

# ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Епископосян О.С.

г. Владикавказ, МБОУ средней общеобразовательной школы № 26, 10 класс

Руководители: Радченко Т.И., Почётный работник общего образования РФ, Заслуженный учитель РСО – Алании, учитель физики, МБОУ СОШ № 26, г. Владикавказ;

Силаев И.В., доцент, к. т. н., Заслуженный работник науки и образования, Северо-Осетинский государственный университет, г. Владикавказ

## Оглавление

1. Введение .....	2
2. Теоретическая часть. Физика	
2.1. Некоторые виды автономных источников тока.....	4
2.2. Выбор темы – топливные элементы.....	4
2.3. Применение топливных элементов.....	6
3. Теоретическая часть. Астрономия.....	7
3.1. Физические условия на Луне.....	7
3.2. Физические условия на Марсе.....	8
4. Экспериментальная часть.....	9
4.1 Использование топливного элемента из набора Fuel Cell Kit.....	9
4.2 Изготовление топливной ячейки и электролизёра.....	9
4.3. Измерение ЭДС авторской модели топливной ячейки.....	10
5. Решение проблемы обеспечения веземных баз электрическим током за счёт использования топливных элементов	
5.1. Сравнение перспектив топливных элементов и других источников тока.....	10
5.2. Проект базы с электрохимическим генератором (ТЭ).....	11
6.. Заключение.....	13
7. Список использованных источников и литературы.....	14
8. Приложение .....	15

## 1. Введение

**Цель** данного проекта – разработать для внеземных баз проект установки для выработки электричества, состоящую из дополняющих друг друга генераторов, имеющих отличающиеся принципы действия. Это важно для работы в экстремальных условиях. В качестве резервного генератора предлагается использовать очень перспективные водородно-кислородные топливные элементы, так как в них энергия топлива сразу преобразуется в электрическую без применения различных промежуточных устройств.

**Задачи работы:** изучив теоретический материал по основам функционирования топливных элементов (ТЭ) и ознакомившись с существующими типами этих источников тока, изготовить действующую авторскую модель топливного элемента для проведения экспериментов и изучения его характеристик. Провести сравнительный анализ достоинств и недостатков выбранного типа источника тока и других возможных источников питания, а также условий их применения на Луне и Марсе. Изучить перспективы повышения КПД, что повысит эффективность ТЭ при использовании в космических проектах. Разработать проекты энергетических установок для внеземных баз.

**Гипотеза** – возможность самостоятельной разработки и создания авторской модели топливного элемента для изучения перспектив данного вида источников тока. В частности для применения в условиях других планет.

**Объект исследования:** источники электрического тока – топливные элементы. **Предмет исследования** – технические и электрические характеристики данных источников тока, позволяющие создавать эффективно работающие энергетические установки, позволяющие решать специфические задачи в процессе освоения соседних планет.

**Методы исследования** – изучение теоретического материала по темам «Топливные элементы» и «Физические условия различных планет и их спутников в Солнечной системе» с целью погружения в тему, выполнения запланированных экспериментов и научно-обоснованной разработки проекта энергетической установки. Выполнение экспериментов сводилось к созданию собственной работоспособной топливной ячейки для водородно-кислородного топливного элемента со щелочным электролитом и проведению испытаний работы полученного источника тока.

**Практическая значимость и актуальность:** ТЭ перспективны, так как они преобразуют химическую энергию топлива напрямую в электричество, тепло и воду. Они могут находиться в режиме ожидания значительное время, пока оператор не запустит химические реакции по получению водорода и кислорода, что важно при консервации баз, так как другие источники тока могут за продолжительное время потерять работоспособность. Кроме того, авторская модель топливной ячейки – более дешёвый источник тока по сравнению с существующими аналогами, использующими в качестве катализатора платину, а это важно при использовании в космических проектах.

**Новизна проекта:**

1. Разработка проекта эффективного применения топливных элементов при организации работы научно-исследовательских и горнодобывающих баз на других планетах.

2. Создание собственной работоспособной топливной ячейки для водородно-кислородного топливного элемента со щелочным электролитом с целью поиска наиболее эффективных решений данного устройства, а также

наиболее оптимальных внутренних компонентов ТЭ, повышающих КПД этих источников тока.

3. Топливная ячейка сделана разборной для того, чтобы иметь возможность проводить исследования характеристик ячейки при замене мембраны и катализатора.

3. Авторские решения. В качестве протоннообменной мембраны автор пока выбрал микроканальную пластину. Вместо дорогостоящего платинового катализатора использованы игольчатые монокристаллы оксида молибдена, легированные золотом.

## **2. Теоретическая часть. Физика**

### **2.1. Некоторые виды автономных источников тока**

#### **Химические источники тока**

В зависимости от эксплуатационных особенностей и от электрохимической системы химические источники тока делятся на различные виды (рис.1). Это устройства, вырабатывающие электричество за счёт прямого преобразования химической энергии окислительно-восстановительных реакций – рис.2. К ним относятся: гальванические элементы, аккумуляторы, топливные элементы.

#### **Термоэлементы**

В цепи, составленной из последовательно соединённых разных материалов (металлов или полупроводников – рис. 3), если места контактов имеют различную температуру, возникает термоэлектродвижущая сила.

#### **Фотоэлементы**

На поверхность пластины n-типа вносится присадка, сообщающая проводимость p- типа. На глубине 2,5 мкм формируется p–n-переход. При поглощении света появляются избыточные носители заряда, а потенциальный барьер приводит к разделению зарядов – рис. 4.

#### **Пьезоэлектрический эффект**

Эффект состоит в появлении зарядов разного знака на противоположных гранях некоторых пьезоэлектриков при их деформации [1]. Рис. 5.

## 2.2. Выбор темы - топливные элементы

**Топливный элемент** – устройство, которое эффективно вырабатывает постоянный ток и тепло из богатого водородом топлива путем электрохимической реакции. Топливный элемент (ТЭ) аналогичен аккумуляторной батарее, так как тоже даёт постоянный ток путем химической реакции. ТЭ также включает в себя анод, катод и электролит.

