

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем
электроснабжения
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Разработка гибридной системы независимого энергообеспечения потребителя малой и средней мощности»

Студент

Д.А. Павлов

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Научный

В.А. Шаповалов

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

руководитель

Руководитель программы д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Общие сведения. Преимущества и недостатки существующих гибридных установок.	6
1.1 Солнечные панели.	7
1.2 Блок хранения энергии.	17
2 Перспективы применения водорода в энергетике	20
2.1 Получение водорода.	24
2.2 Топливные элементы.	30
3 Системы хранения энергии на базе водородных технологий	34
3.1 Системы хранения водорода на базе металлгидридных накопителей.....	35
3.2 Системы хранения водорода на базе полициклических и ароматических углеводородов.	38
4 Технология LOHC	41
4.1 Разработка базовых требований к установке на базе технологии LOHC..	43
5 Газовые датчики, принцип действия конструкция и характеристики.....	54
5.1 Термокондуктометрические ячейки	54
5.2 Топливная ячейка.....	57
5.3 Термохимическая ячейка	58
5.4 Полупроводниковые датчики	58
5.5 Датчики типа TGS.....	61
5.6 Датчик природного газа	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ А	74

ВВЕДЕНИЕ

На территории Российской Федерации имеется большое количество населенных пунктов, которые значительно удалены, а по сути, изолированы от централизованной энергетической инфраструктуры. К населенным пунктам такого типа могут относиться небольшие поселения, поселки и др. Единственно возможным решением проблем по энергообеспечению, с точки зрения экономики, является применение децентрализованных энергетических установок.

В настоящее время стационарные источники энергоснабжения, в большинстве своем, используют углеводородное сырье, необходимое для работы энергетических установок на базе тепловых двигателей. Однако в условиях работы с переменным графиком нагрузки на электросеть использование подобного оборудования сопровождается неэффективным использованием ресурса агрегатов, работой в режимах с низким КПД и высокими показателями удельного расхода топлива. Отдельно следует выделить и проблему доставки топлива. Так, по некоторым сведениям, стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, получаемой от дизельных установок мощностью до 100 кВт в отдаленных удаленных районах РФ может достигать по разным оценкам от 25 до 60 р/кВт·ч. Для примера, средняя стоимость электроэнергии в центральном районе России составляет около 4,50 р/кВт·ч [1]. В настоящее время использование альтернативных источников не всегда является экономически обоснованным решением. Однако для удаленных регионов, где отсутствует инфраструктура, применение альтернативных источников энергии является единственным возможным решением для энергообеспечения.

Функция гибридных систем заключается в поставке электрических мощностей и энергии для отдельных клиентов или сочетания постоянных клиентов.

Гибридная система – энергетическая система с несколькими источниками электрической энергии, использующими не менее двух разных технологий производства электроэнергии [2]. Таким образом, целью работы является разработка гибридной системы независимого энергообеспечения потребителя малой и средней мощности.

Технические задачи, поставленные перед такой установкой, можно разделить на следующие основные моменты:

- производство и накопление энергии экономически выгодным способом.

При использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ):

- отдавать предпочтение использованию ВИЭ, где это локально доступно;

- накапливать энергию от ВИЭ, когда они доступны;

- использовать резервные источники энергии для достижения указанного уровня сервиса, когда ВИЭ недоступны или недостаточны [2].

Объектом исследования является стационарная гибридная установка.

Предметом исследования являются процессы, обеспечивающие повышения эффективности и экономичности стационарной гибридной установки.

Научная новизна работы состоит в анализе методов обеспечивающих повышение экономических и экологических показателей гибридных установок с применением возобновляемых источников энергии.

Практическая значимость работы заключается в разработке технических предложений обеспечивающих улучшенные показатели гибридной установки.

На защиту выносятся:

- направления повышения эффективных и экологических показателей гибридных установок;

- рекомендации по совершенствованию стационарных гибридных установок использующих возобновляемые источники энергии.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на научно-технических семинарах кафедры «Энергетические машины и системы управления» ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет».

Публикации. По направлению диссертационного исследования опубликовано 3 печатных работы.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения и приложения включающего основные результаты и выводы, списка литературы. Работа изложена на 72 страницах основного текста, иллюстрированного 32 рисунками, 8 таблицами, 70 источниками и приложения.

1 Общие сведения. Преимущества и недостатки существующих гибридных установок.

В общем случае, гибридная установка состоит из следующих основных элементов:

- источник ВИЭ. В качестве источника могут применяться различные устройства принцип работы которых основан на различных способах преобразования энергии. Наиболее распространёнными ВИЭ сегодня являются солнечные панели (солнечные фотоэлементы) и ветрогенераторы.

- блок хранения энергии. В качестве основного элемента блока хранения энергии получили распространение различные аккумуляторные батареи (АКБ). АКБ предназначены для обеспечения работы гибридной установки при относительно кратковременном отсутствии ВИЭ. Для компенсации краткосрочных пиковых нагрузок используют суперконденсаторы.

- резервная энергетическая установка. Используется для гарантированного обеспечения энергией потребителя, в случае невозможности по каким либо причинам работы ВИЭ.

- система управления и преобразования энергии. Система предназначена для согласования работы всех элементов установки и преобразование получаемой энергии в электрическую с заданными параметрами. Система включает два базовых элемента – контроллер и инвертер. Схема гибридной установки представлена на рисунке 1.1.

Основные преимущества данной установки следующие:

- возможность обеспечения энергонезависимости до 90 % в разрезе годового использования установки;
- достаточно высокая экологичность установки;
- применение надежных и опробованных технологий генерации;
- длительный срок эксплуатации (срок эксплуатации может составлять более 10 лет, кроме АКБ);

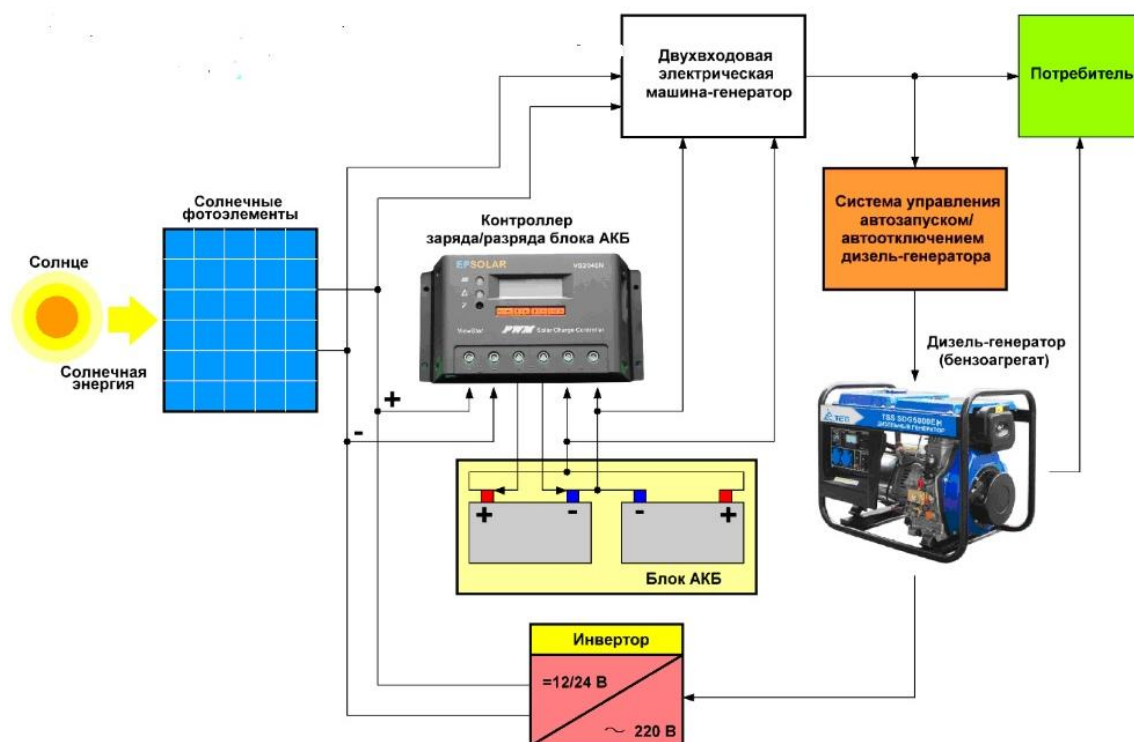


Рисунок 1.1 Схема простейшей гибридной установки [3]

К недостаткам такой схемы можно отнести:

- высокая стоимость установки;
- наличие традиционной резервной установки работающей на традиционном топливе;
- необходимость утилизации использованных АКБ;
- генерируемая мощность установки значительно зависит от внешних природных условий;
- необходимость периодического обслуживания установки.

Указанные недостатки ограничивают широкое применение рассмотренных гибридных установок.

Рассмотрим более подробно основные элементы гибридной установки определяющих стоимость и эффективность установки.

1.1 Солнечные панели.

Анализ существующих технологий создания солнечных панелей позволяет выделить два основных направления:

- кремневые технологии;
- пленочные технологии.

1.1.1 Кремниевые солнечные панели

Панели такого типа широко представлены на рынке. Их разделяют на следующие типы:

- монокристаллические;
- поликристаллические;
- комбинированные.

В основе монокристаллической солнечной панели лежит монокристалл кремния выращенный по методу предложенному польским химиком Яном Чохральским. Материал полученный таким методом вследствие сложности организации технологического процесса дорог. Тем не менее панели из монокристалла имеют высокий КПД до 20 - 22 %. Типовое устройство монокристаллической солнечной панели представлено на рисунке 1.2.

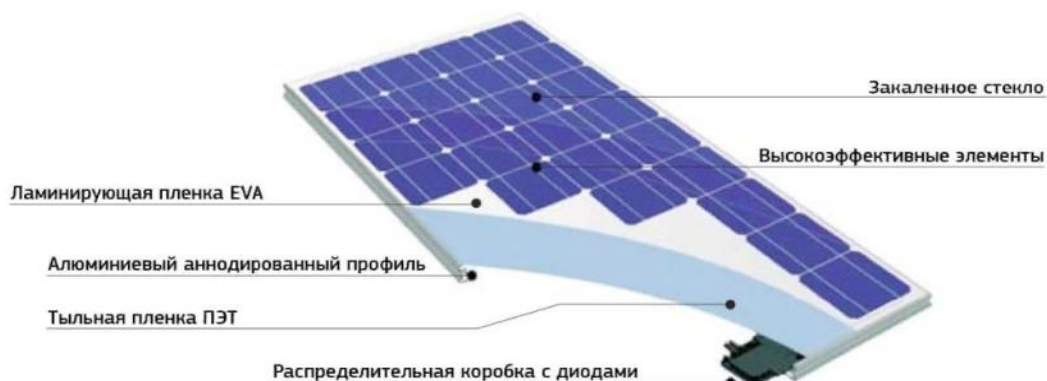


Рисунок 1.2 – Устройство монокристаллической солнечной панели

Другой тип солнечных панелей: поликристаллические. Поликристаллические панели имеют КПД ниже по сравнению с монокристаллами (КПД панелей составляет 12 – 18%). Основным преимуществом панелей такого типа является возможность работать при рассеянном свете с приемлемым для практики эффективностью.

Аморфные кремниевые панели (a-Si) - самые низкопроизводительные в линейке кремниевых солнечных панелей. Их КПД не превышает 5 – 6%.

Однако применение панелей такого типа может быть оправдано по ряду причин:

- степень поглощения светового потока у панелей этого типа в 15 раз больше чем у кремниевых панелей другого типа;
- хаотичная ориентированность светочувствительных фотоэлементов значительно повышает эффективность А-Si в пасмурную погоду.

Комбинированные преобразователи светового потока - это объединение аморфного кремния с микрокристаллами. Панели такого типа схожи по свойствам с поликристаллическими солнечными панелями, но их производительность при рассеянном свете выше. Необходимо отметить, что они могут преобразовывать в электричество очень большой спектр излучений, от инфракрасного до ультрафиолетового спектра.

Панели с кремниевыми фотоэлементами это самый распространенный тип панелей (около 85% от всего объёма производимых солнечных батарей).

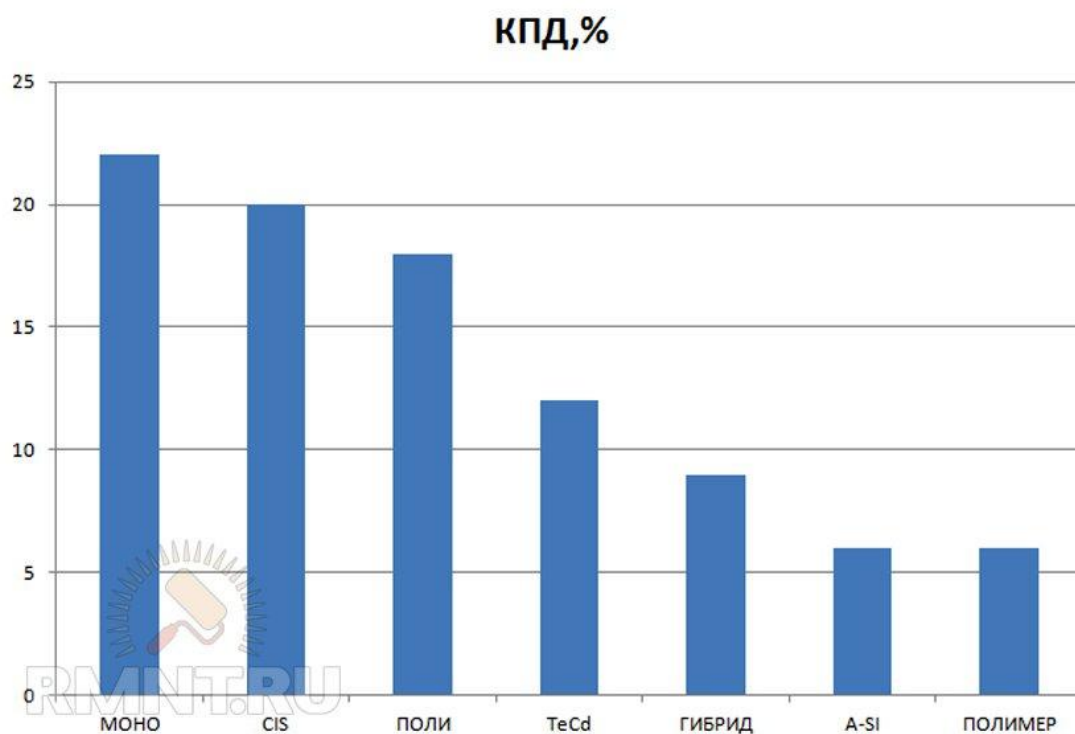
1.1.2 Пленочные солнечные батареи

Данная технология (пленочная) является относительно новым направлением в разработке солнечных панелей. К пленочным технологиям относятся фотоэлементы на основе теллурида кадмия (CdTe), диселенида меди-индия (CIS), диселенида меди-индия-галлия (CIGS) и полимерные. Применение полимерных панелей считается одним из самых перспективных направлений развития пленочных технологий. По оценкам специалистов стоимость панелей этого типа будет гораздо ниже по сравнению с традиционными.. КПД панелей последнего типа составляет около 6%.

На рисунке 1.3 представлено сравнение эффективности (КПД) панелей созданных по различным технологиям.

1.1.3 Анализ эффективности применения солнечных панелей.

Эффективность применения солнечных панелей определяется их КПД и как результат стоимостью 1 кВт (Вт) полученной энергии или стоимостью 1 кВтА (ВА).



МОНО – элементы из монокристалла кремния

CIS – элементы из диселенида меди-индия

ПОЛИ – элементы из поликристалла кремния

TeCd–элементы из теллурида кадмия

ГИБРИД – элементы из аморфного кремния с микромонокристаллами кремния

А-SI – элементы из аморфного кремния

ПОЛИМЕР – элементы из полимерного материала

Рисунок 1.3 – Сравнение эффективности (КПД) панелей созданных по различным технологиям.

Таким образом, в зависимости от назначения ВИЭ, а также внешних условий и расположения установки целесообразно применять различные виды солнечных панелей.

Для определения параметров солнечной панели необходимо знать ее вольт-амперную характеристику. На рисунке 1.4 представлена типовая характеристика солнечной панели. На рисунке приняты следующие обозначения. Красным цветом обозначена вольт-амперная характеристика, синим – кривая изменения мощности. На графике представлены точки, которые встречаются в технических характеристиках солнечных панелей.

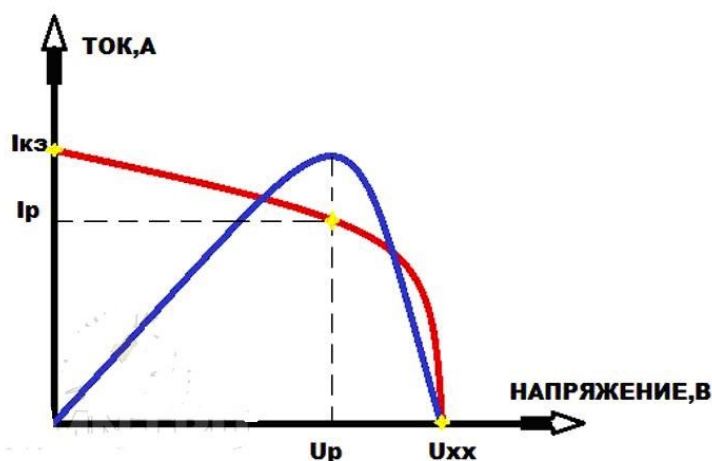


Рисунок 1.4 – Типовая вольт-амперная характеристика и кривая изменения мощности солнечной панели

$I_{кз}$ – ток короткого замыкания (А);

$U_{хх}$ – напряжение холостого хода (В).

