

МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ШКОЛА № 20»

Проект по теме  
«Время первых: ВОДОРОД»  
Направление: Современная энергетика

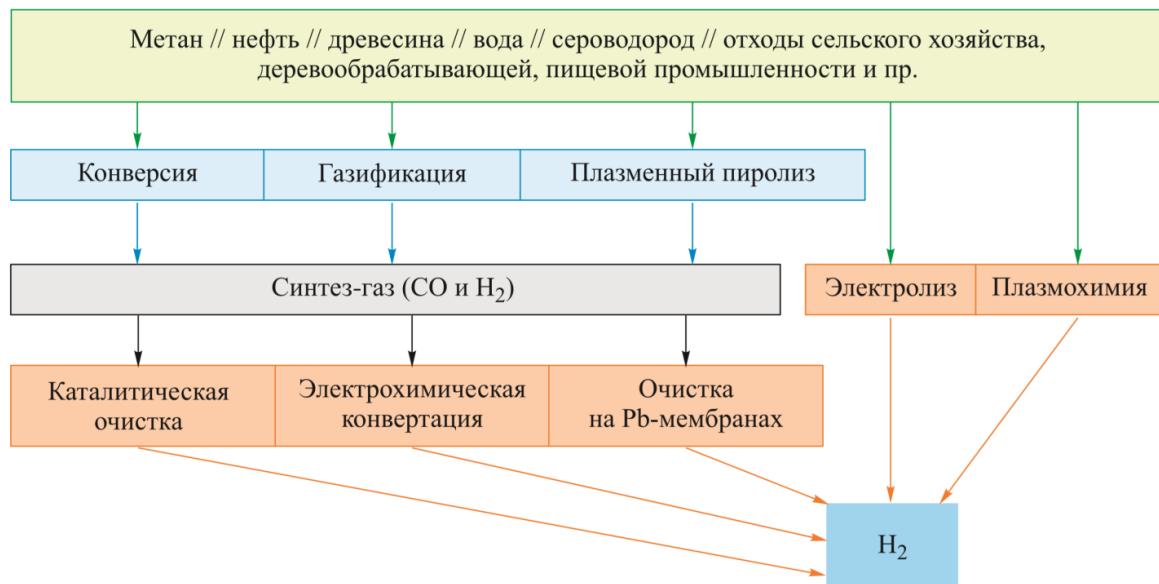
Выполнила: Порошина Мария Андреевна,  
ученица 10 класса МБОУ «Школы №20».  
Руководитель проекта: Усенко Елена Александровна,  
учитель физики высшей квалификационной категории.

г. Саров,  
2025

В настоящее время в мире происходят значительные перемены: топливный кризис, введение новых экологических стандартов и увеличение потребления электроэнергии. В связи с этим во многих странах ведутся интенсивные работы по решению проблем снижения потребления бензина как автомобильного топлива и перевода транспортных средств на экологически чистое и в перспективе дешёвое топливо – водород. Водород – являясь первым элементом в таблице Д. И. Менделеева (отсюда и название проекта) - один из перспективных видов топлива, так как он обладает более высокой удельной теплотой сгорания по сравнению с углеводородным топливом (нефть, уголь, газ) и является абсолютно экологически чистым энергоносителем. Также водород можно эффективно использовать как вторичный энергоноситель, например на электростанциях в моменты пиковой нагрузки. Однако, транспортировка и хранение водорода являются довольно сложными техническими задачами, над которыми работают ученые Федерального государственного унитарного предприятия "Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики" (РФЯЦ-ВНИИЭФ).

Осложняет широкое применения водородной энергетики и тот факт, что водород в чистом виде в природе не существует. Он находится в соединении с кислородом, серой, азотом и другими элементами. Он входит в состав пресной воды, морской воды, различных соединений, образующих нефть, уголь, природный газ и других сложных соединений [1].

Водород можно получить следующими способами, представленными на рисунке 1 [2].



*Рисунок 1 – Промышленные способы получения водорода*

**Целью** данной работы является описание принципиальной схемы и изготовление компактной водородной энергетической установки, предназначенной для выработки

электроэнергии в моменты пиковой нагрузки, водород в которой выделяется путем электролиза.