**Преимущества.** В отличие от традиционных гальванических элементов или аккумуляторов, в которых топливо и окислитель хранятся внутри корпуса и не могут быть заменены или добавлены по мере израсходования, некоторые типы топливных элементов можно использовать сразу после подачи топлива и окислителя. ТЭ преобразует реакцию окисления топлива непосредственно в электрическую энергию без промежуточных устройств [2,3].

Топливные элементы обычно классифицируются по их **рабочей температуре** и **типу электролита**, который они используют. Рис. 6-9.

Важную роль в ТЭ играет мембрана и наличие катализатора, увеличивающего ЭДС в десятки раз. Например, **электролит-протоннообменная мембрана** – особым образом обработанный материал, который проводит только положительно заряженные ионы и блокирует электроны. **Катализатор** — это специальный материал, который способствует реакции кислорода и водорода. Обычно он изготавливается из наночастиц платины, нанесенных на копировальную бумагу или ткань.

На рис. 10 объясняются процессы, происходящие при работе такого ТЭ. Газообразный водород ( $H_2$ ), входит под давлением в ТЭ со стороны анода. Когда молекула  $H_2$  соприкасается с платиной на катализаторе, она разделяется на два протона (ионы  $H^+$ ) и два электрона. Электроны используются во внешней цепи. На стороне катода ТЭ молекула кислорода ( $O_2$ ) проходит через

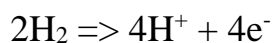
катализатор и разделяется на два атома. Прошедшие через мембрану два протона и атом кислорода, получающий на катоде 2 электрона из внешней цепи, формируют молекулу воды. Реакция производит около 0,7 В [4].

**Водородно-кислородный топливный элемент** – химический источник тока, в котором осуществляется непрерывная подача активных веществ извне в зону электрохимической реакции. Он работает при обычных или слегка повышенных температурах с применением водных электролитов. Элементы этого типа характеризуются наличием пористых электродов, изготовленных из электропроводящих материалов (уголь, никель и др.). На внутренней поверхности пор, куда поступают  $H_2$  и  $O_2$  происходят электродные процессы, заключающиеся в переходе адсорбированных газов в ионное состояние и являющиеся источником ЭДС элемента [5].

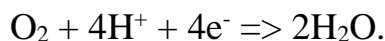
Водородно-кислородный элемент со щелочным электролитом – один из перспективных ТЭ. Его преимущества: достаточно простая конструкция, высокая надежность, возможность использовать газы без очистки и при низком парциальном давлении. Этот элемент сохраняет достоинства лучших ТЭ других систем: непрерывность работы в течение относительно большого промежутка времени, отсутствие вредных выделений, высокий коэффициент использования активных веществ, стабильность напряжения.

#### *Для ТЭ с протоннообменной мембраной*

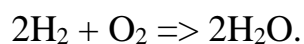
Реакция на аноде:



Реакция на катоде:



Общая реакция элемента:



У ТЭ нет жёсткого ограничения КПД как у тепловых машин. В результате эффективность выработки электроэнергии достигает до 70-90% . Это обусловлено прямым превращением энергии топлива в электроэнергию.

### **2.3. Применение топливных элементов**

Первоначально ТЭ нашли применение в космической отрасли, но сейчас их применение шире. Создаются стационарные электростанции, автономные источники тока и тепла в зданиях, в двигателях некоторых транспортных средств, источники питания ноутбуков, гаджетов. Мощность их различна. Есть попытки комбинировать с другими источниками энергии.

#### ***Использование топливных элементов в космических аппаратах***

В 2010 г. НАСА заказало фирме United Technologies Corporation разработать высокотемпературный ТЭ для ракеты-носителя, так как они отвечают требованиям компактности и мощности. Топливо – газообразный водород под давлением более 90 МПа. Запасы кислорода и водорода можно пополнять от высокотемпературного электролизёра. А современные разработки в области катализаторов дают возможность отказаться от платины, что снизит стоимость ТЭ [6].

### **3. Теоретическая часть. Астрономия**

Рассмотрим физические условия на планетах наиболее перспективных для освоения в данное время, то есть на Луне и Марсе. Это необходимо, чтобы обосновать целесообразность использования топливных элементов в каждом конкретном случае.

#### **3.1. Физические условия на Луне**

Из-за того, что сила тяжести на поверхности Луны в 6 раз меньше, чем на Земле, молекулам газа достаточно скорости 2,4 км/с, чтобы покинуть Луну. Отсутствие атмосферы создаёт на ней особый температурный режим. На Земле конвекция воздуха сглаживает температурные контрасты. Иная картина на

Луне. День и ночь длятся почти по две земные недели. Медленное вращение вокруг оси приводит к тому, что в течение дня поверхность Луны нагревается до  $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $400\text{ K}$ ), а в течение ночи остывает до  $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $100\text{ K}$ ). Температура различных точек поверхности зависит от угла падения солнечных лучей. Рядом температуры на солнце и в тени различаются на многие десятки градусов. Поэтому на Луне обнаружен водяной лёд (рис. 11).

Из-за отсутствия атмосферы лунная поверхность подвержена непосредственному воздействию всех видов излучения, а также постоянной «бомбардировке» метеоритами и микрометеоритами, которые падают на нее с космическими скоростями (десятки километров в секунду). В результате вся Луна покрыта слоем мелкораздробленного вещества *реголита*, толщина которого в ряде случаев превышает 10—12 м. По своим физико-механическим свойствам реголит напоминает влажный песок. Он быстро и нагревается, и отдает тепло [8]. Теплопроводность реголита примерно в 10 раз меньше теплопроводности окружающего нас воздуха, поэтому уже на глубине нескольких десятков сантиметров колебания температуры практически отсутствуют. Жидкая вода на Луне испаряется от солнечного ветра и улетает в космос. Но лёд существует в кратерах на полюсах планеты или на глубине. Это перспективный источник воды для будущих баз. Например, льдом покрыто около 22 % поверхности кратера Шеклтон, расположенного около южного полюса. Запасов льда больше возле южного полюса. Есть также области с вечной тенью. Таким образом, из льда, а потом воды будут получать  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$ .