Указанные режимы не являются рабочими режимами панели. За рабочий режим с наибольшим КПД принимается режим максимальной генерируемой мощности. При этом вырабатываемая мощность изменяется в зависимости от погодных условий и времени суток.

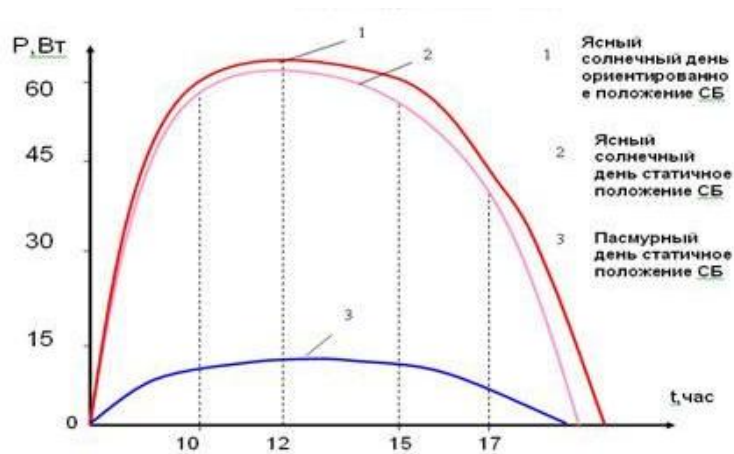


Рисунок 1.5 - График зависимости мощности солнечных панелей от погодных условий [4]

Из рисунка видно, что вырабатываемая мощность панелей в зависимости от погодных условий и времени суток может изменяться в разы.

Для оценки эффективности применения различных солнечных панелей сделаем следующий расчет из следующих соображений:

- количество энергии приходящееся на 1 м² солнечной панели зависит от широты расположения установки;
- среднестатистическое количество солнечных/пасмурных дней;
- длительность солнечного сияния в год (часы).

Для примера рассмотрим расположение панелей в широтах, например г.о. Тольятти.

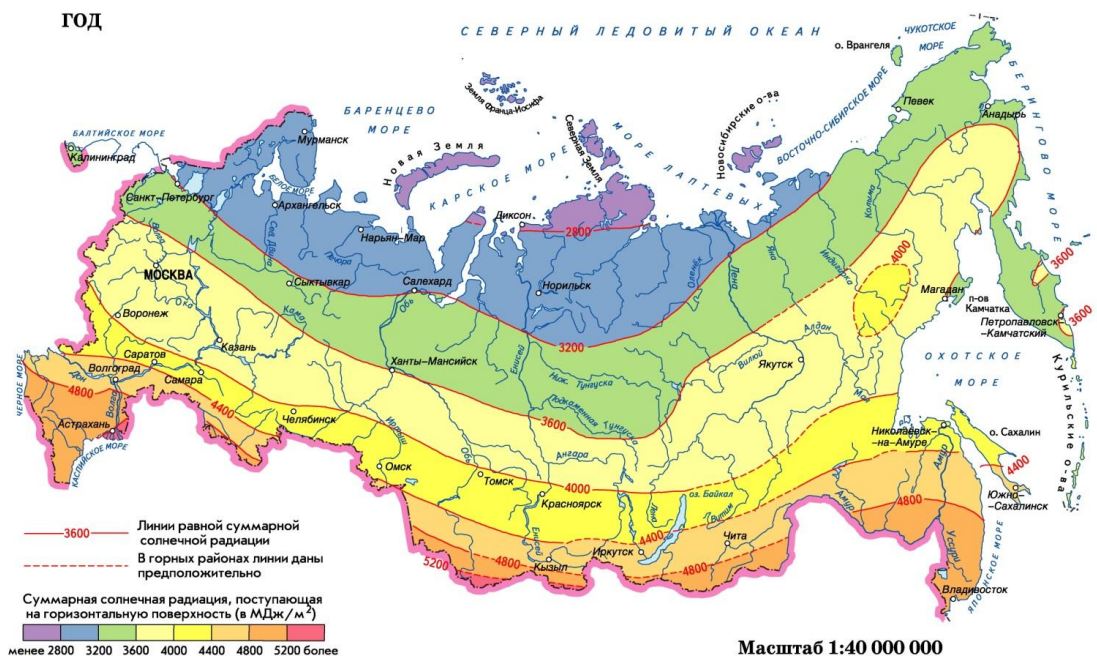


Рисунок 1.6 – Суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность (МДж/м²)

Общее количество энергии воспринятой 1 м² за один календарный год составит ориентировочно около 4000 МДж/м².

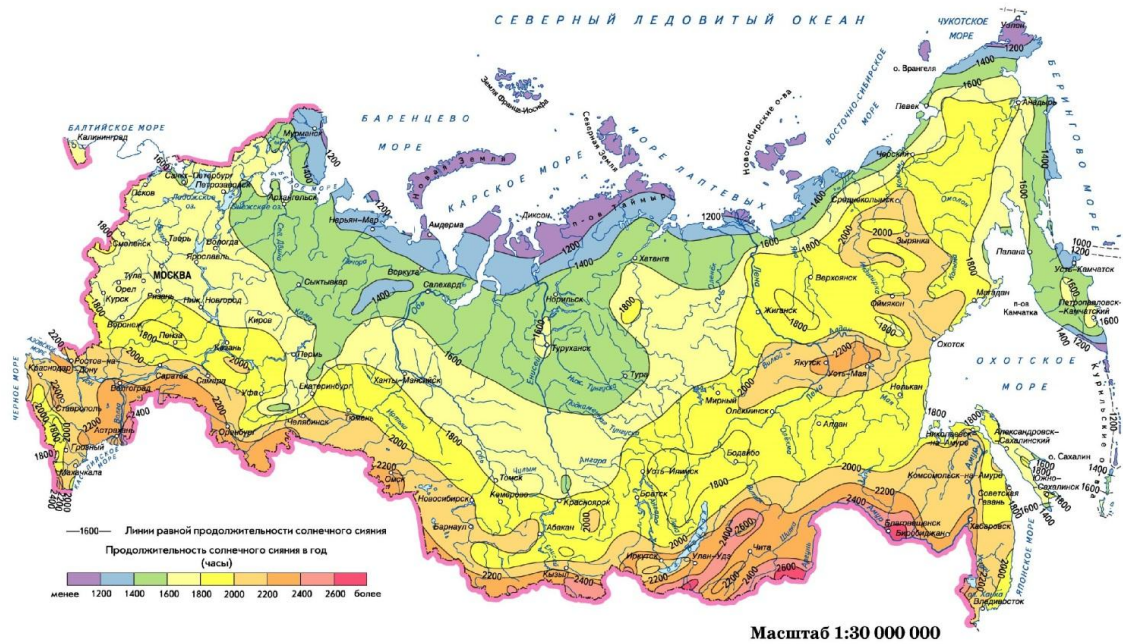


Рисунок 1.7 – Длительность солнечного сияния в год (часы)

Теоретическая средняя мощность которая может быть выработана с 1 м² составит:

$$N = Q/\tau = 4000 \cdot 10^6 / (2000 \cdot 3600) = 550 \text{ (Вт/м}^2\text{)}$$

Более точно определить количества солнечной радиации можно определить если провести статистическую обработку помесячно за год. На рисунке 1.8 приведена такая обработка.

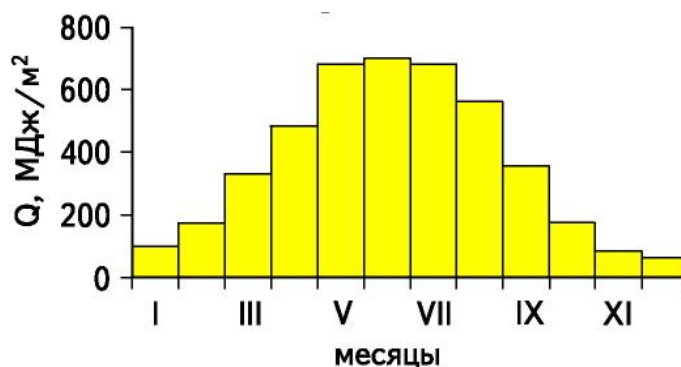


Рисунок 1.8 – Распределение суммарной солнечной радиации по месяцам года

С учетом КПД солнечных панелей и особенностями их функционирования можно составить следующую таблицу:

Таблица 1.1 – Эффективность солнечных панелей

№	Тип солнечной панели	Максимальное КПД	Среднегодовая мощность вырабатываемая 1м ² , Вт/м ²
1	Монокристаллическая	22 %	120
2	Поликристаллическая	18 %	99
3	Аморфные кремниевые панели(a-Si)	6 %	33

Однако, как показывает практика эффективность панелей очень сильно зависит от погодных условий. В частности как видно из таблицы 1.2 количество солнечных дней в году составляет порядка 30% в году. С учетом этого таблица 1.1 примет вид.

Таблица 1.2 – Количество солнечных и пасмурных дней в году (Тольятти, 2017 г.)






Месяц	Средняя температура	Количество дней				
		Ясно 	Облачно 	Пасмурно 	Дождь 	Снег 
Январь	-10.5°C	3	19	7	0	2
Февраль	-9°C	4	17	6	1	2
Март	-3.7°C	6	17	5	1	1
Апрель	+5.8°C	10	12	6	2	0
Май	+15.1°C	14	14	2	0	0
Июнь	+18.3°C	15	12	3	0	0
Июль	+19.9°C	16	12	2	0	0
Август	+20°C	15	12	3	0	0
Сентябрь	+12.7°C	12	13	5	0	0
Октябрь	+3.8°C	5	16	7	2	0
Ноябрь	-1.9°C	3	19	5	2	1
Декабрь	-6.6°C	2	18	8	1	2

Таблица 1.3 – Эффективность применения солнечных панелей

№	Тип солнечной панели	Среднее КПД за год	Среднегодовая мощность вырабатываемая 1м ² , Вт/м ²	Среднегодовая мощность вырабатываемая 1м ² , кВт*ч
1	Монокристаллическая	10 %	55	110
2	Поликристаллическая	12 %	66	132
3	Аморфные кремниевые панели(A-Si)	6 %	33	66

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- эффективность применения солнечных панелей зависит от их типа и от условий в которых они используются;
- эффективность использования в значительной степени зависит от погодных условий, т.е. продолжительности светового дня, количества солнечных и пасмурных дней в году;
- монокристаллические панели максимально эффективны в южных широтах, поликристаллические - в средних широтах, a-Si – в северных широтах.

Таблица 1.4 – Сравнение характеристик панелей

Производитель	Наименование	Технология производства	Пиковое напряжение, В	Пиковый ток, А	Пиковая мощность, Вт	Габариты, мм	Ориентировочная цена на российском рынке, руб.
«Телеком-СТВ», Зеленоград	TSM-100A	поликристалл	17	5,6	96	1050x665x43	8429
РЗМП, Рязань	RZMP-130-T	поликристалл	15,9	6,65	105	1490x670x36	14600
«Хевел», Новочебоксарск	HEVEL P7	микроморфная	56,6	2,21	125	1300x1100x24	10000
GreenEnergyTechnology, Тайвань	GET-115AT2	аморфный кремний	93,9	1,22	115	1300x1100x20*	7000
ChinalandSolarEnergy, Китай	CNH100-36M	монокристалл	19,3	5,18	100	1200x540x30	6350

Продолжение таблицы 1.4

Производитель	Ориентировочная цена на российском рынке приведенная к 1 м ² руб.	Стоимость 1 Вт мощности солнечной панели, руб.
«Телеком-СТВ», Зеленоград	12071	91
РЗМП, Рязань	14624	110
«Хевел», Новочебоксарск	6993	105
GreenEnergyTechnology, Тайвань	4895	74
ChinalandSolarEnergy, Китай	9799	89

Из таблицы видно, что наименьшая стоимость 1 Вт вырабатываемой солнечной панелью на широте г.о. Тольятти приходится на А-Si панели.

Следует отметить, что стоимость единицы мощности будет зависеть от климатических особенностей региона. Кроме этого в расчете не учитывалась стоимость других элементов установки такие как инвертор, контроллер, АКБ и т.д.

Российский рынок в основном сформирован продукцией китайского производства. Реже встречаются солнечные панели немецкого (Calixo, SCHOTT) и японского (SHARP) производства.

Российские производители на рынке солнечных панелей практически отсутствуют. Тем не менее, можно выделить ряд отечественных предприятий, такие как:

- публичное акционерное общество «Сатурн», Краснодар, специализирующаяся на изготовлении солнечных панелей на основе арсенида галлия;
- группа компаний «Хевел», Новочебоксарск, специализирующаяся на производстве тонкопленочных гибридных панелей;
- АО «ТЕЛЕКОМ-СТВ», Зелиноград;
- АО "РЗМКП", Рязанский завод металлокерамических приборов.

1.2 Блок хранения энергии.

Основным элементом блока хранения энергии являются аккумуляторные батареи (АКБ). Стоимость АКБ может составлять до половины цены от стоимости всей установки. Рассмотрим основные типы накопителей энергии используемых в гибридных установках.

В настоящее время известно несколько типов источников энергии для установок такого типа.

- электрохимические источники энергии;
- электростатические системы накопления энергии.

В свою очередь электрохимические источники энергии можно разделить на несколько типов:

- аккумуляторные батареи, принцип работы заключается в многократном режиме циклирования (заряд-разряд) с регенерацией исходных реагентов при зарядке.
- электрохимические генераторы (ЭХГ), формируемые на основе топливных элементов (ТЭ) или комбинированных элементов [5, 6, 7, 8].

Существует большое количество АКБ:

- свинцово-кислотные;
- никель-железные;

- никель-кадмиевые;
- аккумуляторы типа «Цинк-бром» и др.

При всем многообразии существующих АКБ наибольшее распространение получили литиевые аккумуляторы. Электрохимические системы выполненные по этой технологии, считаются одними из самых перспективных. В этом направлении проводятся интенсивные исследовательские работы.

По мнению ряда специалистов наиболее перспективными являются литий-железо-фосфатный аккумулятор (LiFePO_4 , или LFP).

Разработчиком указанного типа батарей считается Массачусетский технологический университет. Команда ученых работала над созданием принципиально новых АКБ, с 2003 г. которые бы стали заменой самых прогрессивных на тот момент Li-ion батарей. Проект финансировался, такими компаниями как Motorola и Qualcomm.

Данный тип аккумуляторных батарей использует ту же технологию получения электроэнергии, что и литий-ионные элементы. Однако имеется ряд значительных отличий. Аккумуляторы этого типа имеют собственные системы управления (BMS) ограничивающие аккумуляторы от перезарядки и сильной разрядки. Другой важной особенностью является LFP технологии от LiCoO_2 является меньшая токсичность. К особенностям АКБ такого типа можно отнести отсутствие строгих стандартов регламентирующих качественный химический состав батареи. Как результат батареи разных производителей имеют отличающиеся характеристики.

Наилучшая реализация возможностей каждой отдельной ячейки была достигнута в АКБ концерна EverExceed (Великобритания). Аккумуляторы данного производителя отличаются большим сроком службы, выдерживают до 4 000 циклов заряд/разряд. При этом потеря емкости составляет величину не более 20-25 %.

Основные характеристики батарей созданных на базе LFP технологии представлены ниже:

- удельная плотность энергии: 90-140 Вт ч/кг;
- объемная плотность энергии: 220-350 Вт ч/дм³;
- число циклов заряд/разряд до потери 20 % емкости: 2000 - 7000;
- срок хранения: до 15 лет;
- саморазряд при комнатной температуре: 3-5 % в месяц;
- удельная мощность: около 6,6 Вт/г (при разряде током 60С)
- диапазон рабочих температур: от минус 30 С до плюс 55 С
- напряжение:
 - максимальное - 3,65 В
 - минимальное - 2 В
 - рабочее - 3-3.3 В

Таким образом можно сделать следующие выводы:

- КПД литиево-фосфатных батарей на 20-30% выше, чем у других аккумуляторов;
- срок службы аккумуляторов этого типа на 2-3 года больше;
- стабильность характеристик в период эксплуатации АКБ выше чем у других типов АКБ.

Основным недостатком LFP технологии является высокая ее стоимость. Стоимость батареи емкостью 50 А ч может составлять 26 - 40 т.р. в ценах 2017 г. [10].

2 Перспективы применения водорода в энергетике

Повышение показателей энергетических установок всегда являлось и является важнейшим направлением развития энергетики. Начиная с 70^х годов прошлого века к этой задаче добавилась задача снижения загрязнения отработавшими газами окружающей среды, что вывело данный вопрос из чисто технического в социальный, требующий для решения комплексного, взаимоувязанного и не всегда экономически выгодного подхода.

Решение этих задач, отраженных в приоритетных направлениях развития науки и техники РФ, критических технологиях РФ, концепции развития горения и взрыва РАН [11, 12, 13, 14], с учетом истощаемости природных запасов углеводородов, составляющих основу современных энергоносителей, представляет собой важную научную и техническую проблему энергоэффективности и энергобезопасности государств в целом [15, 16], требующую разработки новых подходов в обеспечении топливными ресурсами.