В ходе выполнения проекта планируется решить ряд **задач**:

- выявить зависимость щелочных электролизов на вырабатываемый объем водорода;
- установить влияние силы тока на объем вырабатываемого водорода;
- рассмотреть применение компактной водородной энергетической станции (КВЭС) в рамках современного города.

Компактная водородная энергетическая станция (КВЭС) ориентирована на её использование:

- ✓ в условиях крупных городов в моменты пиковых нагрузок на электросетях;
- ✓ при возникновении ЧС (чрезвычайных ситуаций);
- ✓ в удаленных населенных пунктах, расположенных в северных регионах России.

Первые попытки реализации идеи использования водорода в качестве топлива относятся к 1920–1930 гг., когда в Канаде было освоено промышленное производство водородно-щелочных электролизёров и принята первая программа в области создания водородных энергосистем на основе первичной электроэнергии, вырабатываемой на ГЭС [3].

Интересно отметить, что в годы Второй Мировой войны исследования и разработки в указанном и смежных направлениях даже интенсифицировались. Хорошо известно, что в Германии в годы войны широко использовались синтетическое моторное топливо, производимое путем гидрогенизации угля. В СССР в условиях блокадного Ленинграда грузовой автотранспорт был переоборудован на водородное топливо, бравшееся из отработавших свой ресурс аэростатов войск ПВО. Указанные работы проводились под руководством техника-лейтенанта Б. И. Шелища.

В 1970–1980 гг. начали динамично развиваться методы использования водорода как топлива для тепловых двигателей и энергоустановок. В ряде стран (США, Германия, Япония, СССР) были созданы демонстрационные образцы автомобилей и другого транспорта с ДВС на водородном топливе либо с добавками водорода. В 90-х гг. появились первые образцы автомобилей и автобусов с электродвигателями, работающими от мобильных энергоустановок на топливных элементах [3]

В это же время был выполнен ряд крупных разработок по использованию водорода как авиационного или космического топлива. В США (программа “Space Shuttle”) и СССР («Буран-Энергия») были созданы крупные ракеты-носители, главные двигатели которых

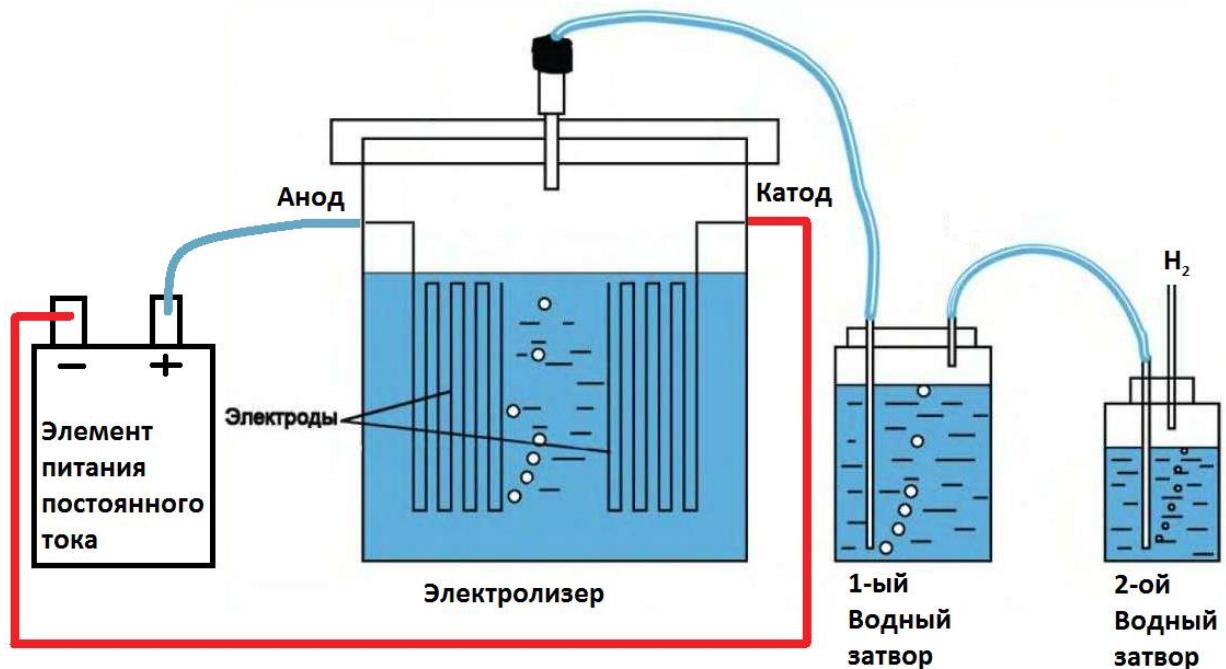
использовали жидкий водород в качестве топлива и жидкий кислород как окислитель. Первое успешное испытание самолета на водороде (экспериментальная модель Ту-155, выполненная на базе серийного самолета Ту-154, один из трех двигателей которого работал на жидкокислородном топливе) прошло в СССР в апреле 1988 г. Месяц спустя в США был испытан легкий (четырехместный) с одним двигателем, топливом для которого был только водород.