### 3.2. Физические условия на Марсе

Сходство с Земными параметрами. Сутки составляют 24 часа 37 минут. Наклон оси Марса к плоскости эклиптики составляет  $25,19^{\circ}$ , а земной —  $23,44^{\circ}$ . Т.е. и на Марсе есть смена времён года. Но она дольше, т.к. марсианский год в 1,88 раза длиннее земного. У Марса есть атмосфера и вода в виде льда.



Различие с Земными параметрами. Сила тяжести на Марсе примерно в 2,63 раза меньше, чем на Земле.  $g = 3,76 \text{ м/с}^2$ .  $R = 0,5 R_{\text{зем}}$ . Средняя температура на поверхности  $-60^\circ\text{C}$ , минимальная  $-150^\circ\text{C}$  (зимой на полюсах). Положительные значения редки. В силу того, что Марс находится в 1,5 раза дальше от Солнца, количество достигающей его поверхности солнечной энергии примерно вдвое меньше, чем на Земле. Орбита Марса имеет большой эксцентриситет, что увеличивает годовые колебания температуры. Атмосферное давление на Марсе слишком мало (у поверхности 0,006 земного), чтобы люди могли выжить без пневмокостюма. Атмосфера состоит в основном из углекислого газа (95 %). Магнитное поле Марса слабее земного примерно в 800 раз. Вместе с разрежённой атмосферой это увеличивает количество достигающего поверхности ионизирующего излучения. При этом атмосфера даёт некоторую защиту от солнечной и космической радиации. Но радиация в 230 раз больше, чем на Земле. Есть опасность от метеоритных дождей.

Пыль и пыльные бури. На красной планете (рис. 12) представляют также опасность песчаные бури, которые могут длиться неделями. Из-за очень малого размера частиц пыли от неё очень трудно изолироваться. Для электроники опасность представляют её электростатические свойства [8].

## **4. Экспериментальная часть**

Для проведения проверки эффективности топливных ТЭ мы провели эксперименты с топливной ячейкой заводского изготовления, а затем решили изготовить авторскую действующую модель с более дешёвым катализатором.

### **4.1. Использование топливного элемента из набора Fuel Cell Kit**

В набор входит обратимый топливный элемент. То есть он может работать как электролизёр и как источник тока, работающий на водороде и кислороде. Технические характеристики топливного элемента представлены в таблице 1.

Процесс электролиза дистиллированной воды, в накопительных цилиндрах ТЭ – рис.13. Объём водорода в 2 раза больше чем  $O_2$ .

Далее была собрана машина из деталей конструктора «Лего-робот» (рис. 14). На неё установили данный топливный элемент и провели испытания.

1,5 мин электролиза хватает на 20 мин работы машины.

Данные ТЭ дороги. Комплект стоил 7 000 руб., поэтому автор решил создать свой вариант ТЭ с бесплатиновым катализатором.

#### **4.2. Изготовление топливной ячейки и электролизёра**

Задача: изготовить действующую модель водородно-кислородной топливной ячейки со щелочным электролитом (раствор КОН) и электролизёр к ней. Так как ячейка при своей работе нагревается, был поставлен охладитель газов на базе термоэлектрического холодильника на элементе Пельтье.

Топливная ячейка (ТЯ) представляет собой трехслойную сэндвичевую конструкцию. Основа конструкции пластины из поликарбоната.

*Авторская идея:* применить в качестве катализатора игольчатые монокристаллы оксида молибдена легированные золотом. В центральной части сделано круглое окно, куда вклеена протоннообменная мембрана. Электроды – диски из углеволокна. Разобранная ячейка с углеволокном и микроканальной пластиной - рис.15. На рис. 16 - ячейка в сборе.

#### **4.3. Измерение ЭДС авторской модели топливной ячейки**

Для проверки качества работы авторской модели ТЯ с катализатором из игольчатых монокристаллов оксида молибдена активированных золотом провели опыт с ячейкой без катализаторов. Максимальная ЭДС – 15,5 мВ.  $H_2$  и  $O_2$  взаимодействуют мало.

Далее ячейку разобрали и добавили катализатор (рис.17). Результаты опытов: рис. 18 (схема электрическая); рис.19 (фотография установки),

таблицы 2 и 3. ЭДС<sub>max</sub> при применении авторского бесплатинового катализатора: 600 мВ. Катализатор увеличил количество реагирующих газов. Лучшие ТЯ со щелочным электролитом и катализаторами на основе платины, имеют ЭДС немного больше 1В.

## **5. Решение проблемы обеспечения вземных баз электрическим током за счёт использования топливных элементов**

### **5.1. Сравнение перспектив топливных элементов и других источников тока**

У ТЭ есть свои проблемы. Это – получение и хранение газов. А вот проблема утилизации тепла, наоборот, в условиях освоения планет трансформируется в дополнительный плюс, также как и получение воды в процессе работы ТЭ. Вместо платины в нашем проекте более дешёвый катализатор – игольчатые монокристаллы оксида молибдена, легированного золотом. *Это одна из главных авторских идей проекта.*

Применение ТЭ предполагает их использование в комбинации с другими источниками тока: атомными или фото- и термоэлементами. Но в солнечных батареях (фотоэлементах) используют полупроводники и чистую поверхность, что в условиях микрометеоритной бомбардировки на Луне и наличия реголита мало приемлемо.

Более перспективно термоэлектричество. Как известно принцип действия термоэлементов: в цепи, составленной из двух соединённых металлов, если места контактов имеют различную температуру, возникает термоЭДС [9]. Полупроводники в заданных условиях не подходят. В космонавтике используют радиоизотопные термоэлектрические генераторы. Горячие спаи нагревают от ядерного топлива. Но количество плутония – 238 с периодом полураспада около 90 лет ограничено. Его получение трудоёмкая и грязная работа, связанная с радиоактивностью.