Следует отметить, что актуальность данной проблемы, по мнению многих ученых и специалистов, со временем будет возрастать, что связано с уменьшением мировых запасов природного сырья – нефти и газа [17, 18, 19], являющихся в настоящее время основными источниками получения топлив или топливами для энергетических установок, а также увеличением, несмотря на ужесточение экологических норм, общего количества вредных выбросов [20, 21, 22, 23]. Кроме того, формируется новое её качество, связанное с вопросами энергетической безопасности государства [24, 25, 26].

Общее решение рассматриваемой проблемы представляется возможным при условии овладения новыми способами получения энергии, например, с применением термоядерного синтеза, биологических технологий, использованием природных сил и т.д. Однако достигнутые в настоящее время в данных направлениях успехи ещё далеки от широкого применения даже в виде крупных энергетических центров. Такое положение

свидетельствует о необходимости проведения широкого круга разносторонних исследований, направленных на выявление наиболее эффективного пути решения этой проблемы или её отдельных частей конкретно в каждой технической отрасли, в частности, энергомашиностроении [28, 29, 30, 31, 32 и др.].

Совершенствование традиционных схем энергетических установок имеет свой теоретический и технический предел, который в настоящее время можно считать практически достигнутым применением всё более сложных конструкторских решений.

Одним из возможных направлений решения указанной проблемы рассматривается расширение номенклатуры применяемых энергетических установок топлив, в том числе, применением топлив альтернативных углеводородным. Одним из первых и до настоящего времени наиболее реальным альтернативным топливом для энергетических установок рассматривается водород, который имеет хорошие свойства и может эффективно применяться в чистом виде.

Один из самых важных факторов энергетических установок является их это энергетическая эффективность. Эффективность определяется, прежде всего, коэффициентом полезного действия. Для иллюстрации на рисунке 2.1 показана зависимость к.п.д установок различного типа от генерируемой мощности [32].

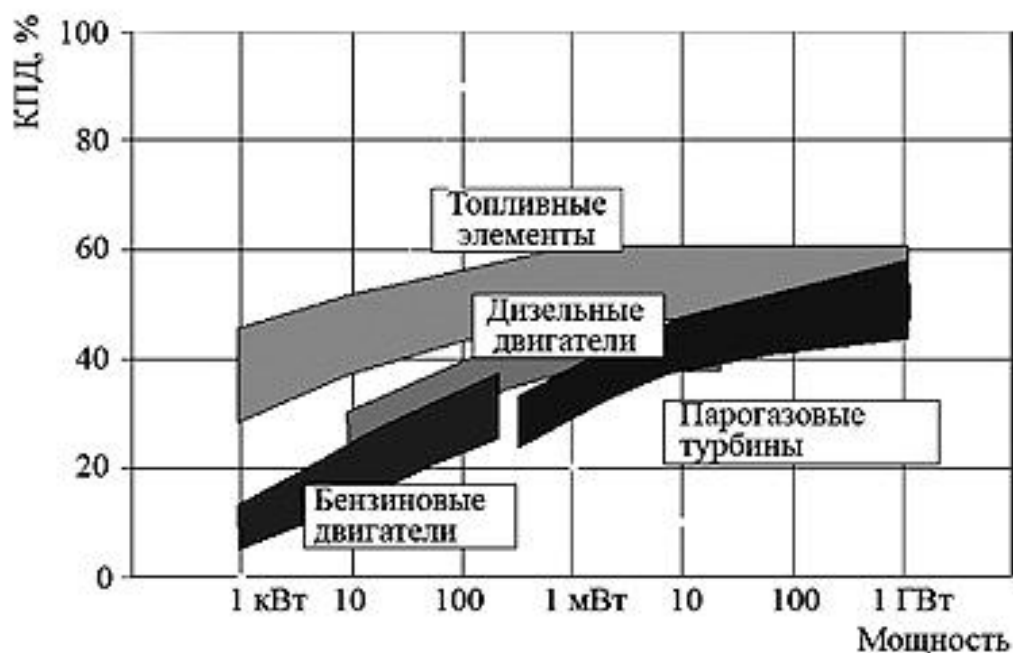


Рисунок 2.1 Зависимость электрического КПД различных типов энергоустановок от их мощности [32].

Водород играет значительную роль в таких отраслях народного хозяйства как производство электронных компонентов, химическая промышленность, производство металлов, т.д. Мировое производство водорода составляет более $\sim 650 \text{ млрд Nm}^3/\text{год}$. Водород один из наиболее широко используемых газов в индустрии. Из-за сложности транспортировки более 80% водорода производится и потребляется на собственных производственных объектах. Тем не менее более 130 млрд Nm^3 водорода транспортируются каждый год. При этом логистические затраты на транспортировку водорода являются основной статьей расхода.

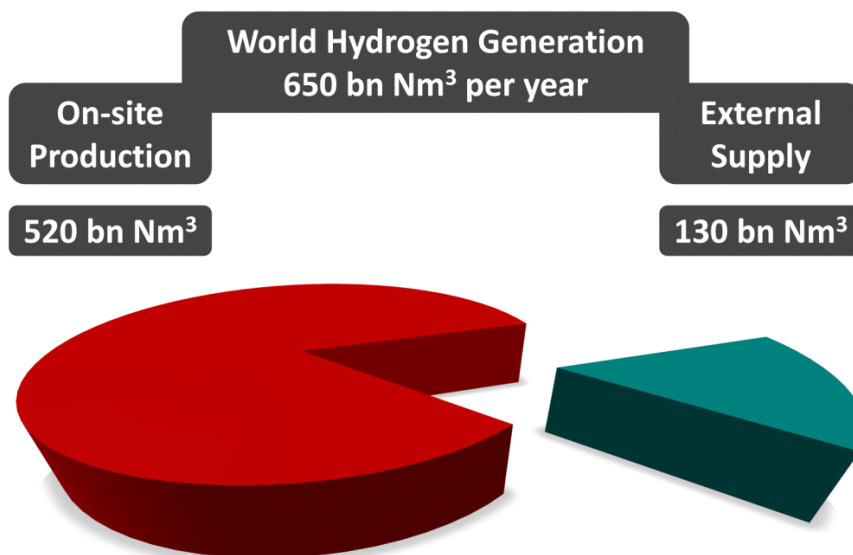


Рисунок 2.2 – Мировое производство водорода

Водород - газ с очень низкой плотностью, в условиях окружающей среды требуется 11 кубометров для хранения 1 килограмма водорода. Обычно хранение водорода осуществляется либо при очень высоких давлениях (сжатый водород при давлении 700 бар) или при очень низких температурах (сжиженный водород при температуре минус 253 °С). Это создает дополнительные риски и требует энергоемких процедур сжатия и сжижения.

- водород находится в газообразном состоянии при температуре выше - 253 °С;
- водород имеет очень низкую плотность и поэтому трудно хранить;
- водород легко воспламеняется и взрывоопасен.

Заводы по производству водорода на месте подходят для крупных промышленных потребителей. Такой подход обоснован при потреблении водорода производством более 300 нм³/ч. Обычно водород получается путем низкотемпературного парового риформинга метана (CH₄). Водород в этом случае транспортируется к производству по трубопроводу. Допускается хранение небольшого количества водорода для технологических задач.

Для малых и средних предприятий потребности в водороде обеспечиваются различными методами хранения (обычно в баллонах сжатый, реже в металогидридных накопителях).

2.1 Получение водорода.

В последние годы становится все более очевидным, что акцент на более чистое топливо приведет к существенному увеличению использования водорода. Водород производится с использованием как возобновляемыми, так и не возобновляемыми ресурсами с различными технологическими решениями. Имеющиеся технологии по получению водорода - это реформирование природного газа, газификация угля и биомассы, расщепление воды электролизом, фотоэлектролизом, фотобиологической продукцией, гидротермическим термохимическим циклом и высокотемпературным разложением.

Основным способом получения водорода для гибридных энергетических установок является электролиз воды. В промышленности получили распространение три основных типа электролизеров:

- с твердым полимерным электролитом (ТПЭ);
- с твердым оксидным электролитом;
- щелочные электролизеры.

Способы реализации электролизной технологии производства водорода

Тип электролизёра	Энергозатраты, $\text{H}_2 \text{ м}^3/\text{кВт} \cdot \text{ч}$	Температура, К	Производительность, $\text{H}_2 \text{ м}^3/\text{ч}$	Давление, МПа	КПД, %
щелочной	4,5–5,5	320–370	до 500	0,1–5	50–70
с твердым полимерным электролитом (ТПЭ)	3,5–4,5	350–370	до 100	0,1–15	80–90
с твердым оксидным электролитом	2,5–4	1070–1270	—	0,1–3	≥ 85

Щелочной электролиз - процесс прохождения электрического тока через раствор электролита на основе 20-30 % раствора щелочи КОН или

NaOH, от анода к катоду. В результате такого процесса на них (катоде и аноде) образуются газы водород и кислород.

Особенность процесса щелочного электролиза является возможность его работы в широких пределах нагрузки. Как показывает практика электролизер начинает работать с 20 % от номинальной мощности.

Основными производителями являются: Corporation Ltd, Norsk Hydro, Stuart IMET, The Electrolyser DeNora, НПО «Уралхиммаш» и др.

Электролизёр с твердо-полимерным электролитом (ТПЭ). в 5 – 7 раз дороже водно-щелочных с аналогичными характеристиками. При этом электролизеры этого типа экологически чистые, имеют значительно лучшие массогабаритные показатели, обладают высоким КПД. Также ТПЭ имеют, повышенный уровень безопасности, и возможность работы на нестационарных режимах, простое обслуживание. Одной из важных особенностей ТПЭ является возможность получения компримированного водорода с давлением более 30 атм. непосредственно в самом электролизёре. Также важной особенностью систем электролиза воды с ТПЭ является то, что чистота производимого водорода и кислорода соответствует качеству газов, необходимых для использования в топливных элементах с ТПЭ. Сами электролизные системы на основе ТПЭ предъявляют жесткие требования к чистоте подаваемой воды» [33].

«На сегодняшний день основными производителями электролизёров с ТПЭ являются: в США HamiltonSundstrand, ProtonEnergySystemsInc., Membrelprocess, David Systemsand Technology, Iwani; в Германии H-tec Исследования и разработка электролизёров с ТПЭ проводятся в Норвегии (Norwegian University of Scienceand Technology), а также в Японии (Matsushita Electric Works, Ltd. и Fuji Electric Co.)» [33].

В России лидирующие позиции в разработке и производстве систем электролиза воды с ТПЭ занимает ИВЭПТ ФГУ РНЦ «Курчатовский институт». За более чем 20 лет работы в этом направлении созданы

электролизёры различной производительности и рабочим давлением. Отдельные образцы могут работать с давлениями более 30 атм. Сегодня ФГУ РНЦ «Курчатовский институт» имеет достаточный опыт по проектированию и изготовлению опытных и мелкосерийных образцов. В институте имеются конструкторские и технологические разработки для изготовления элементов конструкции (мембранно-электродных блоков, коллекторов тока, биполярных пластин, уплотнительных элементов и т. д.).

Электролизер с твердым оксидным электролитом исключен из рассмотрения по причине:

- высокая рабочая температура;
- невозможность работы на переходных режимах;
- технология электролиза находится на этапе ОКР.

Таблица 2.1 - Сравнительный анализ применения электролизеров

№	Наименование параметра	Щелочной	ТПЭ (РЕМ – технология)
1	КПД, %	50-70	80-90
2	Электрозатраты, H_2 м ³ /кВт ч	4,5-5,5	3,5-4,5
3	Давление, МПа (имеющихся на рынке)	0,1-0,8	0,1-3
4	Требования к подготовке воды	средняя	высокая
5	Температура процесса, С	50 - 100	до 150
6	Возможность длительной работы на переходных (частичных) режимах, да/нет	Да	Да
7	Температура замерзания электролита, С	-20 (при концентрации КОН 20%)	0
8	Доступность технологии	общедоступно	ограниченная
9	Возможность длительного хранения в нерабочем состоянии	да	да (есть некоторые ограничения)
10	Чистота водорода (достижимая),%	99,998	99,999
11	Экологичность	требуется утилизация электролита	экологически чистая технология

Ориентировочная стоимость технологий:

PEM – технология от 4 тыс. р. за 1 нормальный л/ч при чистоте водорода 99,999% (без учета стоимости доставки и монтажа оборудования).

Щелочной электролиз от 1,5 тыс. р. за 1 нормальный л/ч при чистоте водорода 99,998%. (без учета стоимости доставки и монтажа оборудования).

Отечественные компаний производящие элетролизеры:

1 ООО «Электролизные технологии», 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пр-кт Георгиевский, д.5, стр.1, пом. 86А, тел.: +7 (985) 890 32 14.

2 АО СКТБЭ, Москва, ул. Большая Татарская, д. 11, корп. В, тел +7 495 617-33-00

3 ООО «ЭкоГазСистем», Москва, Московский, Хабарова, +7 (495) 780 22 52.

4 НПО «ЛУЧ», 142281, Московская обл., г. Протвино, Железнодорожная ул., д.5, тел.(4967) 74-64-44; 74-67-08.

5 АО «Уралхиммаш», 620010, Россия, г. Екатеринбург, Хибиногорский пер., д. 33.

2.1.1 Экспериментальное исследование получения водорода электролизом

Известны способы получения водорода с помощью генератора водорода с протоно-обменной мембраной (ПОМ) электролизера. Такое устройство содержит: фотоэлектрический модуль, электролизер ПОМ, газометр и устройства для измерения характеристики электролизера ПОМ. Система позволяет с одной стороны измерить и проанализировать характеристику электролизера ПОМ для двух различных давлений работы ($p = 1$ и $p = 3$ бар), а с другой стороны, определить объем потребляемого водорода в различных источниках электроэнергии (генератор, фотоэлектрический модуль, лампа дневного света).

Водород рассматривается как энергоноситель будущего, в так называемой водородной экономики. Электролиз воды считается одной из ключевых технологий для получения водорода, так как она совместима с существующими и перспективными технологиями выработки

электроэнергии. В настоящее время большинство коммерческих технологий электролиза воды используют кислотные или щелочные системы электролита для получения водорода. Средняя эффективность таких установок составляет 55-74%. Плотность тока составляет около 0,3-0,4 А / см². В настоящее время технология электролиза воды на основе полимерной мембраны электролита находится в разработке. Система электролиза ПОМ могут быстро реагировать на изменения энергозатрат и, следовательно, может быть легко интегрирована с системами использования возобновляемых источников энергии. ПОМ работает при относительно низких температурах, как правило, при температуре 80 ° С или ниже, и, как правило, состоит из многочисленных ячеек сложенных последовательно.

Система состоит из фотоэлектрического модуля 0,46 Вт (PV), а электролизер 0,64 W включает в себя: протонообменную мембрану, генератор с переменным напряжением, флуоресцентную лампу 1000 Вт, два сосуда с емкостью 250 мл и устройства снимающую характеристику электролизера ПОМ, а также два пиранометра.

Электролизер производит водород и кислород в соотношении 2: 1, объем выделяющегося водорода измеряется как функция от времени T. Начало отсчета времени происходит когда вода в газометре (H₂), проходит нижний знак. Далее измеряется напряжение U и ток I во время электролиза. Затем мы повторяем этот эксперимент с другим током.

Несколько опытов сделаны в первую очередь для того, чтобы сравнить характеристики электролизера ПОМ для двух различных давлений. Экспериментальная установка приведена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Лабораторная установка для получения водорода при помощи электролизера, работающего от генератора

Далее, определяется объем полученного водорода тремя способами. Первый способ это солнечная энергия. Второй способ состоит из имитацией солнечной энергии при помощи лампы. Третий способ это электролизер ПОМ генератора напряжения.

Производительность электролизера ПОМ для двух различных давлении, показаны на рисунке 2.4.

Рабочее давление оказывает существенное влияние на производительность электролизера ПОМ. Эффект увеличения давления кислорода от 3 бар приводит к повышению напряжения 0,06 В и тока. Эти результаты показывают, что увеличение давления кислорода приводит к значительному улучшению в поляризации на катоде.

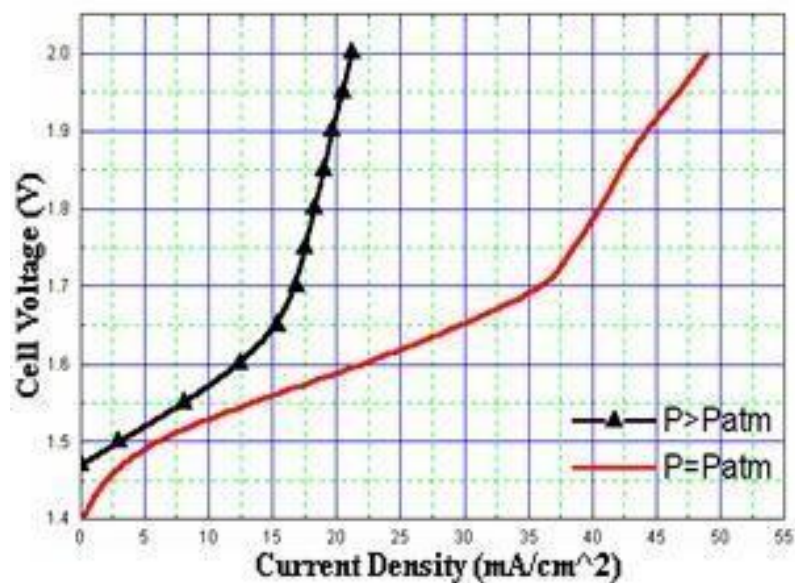


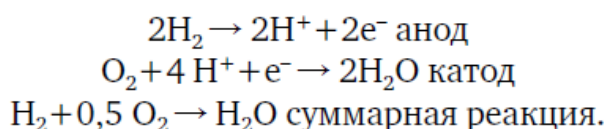
Рисунок 2.4 – Изменение напряжения элемента и плотность тока как функция давления

Рабочее давление оказывает существенное влияние на производительность электролизера ПОМ. Эффект увеличения давления кислорода от 3 бар приводит к повышению напряжения 0,06 В и тока. Эти результаты показывают, что увеличение давления кислорода приводит к значительному улучшению в поляризации на катоде.