Проведя анализ известных нам литературных источников [1] – [5] можно сделать вывод, что к развитию водородной энергетики подключились правительства ряда стран и межгосударственные объединения, формируются национальные и международные программы.

К исследованиям и опытно – конструкторским работам в области водородной энергетики подключились сотни компаний, в том числе крупнейшие нефтеперерабатывающие и автомобильные компании. В нашей стране водородной энергетикой занимается Госкорпорация Росатом, которая имеет одну из глобальных целей в этой области. Исследуются различные способы производства водорода, в том числе атомными и гидроэлектростанциями, что позволит обеспечить более равномерную их суточную и сезонную загрузки. Разрабатываются новые материалы для безопасного транспортирования и хранения водорода в различных сферах потребления. Изделия с топливными элементами на водороде уже появляются на международных рынках.

Нашей проектной группой рассмотрен вариант производства водорода методом электролиза. Данный метод является наиболее известным и наиболее исследованным способом получения водорода. Он обеспечивает получение чистого продукта 99% H<sub>2</sub>. Экономика процесса в основном зависит от стоимости электроэнергии.

**Установка для получения водорода методом электролиза** состоит из емкости, в которой находится электролизёр. На крышке емкости размещен клапан для выхода газа. В электролизёр опущены две решетки. К одной из них от элемента питания постоянного тока подводится положительный заряд (катод), к другой решетке отрицательный (анод). Для получения чистого водорода газ из емкости с электролизером пропускается через два водяных затвора. Схема установки представлена на рисунке 2.



*Рисунок 2 – Схема установки по производству водорода*

Для достижения поставленных задач собрана экспериментальная установка по производству водорода.

Установка состоит:

- Емкость для электролизера;
- Набора электродов;
- Элемента питания постоянного тока (сварочный аппарат);
- Два водных затвора.

В качестве трубок, соединяющих клапан выхода газа и водные затворы использовались трубки от инфузионного устройства (капельницы).

Проведено три экспериментальных исследования, в которых в качестве электролизера использовались:

- 1) вода;
- 2) раствор поваренной соли ( $\text{NaCl}$ ) в концентрации 5%;
- 3) раствор пищевой соды ( $\text{NaHCO}_3$ ) в концентрации 5%.

Сравнительный анализ по выделению водорода из разных электролизеров проводился по скорости опустошения перевернутой мерной пробирки емкостью 15 мл заполненной водой. На рисунке 3 представлено время опустошения мерной пробирки при использовании разных типов электролизеров.