Таким образом, у топливных элементов достаточно перспектив использования.

## 5.2. Проект базы с электрохимическим генератором

Учитывая физические условия планет, были разработаны проекты внеземных баз

Схема лунной базы представлена на рис. 20. Первичным источником электричества является термоэлектрический генератор. Он даёт на базу электричество днём и обеспечивает электролиз, создавая топливо для ТЭ, который может работать и ночью, которая на Луне длится по две земных недели [10].

Дополнительно ТЭ даёт тепло для базы и вновь синтезирует воду. Излишки тепла удаляются излучением. Горячие спаи термогенератора нагревает Солнце, а холодные спаи должны находиться в области вечной тени и обеспечивать стабильное охлаждение.

Получение воды возможно в течение лунного дня, когда температура поднимается до 130<sup>0</sup> С. Лёд доставляется из околополярных областей, помещается в герметичные ёмкости с чёрным покрытием, где он тает. Во избежание перегрева и нарушения герметичности давлением, так как вода при практически нулевом давлении начнёт сразу кипеть в ёмкости необходимо создать дополнительное давление каким-либо безопасным газом. Кроме того, надо исключить возможность диссоциации молекул воды и нахождение в ёмкости одновременно взрывоопасного количества водорода и кислорода.

Освоение Луны: лунный модуль и машины на термоэлементах и топливных элементах – рис.21.

Следующий вариант – базы на Марсе (рис. 22). Первичным источником электричества является радиоизотопный термоэлектрический генератор. Он снабжает базу вместе с ТЭ, для которого обеспечивает электролиз воды. Так как на Марсе нет таких высоких температур как на Луне,

то всё тепло утилизируется. Все его излишки направляются на обогрев базы, на дополнительный обогрев горячих спаев термогенератора, что повышает его мощность. В обычном состоянии их нагревает энергия радиоактивного распада «топлива».

ТЭ предлагается использовать в сочетании с другими источниками, так как скорость химических реакций невелика, что негативно отражается при пиковых нагрузках. Но главная особенность электрохимического генератора – это его постоянная готовность к работе. То есть в случае консервации базы достаточно оставить в хранилищах запасы водорода и кислорода, тогда как аккумуляторы за долгое время сядут, а в радиоизотопном термогенераторе уменьшится радиация необходимая для нагревания. Используемый плутоний  $^{238}\text{Pu}$  с периодом полураспада 87,7 лет позволяет работать на нём более 10 лет космическому кораблю. Но это вещество не существует в природе. Оно является побочным продуктом при получении оружейного плутония  $^{239}\text{Pu}$ . Таким образом, получение плутония  $^{238}\text{Pu}$  является серьёзной проблемой, тогда как получаемое от него при альфа - распаде тепло является достаточно эффективным обогревателем горячих спаев термопар. Но это же является и минусом, так как идёт слишком быстрая трата ресурса используемого источника. Источником воды, как и в случае с Луной могут служить запасы водяного льда, который можно растопить летом, когда температура в около экваториальных областях поднимается выше  $0^{\circ}\text{C}$ .

Освоение Марса: база и машина на топливных элементах – рис.23.

## 6. Заключение

Результаты проекта:

### 1. Теоретическая новизна проекта.

Рассмотрены проекты обеспечения электрической энергией баз на Луне и Марсе. Предложен вариант использования водородно-кислородных топливных элементов в сочетании с другими источниками тока. На Луне ТЭ

надо применять ночью, когда термоэлементы и фотоэлементы, действующие от солнечного света, не работают. Но днём они, подавая энергию на электролизёр, позволяют сделать запасы водорода и кислорода для топливных элементов электрохимического генератора.

На Марсе комплексные генераторы, состоящие из установок, работающих на отличающихся физических принципах должны содержать топливные элементы, которые будут сохранять свою работоспособность при консервации баз неограниченно долго, в отличие от других источников тока.

## **2. Практическая новизна проекта.**

**Предложена замена дорогостоящего платинового катализатора** в ТЭ на катализатор из игольчатых монокристаллов  $\text{MoO}_3$ , легированного золотом. В процессе работы над проектом для осуществления исследовательской деятельности были изготовлены действующие разборные авторские модели топливной ячейки с протоннообменной мембраной из микроканальной пластины и углеродными пористыми электродами, а также электролизер для снабжения ячейки водородом и кислородом. Проведенные эксперименты показали эффективность работы полученного источника тока, себестоимость которого ниже чем у известных аналогов, содержащих платину, а это очень важно при создании дорогостоящих баз, расположенных на других планетах.

## **7. Список использованных источников и литературы**

1. «Юсти Э., Винзель А. Топливные элементы. – М.: Мир, 1964. - 305 с.
2. Левин А. И. Теоретические основы электрохимии. – М.: Металлургия, 1972.
3. <https://best-energy.com.ua/support/battery/bu-210>
4. <http://att-vesti.neva.ru/J33-2.HTM>
5. Варыпаев В.Н., Дасоян.М. А. Химические источники тока: – М.: Мир,1990. - 240 с.
6. Галямов М. О., Хохлов А. Р. Топливные элементы с полимерной мембраной. – М.: :Физический факультет МГУ, 2014. – 72 с.

8. Воронцов- Вельяминов Б.А., Страут Е. К. – М.: Дрофа, 2018. - 240 с.
9. Калашников С. Г. Электричество. –М.: Наука, 1970.
10. Легостаев Л.П., Лопота В.А. Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы. – М.: РКК «Энергия», 2011. - 584 с.
11. Силаев И. В., Радченко Т. И. Перспективы использования термоэлектрических источников энергии на Луне. //Современные наукоёмкие технологии. 2008. №5.