2.2 Топливные элементы.

Топливный элемент (ТЭ) – это гальваническая ячейка, вырабатывающая электроэнергию за счет окислительно-восстановительных превращений реагентов, поступающих извне [9].

В простейшем топливном элементе, где используются чистый водород и чистый кислород, на аноде происходит реакция разложения водорода и его ионизация:



Топливный элемент состоит из ионного проводника в качестве которого выступает электролита и двух электронных проводников –

электродов. Электроды находящихся в непосредственном контакте с электролитом, который и осуществляет перенос заряда от электродов ионами водорода.

В ТЭ носителями заряда может быть ион кислорода, радикал OH^- или CO_3^{2-} , окислителями могут быть кислород или воздух.

Топливные элементы можно классифицировать по типу применяемого электролита:

- щелочные;
- твердо-полимерные;
- фосфорнокислые;
- расплавкарбонатные;
- твердооксидные.

По рабочей температуре:

- низкотемпературные (с температурой электролита до 200 С);
- среднетемпературные (с температурой электролита до 500 С);
- высокотемпературные (с температурой электролита более 700 С.)

2.2.1 Классификация ТЭ

Классификация топливных элементов представлена в таблице 2.2

Таблица 2.2 - Типы топливных элементов

Щелочной (ЩТЭ, AFC).	ТЭ	«Используют 35 – 50 % водного раствора щелочи (KOH или NaOH) в качестве электролита. Эксплуатируются при температуре до 270 – 300 К (ТЭ на концентрированных, до 85 %, растворах щелочи используются при температурах до 520 К). ТЭ данного типа являются наиболее разработанными и широко применяются в автономных энергосистемах. Основным недостатком является недопустимость наличия CO_2 как в топливе, так и в окислителе» [33].
----------------------	----	---

ТЭ на протонообменной мембране (ТПТЭ, PEMFC).	«В качестве электролита используется твердая полимерная мембрана, которая проводит водородные ионы (протоны) с анода на катод. Характеризуются малой массой и высоким КПД. Неподвижный твердый электролит упрощает герметизацию в процессе производства, уменьшает коррозию, и обеспечивает более долгий срок службы ТЭ. ТЭ могут работать при относительно низких температурах, что ускоряет запуск и реакцию на изменения потребности в электричестве. Хорошо подходят для транспорта и стационарных установок небольшого размера» [33].
ТЭ на фосфорной кислоте (ФКТЭ, PAFC).	«Электролитом является бумажная матрица, насыщаемая фосфорной кислотой. Это наиболее разработанная коммерческая технология ТЭ. ТЭ этого типа применяются в стационарных электрогенераторных устройствах. КПД более 40 % или около 85 %, если пар, который производит этот ТЭ, используется для совместного производства тепла и электричества» [33].
ТЭ на расплаве карбоната (РКТЭ, MCFC).	«Используется расплавленная смесь лития/калия (или лития/натрия) для проведения ионов карбоната от катода к аноду. Рабочая температура - около 920 К. Высокая температура позволяет использовать топливо напрямую, без какой-либо дополнительной его подготовки, и никель в качестве катализатора. Отличается сложностью конструкции. Основной недостаток – значительное время прогрева до рабочей температуры. Наибольшее количество подобных установок построено в США и Японии» [33].
ТЭ на твердых	«В качестве электролита используется твердый

оксидах (ТОТЭ, SOFC). керамический материал, в котором проводят атомы кислорода от катода к аноду при чрезвычайно высокой температуре - свыше 1300 К. КПД — около 60 %. Относительно простая конструкция (обусловленная использованием твердого электролита и самых разных видов топлива) в сочетании с существенным количеством времени, необходимым для того, чтобы они достигли рабочей температуры и смогли реагировать на изменения в потребности в электричестве, делает их подходящими только для энергоустановок большой мощности» [33].

3 Системы хранения энергии на базе водородных технологий

Накопление энергии позволяет перенести пиковое производство энергии со времен большого производства на времена большого спроса. Нестационарные возобновляемые источники энергии становятся совместимыми с базовой нагрузкой и уменьшают потребность в обычных энергетических установках.

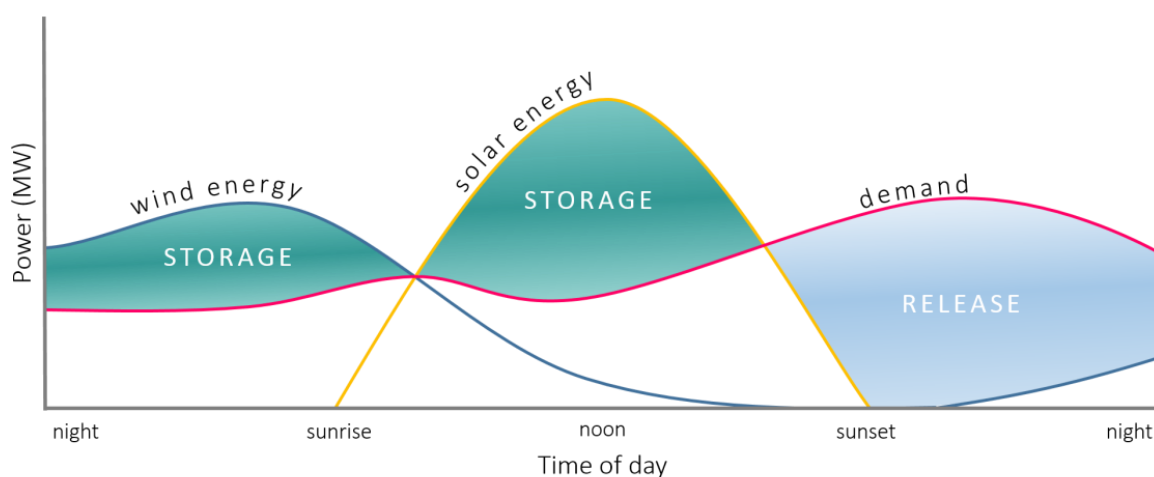


Рисунок 2.5 – Пример распределения энергии по времени суток

Сегодня накопление энергии, подключенной к сети, почти отсутствует. Гидроэлектроэнергия представляет собой самую большую суммарную мощность накопленной энергии в мире. Сжатый воздух, аккумуляторы и маховики занимают лишь незначительную долю от этих мощностей.

Водород обладает высокой энергетикой (33,3 кВтч/кг) и в случае реализации эффективного метода его хранения будет являться альтернативой гидроэнергетики. Следует отметить, что производство водорода, например из воды, является экологически чистой технологией.

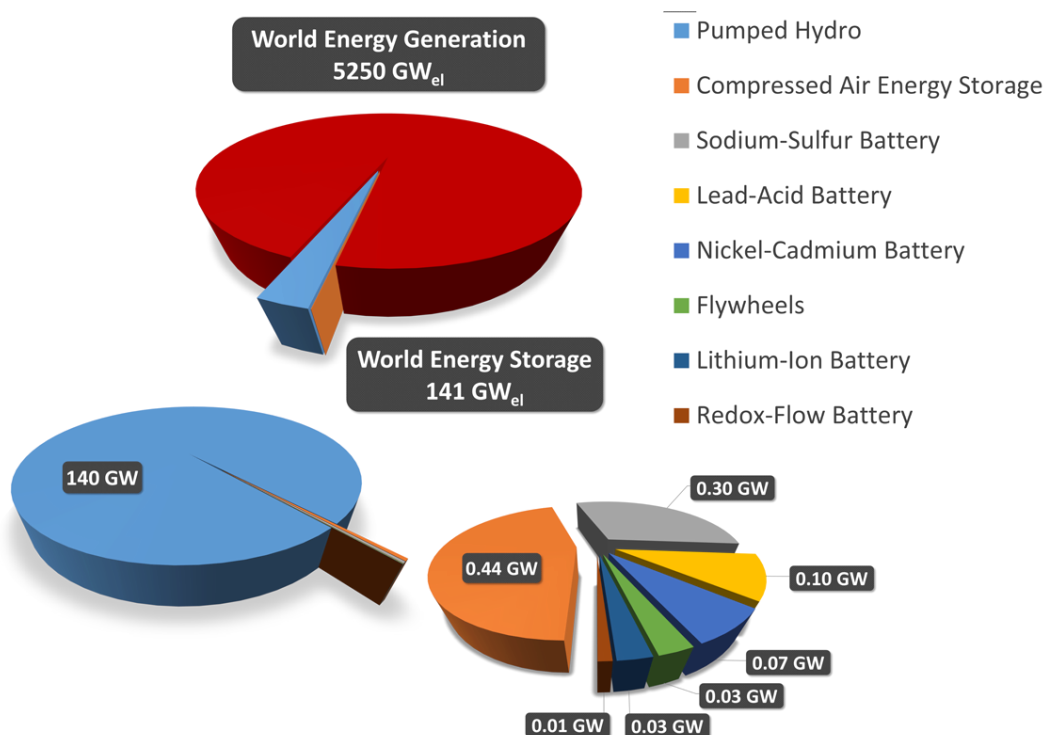


Рисунок 2.6 – Структура мировой энергетики

3.1 Системы хранения водорода на базе металлгидридных накопителей

Запасание водорода может производиться в баках, подземных хранилищах, в жидком (криогенном) виде, в гидридных пористых материалах. Наиболее распространено в настоящее время запасание водорода в виде сжатого газа. Одна из главных проблем водородного накопления энергии в баллонах это малогабаритность и безопасность системы обратимого хранения водорода в условиях окружающей среды. Одним из перспективных направления хранения водорода является применение металлгидридных накопителей (рисунок 3.2). Этот способ хранения основан на обратимой реакции взаимодействия с водородом металлов, интерметаллических соединений, сплавов и композиционных материалов. Преимущество данного способа хранения водорода над другими представлено в таблице 3.1

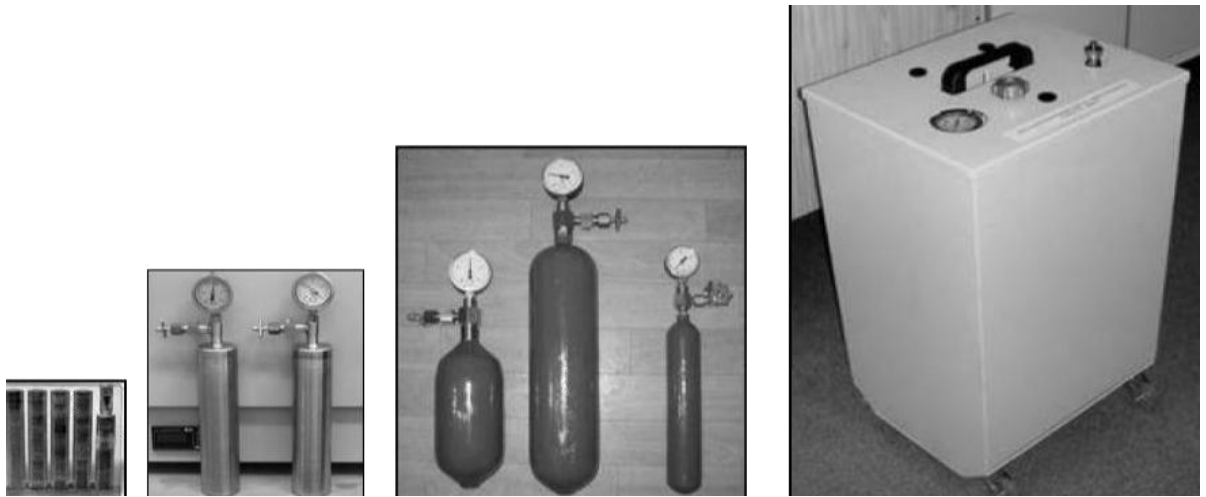


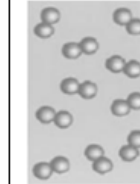
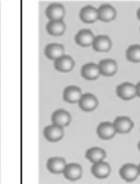
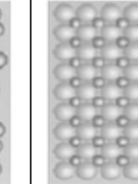


Рисунок 3.1 – Накопители водорода [56]



Рисунок 3.2 – Металлогидридный накопитель водорода [57]

Таблица 3.1 – Различные способы хранения водорода

	Состояние водорода				
	Газообразный водород			Жидкий водород	Водород в гидриде
Давление (атм)	1	350	700	1	1
Температура (К)	300	300	300	20	300
Расстояние H ₂ -H ₂ или H-H (нм)	3,3	0,54	0,45	0,36	0,21
Концентрация атомов (ат/см ³)	$5,6 \times 10^{19}$	$1,3 \times 10^{22}$	$2,3 \times 10^{22}$	$4,2 \times 10^{22}$	$10,7 \times 10^{22}$
Схема расположения молекул или атомов водорода					

Интерес к этой системе обусловлено высокой водородоемкостью. Металлогидридные накопители способны хранить до 7-8 % водорода от массы металлогидридного наполнителя. Способ хранения водорода таким методом отличается от газобаллонного и криогенного, прежде всего:

- малыми габаритами накопителя;
- безопасностью из-за химически связанного водорода;
- относительно небольшим давлением гидридообразования;
- , умеренными требованиями по обслуживанию, вследствие своей простой конструкции;
- отсутствием утечек водорода из-за низкого давления [58].

Металлогидридный накопитель водорода могут использовать как для безопасного и компактного хранения водорода, так и для решение следующих задач:

- очистка водорода – удаление из водорода примесей;
- отделение водорода – выделение водорода из смеси, содержащей от 1 до 90% не водородных атомов и молекул.
- компримирование водорода – водород сорбируется при низкой температуре, а адсорбируется при более высокой температуре, создавая высокое давление.

- аккумуляирование тепла – процесс основан на использовании теплового эффекта реакции гидрирования/дегидрирования для поглощения или выделения тепла.

Однако, металлгидридные системы имеют ряд недостатков:

- высокую стоимость;
 - большую массу рабочего тела;
 - высокие требования к чистоте водорода;
- и др.

3.2 Системы хранения водорода на базе полициклических и ароматических углеводородов.

Другим направлением является хранение водорода путем осуществления каталитических реакций гидрирования и дегидрирования ароматических субстратов. В качестве органического субстрата используют ароматические полициклические углеводороды или ароматические олигомеры. Одним из перспективных способов хранения водорода является использование каталитических систем, способных обратимо гидрировать-дегидрировать органические субстраты, например пары бензол-циклогексан и нафталин-декалин (Jpn.Patent No. 198469 A, 2001; Hodoshima S., Saito Y. et al., Int. J. Hydrogen Energy, 28 (2003) 1255).

Однако указанные органические соединения обладают рядом недостатков, основным из которых является относительно невысокая температура распада органического соединения. Указанный недостаток можно устранить используя N-этилкарбазол.

Схематично процесс гидрирования и дегидрирования представлен на рисунке 3.1

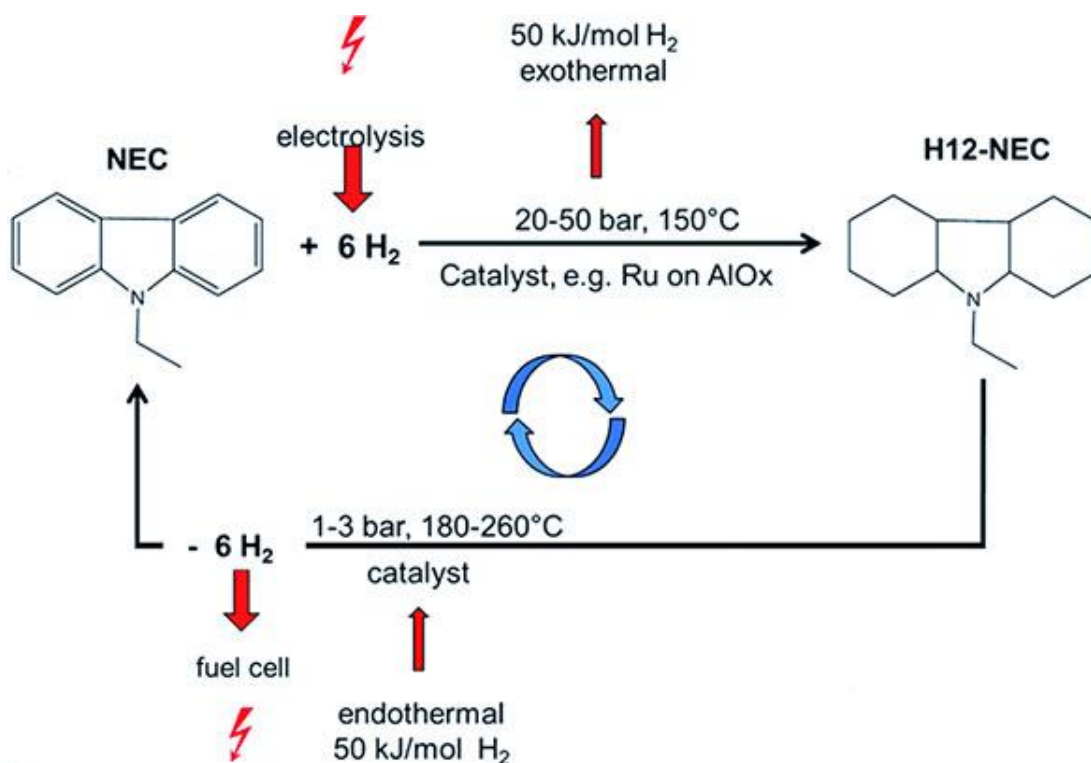


Рисунок 3.1 - Цикл взаимодействия жидкости-носителя
(N-этилкарбазола)

Система работает следующим образом:

В имеющийся N-этилкарбазол (NEC) в специальном ректоре происходит реакция гидрирования при следующих условиях: температура – 150 С, давление 2,0 – 5,0 МПа в присутствии катализаторов на основе элементов платиновой группы и оксида алюминия. Процесс гидрирования происходит с выделением тепла (примерно 50 кДж/моль H_2). В результате образуется химически нейтральная жидкость H12-NEC, которая является экологически чистым, а также пожаро-взрыво безопасным веществом. Полученную жидкость, можно хранить длительное время или перевозить как обычное углеводородное сырье. Класс опасности H12- NEC – третий. В результате процесса гидрирования H12- NEC может накапливать до 6 % от своей массы водорода. Молекулярный вес полученной жидкости ориентировочно составляет 170 г/моль.

