

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»

(наименование кафедры)

13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки)

Энергетические комплексы и системы управления

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему _____

Гибридная система энергообеспечения малой мощности

Студент

М.Д. Пеньшин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

Д.А. Павлов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

к.т.н., доцент Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« » 2018 г.

Допустить к защите

Зав. кафедрой «ЭМиСУ»

к.т.н., доцент Д.А. Павлов

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

(личная
подпись)

« » 2018 г.

Тольятти 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Гибридные системы энергоснабжения.....	9
1.1. Состав гибридной системы энергоснабжения.....	11
1.2. Аккумуляторные батареи.....	17
1.3. Солнечные панели.....	19
1.4. Ветрогенераторы.....	21
1.5. Энергоустановки для автономного энергоснабжения	24
2. Применение водорода	29
2.1. Водород.....	29
2.1.1. Получение водорода	31
2.1.2. Получения водорода путем конверсии природного газа...	32
2.1.3. Получение водорода газификацией угля.....	32
2.1.4. Ядерные реакторы для получения водорода.....	33
2.1.5. Получение водорода из биомассы.....	33
2.1.6. Получение водорода методом электролиза.....	34
2.2. Хранение водорода.....	36
2.2.1. Гидридная система хранения водорода.....	38
2.2.2. Технико-экономическая оценка различных вариантов хранения водорода.....	39
2.3. Добавка водорода в ДВС.....	42
3. Расчет гибридной системы энергоснабжения	50
3.1. Описание гибридной системы энергообеспечения.....	50
3.2. Расчет потребляемой электроэнергии и пиковой мощности потребителем.....	51
3.3. Выбор резервной установки энергообеспечения для гибридной установки энергообеспечения.....	63
3.4. Анализ стоимости установки в зависимости от ее	

МОЩНОСТИ.....	64
3.5. Обоснованность выбора.....	67
3.6 Конвертирование на водород	68
3.7 Экономический расчет.....	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	73
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	76
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	82
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	83
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	84

ВВЕДЕНИЕ

«Россия изобилует потребителями, проживающими в труднодоступных районах (малые города, поселки), которые изолированы от существующих энергосетей или испытывают затруднения с постоянным снабжением электроэнергией. Для решения данных проблем необходима установка автономного энергообеспечения. По состоянию на сегодняшний день, стационарными источниками энергоснабжения являются дизель-генераторы, работающие на углеводородном сырье. В условиях работы с переменным графиком нагрузки на электросеть, дизель-генераторы не эффективны, в связи высокими показателями удельного расхода топлива при работе в режиме с низким КПД, что приводит к увеличению затрат на топливо и обострению экологических проблем. Также, важным недостатком дизель-бензо генераторов является проблема доставки топлива. Так, по некоторым сведениям, стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, получаемой от дизельных установок мощностью до 100 кВт в отдаленных районах Якутии, куда доставка топлива затруднена и сопровождается существенными экономическими затратами, достигает по разным оценкам от 25 до 86 60 руб./(кВт·ч). На сегодняшний день разница указанного значения и средней стоимости электроэнергии в центральном районе России 4,50 руб./(кВт·ч) является колоссальной»[1]. В настоящее время использование альтернативных источников является экономически нецелесообразным в районах с развитой структурой традиционной энергетики. Однако для удаленных регионов, в том числе и частного сектора, открывает перспективу использования возобновляемых источников энергии, с помощью гибридных систем. Функция гибридных систем заключается в поставке электрических мощностей и энергии для отдельных клиентов или сочетания постоянных клиентов. Эта подсистема генерирования должна быть способна выполнять свои функции, несмотря на непредвиденные обстоятельства, связанные с наличием возобновляемых источников и/или органических энергетических

ресурсов, обеспечивать выполнение по нормам потребления клиентов. Гибридная система – установка с несколькими источниками электрической энергии (генераторами), использующими не менее двух разных технологий производства электроэнергии [2]. Технические задачи, поставленные перед такой установкой, можно разделить на следующие основные моменты:

1) Производство и накопление энергии экономически выгодным способом;

2) Если используют ВИЭ:

- отдавать предпочтение использованию ВИЭ, где это локально доступно;

- накапливать энергию от ВИЭ, когда они доступны;

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

В общем случае гибридная система, которая представлена на рисунке 1, будет состоять из: 1 – Ветрогенератора и солнечной батареи. 2. –Блока аккумуляторов. 3. –Резервного жидкотопливного генератора. 4. – Блока бесперебойного питания

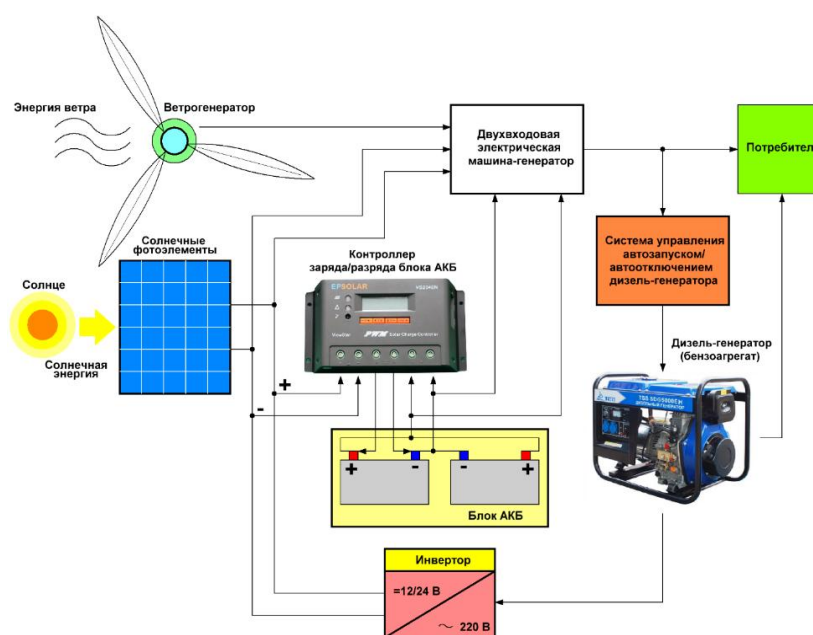


Рисунок 1 Состав гибридной системы [3]

В большинстве районов приход солнечной радиации и наличие ветра находятся в противофазе (т. е. когда светит яркое солнце, чаще всего отсутствует ветер, либо же когда дует сильный ветер, то имеется нехватка солнечной радиации) [3]. В источнике [4] говорится, что «для обеспечения бесперебойного электроснабжения автономного объекта, уменьшения необходимой мощности ветрогенератора и солнечной батареи и емкости аккумуляторной батареи, улучшения режимов работы станции во многих случаях целесообразно использование гибридной ветросолнечной электростанции. Особенно значительные преимущества гибридных станций при круглогодичном использовании. При этом в зимнее время основная выработка электроэнергии приходится на ветроэлектрическую установку, а летом – на солнечные фотоэлектрические модули. Солнечные и ветровые энергетические технологии, экологически чистые и доступные, вполне могут заменить или дополнить традиционные способы получения энергии, связанные с использованием автономных генераторов. Последнее реализуется посредством гибридных энергоустановок (ГЭУ), объединяющих технологии использования возобновляемых источников энергии, дизель-генераторов, электронакопительных устройств, и предназначенных для использования преимущественно для энергоснабжения автономных потребителей. Такая система увеличивает возможности для повышения экологической безопасности и экономии топлива двигателем внутреннего сгорания за счет обеспечения его более эффективной работы в условиях изменяющегося графика нагрузки, напрямую связанного с потребностями в электроэнергии в различное время суток. Анализ существующих разработок систем автономного энергообеспечения и характеристик производимого оборудования позволил выявить основные тенденции развития данной области, сформировать перспективное направление практической реализации энергоэффективной ГЭУ при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ»[4].

Целью диссертационной работы является выбор наиболее эффективной

резервной установки для работы гибридной системы энергообеспечения малой мощности.

В процессе исследования выполнялись следующие задачи:

– Произведен анализ гибридных систем энергоснабжения.

– Проанализирован рынок БГ, ДГ, ГГ.

– Разработана схема электроснабжения удаленного объекта на базе бензогенератора в качестве резервного источника энергоснабжения, использующего в качестве топлива водород.

– Рассчитаны необходимые мощности СБ, ВГ и БГ для обеспечения электроэнергией объекта.

Объектом исследования является резервный источник гибридной системы энергообеспечения для удаленного энергопотребления.

Предмет исследования: применение в бензогенераторе водорода как монотопливо.

Научная новизна работы:

– Определен наиболее эффективный резервный источник для гибридной системы энергообеспечения малой мощности.

– Переведен резервный источник электроэнергии с классического топлива на водород.

Практическая значимость работы:

– результат работы позволяет оценить возможность применения данного метода.

Апробация работы: Основные положения работы были представлены в виде доклада на научно-практической конференции.

Публикации. По теме диссертации были опубликованы 2 работы в агентстве международных исследований.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, вывода и приложений. Объем диссертации составляет 84 страницы, включая 33 рисунка, 18 таблиц и 3 приложения.

В работе приведены результаты обзора открытой литературы, работ, проводимых по теме применения водорода как топлива в ДВС.

Результаты работы позволяют сделать выводы о возможности и эффективности применения данного метода.

1. Гибридные системы энергоснабжения

Из-за большого расстояния между населенными пунктами или труднодоступности, не всегда имеется возможность провести линии электропередач. Поэтому в данной работе рассматривается возможность применения гибридной системы энергообеспечения на базе поршневого ДВС с принудительным воспламенением, работающего на водороде.

Топливом для выработки электроэнергии удаленных объектов в основном является керосин, который необходимо доставлять. Соответственно цена такого топлива вырастает в несколько раз.

Для таких объектов целесообразнее применение возобновляемых источников электроэнергии, таких как солнечные панели, ветряные генераторы и т.д.

Такие источники электроэнергии получили в последнее время наибольшее распространение. В частности, ООО "Инфомайн", ООО «ЭкоСельЭнерго» и другие. Основным недостатком таких возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ), является зависимость от внешних условий (ночь, слабый ветер, тучи). Решить указанную проблему позволяет применение АКБ. Однако АКБ не эффективны при длительном хранении энергии, относительно дорогие, ухудшение работы при высоких температурах, снижение емкости при использовании на морозе. Альтернативной. Однако АКБ также имеют свои недостатки, такие как: низкая эффективность при длительном хранении энергии, ухудшение работы при высоких температурах, снижение емкости при использовании на морозе, а также относительная дороговизна. Альтернативой “классической схемы” может является применение водородных технологий. Такие системы позволяют экономить топливо (и транспортные расходы по его доставке), и при этом улучшают местную экологию, эскиз такой автономной гибридной установки представлен на рисунке 2.

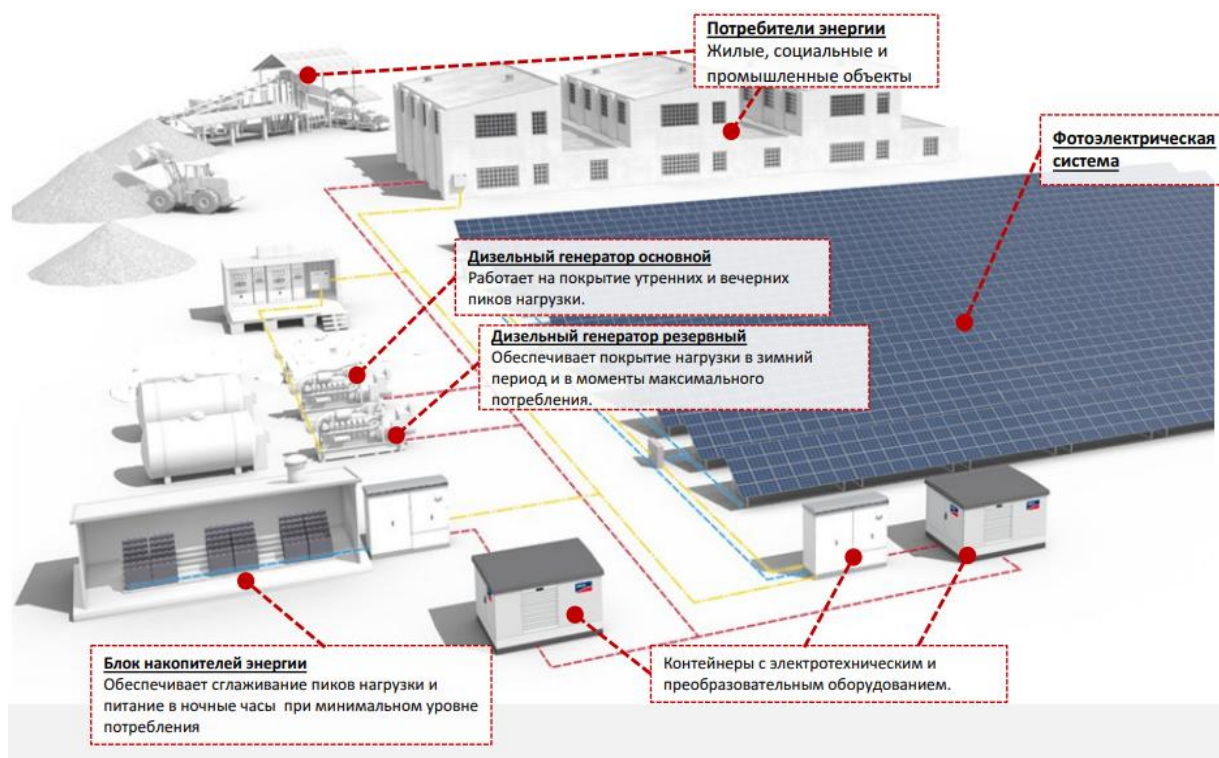


Рисунок 2- Эскиз автономной гибридной установки [5]

Термином «гибрид» обозначается, что установка включает комбинирование двух видов систем, которые выдают одинаковые или похожие результаты. Гибридная система энергообеспечения (ГСЭ) состоит из фотоэлектрической системы (солнечной электростанции), бензо- или дизель-генераторов и системы интеллектуального управления, которая следит за тем, чтобы количество сгенерированной солнечной энергии в точности соответствовало спросу на неё в текущий момент. Солнечная электростанция дополняет генераторные установки. Она может обеспечивать дополнительную энергию при высоких нагрузках или разгружать генераторную установку, чтобы минимизировать расход топлива. Далее избыточная энергия может храниться в аккумуляторных батареях, что позволяет гибридной системе использовать больше солнечной энергии даже ночью. Интеллектуальное управление различными компонентами системы обеспечивает оптимальную экономию топлива и минимизирует выбросы углекислого газа.