## 8. ПРИЛОЖЕНИЯ



Рис.1- Схема классификации ХИТ

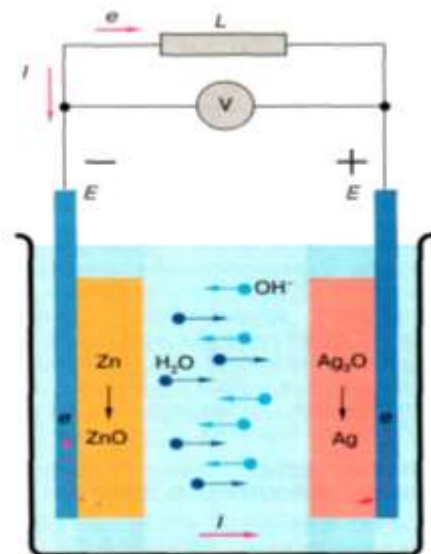


Рис. 2 - Гальванический элемент



Рис.3 - Элемент Зеебека

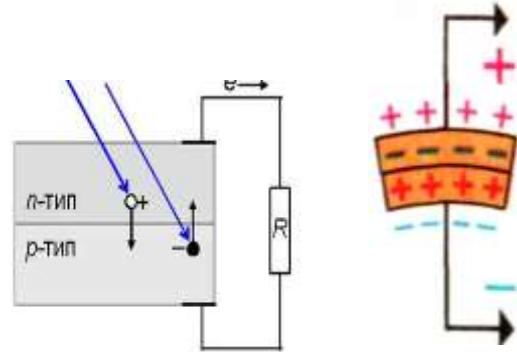


Рис.4- Фотоэлемент

Рис.5- Пьезоэлектрик



Рис. 6 – ТЭ на метаноле



Рис. 7,8 – ТЭ на водороде



Рис. 9- Для космоса



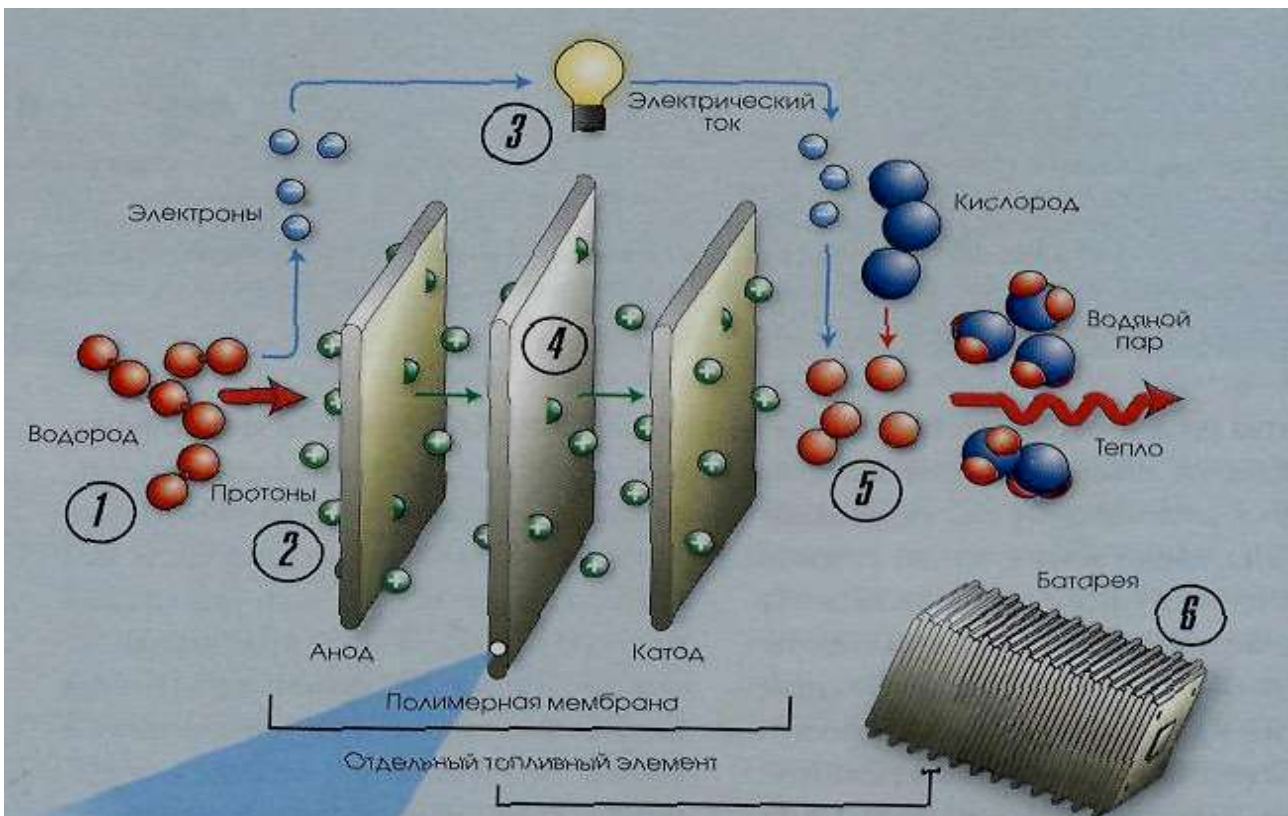


Рис. 10 – Процессы, происходящие при работе ТЭ

Молекула  $\text{H}_2$  соприкасается с Pt и разделяется на 2 протона и 2 электрона. Электроны идут по внешней цепи. На катоде молекула  $\text{O}_2$  проходит через катализатор и делится на 2 атома. Атом кислорода, два протона прошедшие через мембрану и 2 электрона из внешней цепи формируют  $\text{H}_2\text{O}$ .