Для получения свободного водорода жидкость H12- NEC необходимо дегидрировать. Процесс дегидрации происходит при следующих условиях: температура - 150 С, давление – 0,1 – 0,3 МПа в присутствии катализатора.

Процесс дегидрирования происходит с поглощением тепла. После дегидрации получается исходное вещество NEC, которое можно повторно использовать в описанном выше технологическом процессе.

4 Технология ЛОНС

Технология ЛОНС предлагает решение проблемы безопасного и надежного хранения водорода. Водород является не только стандартным газом в промышленности, он часто считается энергоносителем будущего и, в отличие от обработки неуправляемого и легковоспламеняющегося газа, хранение водорода в жидких ЛОНС-материалах является прорывом на пути к чистой энергетике.

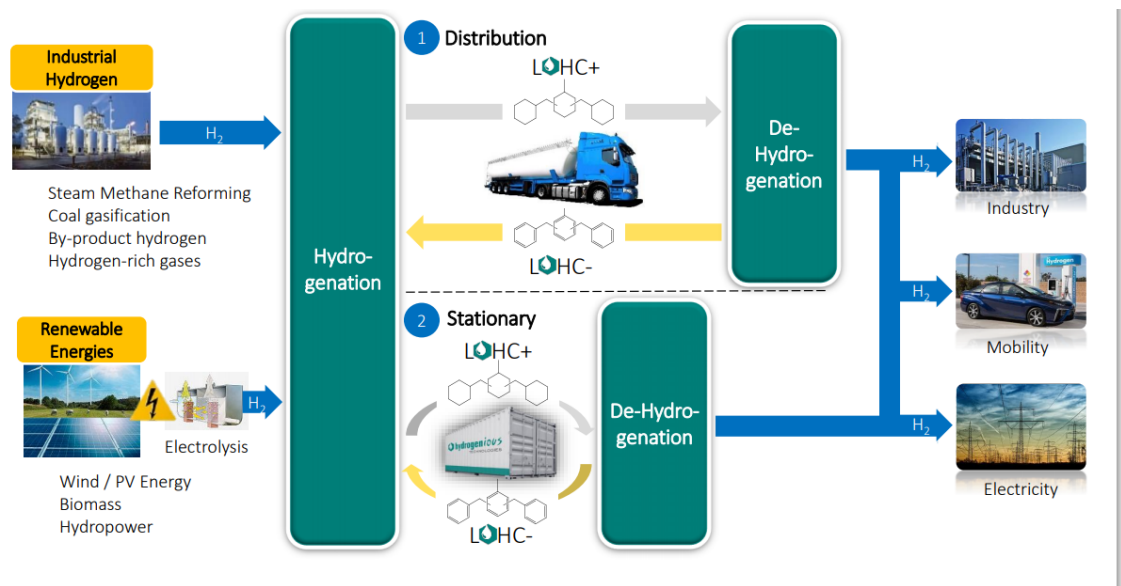


Рисунок 4.1 – Технология ЛОНС (Liquid Organic Hydrogen Carriers) [34]

Суть технологии заключается в следующем [35-55]. На первом этапе энергия, например от альтернативных источников энергии, с помощью электролизера преобразуется в водород с заданной чистотой и давлением. Далее водород поступает в гидратор (см рисунок 4.2) В гидраторе происходит процесс гидрирования *n*-этилкарбазола. В результате получается жидкость экологически безопасная нейтральная не агрессивная жидкость, которую можно хранить или перевозить при атмосферных условиях. Затем жидкость подвергают дегидрированию (рисунок 4.3). В результате процесса дегидрирования получают чистый водород. Полученный водород может

быть использован в технологических процессах или для получения электрической энергии с помощью топливных элементов.



Рисунок 4.2 – Блок гидрирования



Рисунок 4.3 – Блок дегидрирования

Следует отметить, что ряд западных компаний, начиная с 2016 г. организовали промышленный выпуск установок по технологии LOCH.

4.1 Разработка базовых требований к установке на базе технологии LOCH

В ходе анализа доступной литературы и выполнения предварительных расчетных работ были сформулированы основные требования к опытной установке реализующую рассмотренную выше технологию.

Ниже представлены базовые требования и отдельные этапы разработки опытной установки.

1 Наименование, шифр НИР и основание для выполнения НИР

1.1 Наименование НИР: «Разработка макетной установки автономного энергообеспечения на базе технологии долгосрочного хранения энергии Liquid organic hydrogen carrier (LOCH)».

2 Цель выполнения НИР, наименование, индекс и назначение образца

2.1 Целью настоящей работы является:

- выбор и технико-экономическое обоснование элементной базы для реализации макетного образца установки автономного энергообеспечения;
- разработка конструкторской документации для макетного образца установки;
- изготовление и испытание макетного образца системы для получения экспериментальных данных, которые будут использованы для разработки технического задания на проведение ОКР, по созданию опытного образца установки автономного энергообеспечения на базе технологии долгосрочного хранения энергии Liquid organic hydrogen carrier (LOCH);

2.2 Подготовка и выдача рекомендаций по созданию опытного образца автономной на базе топливных элементов и аппарата электролиза, предназначенной для долговременного хранения электрической энергии и комбинированного производства электрической энергии и тепловой энергии, работающей на водороде, для обеспечения бесперебойного автономного энергоснабжения

2.3 Индекс автономной установки определяется на стадии разработки ТЗ на ОКР по созданию опытного образца системы.

2.4 Автономная установка в дальнейшем будет называться – установка.

3 Состав образца

3.1 Макетная автономная установка включает:

- генератор водорода;
- топливный элемент;
- реактор гидрирования и дегидрирования N-этилкарбазола
- соединительную, запорную и регулирующую пневмо-гидравлическую арматуру;
- систему управления, контроля и диагностики установки;
- систему подготовки и очистки рабочих газов;
- систему хранения рабочих тел;
- систему электроснабжения установки;
- систему обеспечения безопасности эксплуатации;
- систему имитации потребителя электрической энергии;

Дополнительно в состав установки могут включаться системы и конструктивные элементы, обеспечивающие безопасную и эффективную работу установки в целом.

4 Технические требования к образцу

4.1 Требования по назначению

4.1.1 Генератор водорода

4.1.1.1 Производительность генератора по водороду - 9 м³/ч.

4.1.1.2 Избыточное давление в генераторе 0,6 – 6,0 МПа.

4.1.1.3 Содержание примеси в газе на выходе из генератора не более 100 мг/м³.

4.1.1.4 Оборудование генератора водорода, требующее охлаждения, должно охлаждаться от системы охлаждения обеспечивающей оптимальные условия функционирования генератора водорода. 80° С, давлением 1,6 МПа.

4.1.1.5 Гидравлическое сопротивление охлаждаемого оборудования генератора получения водорода не должно превышать 0,01 МПа . Уточняется в процессе испытания макетного образца.

4.1.1.6 Расход охлаждающей жидкости для макетного образца не должен превышать 100-300 л/ч. Уточняется в процессе испытания макетного образца.

4.1.1.7 Подпитка дистиллятом должна производиться вручную, через каждые 8 часов работы. Качество дистиллята должно соответствовать ГОСТ 6779-92. В случае автоматической подпитки дистиллятом генератора водорода, требования к степени автоматизации формируются дополнительным ТЗ.

4.1.1.8 Потребляемая генератором мощность не должна превышать 5 кВА.

4.1.1.9 Электропитание генератора должно осуществляться от блока питания и управления системой (БПУ).

4.1.10 Блок питания и управления (БПУ) должен обеспечивать:

- питание электролизеров стабилизированным током 200-250 А с пределом допускаемого отклонения $\pm 0,5$ А и напряжением 24 В.

4.1.2 Топливный элемент

4.1.2.1 Потребляемая топливным элементом (ТЭ) мощность не должна превышать 5 кВА.

4.1.2.2 Избыточное давление в топливном элементе не более 0,6 МПа.

4.1.2.3 Содержание примеси в газе (водороде) на входе в ТЭ не более 15 мг/м³.

4.1.2.4 Оборудование ТЭ, требующее охлаждения, должно охлаждаться от системы охлаждения обеспечивающей оптимальные условия функционирования ТЭ. Не более 100 °С, давлением 1,6 МПа.

4.1.2.5 Гидравлическое сопротивление охлаждаемого оборудования не должно превышать 0,01 МПа. Уточняется в процессе испытания макетного образца.

4.1.2.6 Расход охлаждающей жидкости для макетного образца не должен превышать 100-300 л/ч. Уточняется в процессе испытания макетного образца.

4.1.3 Реактор гидрирования и дегидрирования N-этилкарбазола

4.1.3.1 Потребляемая реактором мощность определяется из условия обеспечения реализации технологии гидрирования и дегидрирования N-этилкарбазола

4.1.3.2 Избыточное давление в реакторе на режиме:

- гидрирования не более 6,0 МПа;
- дегидрирования не более 0,6 МПа.

4.1.4.2 Температура в реакторе на режиме:

- гидрирования не более 200 °С;
- дегидрирования не более 200 °С.

4.1.4.3 Реактор должен быть оснащен системой управления и контроля параметров определяющих безопасную его работу.

4.1.2.4 Содержание примеси в газе (водород) на режиме:

- гидрирования не более 100 мг/м³;
- дегидрирования более 10 мг/м³.

4.1.2.5 Реактор должен быть оснащен системами обеспечивающими реализацию технологии гидрирования и дегидрирования N-этилкарбазола:

- системой нагрева/охлаждения ректора;
- системой циркуляции рабочего тела;
- системой подготовки и очистки рабочего тела;

- система управления и контроля;
- и др.

Полный перечень и состав систем и элементов конструкции, а также требования к ним формируются на этапе разработки технологии гидрирования и дегидрирования N-этилкарбазола.

4.1.3 Система управления, контроля и диагностики установки

Система управления, контроля и диагностики обеспечивает:

- питание установки должно поступать только при работе установки;
- дистанционное (ручное), включение и отключение питания установки с лицевой панели блока питания установки (БПУ);
- выдачу сигнала на приборную панель в виде параметров тока о работе установки и аварийном отключении установки.
- аварийное отключение установки со световой индикацией на лицевой панели БПУ, расшифровывающей причину аварийного отключения, при:
 - повышении температуры электролита более 100 °С с пределом допускаемого отклонения ± 5 °С;
 - повышении температуры рабочего тела в реакторе более 300 °С с пределом допускаемого отклонения ± 5 °С;
 - повышении давления на линии ТЭ в системе более 0,13 МПа с пределом допускаемого отклонения $\pm 0,06$ МПа (0,6 кгс/см²);
 - понижении уровня электролита в системе менее нормы, определяемой местом установки датчика уровня.
 - повышении давления на линии генератора водорода в системе более 6 МПа с пределом допускаемого отклонения $\pm 0,6$ МПа (0,6 кгс/см²);
 - повышении давления в реакторе системе более 6,0 МПа с пределом допускаемого отклонения $\pm 0,06$ МПа (0,6 кгс/см²);
 - сигнализацию об утечки газа;

- сигнализацию и аварийное отключение установки при диагностировании неисправностей в системах обеспечения работы установки (системы нагрева/охлаждения, отказ насосов или компрессоров и т.д.)

По результатам предварительных испытаний установки и ее элементов перечень требования к системе уточняется.

4.2 Требования к сырью, материалам, покупным изделиям

4.2.1 Материалы, применяемые в системе, не должны выделять токсичных и взрывоопасных веществ на всех режимах работы и в нерабочем состоянии.

4.2.2 Ударостойкость и вибростойкость оборудования системы должны соответствовать требованиям группы ГОСТ 30630.1.2-99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие вибрации.

4.2.3 Электрическое сопротивление изоляции токоведущих частей оборудования системы относительно корпуса должно быть не менее 20 МОм при нормальных условиях.

4.2.4 Электрическая прочность изоляции электрических цепей должна выдерживать испытательное напряжение 1500 В в течение 1 минуты.

4.2.5 Гальваническая связь шин питания электролизеров, ТЭ и реактора с корпусом блока питания и управления не допускается.

Примечание – Для макетного образца требования по п. 4.2.2 не предъявляются.

4.3 Требования по живучести и стойкости и устойчивости к внешним воздействующим факторам

4.3.1 Система должна надежно и устойчиво работать, сохранять свои технические характеристики и не допускать ложных срабатываний, при:

- температуре окружающей среды от 0 до + 50 °С;
- давлении окружающей среды (760 ± 30) мм рт. ст.

4.4 Конструктивные требования к системе

4.4.1 Система должна быть смонтирована в виде единой конструкции, имеющей крепежные элементы и специальные разъемы для соединения электрических кабелей.

4.4.2 Должны быть предусмотрены конструктивные мероприятия по предотвращению воспламенения водородсодержащей смеси в замкнутых объемах системы.

4.4.3 Конструктивное оформление системы должно иметь присоединительные силовые элементы (фланцы, уголки и т.д.), позволяющие осуществить ее монтаж.

Примечание - Для макетного образца требование не предъявляется.

4.4.4 Техническое обслуживание системы должно осуществляться в течение 30 минут через каждые 8 часов непрерывной работы системы.

4.4.5 В объем обслуживания системы могут входить работы по подготовке системы к работе (доливка дистиллированной водой, проверка функционирования системы и т.д.).

4.4.6 Конструкция оборудования системы должна быть ремонтпригодной. Ремонт обеспечивается использованием запасных частей (ЗИП).

Примечание – Требования к макетному образцу системы

4.5 Требования по надежности

4.5.1 Система должна обеспечивать надежную и безотказную работу периодами по 1000 ч, с необходимыми по условиям эксплуатации остановками и пусками.

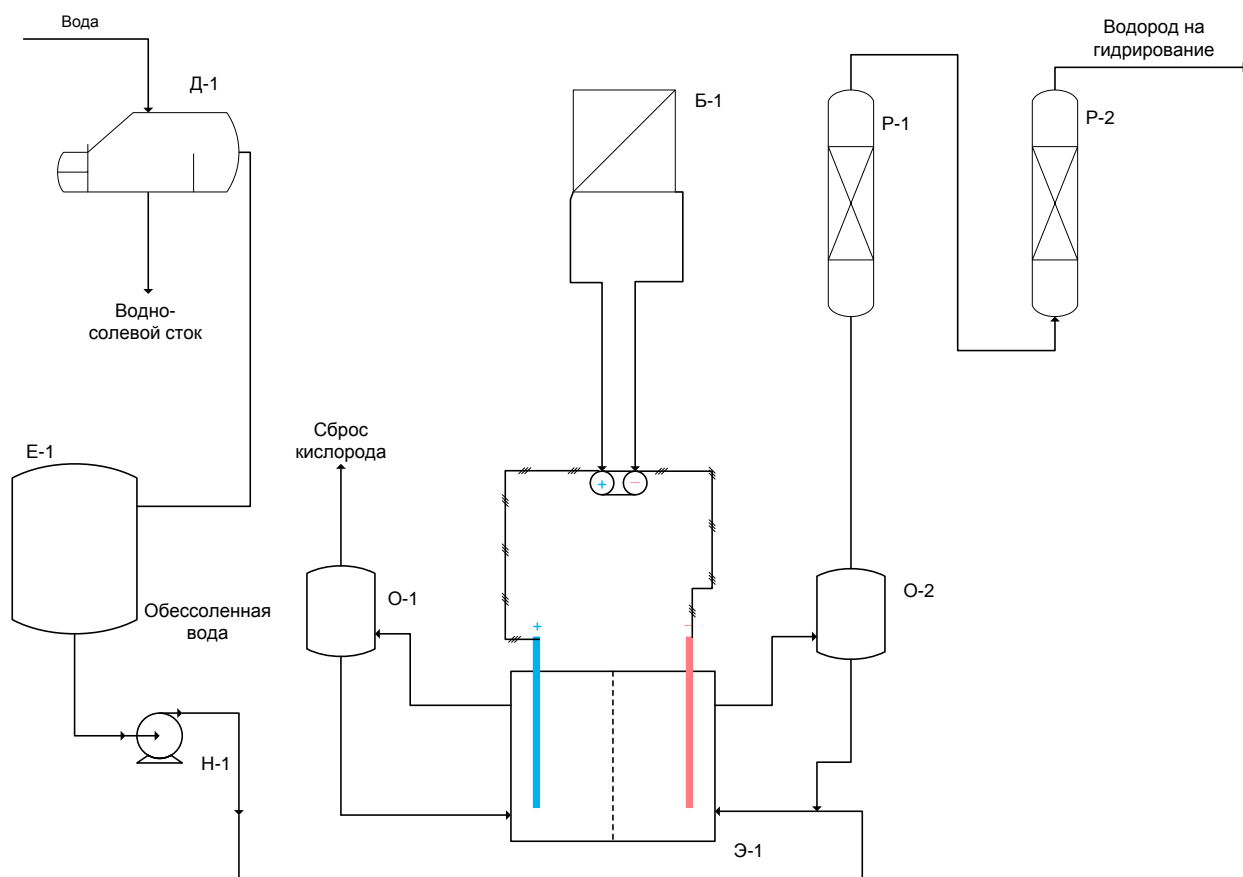
4.5.2 Вероятность безотказной работы системы за время работы в течение 1000 ч должно быть не менее 0,9.

