356546 \cdot 10^6$ кВт·ч/ год
Мощность электролизера	4 МВт
Производство водорода	197,1 т/год
Потребление энергии при производстве водорода	$9,636 \cdot 10^6$ кВт·ч/ год
Потребление воды при производстве водорода	1773,9 т/год

## 4.8. Экспериментальный проект солнечно-водородно-водяной многосторонней системы



## 4.9. Важность создания маломасштабного производства экологически чистого водорода

---

Если выбранная мощность ФСС рассчитана на время минимальной солнечной радиации (например, зимние месяцы), то ФСС будет производить больше электроэнергии, чем требуется в другие периоды высокой солнечной радиации. А поскольку количество солнечных дней в Туркменистане очень велико, накопление этой избыточной энергии увеличит коэффициент полезного действия ФСС. Самый удобный способ хранения энергии сегодня — получать «зеленый» водород.

## 4.10. Важность масштабного использования «зеленого» водорода в Туркменистане

---

Электростанции в Туркменистане работают на природном газе. В результате в атмосферу выбрасывается большое количество углекислого газа.



# Количество природного газа, необходимого для производства 1 кВт·ч электроэнергии, зависит от нескольких факторов:

---

## Тип электростанции:

- ТЭЦ: 0,18-0,25 м<sup>3</sup>/кВт·ч
- ГРЭС: 0,2-0,3 м<sup>3</sup>/кВт·ч

## КПД электростанции:

- Чем выше КПД, тем меньше газа требуется для производства 1 кВт·ч электроэнергии.

## Теплотворная способность газа:

- Зависит от его состава.

## В среднем, для производства 1 кВт·ч электроэнергии требуется:

На ТЭЦ: 0,2 м<sup>3</sup> природного газа.

На ГРЭС: 0,25 м<sup>3</sup> природного газа.

## В среднем, для производства 1 кВт·ч электроэнергии на ГТУ требуется:

В простом цикле: 0,25 м<sup>3</sup> природного газа.

В комбинированном цикле: 0,2 м<sup>3</sup> природного газа.

## 4.1. Значения коэффициентов выбросов CO<sub>2</sub> для различных видов топлива:

---

Природный газ: 50-56 кг CO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>

Дизельное топливо: 2,67 кг CO<sub>2</sub>/л

Бензин: 2,39 кг CO<sub>2</sub>/л

Уголь: 95-105 кг CO<sub>2</sub>/ГДж

Мазут: 74-81 кг CO<sub>2</sub>/ГДж

# Снижение выбросов CO<sub>2</sub>:

---

## **Использование более чистых видов топлива:**

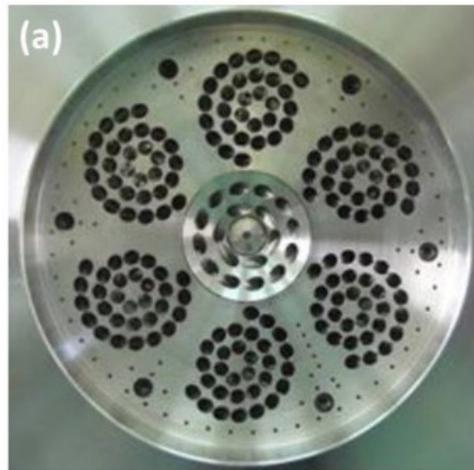
- Переход на возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия.
- Повышение энергоэффективности.

## **Использование более совершенных технологий сжигания:**

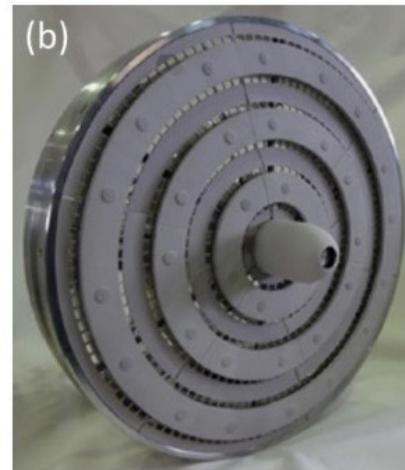
- Разработка и внедрение новых технологий сжигания, позволяющих снизить выбросы CO<sub>2</sub>.