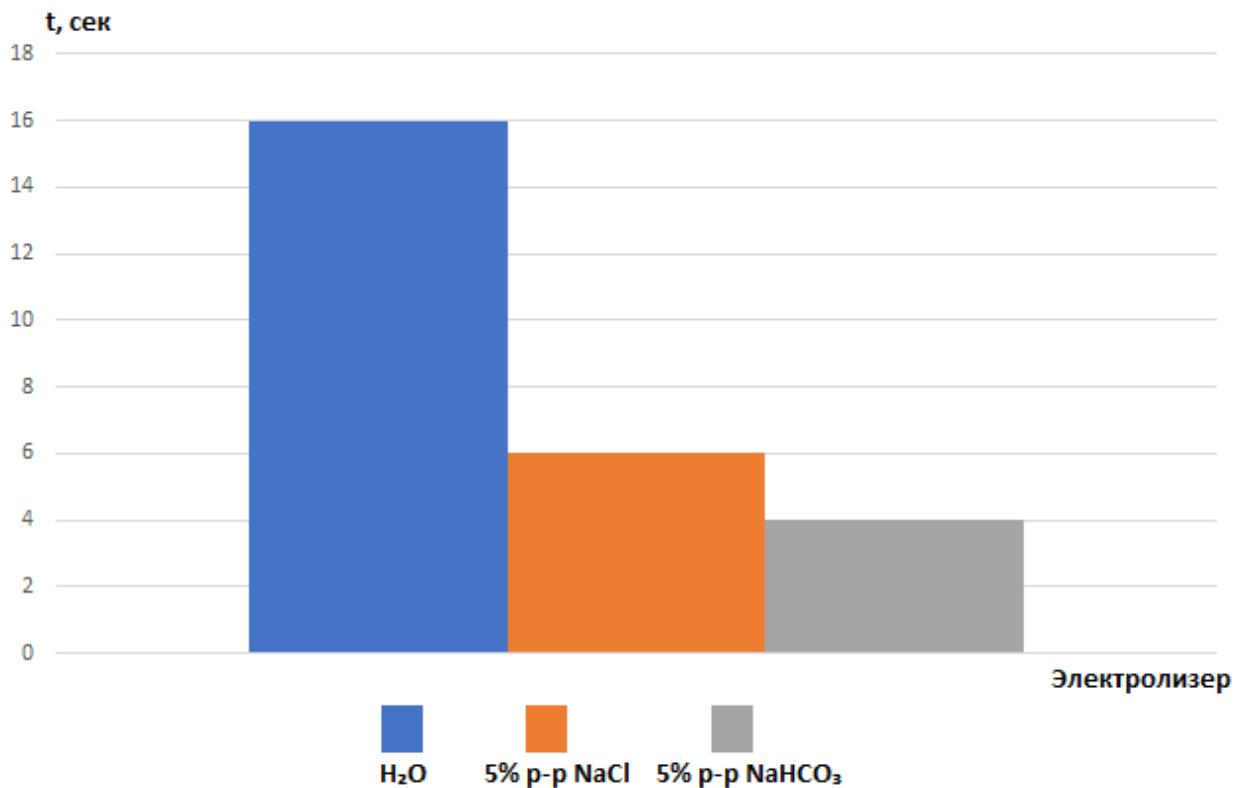


Рисунок 3 – Время опустошения мерной пробирки при использовании электролизеров ( $H_2O$ ,  $NaCl$ ,  $NaHCO_3$ )

Как видно из рисунка 3 5%-ые растворы  $NaCl$  и  $NaHCO_3$  показали выработку водорода в несколько раз большую по сравнению чистой водой.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование в качестве **электролизеров растворов щелочного типа является оправданным.**

Для достижения второй задачи проекта проведено экспериментальное исследование с использованием в качестве электролизера воды. Сила тока менялась в пределах от 15А до 170 А.

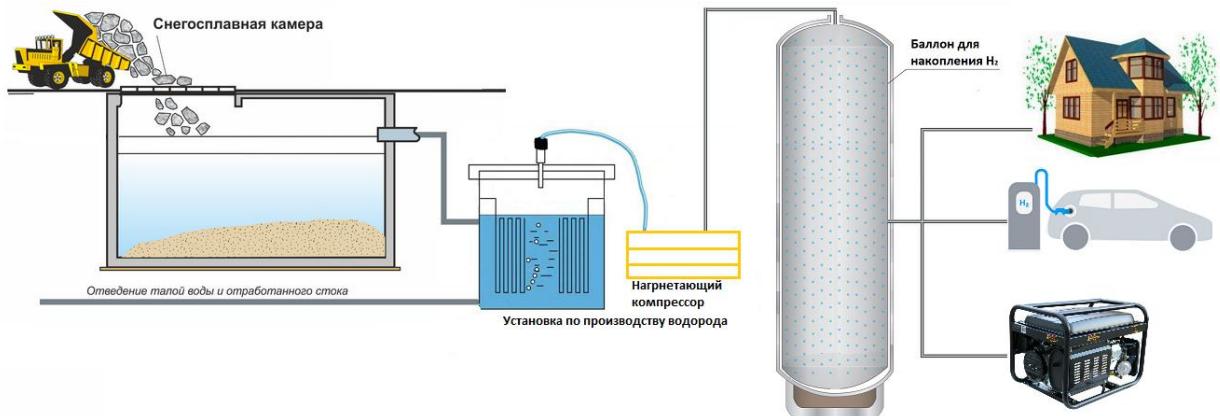
Сравнительный анализ проводился по тем же критериям, как и для определения влияния электролизера на объем выделяемого водорода. Однако **зависимости силы тока на объем выделяемого водорода установить не удалось, так как для исследования было доступно напряжение сети 220 В.** Согласно [1] расход электроэнергии определяется по формуле:

$$A=Uq \quad (1)$$

где  $A$  – работа тока (расход электроэнергии), Вт·ч;  $U$  – напряжение, В;  $q$  – количество электричества, Кл.

При анализе входящих в состав формулы (1) величин видно, что на расход электроэнергии наибольшее влияние оказывает величина напряжения, а не сила тока.

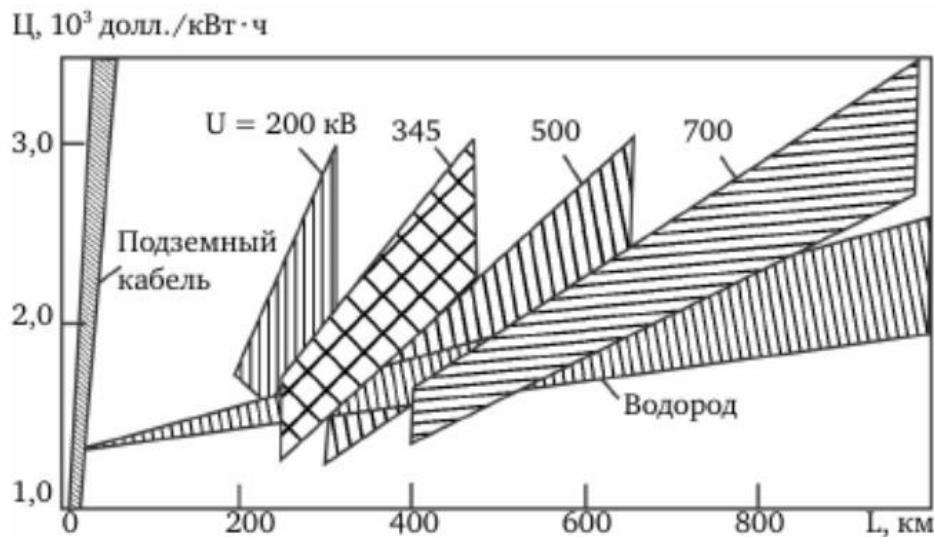
Как отмечалось выше, использование водорода в качестве топлива является абсолютно безопасным, так как при сжигании водорода выделяется только водяной пар. Проведя обзор современного использования водорода, нами предложен вариант компактной водородной энергетической станции (КВЭС). На рисунке 4 представлена схема КВЭС.



*Рисунок 4 – Принципиальная схема КВЭС*

Компактная водородная станция по своим размерам не будет превышать размер кузова грузового автомобиля. Предполагается, что в зимнее время года КВЭС можно использовать в качестве снеготаялки, т.е. разместить ее в каждом дворе. Путем плавления снега будет получаться вода, а, с учетом применения коммунальными службами пескосоляной смеси в качестве реагента, то вместо талой воды будет получаться щелочной раствор слабой концентрации. Нами установлено, что даже 5% -ый раствор поваренной соли дает существенный объем выработки водорода по сравнению с чистой водой. После снегоплавилки вода попадает в электролизер, где электролизом получается водород. После этого водород проходя через нагнетательный компрессор попадает в накопительный бак, где происходит нагнетание давления до величины 20 - 30 МПа.