4.5.3 Ресурс установки - 8000 ч.

4.5.4 Срок службы системы не менее 10 лет.

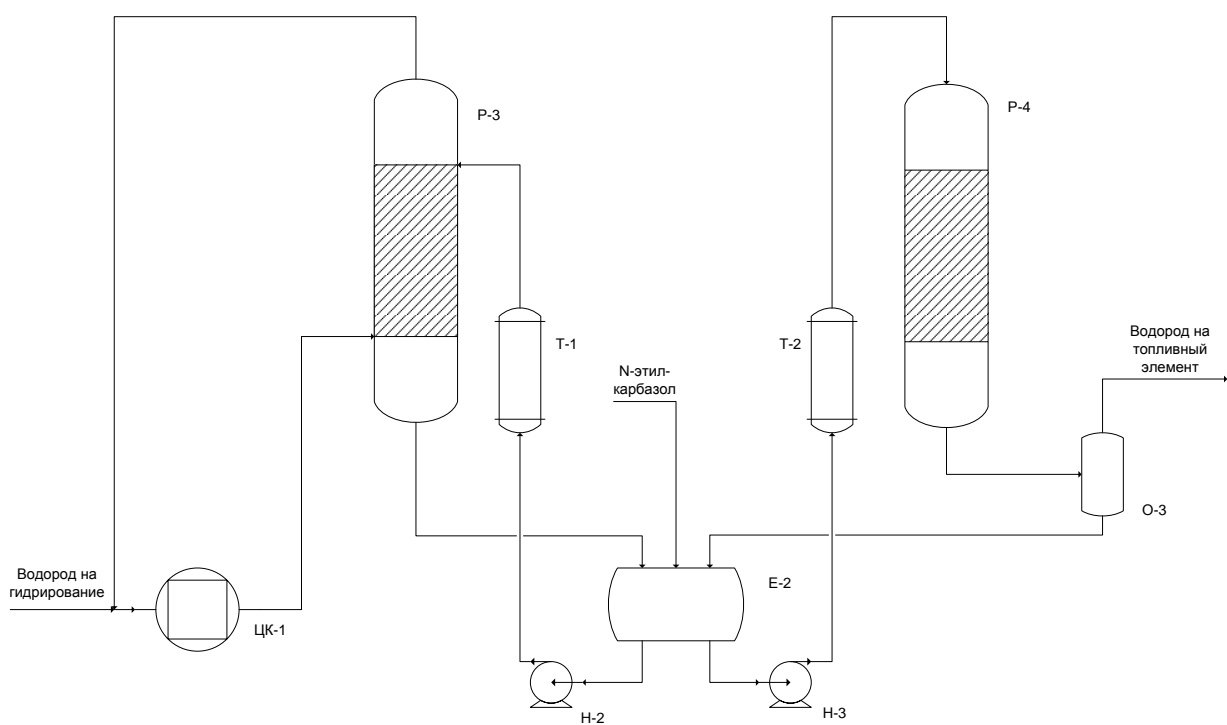
На основе разработанного технического задания (ТЗ) были предложены принципиальные схемы реализации отдельных систем установки.

На рисунке 4.1 и 4.2 представлены принципиальные технологические схемы реализации отдельных элементов установки.



Д-1 – установка водоочистки; Е-1 – резервуар для обессоленной воды; Н-1 – насос; О-1, О-2 – сепараторы; Б-1 – солнечная батарея; Э-1 – электролизёр; Р-1 – контактный аппарат для удаления примесей кислорода; Р-2 – осушитель

Рисунок 4.1 - Принципиальная технологическая схема получения водорода



ЦК-1 – циркуляционный компрессор; P-3 – реактор гидрирования; T-1, T-2 – теплообменные аппараты; Н-2, Н-3 – насосы; E-2 – резервуар для смеси N-этилкарбазола и N-этил-2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазола; P-4 – реактор дегидрирования; O-3 - сепаратор

Рисунок 4.2 - Принципиальная технологическая схема гидрирования N-этилкарбазола и дегидрирования N-этил-2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазола

Схема, представленная на рисунке 4.1 работает следующим образом. Вода из сети подается в блок водоподготовки. В блоке водоподготовки вода вначале очищается от механических примесей. Затем вода обессоливается, например, методами обратного осмоса. Полученная обессоленная вода подается в резервуар для хранения, а водо-солевые отходы сбрасываются. Затем, обессоленная вода из резервуара в определённом количестве подается в электролизер. В процессе электролиза получается два основных компонента, кислород и водород. Кислород сбрасывается, через клапан в окружающую среду. Полученный таким образом водород подается в

систему очистки и сушки, где от очищается и осушается до заданных параметров. Электрическое питание электролизера при этом, осуществляется с помощью ВЭР. Дополнительно, для обеспечения стабильности работы электролизера в цепь питания от ВЭР может быть включена АКБ (на схеме не показана). Очищенный и осушенный водород используется в технологическом процессе гидрирования N-этилкарбазола.

Процесс гидрирования осуществляется в реакторе Р-3 (см. рисунок 4.2). При этом технологический процесс происходит по циклу. Водород не участвующий в процессе гидрирования повторно подается в реактор. Условия протекания процесса гидрирования описаны в предыдущем разделе. Полученный в результате процесса гидрирования N-этил-2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазол подается в специальный резервуар, где он может храниться E2.

Для получения водорода, проводят процесс дегидрации N-этил-2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазола. Для этого N-этил-2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазол подают в реактор Р-4, где при заданных условиях в присутствии катализатора протекает процесс дегидрирования. Процесс является циклическим, то есть, дегидрированный не полностью N-этилкарбазол, повторно, с помощью циркуляционного насоса подается в реактор. Такой подход позволяет обеспечить достаточную для практики эффективность процесса дегидрирования. Полученный дегидрированием водород подвергают очистки от возможных примесей органических соединений, например, сепарацией. Далее водород подается на топливные элементы, где происходит генерация электрической энергии. Так как, продуктом работы топливного элемента является вода, то предполагается ее повторное использование. Схема рециркуляции обессоленной воды между топливным элементом и электролизером на схеме не показана. Такой подход позволяет существенно снизить энергетические и экономические затраты на водоподготовку. Представленный алгоритм технологического процесса функционирования установки является предварительным и требует экспериментальной доработки и апробации.

С этой целью ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» совместно с компанией ООО «Градиент Килби» (Gradient Kilby) и другими партнерами прорабатывает вопрос создание опытного образца такой установки.

5 Газовые датчики, принцип действия конструкция и характеристики

В настоящее время большое применение в альтернативной энергетике находят газовые топлива. В качестве топлива используются такие газы, как водород, природный газ, синтез газ и др. Указанные газы имеют различные свойства, однако все они обычно обладают низкими пределами воспламенения. В частности, водород воспламеняется при объемной концентрации в воздухе 1/10. Что бы минимизировать риски связанные с применением газовых топлив для объектов альтернативной энергетике целесообразно использовать специальные датчики обнаружения газа в атмосфере.

Обнаружение взрыво-пожароопасных газов в помещениях осуществляется газовыми датчиками. В присутствии отдельных газов, например, CO₂, CO, O₂, H₂, они (датчики) вырабатывают электрические сигналы определенного типа. Параметры получаемого сигнала имеют определённые характеристики для различных видов газов. Чтобы получить сигнал с определенными параметрами, позволяющего идентифицировать газ и его концентрацию, используют различные физические явления и химические эффекты.

Для простых систем определения концентрации горючих газов в атмосфере применяются следующие типы датчиков [59 - 70]:

- термокондуктометрические ячейки;
- термохимические (каталитические) ячейки;
- полупроводниковые датчики;
- топливные ячейки.

5.1 Термокондуктометрические ячейки

Датчики этого типа могут применяться для обнаружения таких газов как H₂, CO₂, SO₂. Принцип действия датчика понятен из рисунка 5.1. Датчик работает следующим образом.

Таблица 5.1 - Диапазоны измерения концентрации некоторых газов

	Типичный диапазон, %	Минимальный диапазон, %
Диоксид углерода CO ₂	0...100	0...5
Диоксид серы SO ₂	0...100	0...5
Водород H ₂	0...100	0...1

Проба газа диффундирует в специальную камеру, в которой имеется спираль. Спираль может быть выполнена из платины или никеля. Спираль нагревается до температуры примерно на 40°C выше окружающей среды.

Эталонное сопротивление датчика расположено в отдельной камере. Величина сигнала определяется величиной изменения теплопроводности газовой смеси. Необходимо отметить, что один и тот же тепловой эффект может быть обусловлен смешением разных газов, в разных количествах. Таким образом, применение датчика имеет ограничение. При наличии в пробе более трех видов газа и более данный датчик применять не рекомендуется.

Диапазон измерения концентрации для некоторых газов приведены в таблице 5.1.

Теплопроводность различных газов при разных температурах представлены в таблице 5.2. В таблице 5.2. также указана относительная теплопроводность по сравнению с воздухом в процентах (смесь азота с кислородом). Наибольшая разница по сравнению с воздухом получается у газов с высоким коэффициентом теплопроводности, такие как гелий и водорода. Таким образом указанный тип датчика эффективно применять именно для обнаружения в газовой смеси с значительным отличием по теплопроводности от воздуха, то есть чем больше различие в теплопроводности двух газов, тем точнее измерение.

Таблица 5.2- Теплопроводность некоторых газов при 0°С и 100°С

	Теплопроводность λ мкВт/см ² К		Относительная теплопроводность (%) по сравнению с воздухом	
	0°С	100°С	0° С	100° С
Воздух	241	314	1,000	1,000
Ацетон	97,8		0,406	
Ацетилен	186	303	0,772	0,965
Этан	183	316	0,759	1,006
Гексан	(120)	202	(0,500)	0,643
Диоксид углерода	145	223	0,602	0,710
Оксид углерода	231	304	0,959	0,968
Криптон	87,8	116	0,364	0,369
Метан	303	442	1,257	1,408
Бромистый метил	61,9		0,257	
Неон	461	571	1,913	1,918
Пентан	(130)	228	(0,540)	0,726
Пропан	151	272	0,657	0,866
Пропилен	140		0,581	
Кислород	245	318	1,017	1,013
Диоксид серы	86,2	138	0,353	0,439
Азот	240	308	0,996	0,981
Водяной пар		246		0,783
Водород	1710	2110	7,100	6,720
Этилен	175	310	0,726	0,987
Окись этилена	(93)	193	(0,390)	0,615
Аммиак	216	332	0,896	1,057
Аргон	164,8	301,4	0,684	0,960
Бензол	(89)	165	(0,370)	0,525
Бутадиен-(1,3)	(122)		(0,510)	
Бутан	135	245	(0,560)	0,780
Хлор	77,8		0,323	
Диоксид азота	153	236	0,635	0,752
Фреон 12	82,9		0,344	
Гелий	1430	1740	5,934	5,540
Гептан		176		0,561

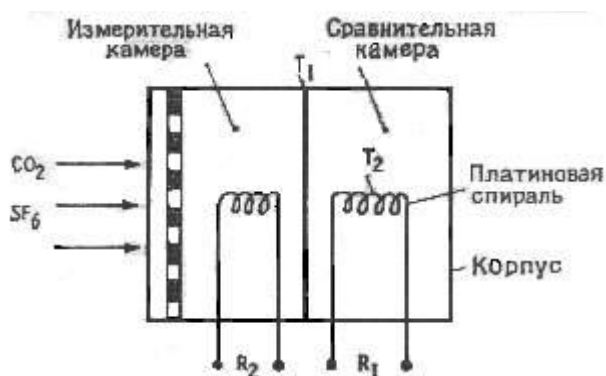


Рисунок 5.1 -Термокондуктометрическая измерительная ячейка

5.2 Топливная ячейка

Для оценки содержания кислорода в воздухе можно применять датчики с топливной (электрохимической) ячейкой. Датчики такого типа обладают развитой поверхностью токопроводящего материала, которая расположена между электролитом и атмосферным воздухом. Если в пробе газа присутствует кислород (O_2), то происходит реакция окисления на активной поверхности датчика, с выделением тепла, т.к. процесс окисления является экзотермическим. В результате этого процесса возникает термо ЭДС (электрический сигнал, который может быть измерен). Устройство датчика схематически показано на рисунке 5.2. В результате химической реакции с кислородом в топливной ячейке между катодом и анодом возникает разность потенциалов. Разность потенциалов возрастает пропорционально содержанию кислорода в окружающей атмосфере. Температурная компенсация стабилизирует выходной сигнал по отношению к температуре окружающей среды.

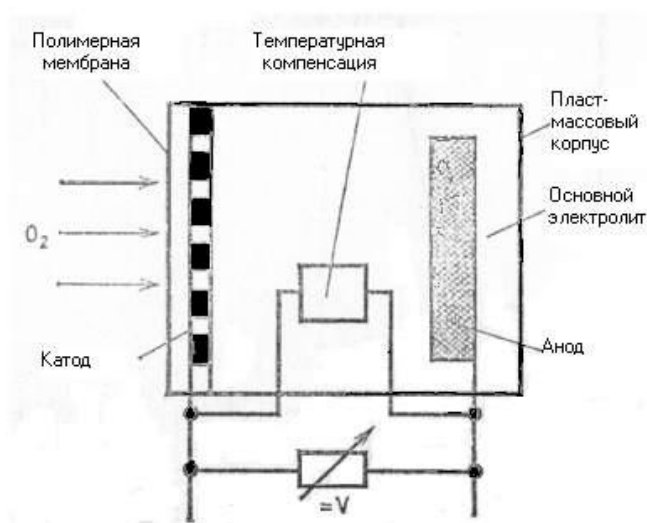


Рисунок 5.2 - Топливная (электрохимическая) измерительная ячейка для определения содержания кислорода.

5.3 Термохимическая ячейка

Термохимическая ячейка используется для определения концентрации горючих газов. Особенно хорошо датчики такого типа зарекомендовали себя для определения монооксида углерода (СО) - в окружающем воздухе.

Термохимическая ячейка (рисунок 5.3) имеет две измерительные платиновые спирали, включенные в измерительный мост. Измерительный мост дополнительно содержит два постоянных сопротивления. Если одну из спиралей покрыть слоем активного катализатора, а вторую - слоем пассивного катализатора, то на активном катализаторе, образуя диоксид углерода (СО₂). Выделяющаяся в результате этой реакции тепловая энергия вызывает повышение сопротивления активной спирали, что в итоге приводит к значительной разбалансировки моста.

С помощью датчика такого типа можно обнаруживать незначительные концентрации таких опасных газов, как монооксид углерода СО. Минимально возможный уровень измерения составляет примерно от 0,2 до 10% СО. В принципе, кроме СО, с помощью датчика такого типа могут быть обнаружены прочие горючие газы. Путем соответствующего подбора катализатор и температуры проволоки можно добиться достаточной для практики избирательности и точности измерения.

Область применения датчиков этого типа включает в себя контроль таких объектов как закрытые помещения различной категории опасности, стенды для испытаний и др.

5.4 Полупроводниковые датчики

В самых простых и дешевых газовых датчиках используется изменение электрического сопротивления полупроводниковых материалов, возникающее вследствие адсорбции газа. На рисунке 5.4 показано принципиальное устройство такого полупроводникового датчика.