1.1. Состав гибридной установки энергообеспечения

Рассмотрим состав гибридной системы на базе дизель-солнечной электростанции, с использованием оптимизатора топливных ресурсов, который представлен на рисунке 3.

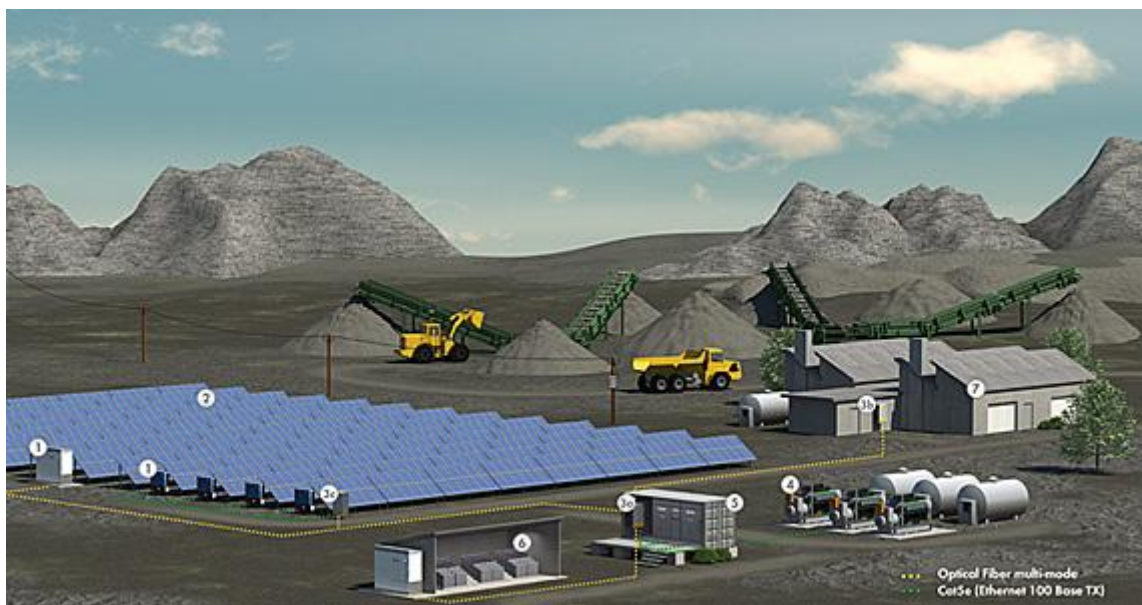


Рисунок 3 - Состав гибридной установки энергообеспечения [6]

1. Солнечные инверторы
2. Массив солнечных панелей
3. Оптимизатор топливных ресурсов
4. Дизель-генераторная установка
5. Аккумуляторный банк
6. Блок управления генераторными установками
7. Промышленные потребители и нагрузки

1) Сетевой солнечный инвертор

Сетевые инверторы являются одними из основных компонентов системы экономии топлива, разработанные специально для использования в энергосетях низкого напряжения, они прекрасно выдерживают колебания частоты и напряжения. Они также остаются чрезвычайно эффективными в

суровых условиях окружающей среды, таких как повышенная или пониженная температура, влажность, соленый воздух и т.д. Существует два типа сетевых инверторов — центральные (central) и цепочечные (string). Оба типа могут быть использованы в гибридной электростанции.

Фотоэлектрическая электростанция на центральном инверторе содержит только один силовой ввод в главное устройство, где постоянный ток преобразуется в переменный. В солнечных электростанциях на цепочечных инверторах суммарная мощность фотоэлектрической установки делится на множество подсистем, каждая из которых преобразует постоянный ток солнечных панелей в переменный своим цепочечным инвертором. Оба варианта эффективно работают и выполняют функции управления энергосетью.

Инверторная подстанция (Центральный инвертор)

Выбор между системой на центральных или цепочечных инверторах зависит от множества факторов. Необходимо учитывать и затраты на установку системы, и эксплуатационные расходы. Например, техническое обслуживание системы на цепочечных инверторах не очень трудоемкое, даже в труднодоступных районах. Если требуется обслуживание, местные электрики легко могут заменить отдельные инверторы. Однако, для централизованной энергосистемы удаленный мониторинг параметров гораздо проще.

2) Массив солнечных панелей

Солнечная энергия вырабатывается солнечными батареями (фотоэлектрическими модулями), которые могут быть установлены на земле или на крыше в зависимости от местных условий. Сетевые инверторы совместимы со всеми типами фотоэлектрических модулей и технологиями, которые в настоящее время доступны на рынке.

3) Оптимизатор топливных ресурсов

Оптимизатор топливных ресурсов обеспечивает идеальное взаимодействие между генераторными установками, фотоэлектрическими системами и нагрузками, управляя необходимым потоком солнечной энергии, поступающим в дизельную энергосистему. Являясь центральным звеном в системе оптимизации потоков энергии, он обеспечивает максимальную безопасность, позволяет сократить расходы на топливо и минимизирует выбросы CO₂. Наилучшие показатели эффективности системы и экономии топлива достигаются, как правило, при мощности СЭС, равной 60% мощности имеющейся генераторной установки.

Оптимизатор топливных ресурсов состоит из трех модулей:

- Главный модуль контроля солнечной энергосистемы. Управляет мощностью фотоэлектрической установки, передаваемой в дизельную энергосистему. Обеспечивает оптимальное количество необходимой солнечной энергии путем оценки текущего состояния генераторной установки и общей нагрузки.
- Интерфейсный модуль. Записывает и передает данные и заданные значения и выступает в качестве интерфейса связи между главным модулем контроля СЭС и инверторами.
- Модуль сбора данных. Быстро и точно анализирует текущую нагрузку и выходные параметры сеть и передает данные в главный модуль контроля солнечной энергосистемы.

4) Дизель-генераторная установка

В регионах, удаленных от централизованных сетей, дизель-генераторные системы часто обеспечивают электроэнергией промышленные предприятия. Они формируют локальную энергосеть, обеспечивая постоянный источник питания для всех подключенных потребителей. Поскольку генераторные установки требуют постоянного снабжения топливом, эксплуатационные расходы на них чаще всего самые высокие. В

регионах с частыми отключениями электроэнергии или нестабильными выходными параметрами по частоте и напряжению дизель-генераторные установки часто служат дополнительным источником энергии при отключении электросети.

5) Блок управления генераторными установками

Блок управления генераторными установками – это центральный терминал контроля, управления и синхронизации с другими генераторными установками.

6) Аккумуляторный блок

Для повышения эффективности всей системы энергоснабжения целесообразно включать в неё блок аккумуляторных батарей. Когда солнечная интенсивность недостаточна или требуется дополнительная энергия после наступления темноты, аккумуляторная батарея сможет обеспечивать недостающую мощность, гарантируя оптимальную работу гибридной системы.

7) Промышленные потребители и нагрузки

Конкретные виды потребителей, например, мощные промышленные станки для добычи или переработки сырья, а также для сельскохозяйственного использования, как правило, обладают высокими пусковыми токами и широкими колебаниями графика нагрузки. Интеллектуальное управление системой гарантирует, что текущая генерация и нагрузка в любой момент будут подобраны идеально. Система обеспечивает постоянную стабильность, быстро реагируя на скачки генерации и нагрузки, к примеру, когда включаются мощные потребители, такие как промышленные насосы, компрессора, конвейерные ленты.

Актуальность использования установки

Для электрификации мощных промышленных комплексов или поселений в отдаленных регионах идеальным решением будет интеграция в дизель-генераторные установки солнечной электростанции. Это может быть крайне актуально и целесообразно при следующих условиях:

- Когда стоимость дизельного топлива с учетом доставки и хранения превышает 50-55 р. за литр.
- Когда используется блок управления для коммуникации между генераторными установками и фотоэлектрическими подсистемами, который облегчает использование необходимой солнечной энергии.
- Когда локальная инсоляция позволяет максимально использовать фотоэлектрические системы (особенно экономически выгодные условия с коэффициентом ежегодной генерации выше 1500 кВтч / кВтп).

В глобальном масштабе уже реализованы сотни таких проектов. Например, один из последних и крупнейших — это проект компании «Тесла» на острове Кауаи (штат Гавайи, США), где установлена солнечная электростанция мощностью 13 мегаватт и накопители энергии ёмкостью 52 мегаватт-час, что позволяет экономить 6 млн. литров дизельного топлива в год. Подобные проекты реализуются и в России. Автономные гибридные энергоустановки (АГЭУ) устанавливает в регионах страны ГК «Хевел», единственный в РФ производитель солнечных панелей полного цикла на сегодняшний день. Проекту компании под названием «Создание локальных и интегрируемых в ЕЭС источников энергоснабжения на основе высокоэффективных солнечных элементов и модулей по технологии НТТ» присвоен статус национального [6].

Рассмотрим, как работает эта техника на примере недавно реализованного проекта ГК «Хевел». Раньше энергоснабжение в селе Менза Забайкальского края, с населением примерно 350 человек, осуществлялось

посредством старой дизельной электростанции, состоящей из генераторной установки мощностью 315 кВт и вспомогательной генераторной установки мощностью 250 кВт китайского производства. Пиковая нагрузка данной установки составляет примерно 200 кВт, потребление электроэнергии в месяц: порядка 28 тысяч киловатт-часов. Что недостаточно для круглосуточного обеспечения электроэнергией. Удельный расход топлива составлял примерно 0,55 кг на вырабатываемый кВт·ч, а себестоимость киловатт-часа достигала 86 рублей. Поэтому вся разница (более 80 руб./кВт·ч) ложилась на бюджет региона. Новая электростанция в форме автономной гибридной энергоустановки (АГЭУ) состоит из двух дизельных генераторов по 200 кВт каждый, один из которых резервный, фотоэлектрических солнечных модулей суммарной мощностью 120 кВт, накопителя энергии ёмкостью 300 кВт·ч (литий-железо-фосфатные LiFePO₄ аккумуляторы производства «Лиотех», Россия), комплекта инверторов и программного обеспечения, позволяющего управлять АГЭУ полностью в автоматическом режиме. Оборудование настроено таким образом, что в локальную сеть в приоритетном порядке поступает электроэнергия, вырабатываемая солнечной электростанцией. Во вторую очередь «включаются» аккумуляторные батареи, затем — дизельная установка. Аккумуляторы выполняют роль буфера для солнечной энергии, и помогают сдвигать её потребление на вечерние часы. Кроме того, с их помощью оптимизируется загрузка ДГУ, что способствует продлению ресурса дизельного генератора. Удельный расход топлива снизился с 0,55 до 0,24 кг / кВт·ч, по расчётам, в данном проекте работа АГЭУ позволит сократить выбросы CO₂ на 500 тонн в год [6].

Гибридные фотоэлектрические дизельные системы могут окупиться достаточно быстро, особенно в солнечных регионах с ограниченным доступом или без доступа к централизованным энергосетям. Данная технология в сочетании с дизельными агрегатами максимизирует использование солнечной энергии. Для таких отраслей, как

горнодобывающая промышленность, переработка сырья, сельскохозяйственная промышленность (цветочные фермы и системы обессоливания воды), туризм (туристические объекты с высоким спросом на электроэнергию и ограниченным доступом к городским сетям) готовность к использованию, максимальная надежность и доступность являются фундаментальными. Экологические преимущества также внушительны: выбросы CO₂ и шумовое загрязнение значительно сокращаются, сводя к минимуму воздействие на окружающую среду.

1.2 Аккумуляторные батареи

Аккумуляторные батареи (АБ) – считаются наиболее простыми и экономически эффективными накопителями электроэнергии. АБ при работе бесшумны, не являются источниками загрязнения окружающей среды. Объём энергии накопленный в них может быть увеличен за счет увеличения их количества. Имеют сравнительно небольшие габариты, что позволяет устанавливать их без затруднений, практически в любых местах.

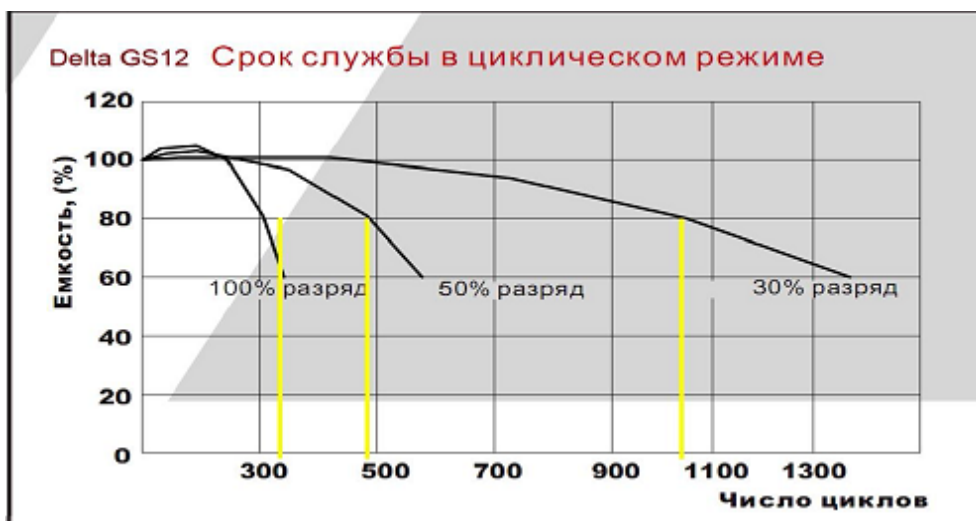


Рисунок 4 –Срок службы свинцово-кислотная гелиевая АБ (Delta GS12-180) от полноты разряда [7].