# Основные технологии сжигания $H_2$ в больших концентрациях (от 10 до 100 %)

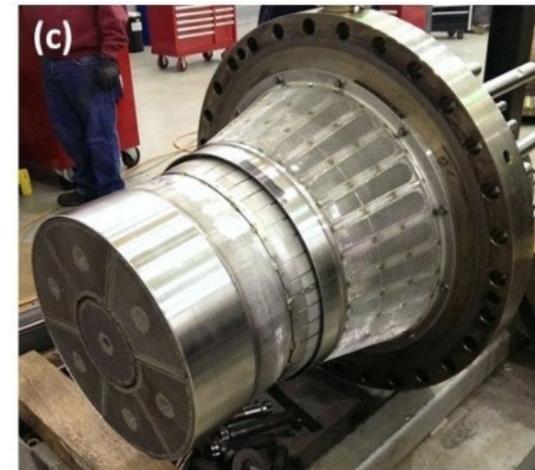
- диффузионное горение: смешивание компонентов топлива и окислителя непосредственно в камере сгорания, характеризуется высокой стабильностью процессов горения и образованием высоких концентраций  $NO_x$  в дымовых газах (от 200 до 600 ppm)
- использование предварительно подготовленной обедненной смеси («сухое» горение) Концентрация  $NO_x$  в дымовых газах современных систем снижается до 5 - 10 ppm)



a) Mitsubishi Power

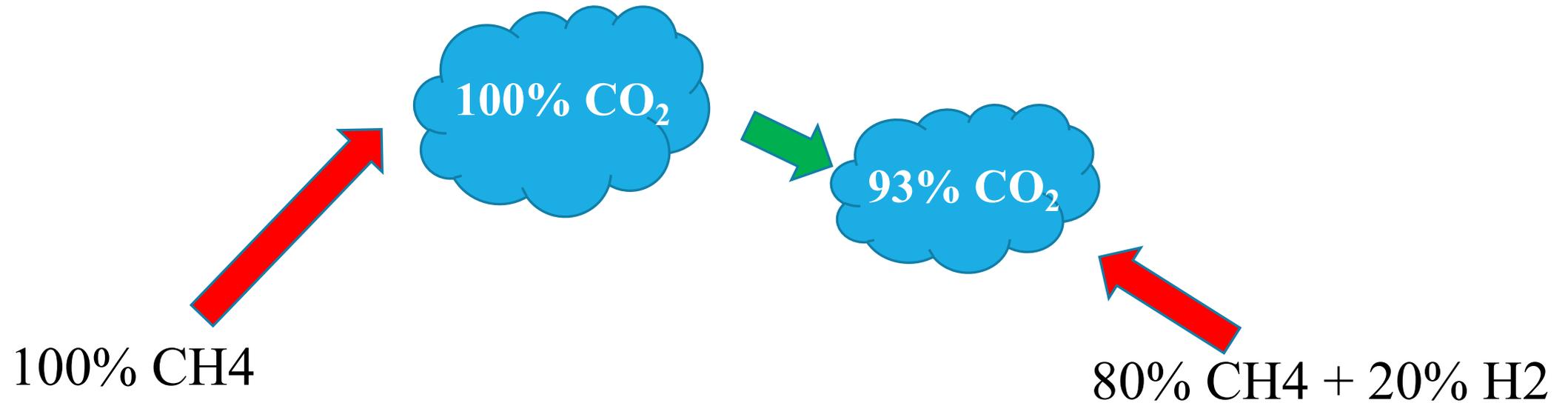


b) Kawasaki Heavy Industries



c) GE Gas Power

В результате исследований, проведенных мировыми учеными, доказано, что при использовании в ГТЭС 20% водорода в природном газе нет необходимости изменять его структурные характеристики и количество газов CO<sub>2</sub>, выбрасываемых в окружающую среду, может быть уменьшено. сократилось примерно на 7%.



Литература: Й.Дикхофф, А.Хорикова, В.Функе. Новая водородная камера сгорания DLE. Газотурбинные технологии. №1 2022 (184)

**На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:**

1. Определено перспективное использование солнечной энергии в производстве водорода.
2. Разработан экспериментальный проект фотоэлектрической солнечной электростанции для разработки модели многосторонней солнечно-водородно-водяной системы.
3. Путем разработки модели многосторонней солнечно-водородно-водяной системы выявлена возможность обеспечения чистой электроэнергией, топливом и пресной водой небольших хозяйств вдали от центральной системы электроснабжения.

**Также:**

- ✓ сокращению выбросов парниковых газов, содействие достижению целей Парижского соглашения по климату и внесение вклада в смягчение последствий изменения климата во всем мире;
- ✓ декарбонизации отечественной экономики;
- ✓ диверсификации импорта топливно-энергетических ресурсов;
- ✓ обеспечение конкурентоспособности экономики Туркменистана условиях глобального энергетического перехода.

# Спасибо за внимание!

---