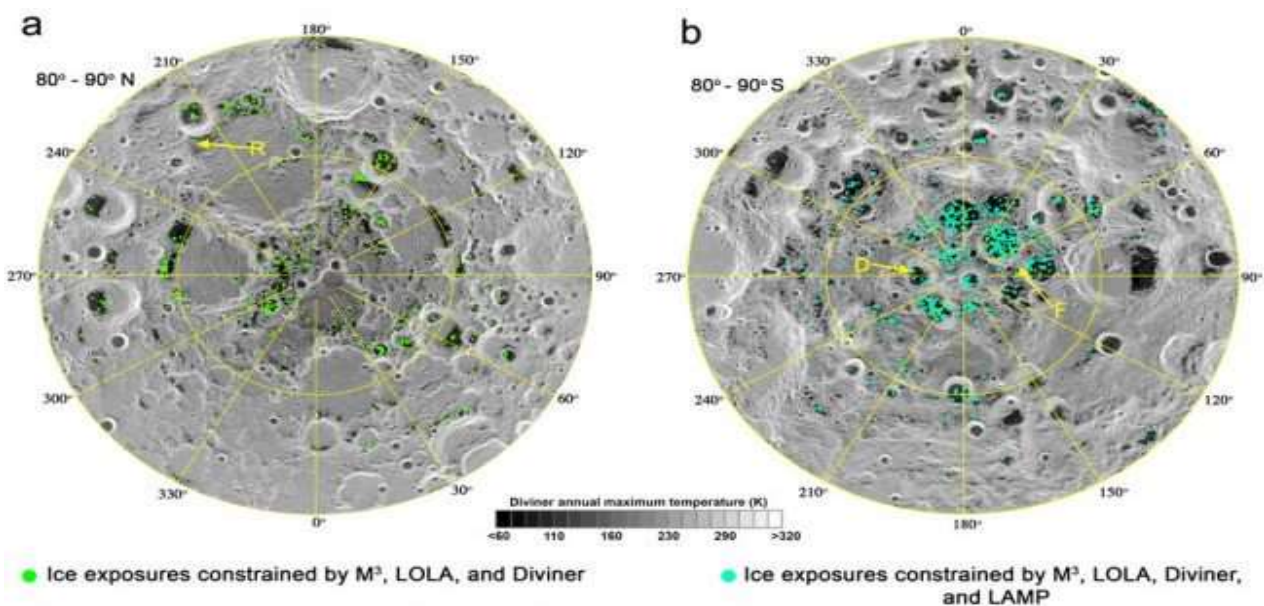


Рис. 11– Карта Северного и Южного полюсов Луны, на которой отображены зоны присутствия водяного льда

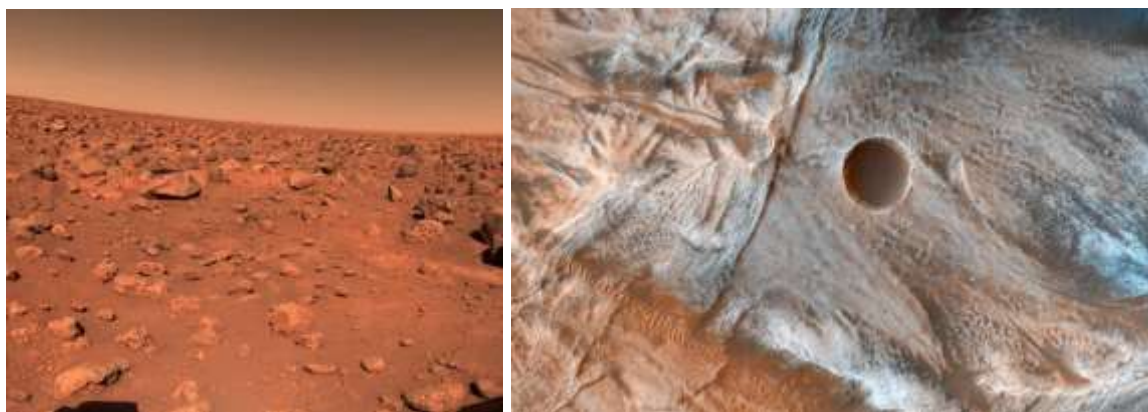


Рис. 12 – Поверхность Марса

**Таблица 1.** Технические характеристики топливного элемента (ТЭ)

Общие характеристики		Работа как электролизёра		Работа как топливного элемента	
Рабочая температура	10-40 °С	Рабочее напряжение	2-3В	Рабочее напряжение	0,5-0,9 В
t хранения	5-40 °С	Рабочий ток	0,4 – 1,5А	Рабочий ток	0,5 А
Vнакопления водорода	20 мл	Макс.производительность выработки водорода	8 мл/мин	Номинальная мощность	300 м Вт



Рис. 13– Электролиз дистиллированной воды. Накопление водорода и кислорода для работы в режиме топливного элемента

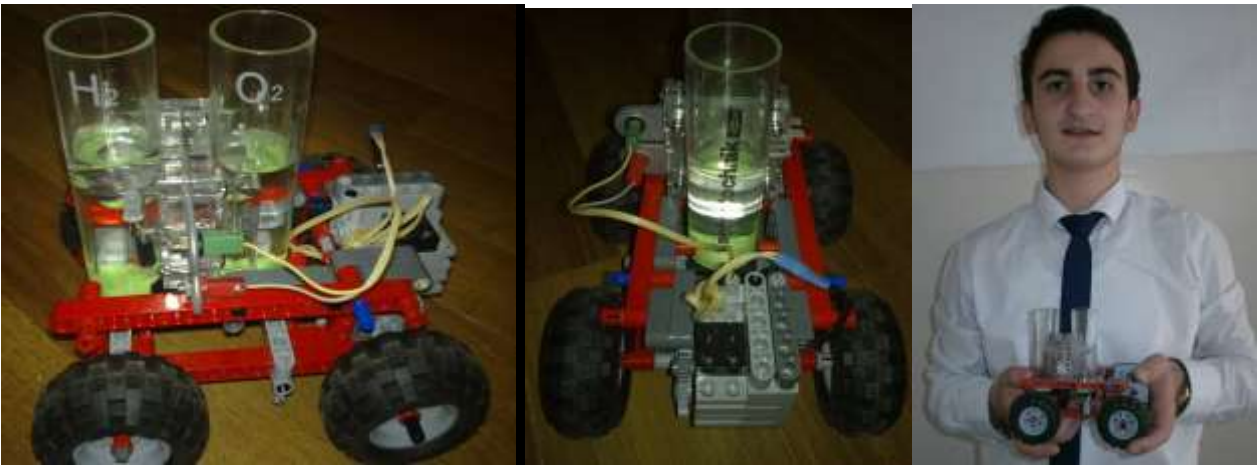


Рис. 14 – Машина с источником питания –топливным элементом



Рис. 15 - Топливная ячейка внутри

Рис. 16 - Топливная ячейка в сборе



Рис. 17 а – Катализатор (оксид молибдена  $\text{MoO}_3$ ); б -увеличение в 400 раз;  
в – изображение на атомно-силовом микроскопе (ЦКП СОГУ)