Но АБ имеют недостатки, жизненный цикл, выраженный в ограниченном количестве разряд-зарядов, который зависит от глубины

разряда, чем глубже разряд, тем меньше жизненный цикл батареи и температуры внутри батареи, отклонение от нормы повлечет к уменьшению срока службы. Пример срока эксплуатации АБ (Delta GS12-180) приведен на рисунке 4, срок службы значительно падает при большей глубине разряда [7].

В таблице 1 приведены основные характеристики аккумуляторных батарей [7].

Таблица 1 - Основные характеристики аккумуляторных технологий [7].

Тип аккумулятора	к.п.д. (%)	Стоимость (€/кВт)	Количество циклов до определенного разряда (%)	Рабочая температура (°C)	Уд. энергия (Вт час/кг)	Саморазряд (%/месяц)
Свинцово-кислотный (малообслуживаемый – flooded type)	72-78	50-150	1000-2000 (70%)	-5+40	25	2-5
Свинцово-кислотный (регулируемый клапаном- valveregulated)	72-78	50-150	200-300 (80%)	-5+40	30-50	2-5
Никель-кадмиевый (Ni-Cd)	72-78	200-600	3000 (100%)	-40+50	40-80	5-20
Сульфид-натриевый (NaS)	89	400-500	2500 (100%)	300+350	100	0
Литий-ионный	100	700-1000	3000 (80%)	-30+60	90-190	1
Vanadium redox (VRB) Ванадий редокс	85	360-1000	10000 (75%)	0+40	30-50	незначительный
Цинк-бромная АБ	75	360-1000	3500 (100%)	0+40	70	незначительный
Металл-воздушные	50	50-200	<100	-20+50	450-650	незначительный

Исходя из данных таблицы можно сказать, что из всех перечисленных аккумуляторных батарей наиболее перспективными для применения в

автономных системах энергоснабжения являются свинцово-кислотные АБ. «Что объясняется, прежде всего, экономическими соображениями, т.к. их стоимость сегодня более чем в 14 раз ниже стоимости литий-ионных аккумуляторов, и в 4 раза ниже стоимости никель- кадмиевых АБ» [8].

1.3 Солнечные панели

Таблица 2 – Характеристики солнечного модуля [7].

Размер, мм	Ø150 мм
Ток короткого замыкания $I_{кз}$, А	4.50÷5.32
Напряжение холостого хода $U_{хх}$, В	0.57÷0.61
Ток максимальной мощности I_p , А	4.3÷5.1
Напряжение максимальной мощности U_p , В	0.46÷0.50
Эффективность, %	13÷16

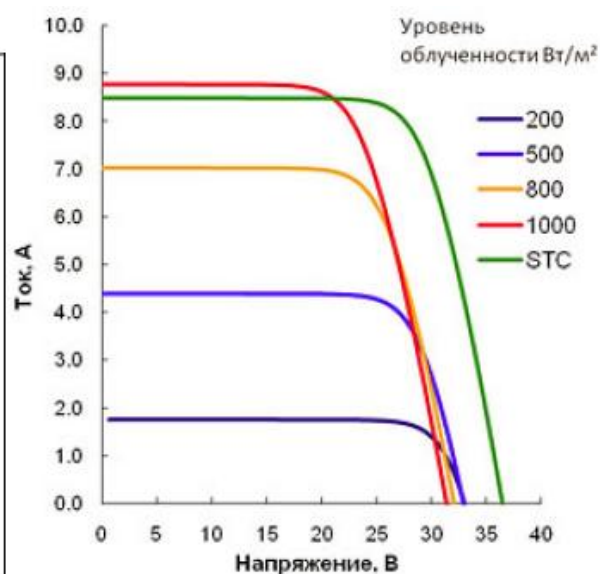


Рисунок 5 - Внешний вид и параметры солнечного модуля [7].

Солнечные станции состоят из множества фотоэлектрических батарей (СФЭС). Солнечные электростанции, известные нам как солнечные батареи, следует признать наиболее перспективным видом оборудования, которым

достигается автономная электрификация нашего частного дома. Они представляют собой специальные экологически безопасные фотоэлектрические модули, внешняя сторона которых имеет защиту из специального текстурированного закаленного стекла, в несколько раз увеличивающего поглощение солнечных лучей. Самыми долговечными моделями признаются устройства с применением кремниевых монокристаллов. Их особые свойства позволяют обеспечить работу в течение тридцати лет без снижения эффективности и количества производимой энергии.

В составе комплекта солнечной батареи устанавливается набор аккумуляторов для сохранения электрического тока и его подачи в ночное время суток, а также специальный инвертор, преобразующий ток из постоянного в переменный. Контроллер заряда при этом обеспечивает правильный режим заряда АКБ с соблюдением величин зарядных напряжений для каждой стадии и вводя температурную компенсацию напряжений. Структурная схема ФЭУ показана на рисунке 6 [14].

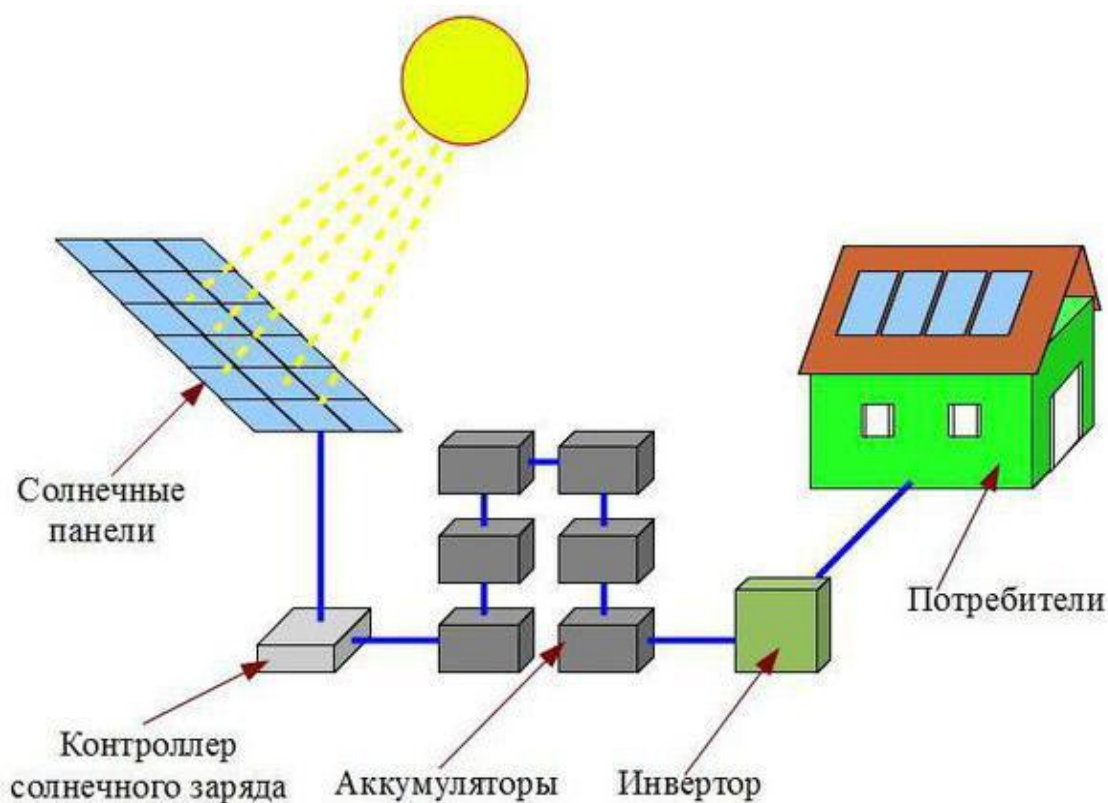


Рисунок 6 – Структурная схема ФЭУ [14]

«Основным недостатком инвертора является ограниченное время автономной работы, которое определяется емкостью аккумуляторных батарей и потребляемой мощностью. Контроллер- это прибор, который не позволяет аккумуляторам перезарядиться или разрядиться раньше времени. Блоки аккумуляирования служат для накопления вырабатываемого электричества. Основная проблема всех аккумуляторов, это малый объём ёмкости и не приспособленность к большим нагрузкам. Одна из главных причин не конкурентоспособности, это цена. Например, для установки в России автономной системы частному потребителю придётся заплатить в районе 180 тыс.руб. А рентабельность и окупаемость полностью зависит от солнечных дней в году на месте установки. Эту систему применяют для бесперебойного питания автономных систем, таких как освещение, охранная сигнализация и т.д. А также в роли основного источника энергии если потребитель находится на большом расстоянии от подстанции или совместно с проходящими линиями электропередачи» [13].

Перспективы использования солнечной энергии.

1. Неограниченный объем энергии.
2. Выработка электроэнергии не загрязняет атмосферу.
3. Система выработки такой энергии является безопасной и высоконадежной.
4. Материалы возможно перерабатывать и использовать повторно.
5. Легкость в обслуживании оборудования.
6. Использование электричества отдалённо в сельских районах.
7. Быстрая окупаемость модулей.
8. Надёжность энергоснабжения.

1.4 Ветрогенераторы

Ветроэнергетические установки представляют собой генераторы, вырабатывающие электричество от вращения лопастей пропеллера, приводимого в движение потоками воздуха. В комплекте такого генератора также предусматриваются аккумуляторы для накопления электричества и инверторная установка. Схема ветроэнергетической установки представлена на рисунке 7[15].

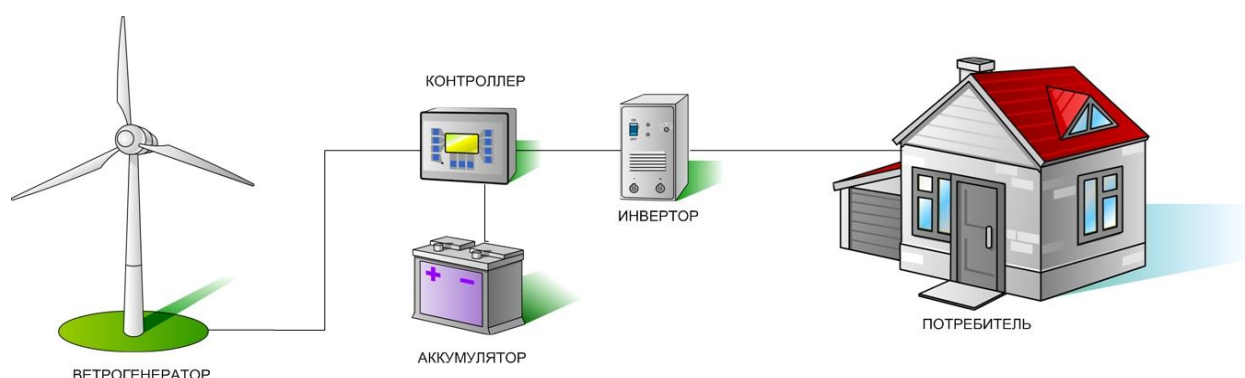


Рисунок 7 Схема ветроэнергетической установки [15]

Существенным недостатком следует признать то, что их установка в качестве постоянных систем автономного энергоснабжения, в отличие от солнечных батарей, невозможна в местах, где отсутствуют природные движения воздуха – ветер.

Ветер относят к возобновляемым, или альтернативным, источникам энергии. Общие запасы энергии ветра в мире примерно оцениваются в 170 трлн. кВт·ч, или 170 тыс. тераватт-часов (ТВт·ч), в год, что в восемь раз превышает нынешнее мировое потребление электроэнергии [16]. Ветроэнергетика – это не только традиционные ветряки, но и любые технологии преобразования ветра (кинетической энергии воздушных масс) в механическую, тепловую и электрическую энергию. Чтобы уменьшить отрицательное влияние на природу и использовать возобновляемые источники энергии в разных странах строят ветровые и солнечные

электростанции. Среди всех видов альтернативных источников энергии ветроэнергетика занимает ведущее место в сравнении с солнечными батареями по нескольким причинам: стоимость одного ветряка оценивается в 3 раза ниже, чем точно такой же мощности солнечной установки; ветер дует днём и ночью, зимой и летом, в дождь и снег, а солнце светит реже, особенно в северных регионах России; во время затяжных дождей и пасмурной погоды солнечные установки теряют свою мощность в 5-ти кратном размере; КПД солнечных установок с каждым годом эксплуатации уменьшается [17].

Каждый ветряк высотой 10-20 метров с лопастями длиной около 3 метров может при среднем ветре производить около 1-1,5 кВт электроэнергии. Исходя из аэродинамики работы ветряков и их размеров, расстояние до ближайшего ветряка должно быть около 50 метров. Таким образом, даже если мы поставим ветряки в поле с данной плотностью, то получим около 380 ветряков на один квадратный километр. Это в среднем около 450 кВт выработки электроэнергии в режиме реального времени. То есть, достаточно для проживания 200 человек. Для сравнения, одна средняя тепловая электростанция (ТЭС) занимает так же около 1 квадратного километра и производит 0,8-1,0 миллион киловатт электроэнергии, что в 1700 раз больше. При этом вред экологии на порядки выше и ТЭС необходимо топливо [19]. «Еще одной важной проблемой использования ветровых генераторов являются сильные вибрации их несущих частей, которые передаются в грунт. Значительная часть звуковой энергии приходится на инфразвуковой диапазон, для которого характерно отрицательное воздействие на организм человека и многих животных» [18].

Ветряные электростанции оптимальны при их небольшом размере и применении на территории крупных, малозаселенных площадей иного назначения. Например, электроснабжения деревоперерабатывающей промышленности, сельского хозяйства, тепличных комплексов, предприятий с большой площадью защитной территории (заводы ферросплавов, алюминиевые заводы, производство соединений тяжелых металлов,

урановые рудники и пр.). Ветряные электростанции могут покрыть около 30% потребностей в электроэнергии небольших населенных пунктов, и до 60% потребности в электроэнергии ряда выше указанных предприятий. Неоспоримым преимуществом использования ветряных электростанций является возможность их размещения в непосредственной близости от потребителя (0,5 – 10 км). Это снижает потери на сопротивление и индукцию проводников, как следствие, и вред экологии от электромагнитных полей. Наиболее перспективным является применение ветрогенераторов на территории, прилегающей к морским побережьям, где выработка электроэнергии будит, близка с выработкой традиционными источниками.