После накопительного бака водород по трубопроводам поступает в жилые помещения, оборудованные индивидуальными отопительными приборами. Согласно [1] стоимость передачи водорода в несколько раз ниже стоимости передачи электроэнергии (рис.5).



*Рисунок 5 – Зависимость стоимости передачи энергии кабелем при заданном напряжении тока  $U$  и по водопроводу от расстояния  $L$*

Трубопроводный транспорт водорода обладает еще и тем преимуществом перед передачей электроэнергии, что водород легко накапливать и хранить в подземных хранилищах под давлением, и передавать потребителю по их требованию в определенное время и в дозированных количествах. На сегодняшний день водородные трубопроводы функционируют в основном возле крупных потребителей этого газа, например нефтеперерабатывающих заводов. Самым протяженным считается трубопровод между Бельгией и Францией – 400 км [3].

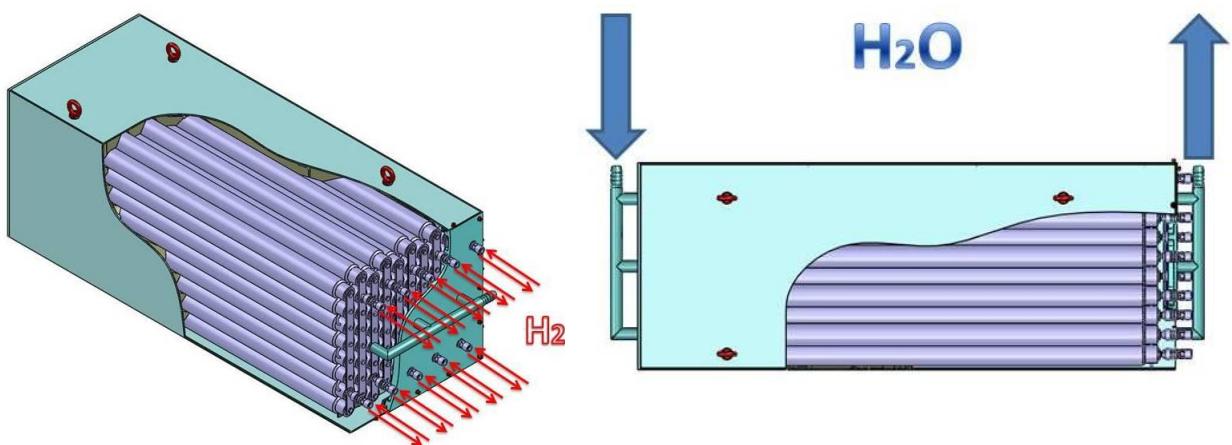
Водород является очень летучим и легко проходит через микротрещины и неплотности соединений трубопроводов. Однако, утечки водорода не представляют большой опасности, в отличии от утечек природного газа. Утечка водорода может быть в 2,5 – 2,8 раза больше, чем природного газа, но их энергетический эквивалент будет меньше [1].

Благодаря тому, что газопроводы природного газа фактически могут служить неограниченное время и могут быть использованы для транспортировки водорода и его смесей, большинство условий, которые понадобятся в будущем для распределения водорода, к настоящему времени уже созданы. Водород может стать самым дешевым способом передачи энергии на далекие расстояния [3].

По второму трубопроводу водород направляется на автомобильную водородозаправочную станцию, на которой могут заправляться как грузовой транспорт, привозящий снег на снегоплавилку, так и общественный и личный транспорт. Средняя скорость заправки водородом не будет превышать скорость заправки углеводородным топливом, и существенно быстрее зарядки электромобиля.

В 2008 году коллективами ученых РФЯЦ-ВНИИЭФ и НИИФ СПбГУ разработан лабораторный образец автомобильного металлогидридного бака по схеме «Плоский ящик» [6].

В основу конструкции «Плоский ящик» (рисунок 6) положен набор трубчатых элементов, содержащих внутри металлогидрид. Каждый элемент состоит из трубы - силового стального корпуса, в который внутри засыпан или запрессован металлогидрид. Для улучшения подачи и отвода водорода, а также для обеспечения необходимого теплового режима внутри корпуса, трубчатые элементы могут оснащаться набором дополнительных устройств.