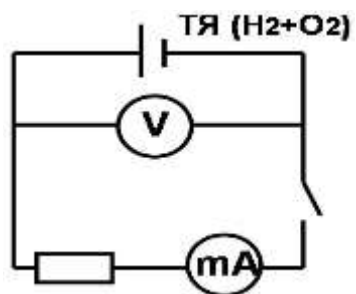


Рис. 18 – Электрическая схема для снятия характеристик топливной ячейки

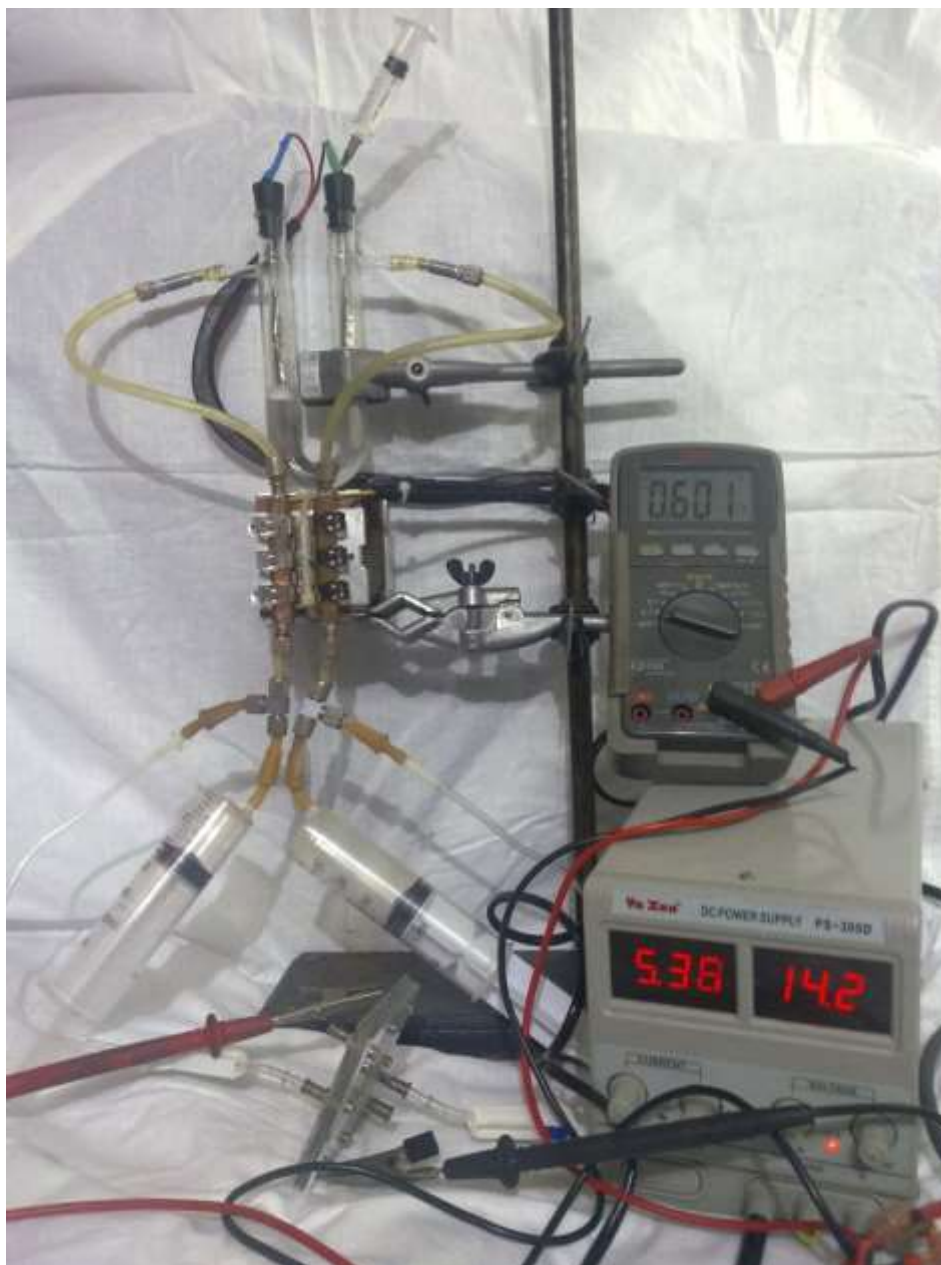


Рис. 19 - ЭДС топливной ячейки с бесплатиновым катализатором

**Таблица 2.** Изменение ЭДС топливной ячейки с катализатором

t,с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ЭДС, В	0	0,05	0,012	0,022	0,037	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

По мере продувки ЭДС увеличивается ( $H_2$  и  $O_2$  вытесняют другие газы).

**Таблица 3.** Изменение ЭДС топливной ячейки без катализатора

t,с	0	10	20	30	40	50	60	70
ЭДС, В	0	0,01	0,012	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015

$H_2$  и  $O_2$  в небольшой степени взаимодействуют и без катализатора.