Преимущества и недостатки ветроэнергетики

Ветроэнергетика характеризуется следующими преимуществами:

- энергия ветра является доступным и возобновляемым источником энергии, запасы которого неисчерпаемы;
- отсутствие парниковых и вредных выбросов в атмосферу при производстве электрической энергии;
- небольшая площадь занимаемой территории (возможность использования земли, на которой установлена ВЭУ, для других целей, например, для сельского хозяйства);
- возможность автономного энергообеспечения удаленных и изолированных территорий.

К числу недостатков ветроэнергетики относятся:

- непостоянная и нерегулируемая выработка электроэнергии;
- более высокие капитальные издержки на единицу мощности по сравнению с традиционными тепловыми электростанциями;
- необходимость развития сетевой инфраструктуры;
- шумовое, визуальное и электромагнитное воздействие на окружающую среду и здоровье человека.

1.5 Энергоустановки для автономного энергоснабжения

«Тип электроустановки для автономного или резервного энергоснабжения определяется видом используемого двигателя, типом генератора и используемым топливом. Сегодня основными автономными источниками электроэнергии для потребителей средней мощности являются дизель электростанции (ДЭ). В местах, где имеется магистральный или привозной газ, большое распространение получили газопоршневые установки (ГПУ). Для выбора электростанции конкретного потребителя, независимого от централизованных сетей энергоснабжения и тем более при их отсутствии, следует учитывать целый ряд факторов. Один из самых важных факторов является энергетическая эффективность такой электростанции. Она определяется, прежде всего, коэффициентом полезного действия двигателя электростанции. На рисунке 8 показана зависимость электрического к.п.д. от мощности для энергоустановок различных типов» [21].

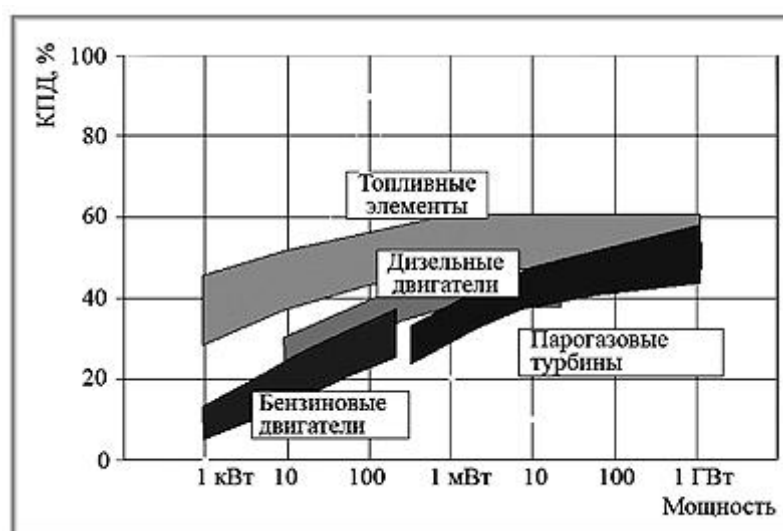


Рисунок 8 Зависимость мощности и КПД различных установок [7].

Как видно, наибольшей эффективностью для мощностей 1 МВт являются установки на топливных элементах. Их электрический КПД в

зависимости от их мощности находится в диапазоне 40-60%. Другие энергоустановки и двигатели имеют кпд в 1.5-2 раза меньше.

Кроме значения кпд, при выборе электроустановки для автономного энергоснабжения следует принимать во внимание целый ряд технических и потребительских характеристик:

- большой моторесурс;
- проведение технического обслуживания;
- эксплуатационные затраты (затраты на топливо, расходные материалы, обслуживание);
- стоимость установки;
- воздействие на окружающую среду (шум, выхлопные газы);

Дизельные электростанции

Перспективным приобретение ДГУ считается в том случае, когда требуется долговременная эксплуатация генератора в качестве основного источника электроэнергии.

Недостатки дизельного генератора.

– высокие материальные издержки при приобретении агрегата, но выработка одной условной единицы электроэнергии на таком устройстве будет более выгодной из-за меньшего расхода топлива, большего КПД и моторесурса.

– использование ДГУ в холостом режиме не допускается из-за высокого износа внутренних узлов. Рекомендуемая нагрузка – не менее 40% от номинальной мощности.

– высокое звуковое давление от работающего генератора. Данный недостаток решается установкой ДГУ в шумоизолирующий кожух.

Бензиновые электростанции

Бензо-генератор способен гарантированно обеспечить бесперебойное бесперебойного электроснабжение. Установка может служить в качестве резервного или аварийного энергоисточника. Особыми преимуществами данного агрегата является удобство в эксплуатации благодаря относительно компактным размерам и меньшем уровне шума. Но продолжительность работы данной установки находится в диапазоне времени от 2 до 12 часов, в зависимости от мощности установки и объемом топливного бака. Это обусловлено необходимостью последующего охлаждения двигателя.

Достоинства:

1. Малые габариты, небольшой вес, высокая вырабатываемая мощность
2. Простота эксплуатации.
3. Простота обслуживания.
4. относительно низкий шум при работе.
5. Минимальные требования к условиям эксплуатации (может эксплуатироваться в широком диапазоне влажности и температур).

Недостатки:

1. С экономической точки зрения, выгоднее использовать бензиновые генераторы меньшей мощности.
2. Невысокая длительность непрерывной работы генератора.
3. Необходимо предохранять агрегат от прямого попадания атмосферных осадков. При эксплуатации в помещении необходимо обеспечить хорошую вентиляцию для отвода выхлопных газов.

Газопоршневые-генераторы

«Приводом для газопоршневого-генератора такой установки является

двигатель на газу (ГПУ). Преимуществом такой системы является использование дешевого топлива., которым является природный газ, пропан, бутан. Стоимость выработки 1кВт электроэнергии такой установки меньше, чем у ДГ. Газопоршневая установка может быть как в двигателе с принудительным воспламенением, так и в двигателе с воспламенением от сжатия. Но для второго необходим впрыск запального жидкого топлива. КПД таких установок составляет 36-45%. При применении утилизации тепла отработавших газов на такой установке кпд достигает 90%. Также такая установка обладает лучшим экологическим показателем» [57].

Преимущества газогенераторных устройств

1. Удобства при транспортировке, хранении и эксплуатации.
2. Длительность энергоснабжения
3. Высокий КПД
4. Высокий моторесурс
5. Низкая стоимость выработки электроэнергии.
6. Экологичность, так как при сгорании газа уменьшается выхлопы токсичных компонентов, наносящие ущерб окружающей среде. Из-за данной особенности газовые генераторы широко распространены в жилом секторе.

Недостатки газопоршневых установок

Недостатком газопоршневых установок является сложность в монтаже и эксплуатации. Наиболее существенным ограничением является доступность топлива в определенной местности. Для транспортировки данного вида топлива применяется спецтехника или подключение к газопроводной магистрали, что увеличивает стоимость приобретения установки. Также повышены требования и со стороны контролирующих организаций, потому что газ относится к взрывоопасным смесям.

2. Применение водорода

2.1 Водород

«Водород — самый распространенный элемент во вселенной (92 %). В свободном состоянии и при нормальных условиях водород — бесцветный газ, без запаха и вкуса. Обычно существует в комбинации с другими элементами, например, кислорода в воде, углерода в метане и в органических соединениях. Поскольку водород химически чрезвычайно активен, он редко присутствует как несвязанный элемент» [54]. Сжиженный водород занимает 1/700 объема от газообразного состояния.

«Водород при соединении с кислородом имеет самое высокое содержание энергии на единицу массы: 120,7 ГДж/т. Благодаря этому его используют как топливо для ракет и в энергетике космического корабля, для которой малая молекулярная масса и высокое удельное энергосодержание водорода играют важнейшую задачу. При сжигании водорода в кислороде выделяется — тепло и вода, что делает использование водорода экологически чистым» [32].

«В связи с истощением запасов нефти особое внимание привлекают процессы глубокой переработки тяжелых фракций нефтепродуктов с целью увеличения выхода моторных топлив и нефтехимических продуктов. По этой же причине вероятно развитие процессов переработки углей и сланцев, на что потребуются большие количества водорода» [30].

«Технические трудности при использовании и высокая стоимость водорода привели к тому, что уделяется внимание разработке комбинированного топлива бензин-водород. Высокая активность водорода позволяет обеспечить работу двигателя на обедненных смесях которая представлена в таблице 2, степень обеднения зависит от количества водорода в смеси» [54].

Таблица 2 Коэффициент избытка воздуха от массового содержания водорода в топливе

Содержание водорода, % масс	0	10	20	40	100
α	1,12	1,67	2,5	3,34	5,0

2.1.1 Получение водорода

«Структура потребления водорода показана на рисунке 13, б. Как видно из данных рисунка, основными потребителями водорода (95 %) являются химическая промышленность и нефтепереработка. Водород является ключевым элементом в производстве минеральных удобрений (получение аммиака). Определяющее значение имеет использование водорода в многочисленных процессах органического синтеза, как в виде метанола, так и непосредственного реагента. Особое место водород занимает в нефтепереработке (гидрокрекинг, гидроочистка), способствуя увеличению глубины переработки сырой нефти и повышению качества конечных продуктов — углеводородных топлив с повышенной теплотворной способностью и уменьшенными вредными выбросами от их сжигания» [30].



Рисунок 13 Структура мирового производства (а) и потребления (б) водорода [29].

Из всего объема производства водорода, только лишь 5% представляет коммерческим продуктом. В основном крупные потребители водорода вырабатывают его для собственных нужд, так как это экономически выгодней, и отсутствует проблема с транспортировкой, хранением. Мировая торговля водородом ведется в ограниченных масштабах и наиболее активна в

Западной Европе, так как там имеется хот и небольшая, но довольно развитая магистральная сеть газопроводов для транспортировки водорода, для предприятий и его производству, или потреблению.

Совершенствование водородной технологии, связано с разработкой наиболее эффективных, безопасных и экономически выгодных процессов, направлено на решение проблем по его производству, хранению (транспортировки), а также использованию. Соответственно развитие технологии и ведется по данным направлениям.

2.1.2 Получения водорода путем конверсии природного газа

Данный метод основан на том, что природный газ или метан в присутствии катализатора смешивается с предварительно разогретым до температуры 750-950°C водяным паром. Больше половины водорода, получаемого промышленным путем в мире, производится способом конверсии природного газа. Стоимость водорода, полученного таким способом, находится в пределах 1,8-4,5 \$/кг. В источнике [30] также говорится, что в ближайшем будущем рассчитывать на значительное снижение стоимости водорода, полученного из природного газа не стоит, вряд ли цена опустится ниже 1,5 \$/кг. Кроме того, запасы природного газа на нашей планете ограничены, что также является проблемой.

2.1.3 Получение водорода газификацией угля

Данный способ получения водорода заключается в том, что уголь нагревается с водяным паром без доступа к воздуху до температуры 850-1300°C. Преимущества данного способа заключаются в том, что установки для получения водорода таким способом имеют довольно высокую удельную производительность, однако есть и два существенных недостатка — необходимость использования в качестве сырья угля, запасы которого

ограничены, и значительное количество углекислого газа, который является продуктом переработки и оказывает негативное воздействие на экологию. Себестоимость водорода, полученного способом газификации угля, находится в пределах 1,9-2,8 \$/кг. Как и в случае получения водорода из природного газа, рассчитывать на значительное снижение стоимости водорода, полученного из угля не стоит [30].

2.1.4 Ядерные реакторы для получения водорода

На сегодняшний день разработаны, и уже проходят тестовую эксплуатацию первые модели ядерных реакторов, специально разработанных для получения водорода. Стоимость водорода, полученного таким способом на данный момент, составляет около 2 \$/кг. Ядерные реакторы следующего поколения будут иметь большую производительность, а цена 1 кг водорода может значительно снизиться (по прогнозам — вплоть до 1,1 \$/кг) [30].

2.1.5. Получение водорода из биомассы

Основным сырьем для получения водорода путем термо- или биохимической переработки биомассы являются отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности (стружка, опилки и т.п.). При термохимическом способе водород получают благодаря нагреву биомассы до температуры 550-850°C без доступа воздуха. В качестве продуктов реакции получают водород, метан и угарный газ. При биохимической переработке выработка водорода происходит с помощью специальных бактерий *Rodobacter speriodes*, которые перерабатывают отходы (в основном используются отходы пищевой промышленности). Эти два способа получения водорода является довольно перспективным, т.к. в качестве сырья могут выступать возобновляемые источники, а то и вовсе отходы. Стоимость 1 кг водорода, полученного из древесных отходов на данный момент,

составляет 4-7\$. Водород, полученный из отходов пищевой промышленности несколько дороже, однако эксперты прогнозируют, что в ближайшие годы показатель стоимости удастся снизить до 1-1,5 \$/кг [30].

2.1.6. Получение водорода методом электролиза

Электролиз воды, который имеет на выходе кислород и водород является наиболее перспективной технологией в будущем. На данный момент из-за его высокой стоимости, (которые составляют примерно от 5 до 8\$ на производство 1 килограмма водорода), данный метод в мировом производстве водорода не превышает 5 % (рисунок 13). Наибольший интерес данная технология вызывает за счёт экологической чистоты, при условии, что выработка электроэнергии также вызывало загрязнения окружающей среды, а также широкого диапазона производительности установки (от пары литров до сотен м³ в час). Также данный метод обладает простотой эксплуатации, высокой чистотой производимого водорода и имеет ценный побочный продукт (кислород). Технология имеет широкое применение в ряде стран обладающими большим ресурсам дешёвой гидроэнергетики, в таких как Норвегия, Египет, Индия и Канада

«Из множества методов разложения воды наиболее технически разработан электролитический метод, из-за наибольшего коэффициента полезного действия от используемого электричества, который равен примерно 70%. При дальнейшем развитии технологии теоретически возможно увеличение данный показатель до 80 %, а при высокотемпературном электролизе и до 80–90 %» [30].