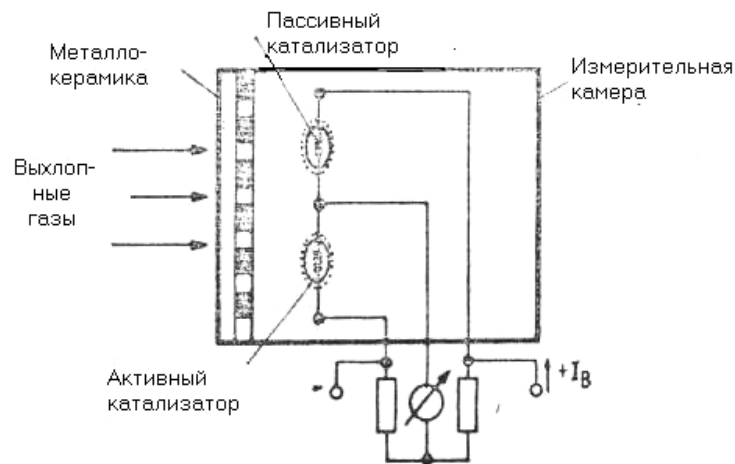


Рисунок 5.3- Каталитическая ячейка для обнаружения горючих газов

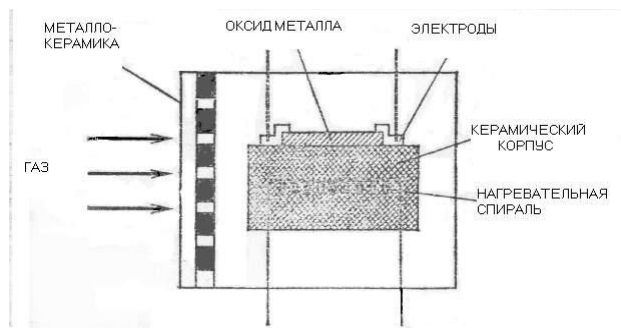


Рисунок 5.4 - Измерительная ячейка полупроводникового датчика для обнаружения газов.

Датчик состоит из керамической основы. На которой находятся два электрода. Между электродами наносится полупроводящий оксид металла. Если газ проходит над этим активированным слоем оксида металла, то проводимость последнего изменяется. Используя мостовую схему это изменение проводимости можно зафиксировать и преобразовать в напряжения. Важнейшим среди материалов чувствительных элементов таких датчиков является диоксид олова SnO_2 с различными легирующими добавками.

Для иллюстрации на рисунке 5.5 показана изменение чувствительности рабочего тела датчика ($\Delta I/I$) для концентраций 10-2 % CO и 1 % CH₄ в зависимости от вида легирующей добавки и рабочей температуры. При легировании медью оптимальная чувствительность, например, для CO получается при 370 °С. В случае метана оптимальная чувствительность

достигается при легировании платиной и работе при температуре порядка 500°C. На основании этого получают два типа датчика, которые в определенных случаях допускается применять для селективного обнаружения различных газов и индикацию их концентрации.

Характеристика датчика для определения H₂S в воздухе на основе нелегированного SnO₂ приведена на рисунок 5.5 а.

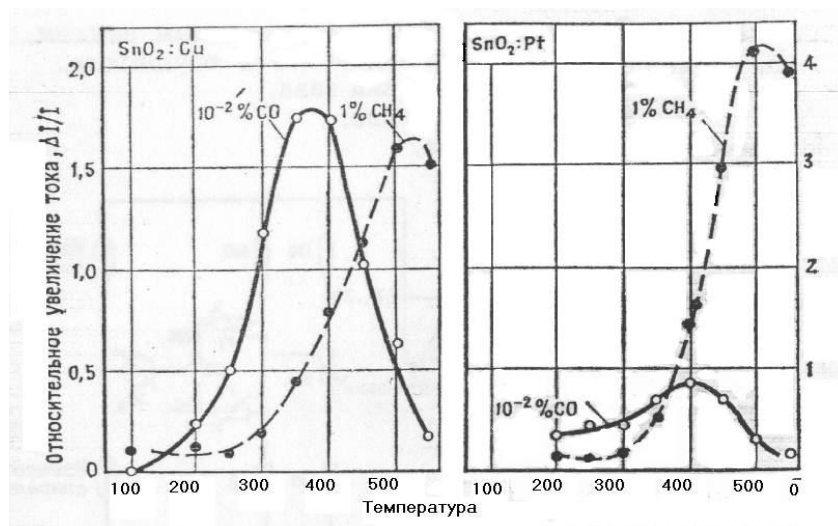


Рисунок 5.5 - Оптимизация характеристик газового датчика на основе диоксида олова с помощью различных легирующих добавок

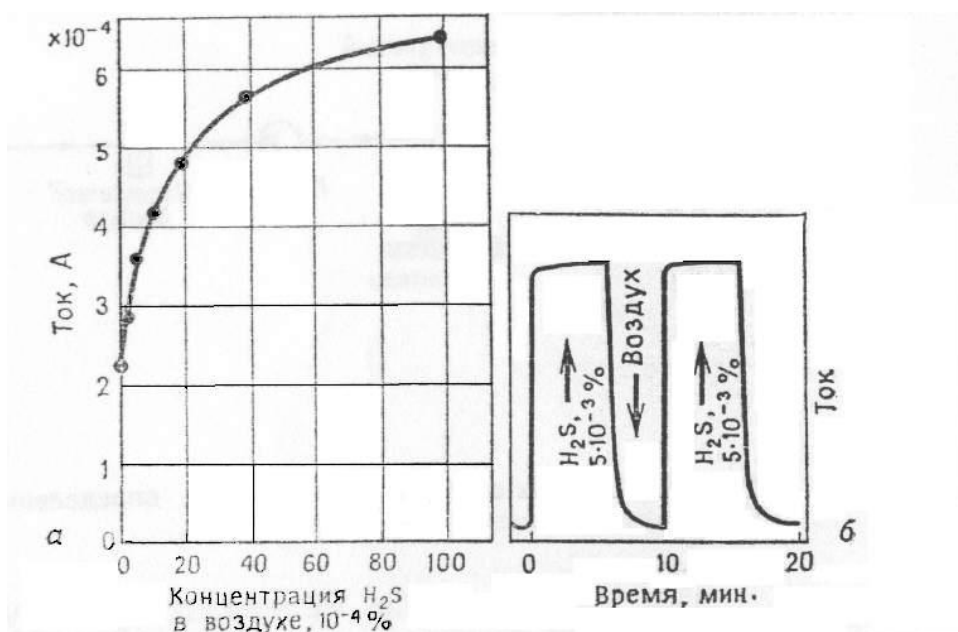


Рисунок 5.6 - Характеристика срабатывания газового датчика на основе SnO₂ при 200С

5.5 Датчики типа TGS

На рисунке 5.7 показан датчик типа TGS фирмы Figaro. Датчик состоит из керамической трубки малого диаметра, нагреваемой изнутри тонкой проволокой. Снаружи на трубку нанесен активный слой с электродами. Весь датчик защищен проволочной сеткой из нержавеющей стали от механических повреждений. Обозначение такого датчика на схемах и способ его подключения показаны на рисунке 5.8.

Датчик работает следующим образом. Электрод нагревается напряжением V_H до заданной температуры. Обычно она составляет величину более 200 °С. Напряжение питания V_C определяет величину падения напряжения V_{RL} на нагрузочном резисторе R_L . Величина напряжения V_{RL} зависит от тока датчика I_s .

Зависимость чувствительности датчика TGS 815D для различных газов показана на рисунок 5.9. На рисунке приняты следующие обозначения:

- R_0 - сопротивление датчика в смеси, воздух + 0,1 % метана;
- aR - сопротивление датчика при различных концентрациях газа.

Чувствительность датчика R/R_0 зависит от температуры и относительной влажности (рисунок 5.7). По чувствительности к влиянию температуры и влажности датчик TGS 815D является оптимальным вариантом среди детекторов такого типа.



Рисунок 5.7 - Конструкция промышленного газового датчика типа TGS

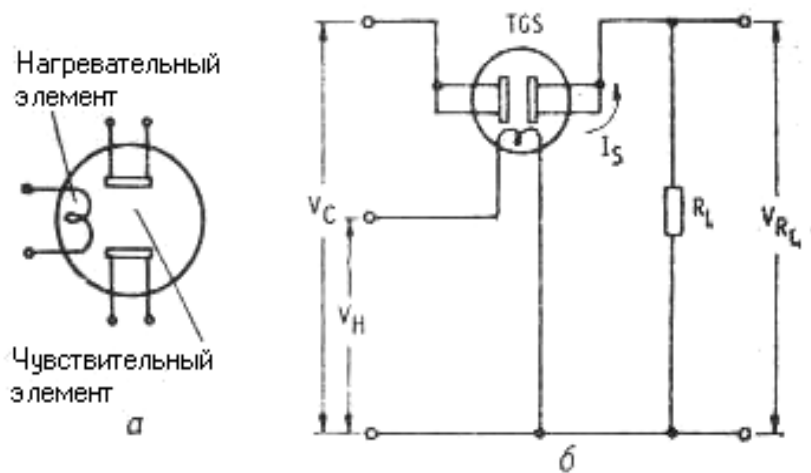


Рисунок 5.8 - Расположение контактов (а) и схема включения (б) газового TGS

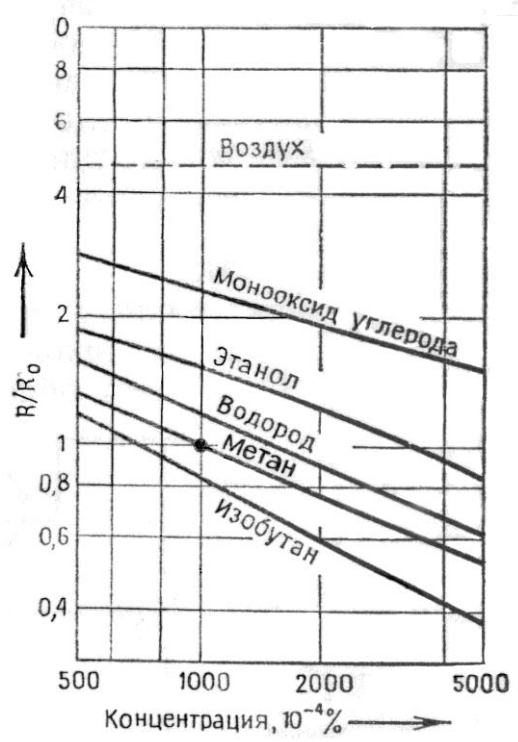


Рисунок 5.9 Чувствительность датчика TGS к различным газам

5.6 Датчик природного газа

одним из возможных способов получения водорода является каталитический риформинг природного газа. В этом случае необходимо детектировать концентрацию природного газа в помещениях, где располагается технологическая установка. Нижний предел воспламенения

природного газа равен 2% масс. воздуха. В таблице 5.3 приведены пределы воспламенения некоторых практически важных газов.

Поскольку чувствительность срабатывания датчиков типа TGS не превышает 0,1%, то они способны обеспечивать надежное обнаружение утечки газа. Устройство подобной схемы показано на рисунке 5.10. Схема состоит из моста Уитстона и источника постоянного напряжения. В качестве неактивного элемента используется датчик TGS 813С, который предназначен для обнаружения взрывоопасных газов. При превышении порогового значения напряжения, устанавливаемого потенциометром R_s , открывается транзистор (2SD471). Полученный сигнал можно использовать для управления, например, аварийной сиреной, вентилятором подачи воздуха в загазованное помещение, отсечным клапаном. В принципе эти датчики можно использовать для решения различных задач с использованием схемы, приведенной на рисунке 5.10.

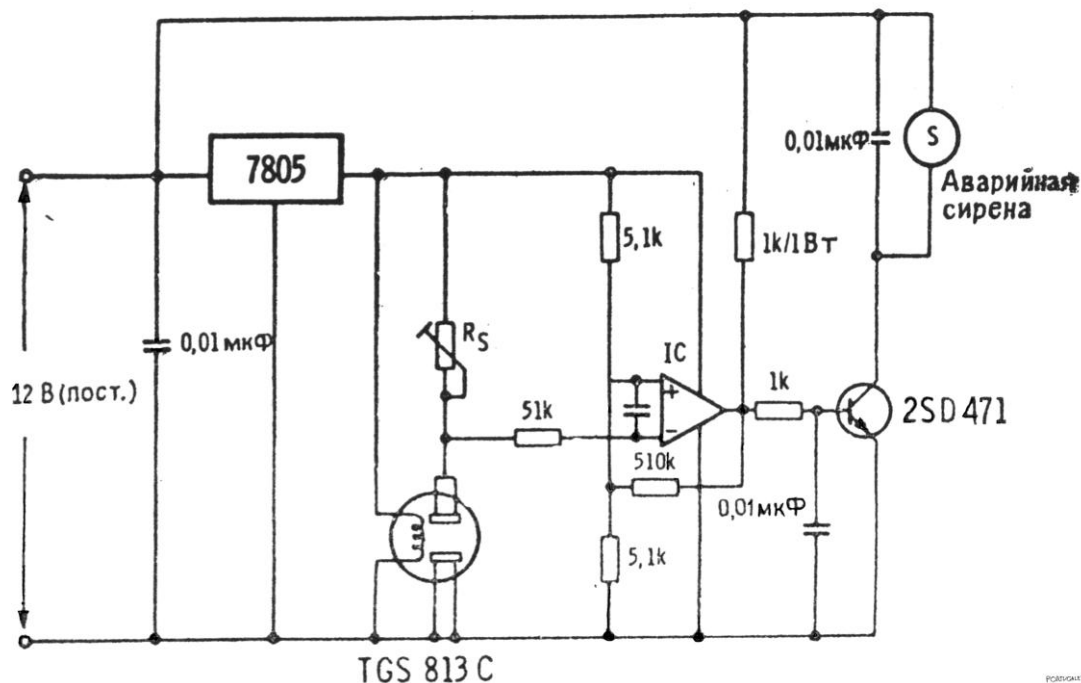


Рисунок 5.10 Измерительная схема детектора природного газа.

Таблица 5.3 - Пределы воспламенения некоторых практически важных газов

Вещество	Химическая формула	Относительная плотность	Пределы взрываемости
Метан	CH ₄	0,6	5...15
Этан	C ₂ H ₆	1,0	3...12,4
Пропан	C ₃ H ₈	1,6	2,1...9,5
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,0	1,8...8,4
Пентан	C ₅ H ₁₂	2,5	1,4...7,8
Гексан	C ₆ H ₁₄	3,0	1,2...7,4
Оксид углерода	CO	1,0	12,5...74
Водород	H ₂	0.07	4...75

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненной работы можно сформулировать следующие выводы:

1 Проведен анализ существующих схем гибридных энергетических установок малой и средней мощности, и установлены направления их совершенствования.

2 Проведен анализ возможности повышения экономических и экологических показателей гибридных установок путем применения технологии LOCH.

3 Предложены схемы гибридной установки, реализующие технологию LOCH.

4 Установлены отдельные особенности применения солнечных панелей, технологии долговременного хранения водорода и электроэнергии.

5 Проведен анализ возможностей использования датчиков утечки газов для обеспечения безопасной работы гибридной установки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Комбинированные энергетические установки в системе автономного электроснабжения [Электронный ресурс.] URL: <http://tehnodacha.ru/news/stat/> (дата обращения 19.09.2017)
2. ПНСТ 40-2015 (IEC/TS 62257-4:2005) Возобновляемая энергетика. Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации. Рекомендации. Часть 4. Выбор и конструирование системы. 2005. С. 4–10.
3. Почти все об альтернативной энергетике и энергосбережении. [Электронный ресурс.] URL: http://www.dom-spravka.info/_alt_energo/gb_00.html (дата обращения 09.11.2017)
4. Увеличение эффективности солнечных батарей <http://electricavdome.ru/raschet-solnechnyx-batarej.html> (дата обращения 09.06.2018).
5. Эйдинов А.А. Электромобили. Учебное пособие. – М.: МАМИ, 1997, с. 80.
6. Лидоренко Н.С., Мучник Г.Ф., Бортников Ю.С., Иванов А.М., Постаногов В.П. Электромобили. – М.: ВНИИЦентр, 1984.
7. Ставров О.А. Электромобили. – М.: ВИНТинформации, 1976.
8. Эйдинов А.А. Развитие систем автомобильной электротехники. – М.: НАМИ, 1995.
9. Пионтковская С.А., Повышение энергоэффективности тяговой системы внутризаводского электротранспорта с комбинированной энергоустановкой: дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Пионтковская Светлана Артуровна. Москва, 2005.
10. Литий-железо-фосфатный аккумулятор: характеристики, применение [Электронный ресурс. Режим доступа: <http://fb.ru/article/303279/litij-jelezo-fosfatnyiy-akkumulyator-harakteristiki-primenenie>

11. Концепция развития горения и взрыва как области научно-технического прогресса / Отв. редактор академик А.Г. Мерджанов. - Черноголовка: Территория, 2001.- 171 с.
12. Критические технологии РФ. Указ Президента РФ № 899, 7.07.2011.
13. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ. Указ Президента РФ № 899, 07.07.2011.
14. Стратегия развития автомобильной промышленности РФ на период до 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: [http://www/minpromtorg.gov.ru/ministry/strategic/sectoral/10/](http://www.minpromtorg.gov.ru/ministry/strategic/sectoral/10/). (дата обращения 15.12.2012).
15. Концепция обеспечения энергетической безопасности государственных ЕврАзЭС. Распоряжение Председателя Правительства РФ № 2200-р, 28.11.2012 г.
16. Пономарев - Степной Н.Н. Атомно-водородная энергетика – пути развития / Н.Н.Пономарев - Степной, А.Я. Столяровский // Энергия. - 2004. - №1. - С. 3-9.
17. Дмитриев А.Л. Диверсификация возобновляемых источников энергии с получением электроэнергии, тепла и водорода / А.Л. Дмитриев: тр. II международного симпозиума по водородной энергетике. Москва, 1-2 ноября 2007 г. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - С.13-16.
18. Перспективные автомобильные топлива: виды, характеристики, перспективы / пер. с англ. А.П. Чочия; под ред. Я.Б. Чертова. – М.: Транспорт, 1982.- 319 с.
19. Смаль Г.Ф. Альтернативные топлива для автомобилей / Г.Ф. Смаль, Е.Е. Арсенов. – М.: Транспорт, 1979.- 151 с.
20. Грушенков В.А. Экологические и экономические проблемы автотранспорта / В.А. Грушенков // Автотранспорт: эксплуатация, обслуживание, ремонт. -2010.- № 9. -С. 33-37.
21. Двигатели внутреннего сгорания: системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин [и