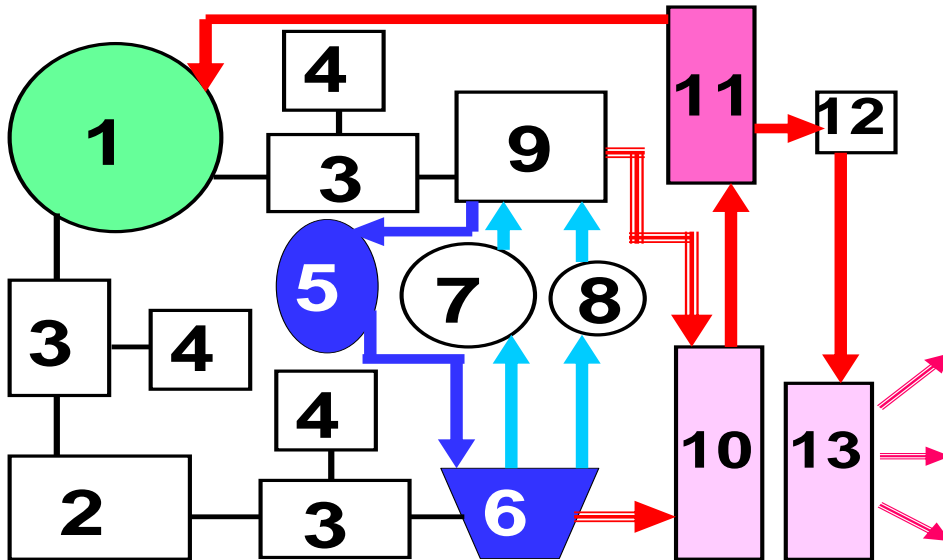


Рис. 20 – Лунная база с термоэлектрическим и электрохимическим генераторами

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| 1. База                         | 8. Баллон для хранения кислорода                   |
| 2. Термоэлектрический генератор | 9. Электрохимический генератор (топливный элемент) |
| 3. Стабилизаторы напряжения     | 10. Теплообменник                                  |
| 4. Буферные аккумуляторы        | 11. Накопитель тепла                               |
| 5. Баллон для хранения воды     | 12. Термостат                                      |
| 6. Электролизёр                 | 13. Холодильник (на излучении)                     |
| 7. Баллон для хранения водорода |  |



Рис. 21 – Освоение Луны

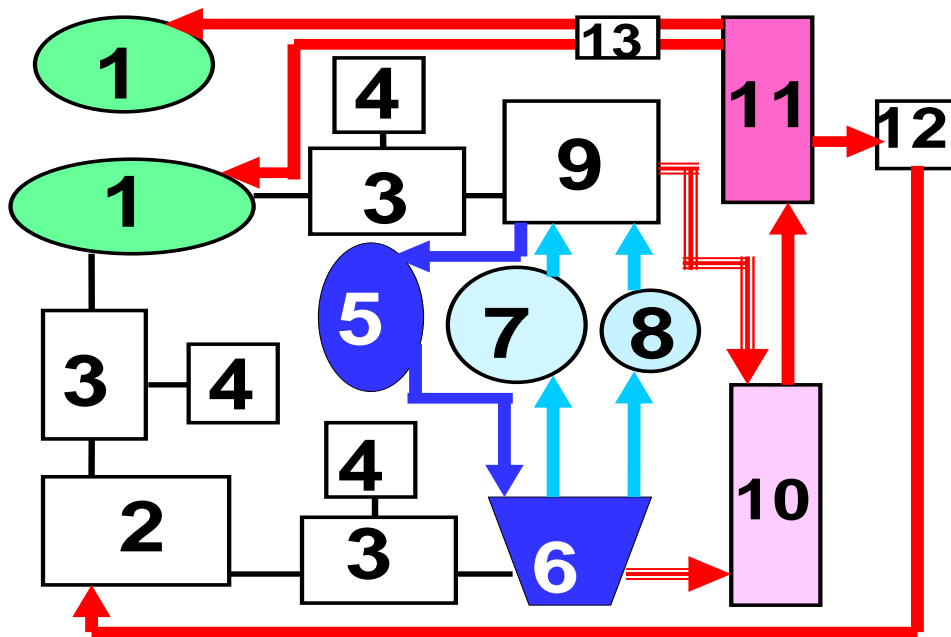


Рис. 22 – Марсианские базы с радиоизотопным термоэлектрическим и электрохимическим генераторами

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1. Базы  | 8. Баллон для хранения кислорода    |
| 2. Радиоизотопный термоэлектрический генератор (РИТЭГ) | 9. Электрохимический генератор (ТЭ) |
| 3. Стабилизаторы напряжения                            | 10. Теплообменник                   |
| 4. Буферные аккумуляторы                               | 11. Накопитель тепла                |
| 5. Баллон для хранения воды                            | 12. Термостат                       |
| 6. Электролизёр  | 13. Регулятор                       |
| 7. Баллон для хранения водорода                        |                                     |

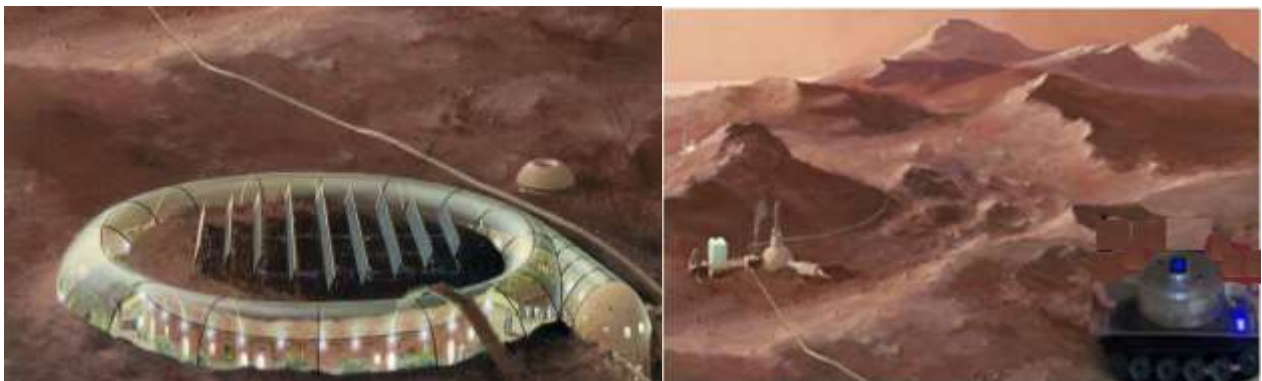


Рис. 23 – Освоение Марса