На данный момент существует три способа использования электролизной технологии для производства водорода, различными по типу используемого электролита и условиями проведения электролиза.

Таблица 3 Способы использования электролизной технологии для производства водорода [30].

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

2.2. Хранение водорода

«В соответствии с классификацией департамента энергетики США, методы хранения водородного топлива можно разделить на 2 группы:

Первая группа включает физические методы, которые используют физические процессы (главным образом, компрессирование или ожижение) для перевода газообразного водорода в компактное состояние. Водород, хранимый с помощью физических методов, состоит из молекул H_2 , слабо взаимодействующих со средой хранения. На сегодня реализованы следующие физические методы, хранения водорода:

Сжатый газообразный водород:

- газовые баллоны;
- стационарные массивные системы хранения, включая подземные резервуары;
- хранение в трубопроводах;
- стеклянные микросферы.

Жидкий водород: стационарные и транспортные криогенные контейнеры» [30].

Таблица 4 Параметры методов хранения водорода [29]

Способ хранения	Удельное потребление энергии, кВт·ч/кг H_2	Удельный объем хранения, $дм^3/кг H_2$	Удельная масса хранения, кг/кг H_2
Газообразный водород при низком давлении	0,39	1020	—
Газообразный водород при высоком давлении	0,93	81	16,0
Водород в гидридах	1,16	22	76,9
Жидкий водород	10,50	14	7,0
Криогенная адсорбция	3,20	59	20,0

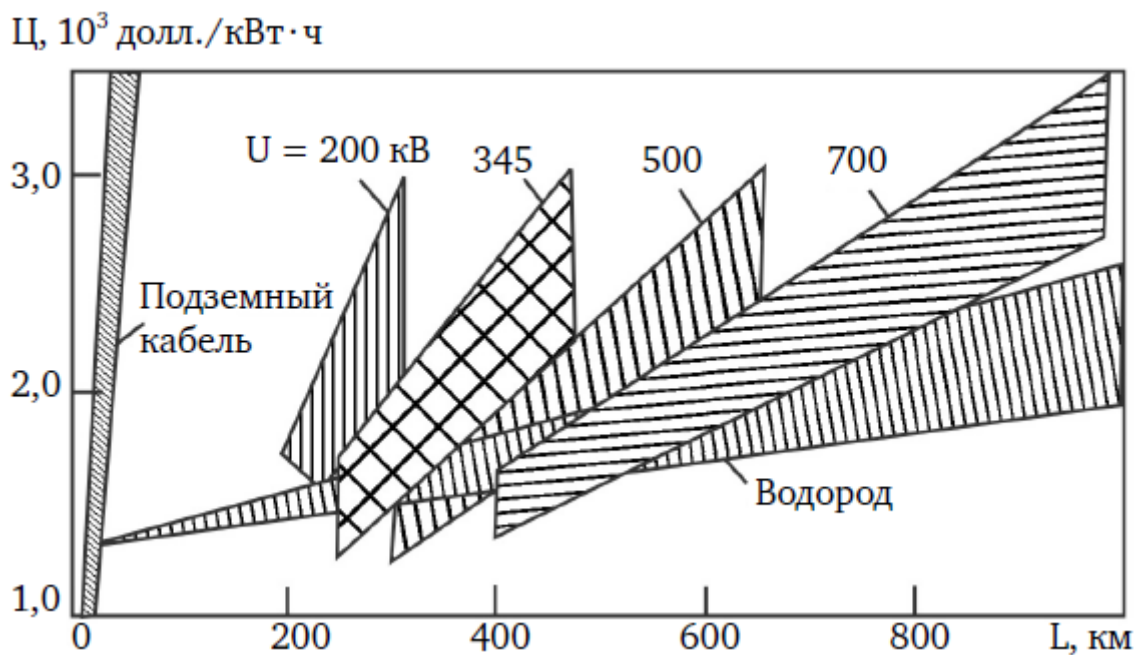


Рисунок 14 Зависимость стоимости передачи энергии кабелем при заданном напряжении тока U и по водородопроводу от расстояния L [29].

Ц, цент/(0,036 т у.т. · 161 км)

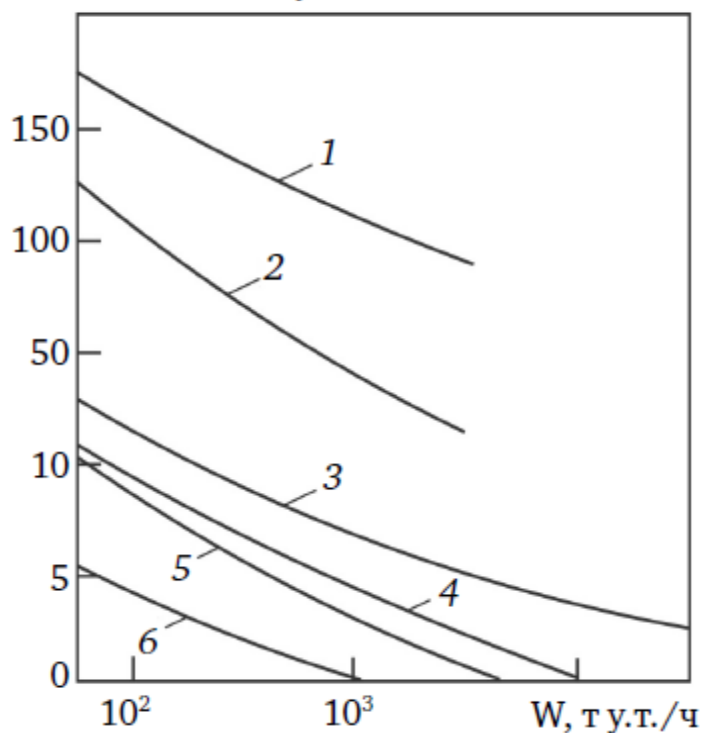


Рисунок 15 Зависимость стоимости транспортирования энергии C от передаваемой мощности W :

1 — электроэнергия (по подземному кабелю); 2 — электроэнергия (по наземному кабелю); 3 — водород; 4 — метан; 5 — аммиак; 6 — нефть [29].

Таблица 5 Издержки при транспортировании на дальние расстояния различных видов энергии [54].

Энергоноситель	Издержки (центы/т у. т. · км)
Метан по трубопроводу	1,34
Водород по трубопроводу	1,48
Электроэнергия по высоковольтным ЛЭП	9,46
Бензин в танкерах	4,50

«Благодаря магистралям природного газа, газопроводы могут быть использованы для транспортирования водорода. Большинство условий, которые необходимы для перехода на транспортировку водорода по газопроводу уже созданы. Водород может стать самым дешевым источником передачи энергии на дальние расстояния» [30].

2.2.1 Гидридная система хранения водорода

«В случае хранения водорода в гидридной форме отпадает необходимость в объёмных и тяжёлых баллонах, которые требуются при хранении газообразного водорода в сжатом состоянии, или сложных и дорогих в изготовлении сосудов для хранения жидкого водорода. При хранении водорода в виде гидридов, объём системы уменьшается примерно в 3 раза по сравнению с объёмом хранения в баллонах. Значительно упрощается его транспортировка и соответственно отпадают расходы на сжижение водорода. Водород из гидридов металлов можно получить по двум реакциям: гидролиза и диссоциации» [30].

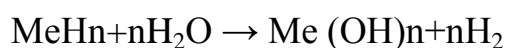


Таблица 6 – Свойства некоторых гидридов [29].

Гидрид	Содержание H ₂ , % (масс.)	Равновесная температура при 0,1 МПа, К	Стоимость металла, долл./кг
Li ↔ LiH	12,7	1070	8,18
Mg ↔ MgH ₂	7,7	560	0,38
Ca ↔ CaH ₂	4,8	1190	2,20
Na ↔ NaH	4,2	800	0,30
Mg ₂ NiH _{0,3} ↔ Mg ₂ NiH ₄	3,2	520	1,00
K ↔ KH	2,5	990	0,35
VH _{0,95} ↔ VH ₂	2,0	285	4,00
FeTiH _{0,1} ↔ FeTiH	0,9	273	1,92

Таблица 7 – Содержание водорода в гидридах, имеющих наибольший потенциальный интерес для промышленного использования [29].

Система	Молекулярная масса	Содержание H ₂ в гидриде, г/кг
LaNi ₅ · 3H ₂	440	13,4
CuH	65	15,4
CbH	60	16,7
FeTiH ₂	106	18,9
NbH ₂	95	26,2
VH ₂	53	37,8
CrH ₃	55	54,5
MgH ₂	26	77,0
LiH	8	125,0

2.2.2 Техничко-экономическая оценка различных вариантов хранения водорода

«Сравнительная оценка способов хранения водорода и их преимущества и недостатки, а также современные требования к ним и показатели различных методов хранения водорода по сравнению с показателями хранения эталонных углеводородных горючих представлены в таблицах 8,9,10» [30].

Таблица 8 Оценка основных методов хранения водорода

[30].

Способ хранения	Преимущества	Недостатки
Газообразный водород ($T = 300 \text{ K}$, $p \leq 20 \text{ МПа}$)	Технология хорошо отработана и доступна, относительно невелика стоимость	Низкое объемное содержание (около $7,7 \text{ кг/м}^3$ при давлении 10 МПа). Плотность запасенной энергии при высоких давлениях (до 70 МПа) сравнима с жидким водородом, но технология хранения при таких высоких давлениях до конца не отработана
Жидкий водород ($T = 20,4 \text{ K}$)	Технология доступна, высокая плотность (71 кг/м^3)	Высокие энергозатраты на сжижение, потери водорода, на испарение, необходимость суперизоляции, как следствие, высокая стоимость
Криогенная адсорбция ($T = 155 \text{ K}$)	Технология проста и достаточно отработана	Низкое объемное содержание ($0,5\text{--}20 \text{ кг/м}^3$). Необходимость охлаждения и компримирования
Углеродные наноструктуры: нанотрубки, фуллерены	Технологии в перспективе могут обеспечить высокую плотность хранения водорода ($30\text{--}100 \text{ кг/м}^3$)	Производство углеродных структур недостаточно отработано, результаты по удержанию водорода невоспроизводимы
Гидриды металлов, сплавов, интерметаллических соединений и композитов	Удобство и безопасность хранения в твердой фазе (в связанном состоянии); ряд технологий достаточно хорошо отработан	Недостаточная емкость, необходимость подогрева, деградация со временем, относительно высокая стоимость

Таблица 9 Современные требования к мобильным системам хранения водорода [30].

Японская правительственная программа WE-NET	Департамент энергетики США	Международное энергетическое агентство
Количество водорода $> 3 \text{ мас. \%}$ Температура дегидрирования $< 370 \text{ K}$ Циклическая устойчивость $> 90\%$ после 5000 циклов	Количество водорода $> 6 \text{ мас. \%}$ Количество водорода по объему $> 60 \text{ кг/м}^3$	Количество водорода $> 5 \text{ мас. \%}$ Температура дегидрирования $< 420 \text{ K}$

Таблица 10 – Свойства методов хранения водорода по сравнению с хранением углеводородных горючих [30].

Наименование горючего	Чистое горючие		Горючие + контейнер	
	кг	м ³	кг	м ³
Бензин (1 т = 1,64 т у.т.)	610	0,85	690	0,91
Нефть (1 т = 1,43 т у.т.)	705	0,79	790	0,85
Мазут (1 т = 1,39 т у.т.)	720	0,75	800	0,81
Метанол (1 т = 1,64 т у.т., жид. 0,1 МПа)	1280	1,61	1360	1,67
Аммиак (1 т = 0,83 т у.т., жид. 300 К)	1210	1,77	1930	3,30
Метан газ (1 т = 1,71 т у.т., 15 МПа, 300 К)	585	5,50	6400	7,80
Метан жид. (0,1 МПа)	585	1,40	750	5,60
Наименование горючего	Чистое горючие		Горючие + контейнер	
	кг	м ³	кг	м ³
Водород газ (1 т = 4,1 т у.т., 15 МПа, 300 К)	244	18,10	23800	25,60
Водород жид. (0,1 МПа, 20 К)	244	3,50	1860	12,20
Гидриды				
MgH ₂	3160	2,25	3640	3,80
MgNiH ₂	6600	4,60	7150	6,30
VH ₂	11750	2,20	12600	3,80
LaNiH ₆	21500	4,00	23350	6,70

На рисунке 16 – представлена удельная годовая стоимость различных методов хранения водорода.