*Рисунок 6 – Схема бака «Плоский ящик»*

По предварительным оценкам основные характеристики для лабораторного образца бака по схеме «Плоский ящик» составляют:

- Масса бака с теплоносителем ~ 679 кг,
- Масса конструкции ~ 307 кг,
- Масса металлогидрида ~ 372 кг,
- Масса водорода ~ 8,1 кг.

Для отвода тепла от металлогидрида при заправке бака используется жидкий теплоноситель с начальной температурой  $\approx 10^{\circ}\text{C}$  и теплофизическими характеристиками воды. В составе бака размещаются только теплообменные элементы системы охлаждения. В составе бака не предусматривается специальная система нагрева. Принимается, что металлогидридная система  $(\text{Ti}_{0,9}\text{Zr}_{0,1})_{1,1}\text{CrMn}$  обеспечивает потребности автомобиля по давлению и расходу  $\text{H}_2$  во всем температурном диапазоне эксплуатации автомобильного транспорта (от  $-50$  до  $60^{\circ}\text{C}$ ) с использованием тепла, утилизируемого от блока топливных элементов, с максимальной температурой не более  $80^{\circ}\text{C}$ . Данная схема наиболее технологична и обеспечивает эффективный съем тепла при заправке бака водородом.

По третьему трубопроводу водород будет поступать на газовую турбину или топливный элемент для выработывания электроэнергии, которая впоследствии может быть использована для процесса электролиза. Для получения водорода из воды при электролизе требуется как минимум столько же энергии, сколько ее выделяется при сгорании водорода. Однако не вся энергия должна поступать в виде электроэнергии – можно использовать в электролизерах и тепловую энергию воды. Чем выше температура, тем больше вклад тепловой и меньше электрической энергии. При сгорании водород полученный электролизом, характеризуется низким содержаниемдейтерия, и при его сжигании образуется вода с более низким содержанием тяжелой воды, чем в обычной воде. Установлено, что применение воды с пониженным содержанием D<sub>2</sub>O ускоряет прорастание семян зерновых культур, рост ряда растений, повышает их урожайность. Таким образом, в результате работы КВЭС образуется ценная для сельского хозяйства вода.

*Исходя из высказанного, если не считать, что для запуска станции на начальном этапе необходима электроэнергия, то станция абсолютно автономная и работает по замкнутому циклу. К тому же абсолютно экологична, что позволяет ее использовать непосредственно во дворах современных жилых комплексов.*

*В настоящее время себестоимость производства водорода из воды (различные виды электролиза) в 3–6 раз выше себестоимости получения водорода из природного газа. Однако при наличии избытков «чистой» энергии (в атомной энергетике, при использовании ветро- и солнечных электростанций) КПД электролизного производства водорода может достигать 25 % в полном цикле, и в этом случае использование водорода в качестве энергоносителя можно считать оправданным.*

По результатам проведенных работ можно сделать следующие **выводы**:

1. Проведен обзор литературы и кратко изучено историческое развитие водородной энергетики, промышленные способы получения водорода;
2. Собрана экспериментальная установка по получению водорода с использованием электролиза воды. Проведенные экспериментальные исследования показали, что электролизеры щелочного типа дают выработку водорода в разы больше, чем вода;
3. Предложен вариант компактной водородной энергетической станции, которую предлагается устанавливать во дворах современных жилых комплексов;
4. Потенциальными заказчиками проекта являются все люди.

## Список использованной литературы

1. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: справочник. М.: Химия 1989.
2. Кулешов А.С., Гордин М.В., Марков В.А., Барченко Ф.Б., Карпец Ф.С. Расчетное исследование рабочего процесса двухтопливного водородного двигателя. Двигателестроение, 2022, № 3 (289)
3. Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике: учебное пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014.
4. Лаврус В.С. Источники энергии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://lib.ru/NTL/rel03\\_w6.txt](http://lib.ru/NTL/rel03_w6.txt).
5. Гайворонский А.И., Гордин М.В., Марков В.А., Карпец Ф.С. Технологии промышленного получения водорода и его использования в транспортных энергетических установках. Двигателестроение, 2022, № 1,
6. Годовой технический отчет. «Разработка металлогидридного бака для автотранспортных средств», А.А. Юхимчук, В.Г. Рогачев. Саров, 2008.