- др.]; под общ.ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова.-3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. - 456 с.
22. Ежегодник состояния загрязнений и выбросов вредных веществ в атмосферу городов и промышленных центров РФ (России). «Выбросы вредных веществ»; под ред. Берлянда М.Е. – СПб.: ГГО, 2001.- 412 с.
23. Фурсов Н.А. Влияние автотранспорта на изменение загрязнения атмосферного воздуха / Н.А. Фурсов, А.П. Попиков: тр. междунар. конфер. «Альтернативные источники энергии для транспорта и энергетики больших городов».- М.: Прима-Пресс-М.- 2005.- С. 96-97.
24. Доктрина энергетической безопасности России. Проект постановления Правительства РФ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.do.gedocs.ru/docs/index-295850.htm>. (дата обращения 10.12.12 г.).
25. Коротеев А.С. Водородный транспорт – основа развития водородной энергетики: тр. международной конференции «Альтернативные источники энергии для транспорта и энергетики больших городов» / А.С. Коротеев, В.А. Смоляров. -М.: Прима-Пресс-М, 2005.- С. 20-21.
26. Месяц Г.А. Самый главный элемент / Г. А. Месяц // Поиск. - 2004.- 9 апреля.
27. Автомобилестроение в России за рубежом: Информационный бюллетень № 6 – Тольятти: ОАО АВТОВАЗ, 2007. -С. 41.
28. Богданов В.И. Автомобиль и его двигатель – возможные перспективы развития / В.И. Богданов // Автомобильная промышленность.- 2009.- №1.- С. 25-28.
29. Грабовский А.А. Прогрессивный термодинамический цикл ДВС / А.А.Грабовский // Двигателестроение.- 2011.- №1.- С. 33-36.
30. Двигатели внутреннего сгорания: системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин [и

- др.]; под общ.ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова.-3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. - 456 с.
31. Дьяченко В.Г. Перспективы развития автомобильных двигателей с принудительным зажиганием топлива: тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. «Перспективы развития комбинированных двигателей внутреннего сгорания и двигателей новых схем и на новых топливах»; под ред. и с предисл. М.Г. Круглова. – М.: МВТУ, 1987.- С. 73-74.
32. Нанохимия и нанотехнология. [Электронный ресурс] .
http://him.1september.ru/view_article.php?ID=200902102
33. Водород в энергетике : учеб. пособие / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 229, [3] с.
34. LOHC Energy Storage. [Электронный ресурс].
http://www.hydrogenious.net/wp-content/uploads/2016/03/HT_Flyer_Energy_Storage.pdf
35. Patrick Preuster, Christian Papp, Peter Wasserscheid, Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs): Toward a Hydrogen-free Hydrogen Economy, Accounts of Chemical Research, 2017, 50 (1), pp 74–85.
36. Christoph Krieger, Karsten Müller, Wolfgang Arlt, Coupling of a Liquid Organic Hydrogen Carrier System with Industrial Heat, Chemical Engineering & Technology, Volume 39, Issue 8, August, 2016, Pages 1570–1574.
37. Stefan Dürr, Michael Müller, Holger Jorschick, Marta Helmin, Andreas Bösmann, Regina Palkovits, Peter Wasserscheid, Carbon Dioxide-Free Hydrogen Production with Integrated Hydrogen Separation and Storage, ChemSusChem, Online Version of Record published before inclusion in an issue.
38. Katharina Stark, Philipp Keil, Sebastian Schug, Karsten Müller, Peter Wasserscheid, Wolfgang Arlt, Melting Points of Potential Liquid Organic

- Hydrogen Carrier Systems Consisting of N-Alkylcarbazoles, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2016, 61 (4), pp 1441–1448.
39. Giang Do, Patrick Preuster, Rabya Aslam, Andreas Bösmann, Karsten Müller, Wolfgang Arlt, Peter Wasserscheid, Hydrogenation of the liquid organic hydrogen carrier compound dibenzyltoluene – reaction pathway determination by ^1H NMR spectroscopy, *Reaction Chemistry & Engineering*, 2016, 1, 313-320.
 40. Rabya Aslam, Mirjana Minceva, Karsten Müller, Wolfgang Arlt, Development of a liquid chromatographic method for the separation of a liquid organic hydrogen carrier mixture, *Separation and Purification Technology*, Volume 163, 11 May 2016, Pages 140–144.
 41. Max Amende, Christoph Gleichweit, Tao Xu, Oliver Höfert, Marcus Koch, Peter Wasserscheid, Hans-Peter Steinrück, Christian Papp, Jörg Libuda, Dicyclohexylmethane as a Liquid Organic Hydrogen Carrier: A Model Study on the Dehydrogenation Mechanism over Pd(111), *Catalysis Letters*, April 2016, Volume 146, Issue 4, pp 851–860.
 42. Rabya Aslam, Karsten Müller, Michael Müller, Marcus Koch, Peter Wasserscheid, Wolfgang Arlt, Measurement of Hydrogen Solubility in Potential Liquid Organic Hydrogen Carriers, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2016, 61 (1), pp 643–649.
 43. Christoph Krieger, Karsten Müller, Wolfgang Arlt, Thermodynamic analysis of reversible hydrogenation for heat storage in concentrated solar power plants, *Solar Energy*, Volume 123, January 2016, Pages 40–50.
 44. Andreas Heller, Michael Rausch, Peter Schulz, Peter Wasserscheid, Andreas Fröba, Binary Diffusion Coefficients of the Liquid Organic Hydrogen Carrier System Dibenzyltoluene/Perhydrodibenzyltoluene, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2016, 61 (1), pp 504–511.
 45. Denise Geburtig, Patrick Preuster, Andreas Bösmann, Karsten Müller, Peter Wasserscheid, Chemical utilization of hydrogen from fluctuating energy sources e Catalytic transfer hydrogenation from charged Liquid Organic

- Hydrogen Carrier systems, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 41, Issue 2, 12 January 2016, Pages 1010–1017.
46. Karsten Müller, Katharina Stark, Vladimir N. Emel'yanenko, Mikhail A. Varfolomeev, Dzmitry H. Zaitsau, Evgeni Shoifet, Christoph Schick, Sergey P. Verevkin, Wolfgang Arlt, *Liquid Organic Hydrogen Carriers: Thermophysical and Thermochemical Studies of Benzyl- and Dibenzyl-toluene Derivatives*, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2015, 54 (32), pp 7967–7976.
 47. Takashi Matsuda, Nicola Taccardi, Johannes Schwegler, Peter Wasserscheid, Hans-Peter Steinrück, Florian Maier, *Vacuum Surface Science Meets Heterogeneous Catalysis: Dehydrogenation of a Liquid Organic Hydrogen Carrier in the Liquid State*, *ChemPhysChem*, Volume 16, Issue 9, June 22, 2015, Pages 1873–1879.
 48. Marta Markiewicz, Ya-Qi Zhang, Andreas Bösmann, Nicole Brückner, Jorg Thöming, Peter Wasserscheid, Stefan Stolte, *Environmental and health impact assessment of Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) systems – challenges and preliminary results*, *Energy & Environmental Science*, 2015, 8, 1035-1045.
 49. Nicole Brückner, Katharina Obesser, Andreas Bösmann, Daniel Teichmann, Wolfgang Arlt, Jennifer Dungs, Peter Wasserscheid, *Evaluation of Industrially Applied Heat-Transfer Fluids as Liquid Organic Hydrogen Carrier Systems*, *ChemSusChem*, Volume 7, Issue 1, January 2014, Pages 229-235.
 50. Karsten Müller, Johannes Völkl, Wolfgang Arlt, *Thermodynamic Evaluation of Potential Organic Hydrogen Carriers*, *Energy Technology*, Volume 1, Issue 1, January 2013, Pages 20–24.
 51. Karsten Müller, Jin Geng, Wolfgang Arlt, *Reversible vs. Irreversible Conversion of Hydrogen: How to Store Energy Efficiently?*, *Energy Technology*, Volume 1, Issue 1, January 2013, Pages 42–47.

52. Daniel Teichmann, Wolfgang Arlt, Peter Wasserscheid, Liquid Organic Hydrogen Carriers as an efficient vector for the transport and storage of renewable energy, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 37, Issue 23, December 2012, Pages 18118–18132.
53. Daniel Teichmann, Katharina Stark, Karsten Müller, Gregor Zöttl, Peter Wasserscheid, Wolfgang Arlt, Energy storage in residential and commercial buildings via Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC), *Energy & Environmental Science*, 2012, 5, 9044-9054.
54. Benjamin Müller, Karsten Müller, Daniel Teichmann, Wolfgang Arlt, Energy Storage by CO₂ Methanization and Energy Carrying Compounds: A Thermodynamic Comparison, *Chemie Ingenieur Technik*, Volume 83, Issue 11, November, 2011, Pages 2002–2013.
55. Daniel Teichmann, Wolfgang Arlt, Peter Wasserscheid, Raymond Freymann, A future energy supply based on Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC), *Energy & Environmental Science*, 2011,4, 2767-2773.
56. Amal Nassar, Eman Nassar. The design of a low-cost device for the production of hydrogen [Text] / Amal Nassar etc. – *Science*: vol. 13(25), 2014. – p.p. 158-165, источник (<https://doaj.org/article/477e5fd34e2a4cd382b704b5b5278e6c>)
57. Nereida Carrión, Miguel Murillo, Héctor Rodríguez, José Chirinos and Dorfe Díaz. Study of the fundamental plasma parameters by HG ICP-OES with a dual hydride generation system [Text] / Nereida Carrión etc. – *Science*: vol. 6(3), 2011. – p.p. 61-68, (<https://doaj.org/article/216d943f80d34f2381044dfe2df1a582>)
58. Тарасов Б.П., Фурсиков П.В. Разработка и создание водородной системы [Электронный ресурс] / Тарасов Б.П // Отчет о научных исследованиях. – 2014. – Режим доступа: http://www.icp.ac.ru/media-store/FILES/Shirshova/Dokumenty/FTSP/14.604.21_otchet_1etap.pdf. – (Дата обращения: 18.02.2017).

59. Акимов Н.Н. Ващуков Е.П. Источники электропитания РЭА. Справочник М. Радио и связь 1986 г.
60. Акимов С.В. Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей – М.: ЗАО КЖИ «За рулём», 2001
61. Белов В.А. Маслов В.А., Соколова Л.В., Надёжность и совершенствование эксплуатации автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) - Москва 2001
62. Виглеб Г. Датчики- М.: Мир 1989
63. Виноградов Ю. Пьезосирена в охранной сигнализации - Радио, 1998, №5
64. Васильев Ю.Н., Гриценко А.И., Чириков К.Ю. Газозаправка транспорта- М.: Недра 1995
65. Гитцевич А.Б. Зайцев А.А. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: Справочник. М.: Радио и связь, 1988
66. Голомедов А.В. Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности- М.: Радио и связь, 1989
67. Головин О.В. Кубицкий А.А. Электронные усилители. М., 1983
68. Морев А.И. Переход автотранспорта на природный газ. - Москва, 1995
69. Партала О.Н. Радиоконпоненты и материалы: справочник - К.: Радиоаматор, М.: КУБК-а, 1998.
70. Рабкин А.Н. Евгенова И.Н. Магнитоуправляемые герметизированные контакты. М., 1976.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (информационное)

Пример практической реализации технологии LOCH

Современные тенденции развития альтернативных источников питания, показывают, что наиболее перспективным топливом является водород. Однако, как показывает практика, применение чистого водорода сопряжено с рядом проблем, основными из которых является наличие развитой инфраструктуры. Кроме этого, следует отметить, что стоимость водорода на сегодняшний день, в пересчёте на единицу мощности, примерно в 3 раза дороже традиционных топлив. Указанные факторы являются основным препятствием на пути реализации «водородной энергетики». Следует отметить, что в ведущих странах мира, таких как США, Германия, Япония имеется специальная федеральная программа по развитию водородной энергетики. Причем из открытых источников известно, что объем финансирования по этим программам составляет более 100 млрд. долларов.

Сегодня, развитие технологии топливных элементов, позволяет создавать энергетические установки мощностью до нескольких мегаватт. Однако, основными потребителями таких технологий востребованы энергетические установки мощностью 2 - 5 кВт. В основном такие источники получили применения для автономного и резервного энергообеспечения обеспечения станций связи, ретрансляторов, удаленных контрольно-измерительных пунктов и т.д.

Состояние технологии «водородной энергетики» находится на уровне опытных промышленных образцов. По мнению специалистов, широкое промышленное использование энергетических установок такого типа ожидается к 2025 -2030 г.г. Необходимо отметить, что ряд зарубежных компаний уже сегодня предлагают на рынке системы автономного энергообеспечения использующих технологии «водородной энергетики».

Однако, мощность таких источников обычно не превышает 1-3 кВт, что в свою очередь серьезно ограничивает область применения таких установок.

В частности, известны энергетические решения SFC Energy AG на основе топливных элементов EFOY Pro для нефтегазовой отрасли.



Рисунок А1 - Пример реализации автономного обеспечения на базе топливных элементов



Рисунок А2 - Гибридное решение энергообеспечения

Обеспечение электропитания с помощью топливных элементов EFOY Pro или гибридное решение, объединяющее топливные элементы с солнечными панелями, позволяет обеспечить автономность объекта до нескольких недель (см. рисунок А2). Основные преимущества указанной системы заключаются:

- экономичность и практически полное отсутствие вредного влияния на окружающую среду;
- 100% готовность топливных элементов в любое время и в любую погоду - топливный элемент будет гарантированно вырабатывать энергию в любую погоду, в любой климатической зоне;

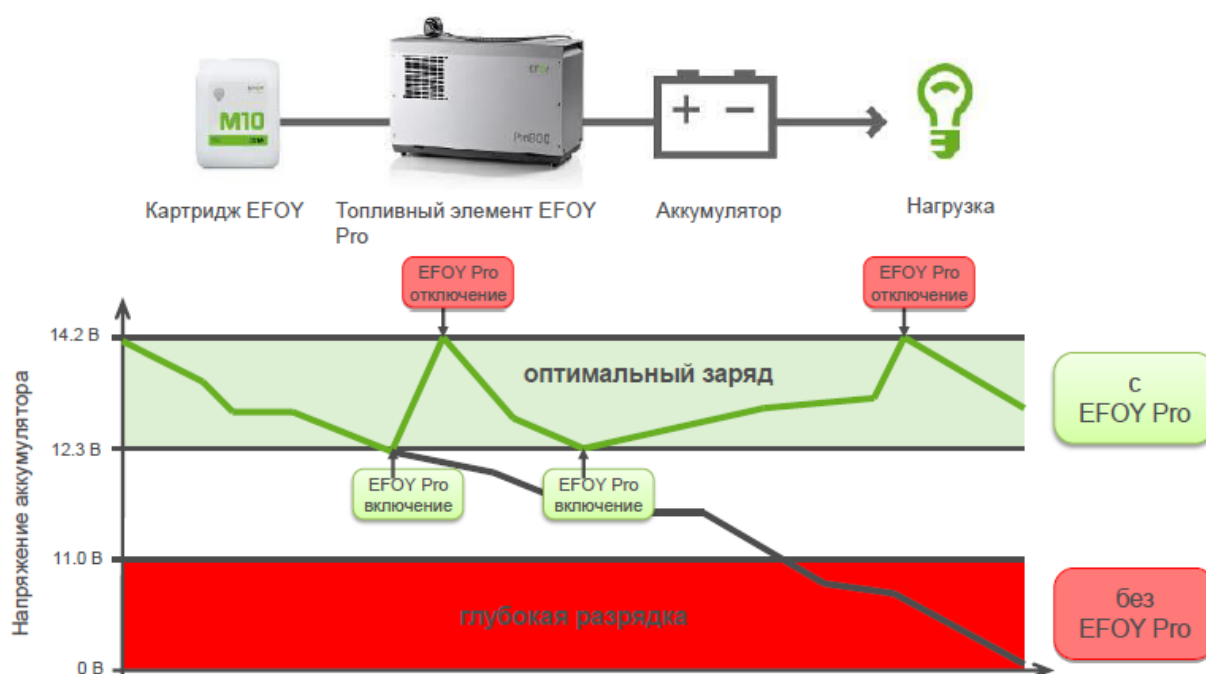


Рисунок А3 - Схема работы топливного элемента в составе системы энергообеспечения

- продолжительная работа без вмешательства обслуживающего персонала – используя два 28-литровых топливных картриджа, один топливный элемент EFOY Pro может вырабатывать энергию в 10 Ватт более 8 месяцев без вмешательства обслуживающего персонала;
- оптимизация размещения оборудования для мониторинга и контроля безопасности – камеры можно свободно размещать в тех местах, где

необходимо наблюдение, а не только там, где можно обеспечить подключение к электросетям;

- уменьшение административных и логистических затрат и усилий это полностью готовое к использованию энергетическое решение, которое может быть размещено в необходимом месте немедленно, либо интегрировано в существующий комплекс;

- скрытая установка - EFOY Pro – это легкие, компактные, портативные устройства, которые могут быть легко установлены в существующие комплексы или внешние вандалозащищенные решения.