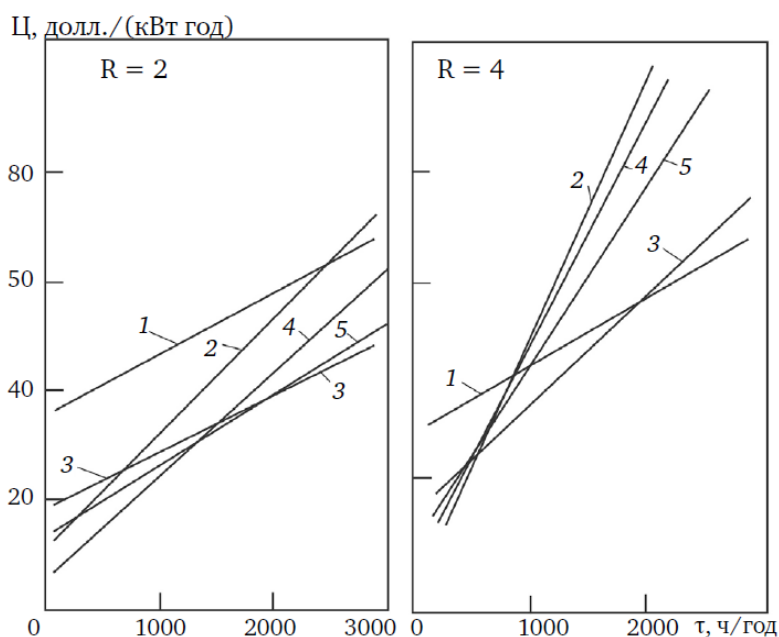


Рисунок 16 Удельная годовая стоимость различных методов хранения водорода (Π) как функция степени использования хранилища τ при числе

процедур заправки в год $N = 280$ и энергетическом эквиваленте хранимого водорода $L = 200$ МВт:

1 — хранение жидкого водорода; 2 — хранение на основе гидрида металла (FeTi); 3 — хранение в криoadсорбенте; 4, 5 — хранение при низком (1,2 МПа) и высоком (15 МПа) давлении (R — отношение максимально возможного хранения H_2 в данной системе к среднему хранимому количеству) [30]

2.3. Добавка водорода в ДВС

«Сегодня возможность использования водорода как топлива для тепловой машины (в частности, для ДВС) либо в чистом виде, либо в виде добавки к основному углеводородному топливу не вызывает сомнений. Водород как моторное топливо имеет ряд преимуществ: хорошую воспламеняемость в смеси с воздухом, обеспечивающую легкий запуск двигателя при практически любых возможных температурах окружающей среды; высокую антидетонационную стойкость, допускающую работу при больших степенях сжатия; высокую скорость и полноту сгорания, что позволяет приблизить реальный цикл работы ДВС с искровым зажиганием к идеальному с подводом теплоты к смеси при постоянном объеме, т.е. увеличить КПД цикла. Добавка водорода к базовому топливу снижает эмиссию таких вредных выбросов, как CO и CH, о чем свидетельствуют публикации» [34-38]. При использовании водорода в качестве монотоплива, не образуется вредных выбросов, что дает возможность для создания практически экологически чистых ДВС. Однако из-за большого выделения температуры при горении водорода при наличии свободного кислорода в камере сгорания существенно вырастет эмиссия оксидов азота NOx.

В двигателе, работающем полностью на водородном топливе, значительно отличается по составу продуктов сгорания от двигателя работающих на классическом топливе и выделяются незначительным

присутствием компонентов CO и CH, из-за отсутствия содержания в топливе углерода. Но в выхлопных газах при сгорании водорода присутствует незначительное количество CO и CH, о чем свидетельствует работа [55] представленная на рисунке 17, что является последствием сгорания углеводородного масла попадающего в камеру сгорания. При работе ДВС на водороде при его сгорании, в диапазоне слегка богатых, обедненных и стехиометрических смесях, имеет высокую температуру, что приводит к резкому росту образования NOx, чем при работе на бензине.

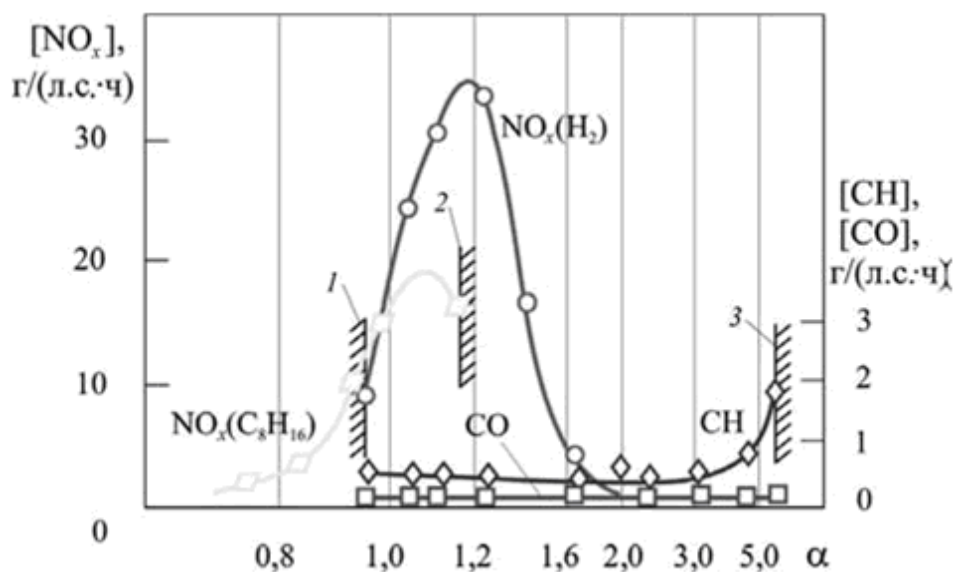


Рисунок 17 – Состав продуктов сгорания в двигателе, работающем на водороде [55]:

- где, 1 – богатая граница устойчивой работы на водороде;
- 2 – бедная граница устойчивой работы на изооктане;
- 3 – бедная граница работы на водороде.

На рисунке 17 «приведены данные расчетов теоретических циклов при работе двигателя на различных топливах при $\epsilon = 9$. Быстрое сгорание водородно-воздушной смеси приводит к тому, что фактическая температура сгорания в двигателе такой смеси выше, чем углеводородно-воздушной того же состава. Но концентрация O_2 и N_2 в водородно-воздушных смесях меньше, чем в углеводородно-воздушных» [55]. Данная концентрация

объясняется более низким соотношением необходимого кислорода для сгорания топлива (L_0)

Однако различные данные представленные в [41] говорят о различных концентрациях NO_x , которые представлены на рисунке 18, б–г. Следовательно вопрос о концентрации NO_x в продуктах сгорания водорода ДВС нуждается в дополнительном изучении.

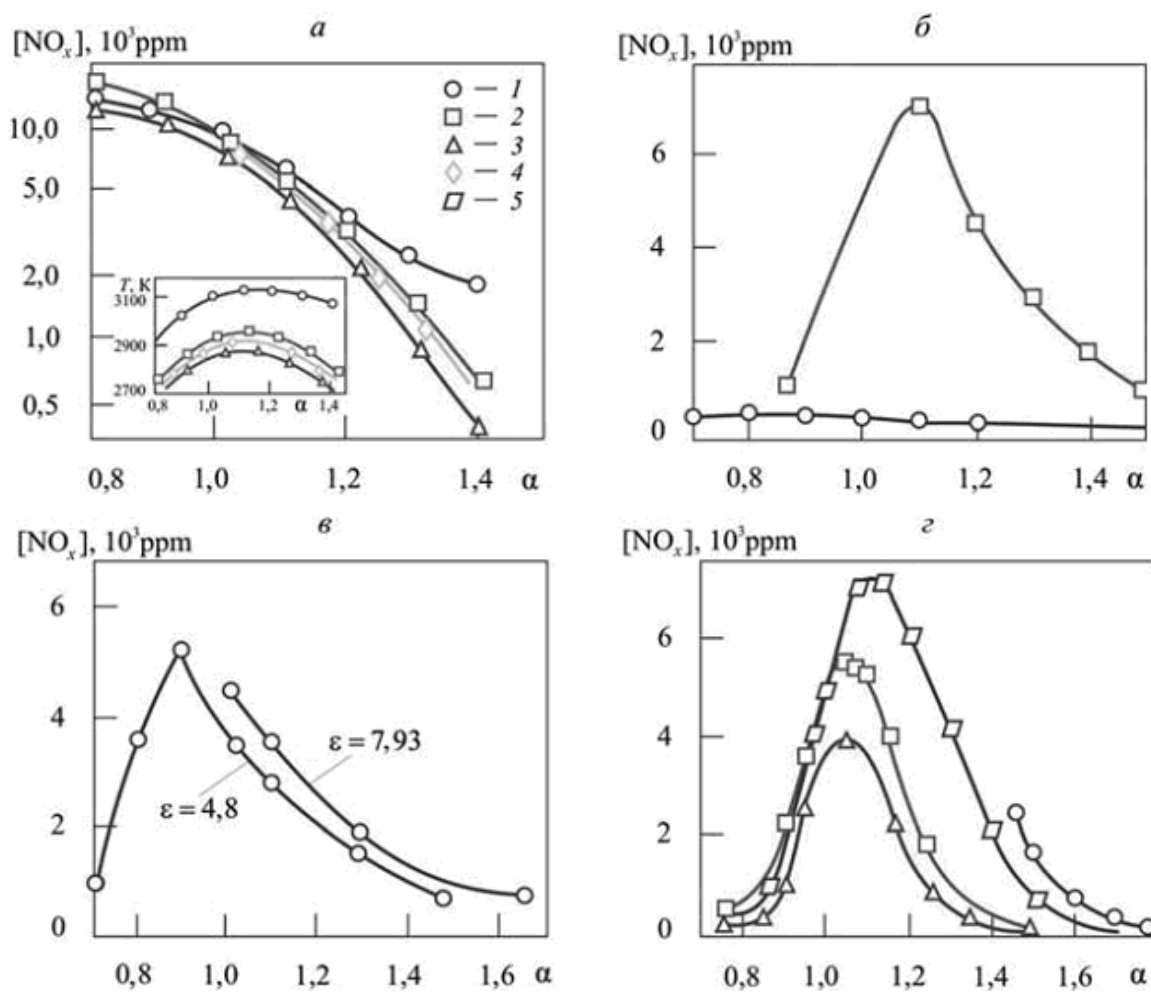


Рисунок 18 – Зависимости концентраций оксидов азота в продуктах сгорания двигателей от коэффициента α при использовании различных топлив [55]:

а – расчетные (сгорание при $V = \text{const}$) для $\epsilon = 9$;

б – для одноцилиндрового двигателя;

в – для одноцилиндрового двигателя при $n = 1100$ об/мин;

г – для одноцилиндрового двигателя при $n = 2600$ об/мин;

где,

- 1 – водород;
- 2 – бензин (или изооктан);
- 3 – метан;
- 4 – пропан;
- 5 – $H_2 = 50\%$, $CH_4 = 50\%$.

«Из рисунка 18 следует, что наибольшее количество выбросов NO_x при сгорании водорода примерно вдвое выше, чем у бензина, что объясняется более высокой температурой горения водорода. С обеднением смеси удельный выброс оксидов азота NO_x в продуктах сгорания водорода резко снижается, а при $\alpha > 1,8$ практически отсутствует»[34,41].

«На рисунке 19 представлены результаты измерений концентрации NO на расстоянии 3 см за фронтом водородно-воздушных пламён предварительно перемешанной смеси в зависимости от стехиометрического коэффициента (коэффициента избытка горючего) и их сравнение с результатами расчетов по схеме реакций» [42,49].

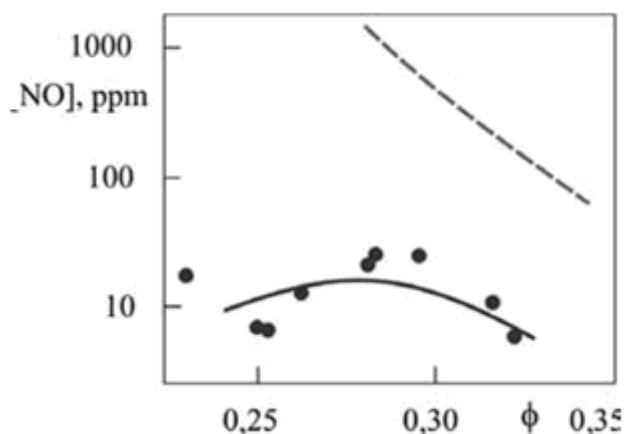


Рисунок 19 – Экспериментально измеренные и рассчитанная равновесная (штриховая кривая) концентрации NO в водородно-воздушных пламенах в зависимости от стехиометрического отношения [55]

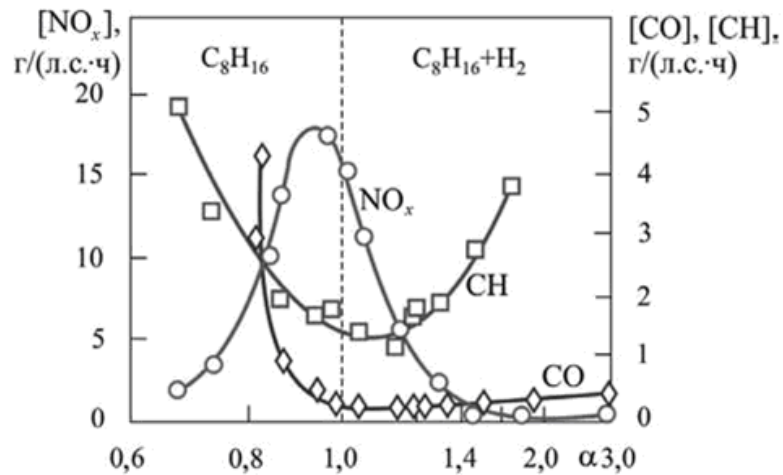


Рисунок 20 – Изменение состава продуктов сгорания при работе двигателя на водородно-изооктановых смесях в области предельного обеднения [55]

Рисунок 21 - Характеристики топливной смеси и выбросы NO_x при работе двигателя при различных способах добавки водорода [42]:

- а – постоянная добавка;
- б – регулируемая

На рисунках 22-24 представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований уровней выбросов токсичных веществ при сжигании в модельной камере сгорания газотурбинного двигателя, предварительно подготовленных углеводородно-воздушных смесей при их насыщении водородом [55].

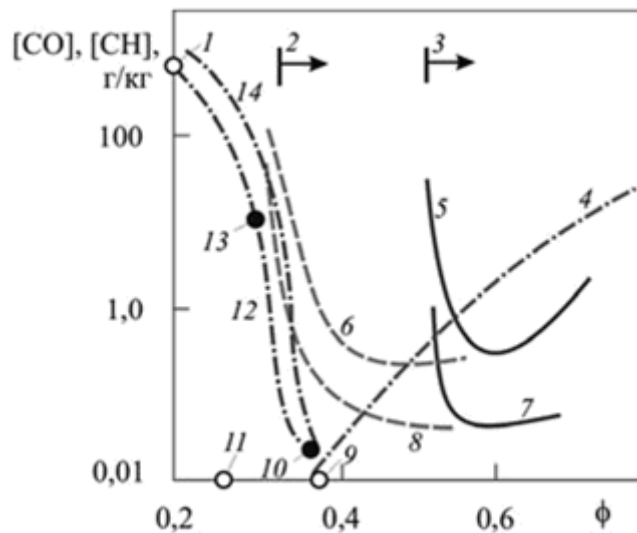


Рисунок 22 – Зависимость эмиссии CO, CH модельной камеры сгорания от состава топливно-воздушной смеси [55]:

- 1, 10, 13 – добавка водорода составляет соответственно 29, 14 и 17%;
- 2, 3 – полнота сгорания топлива ($\eta > 99\%$) для керосина, обогащенного водородом ($gH_2 \approx 12\%$), и для керосина;
- 4 – равновесное содержание CO в продуктах сгорания (расчет);
- 5, 7 – эмиссии CO и CH при сжигании предварительно подготовленной смеси керосина с воздухом (эксперимент);
- 6, 8 – эмиссии CO и CH при сжигании смеси керосина с водородом ($gH_2 \approx 12\%$) и воздухом;
- 9, 11 – экспериментальные точки предела обеднения смеси керосина с воздухом и керосина с водородом ($gH_2 \approx 12\%$) и воздухом по условию воспламенения;
- 12, 14 – эмиссии CO, вычисленные по химической кинетике для предварительно подготовленной смеси соответственно для керосина с добавкой водорода и керосина.

В источнике [45] говорится, «что насыщение водородом зоны пиролиза углеводородного топлива в первичной зоне камеры сгорания ГТД приводит к ингибированию процесса образования бензапирена и существенному снижению его эмиссии с продуктами сжигания. Снижение концентрации

сажевых частиц в продуктах сгорания газотурбинного двигателя можно обеспечить при сжигании предварительно подготовленных обедненных смесей углеводородов с воздухом, особенно при насыщении этих смесей водородом, или при сжигании предварительно подготовленных смесей углеводородного топлива с воздухом на диффузионном водородном топливе» [45].

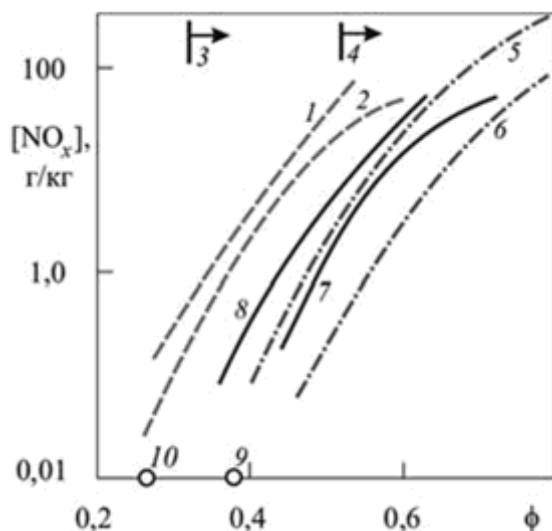


Рисунок 23 – Зависимость эмиссии оксидов азота NO_x при сжигании керосина с 12% добавкой водорода (по массе) в модельной камере сгорания от состава топливно-воздушной смеси [55]:

где, 1, 2 – смеси керосина и водорода с воздухом при различных модификациях стабилизатора пламени;

3, 4 – полнота сгорания топлива ($\eta_{\text{г}} \geq 99\%$) для керосина с добавками водорода и керосина соответственно;

5, 6 – расчетные эмиссии NO_x , вычисленные на основе химической кинетики, соответственно для водородно- и керосино-воздушных смесей;

7, 8 – экспериментальные значения эмиссии NO_x при сжигании предварительно подготовленной смеси керосина с воздухом для различных модификаций стабилизатора пламени;

9, 10 – точки предела обеднения смеси керосина с воздухом и керосина с добавкой водорода и воздуха.

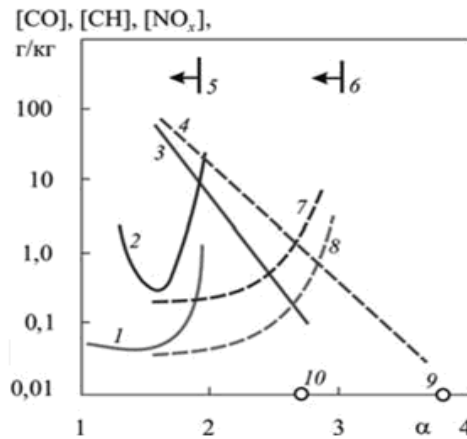


Рисунок 24 – Зависимость эмиссии токсичных веществ при сжигании в модельной камере сгорания предварительно подготовленных двухкомпонентных топливных смесей от их состава [55]

(1, 2, 10 – керосиновоздушные смеси; 4, 7, 8 – керосино-водородно-воздушные смеси ($\text{gH}_2 \approx 5\%$)) :

1, 8 – CH;

2, 7 – CO;

3, 4 – NO_x;

5, 6 – $\eta_{\Gamma} \geq 0,99\%$ для керосина и керосино-водородной смеси;

9, 10 – предел обеднения для керосино-водородной смеси и керосина

3. Расчет гибридной системы энергоснабжения

3.1 Описание гибридной системы энергообеспечения

Схема реализующая указанный принцип представлена на рисунке 30.

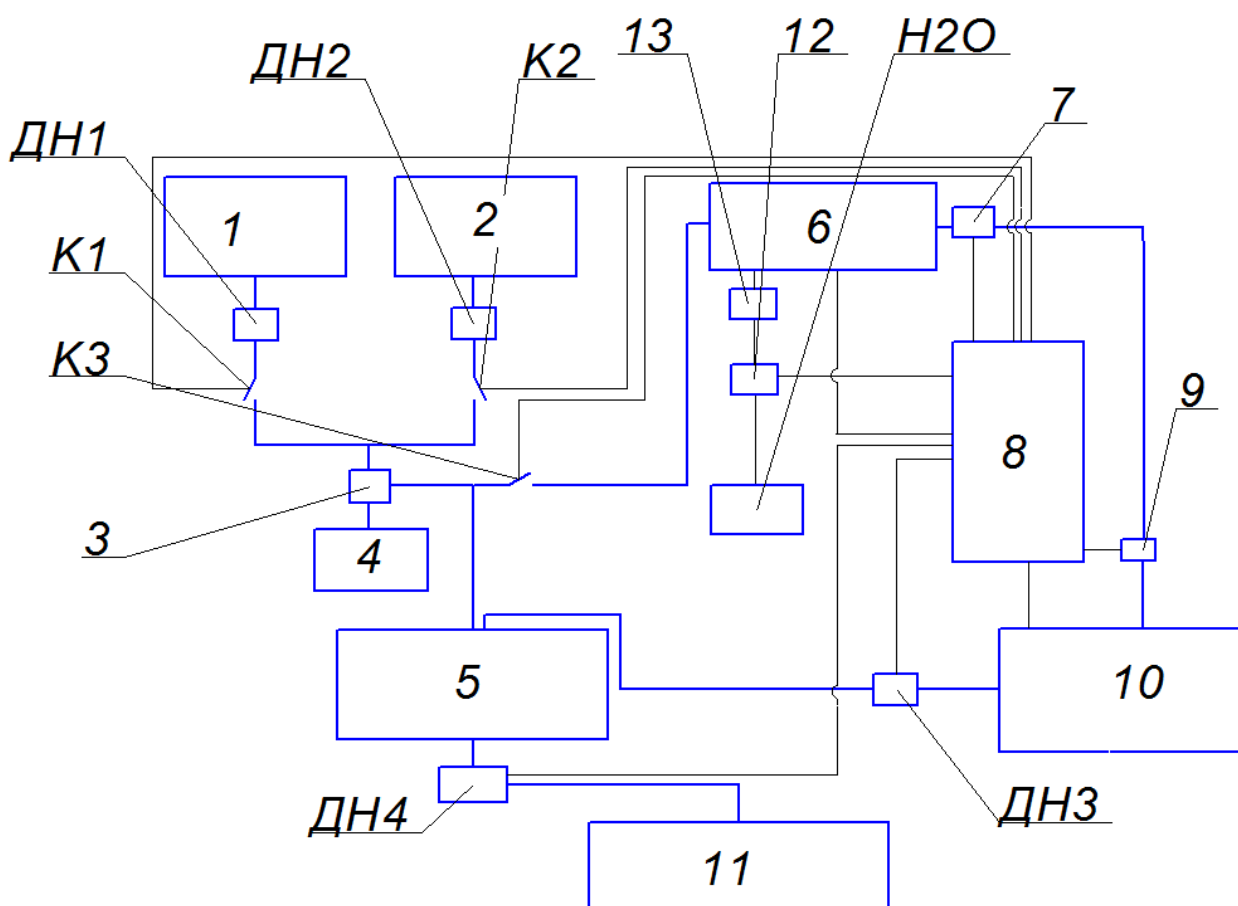


Рисунок 30 – Схема автономной гибридной установки энергообеспечения

1 – Ветрогенератор; 2 – Солнечная батарея; 3 – Контролер заряда; 4 – АКБ;

5 – Инвертор; 6 – Генератор водорода; 7 – Осушитель; 8 – АВР(ЭБУ);

9 – Регулятор подачи водорода; 10 – Электрогенератор; 11 – Потребитель;

12 – Клапан подачи дистиллированной воды; 13 – Датчик уровня;

Н2О – Дистиллированная вода; ДН1- ДН4 – датчик напряжения;

К1- К3 – ключ цепи.

Установка работает следующим образом. Первым контуром схемы является внешний источник, в качестве которого служит солнечная батарея и

ветрогенератор. Работа которых заключается в энергообеспечении потребителя и хранение излишней выработанной энергии в АКБ.

Вторым контуром схемы является блок АКБ, который обеспечивает потребителя электроэнергией, накопленной от внешнего источника при отсутствии условия работоспособности ВИЭ и является источником электроэнергии для пуска бензогенератора, электролизера.

Третьим контуром схемы является бензогенератор, работающий на водороде, задача которого, является обеспечение электроэнергией потребителя при неэффективных показателях работы ВГ и СБ, либо внезапным падение мощности, также излишки выработки энергии можно направлять на заряд АКБ. Источником водорода является электролизер, производительность которого должна гарантированно обеспечивать необходимым количеством водорода для работы двигателя.

Автоматический ввод в резерв (АВР) устройство для автоматического перевода питания для потребителя от резервного источника при отключении основного, может служить для переключений питания между основными источниками, в зависимости от параметров их работы.

Электронный блок управления (ЭБУ) - регулирует объем водорода, подаваемый в двигатель и управляет режимами его работы, а также по сигналу датчика уровня воды в бочке электролизёра, через клапан будит производить автоматическую подачу дистиллированной воды, для поддержания ее в заданном уровне.

Контроллер заряда аккумулятора предназначен для контроля заряда и разряда АКБ. При максимально допустимом разряде аккумуляторов контроллер будит отключать с них нагрузку для увеличения их срока службы, а также защиты от перезаряда.

Инвертор служит для преобразования выходного постоянного тока с ВИЭ в переменный для потребителя, и регулирует выходное напряжение.

Датчики напряжения и тока служат для замера параметров и передают их в АВР

3.2 Расчет потребляемой электроэнергии и пиковой мощности потребителем

Определение пика потребителя энергии не представляет сложности,

если известны пиковая мощность и время работы каждого электрооборудования. Определение времени потребления и пиковой мощности индивидуального потребителя энергии осуществляется с некой долей вероятности и прогнозированием, в связи с стохастичностью графика ресурсозатрат. Следовательно, данная задача решается индивидуально для каждого случая ис соответствующими допущениями и приближениями.

Расчет пиковой мощности

«Определить пиковую мощность каждого электроприбора, который используется на рассматриваемом объекте можно в инструкции по эксплуатации, либо по усредненным параметрам, таким как представлены в приложении 2, P_i (Вт), а также в таблице 11. После определения пиковой мощности необходимо зафиксировать работу электроприбора в различное время суток и отметить это в таблице, с указанием мгновенной потребляемой мощности утром, днем, вечером и ночью. Измерения необходимо производить с соответствующими допущениями по времени работы. Сложив данные столбцов мгновенной мощности P_i мы выявим пиковую мощность энергопотребления P_p в конкретное время суток – утром, днем, вечером, ночью (P_u , P_d , P_v , P_n). Значения представлены в таблице 12. Эти данные используются в дальнейшем для расчета номинальной мощности инвертора $P_{и}$ » [56].

$$P_{и} > \text{MAX} (P_u, P_d, P_v, P_n), \text{ Вт.} \quad (1)$$

«Общеизвестно, что реальная пиковая мощность большинства объектов в определенное время суток меньше суммы всех мощностей находящихся на объекте приборов, поскольку все электроприборы, как правило, не включаются одновременно. Однако, могут быть исключения, которые должны приниматься при разработке» [56].

«При проведении расчетов допускается формальное увеличение пиковой мощности в конкретное время суток с целью создания «запаса» по мощности и прогнозирования увеличения энергопотребления в будущем»

[56].

Расчет потребляемой энергии.

«Определить с соответствующими допущениями время работы каждого прибора в конкретное время суток и занести данные в таблицу 12. Сложить данные столбцов «утро-день-вечер-ночь» для каждого электроприбора и умножить полученное значение на мощность прибора, получив энергопотребление каждого прибора за сутки. Сумма энергопотребления всех приборов $E_{сут}$ будет являться количеством энергии, потребляемой объектом в сутки:

$$E_{сут} = P_i \sum T_i, \text{ Вт}\cdot\text{ч. (2) } \gg [56].$$

Эти данные используются впоследствии для расчета номинальной мощности БГ, СБ, ветроэнергетической установки и аккумуляторных батарей.

Таблица 11 Мощность электроприборов и мгновенная потребляемая мощность

Электроприбор	Установленная мощность P_i , Вт	Мгновенно потребляемая мощность P_i , Вт			
		Утро	День	Вечер	Ночь
Телевизор	300	300	300	300	0
Компьютер	400	0	400	400	0
Стиральная машина	500	0	0	500	0
Микроволновка	1000	1000	0	1000	0
Пылесос	1300	0	1300	1300	0
Энергосберегающие лампы	660	660	660	660	660
Чайник	2000	2000	2000	2000	0
Утюг	1800	1800	0	1800	0
Фен	200	200	0	200	0
Холодильник	500	500	500	500	500
Итого	8660	6460	4500	8660	1160

Таблица 12 Энергопотребление приборов

Электроприбор	Установленная мощность P_i , Вт	Время использования T_i , ч				Потребление электрической энергии, Вт · ч
		Утро 1ч	День 10ч	Вечер 4ч	Ночь 8ч	
Телевизор	300	0,5	3	2	0	750
Компьютер	400	0	2	3	0	1200
Стиральная машина	500	0	0	1	0	500
Микроволновка	1000	0,3	0	0,2	0	500
Пылесос	1300	0	1	1	0	1300
Энергосберегающие лампы	660	1	0,5	4	1	4290
Чайник	2000	0,1	0,2	0,2	0	600
Утюг	1800	0,1	0	0,2	0	540
Фен	200	0,1	0	0,1	0	40
Холодильник	500	0,25	2,5	1	2	2875
Итого	8660	1635	4980	7720	1660	12595

«Определяем пиковую мощность и среднесуточное энергопотребление объекта.

Расчет пиковой мощности конкретного объекта.

Определим статус работы каждого электроприбора в соответствующем периоде суток (утро, день, вечер, ночь). Для этого составим таблицу присутствующих на объекте приборов аналогично таблицы 11 с указанием мощности электроприборов и мгновенной потребляемой мощности в каждый период суток. Найдем пик потребления электроэнергии соответственно в утренние, дневные, вечерние и ночные часы, как сумму мощностей всех используемых приборов. Определим наиболее высокий пик мощности $P_{п.}$ для каждого периода суток, которые провалены в таблице 12 » [56].

– утро: $P_y = 6460$ Вт;

– день: $P_d = 1160$ Вт;

– вечер: $P_b = 8660$ Вт;

– ночь: $P_n = 1160$ Вт.

Максимальная пиковая мощность за сутки $P_{п} = 8660$ Вт. Тогда мощность инвертора P должна быть

$$P_{и} > 8660 \text{ Вт.}$$

Принимаем $P_{и} = 9000$ Вт = 9 кВт

Для минимизирования нагрузки на энергосистему не рекомендуется одновременное включение следующих приборов: микроволновка, пылесос, чайник, утюг. Тогда максимальная пиковая мощность за сутки с 1-м наиболее потребляемым устройством по мощности составит $P_{п} = 4560$ Вт

«Вычислим потребляемую энергию всех периодов энергопотребления в течение суток, т.е. за 24 ч. Для этого сложим данные столбцов «утро-день-вечер-ночь» для каждого электроприбора и умножим полученное значение на мощность прибора, получив энергопотребление каждого прибора за сутки в правом столбце таблицы. Найдем сумму полученных значений, которые указаны в таблице 12. Количество энергии, потребляемой объектом в сутки, показано в правой нижней ячейке таблицы» [56].

$$E_{сут} = 12595 \text{ Вт}\cdot\text{ч.}$$

На это значение необходимо ориентироваться при дальнейшем расчете номинальной (установленной) мощности БГ, СБ, ВЭУ и емкости аккумуляторной батареи.

Определение номинальной мощности генераторной установки

Определить номинальную мощность генераторной установки для автономного энергоснабжения объекта с учетом энергопотребления объекта.

Определить среднечасовое энергопотребление объекта на основе данных, полученных в формуле (2). Потребление энергии в час составляет $E_{сут}$, деленное на 24 ч:

$$, \text{Вт}\cdot\text{ч.} \quad (3)$$

Найдем среднечасовое энергопотребление объекта. Так как рекомендованное использование значение нагрузки поршневых генераторов

составляет 85% от максимальной мощности то получим:

$$=617,7 \text{ Вт}\cdot\text{ч.}$$

С учетом максимальной пиковой мощности $P_{\text{п}} = 4560 \text{ Вт}$ минимальная мощность, которую должен обеспечить генератор равна:

$$P_{\text{мин}}=5365\text{кВт}$$

Определение номинальной мощности ВЭУ

«Определить номинальную мощность ветроэнергетической установки для автономного энергоснабжения объекта с учетом средней скорости ветра в регионе и энергопотребления объекта.

Определить среднюю скорость ветра в расчетном регионе на основании данных метеорологических служб. При этом необходимо иметь в виду, что данные метеостанций являются усредненными. В связи с этим в дополнение к этим данным можно руководствоваться привязкой к местному ландшафту (аэродинамические коридоры лесных массивов и горных цепей, поймы рек, продувные урбанизированные районы), соответствующим изменением климата в регионе (изменение направления и силы ветра, колебания температуры) и т. д.

Средняя скорость ветра $v_{\text{ср}}$ выбирается на основе карты ветров, приведенной в приложении 1 (рисунок 31). Более точные данные можно получить в соответствующих местных организациях.

Определить номинальную мощность ВЭУ, которая может быть применена для энергоснабжения данного объекта» [56].

Мощность $P_{\text{спец}}$, развиваемая ВЭУ, составляет $E_{\text{ч}}$, деленное на время потребления, т. е. на 1 ч:

$$, \text{ Вт.} \quad (4)$$

«Но это – мгновенная мощность, развиваемая ВЭУ на расчетной средней скорости ветра. Определив расчетную скорость ветра по данным локальной метеостанции или проведя собственные вычисления, по табл. П. 1.1–П. 1.3 по средней скорости ветра найти мгновенную мощность ВЭУ $P_{\text{мгнВЭУ}}$, развиваемую на этой скорости ветра конкретной ВЭУ. Поиск осуществляется по столбцам средней скорости ветра с определением данных, удовлетворяющих условию» [56].

$$P_{\text{мгнВЭУ}} \geq P_{\text{спец}}, \text{ Вт.} \quad (5)$$

Определим среднюю скорость ветра в регионе по приложению 1 (рисунок 31).

Откуда: $v = 5 \text{ м/с}$.

Среднесуточное энергопотребление объекта $E_{\text{сут}} = 12595 \text{ Вт}\cdot\text{ч}$.

Соответственно,

Вт·ч;

Вт.

«Найдем подходящую ветроэнергетическую установку. В ряде случаев можно поставить не одну, а несколько ветроэнергетических установок (ветропарк). Такое решение обуславливается тем, что чем меньше установка, тем на меньших ветрах она стартует и, соответственно, на меньших ветрах начинается выработка электроэнергии.

После этого принять номинальную мощность выбранной ВЭУ за основу для дальнейших расчетов.

Имея в виду, что в континентальном климате лучше выбрать малые ветроустановки в связи с более продуктивной работой на слабых ветрах»

[56]. Для данной выработки электроэнергии потребуется 2 ВЭУ-3/48V, характеристики установки приведены в приложении 3 [50].

Выбор удовлетворяет условию (5):

$$2 \cdot P_{\text{мгн}} \text{ВЭУ} \geq P_{\text{спец}}$$

Или

$$2 \cdot 400 \geq 524,7.$$

Проведем проверку. Общая суточная выработка каждой ВГ будет:

$$E_{\text{сут}} \text{ВЭУ} = 9,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Суммарная выработка двух ВГ:

$$E_{\text{сут}} 2 \text{ВЭУ} = 9,6 \cdot 2 = 19,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 19200 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Это удовлетворяет условиям выражения (3), поскольку

$$E_{\text{сут}} \text{ВЭУ} \geq E_{\text{сут}},$$

или

$$19200 \text{ Вт} \cdot \text{ч} \geq 12595 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

«Таким образом, в процессе расчетов в качестве энергогенерирующего оборудования выбрана ветроэнергетическая установка ВГ в количестве 2 шт. Номинальная (установленная) мощность каждой установки составляет 3 кВт, суммарная 6кВт» [56].

Расчет емкости блока аккумуляторов

«Электроэнергия, будучи произведенной, должна быть немедленно потреблена. Таким образом, если ВЭУ или СБ вырабатывает энергию, а потребления нет, ее необходимо запастись. Кроме этого для покрытия кратковременных пиков энергопотребления необходим накопитель энергии, который запасает излишки энергии во время минимального потребления и отдает запасенную энергию во время максимального потребления в короткий промежуток времени» [56].

Накопители энергии представляют собой широкое разнообразие. Накапливать энергию можно в механических устройствах (раскручивание

маховика, подъем тяжелых плит), гидравлических системах (закачка воды с последующим спуском через гидротурбину), водородных накопителях (выработка водорода электролизером, запасание и дальнейшее окисление в топливных элементах), химическое аккумулирование (кислотные, щелочные, никель-кадмиевые, литий-ионные и другие аккумуляторы) и т. д.

Примером простейшего аккумулирования электроэнергии может служить обычная автомобильная аккумуляторная батарея, которая и рассматривается в данной задаче.

Определяем потребляемую мощность объекта в периоды максимального энергопотребления с учетом данных решения указанных в таблице 12. Определить время потребления T .

Каждый час в течение времени T потребляется энергия, равная мощности, потребляемой в единицу времени:

$$W_T \text{ (6)}$$

Учитывая напряжение $U_{\text{РЕГ}}$ и потребляемую мощность $P_{\text{ВЕЧ}}$, найти ток потребления $I_{\text{РЕГ}}$. Эти величины связаны между собой формулой:

$$P_{\text{ВЕЧ}} = U_{\text{РЕГ}} \cdot I_{\text{РЕГ}}, \text{ Вт (7)}$$

Определить общую емкость блока аккумуляторов:

$$C_{\text{АКБ}} = I_{\text{РЕГ}} \cdot T, \text{ А}\cdot\text{ч. (8)}$$

Однако это общая емкость блока аккумуляторов, которая должна быть отдана потребителю. Тем не менее, химический аккумулятор не рекомендуется разряжать более чем на 50 %. Поэтому величину $C_{\text{АКБ}}$ необходимо удвоить, чтобы получить реальную емкость $C_{\text{АКБреал}}$:

$$C_{\text{АКБреал}} = C_{\text{АКБ}} \cdot 2, \text{ А}\cdot\text{ч. (9)}$$

Определить емкость единичной аккумуляторной батареи C_i исходя из того, что общая может быть представлена как сумма емкостей параллельно включенных каскадов последовательно соединенных аккумуляторных батарей:

$$C_{\text{АКБреал}} = C_i \cdot m, \text{ А}\cdot\text{ч. (10)}$$

C_i подбирается исходя из емкостного ряда имеющихся на рынке аккумуляторов. Как правило, этот ряд представлен емкостями 50, 55, 60, 65, 70,75, 90, 120, 190, 200, 400 и т. д. (А·ч). Разработчик выбирает наиболее удобный вариант.

После проведения расчета необходимо сделать проверку на предмет того, сможет ли ветроэнергетическая, солнечная, бензогенераторная установка за предыдущий период зарядить эти аккумуляторы до требуемого уровня.

С этой целью необходимо определить, какое количество энергии должно поступить от установок за период времени T_{i-1} , предшествующий исследуемому периоду T_i .

Эти данные можно получить:

- Длительность предшествующего периода T_{i-1} из таблицы 12
- Мощность $P_{\text{мгнВЭУ}}$, выдаваемую ветроэнергетической установкой на конкретной скорости ветра, можно определить из приложения 3 таблица 16.

Тогда энергия $E_{\text{ВЭУ-Т}}$, поступившая от ВЭУ за период T_{i-1} :

$$E_{\text{ВЭУ-Т}} = P_{\text{мгнВЭУ}} \cdot T_{i-1}, \text{ Вт}\cdot\text{ч.} \quad (11)$$

Полученная величина подлежит сравнению с потребляемой энергией и должна превышать ее

$$E_{\text{ВЭУ-Т}} \geq E_{\text{веч}} \quad (12)$$

Необходимо сделать вывод о применимости аккумуляторных батарей для исследуемого объекта. При получении неудовлетворительного результата необходимо произвести соответствующие пересчеты. Например, увеличить мощность и/или количество ВЭУ, снизить энергопотребление и т. д.

Определим потребляемую мощность объекта в периоды максимального энергопотребления с помощью нахождения наибольшего энергопотребления объекта и продолжительности потребления.

В таблице 12 рассчитана потребляемая энергия в утренние, дневные, вечерние и ночные часы. Максимальное значение энергопотребления в

вечерние часы составляет

$$E_{\text{ВЕЧ}} = 7720 \text{ Вт}\cdot\text{ч}.$$

Время потребления $T_{\text{ВЕЧ}}$ примерно 4 ч. Тогда мощность потребления:

$$P = \frac{7720}{4} =$$

Вт.

Учитывая напряжение постоянного тока регулятора $U_{\text{РЕГ}} = 48 \text{ В}$, и потребляемую мощность $P_{\text{ВЕЧ}}$, найдем ток потребления $I_{\text{РЕГ}}$ из формулы (7):

А.

Общая емкость блока аккумуляторов должна быть получена из формул (8) и (9):

$$C_{\text{АКБреал}} = C_{\text{АКБ}} \cdot 2 = C_{\text{АКБ}} = I_{\text{РЕГ}} \cdot T_{\text{ВЕЧ}} \cdot 2 = 40,2 \cdot 4 \cdot 2 = 321,7 \text{ А}\cdot\text{ч}.$$

Емкость единичной аккумуляторной батареи C_i может быть найдена из формулы (9). Число параллельно соединенных каскадов определяется из того расчета, что чем меньше емкость аккумулятора, тем ниже его стоимость. Например, пусть $m = 4$ каскада по 4 соединенных последовательно аккумулятора. Тогда:

$$=80,4 \text{ А}\cdot\text{ч}.$$

Таким образом, необходимо подобрать аккумуляторные батареи в количестве 16 шт., емкостью не менее чем 80,4 А·ч каждая. Причем они соединяются в 4 параллельно включенных каскада, по 4 последовательно соединенных батареи в каскаде. Например, выбираем 16 аккумуляторных батарей по 90 А·ч.

Следовательно, энергоемкость АКБ будет равна

$$E_{\text{АКБ}} = 90 \cdot 48 \cdot 2 = 8640 \text{ Вт}\cdot\text{ч}.$$

Проведем проверку полученного результата, т. е. определим, сможет ли генератор, ВЭУ, СБ за предыдущий период зарядить аккумуляторные батареи при средней скорости ветра.

Из таблицы 12, находим длительность предшествующего, т. е. дневного периода $T_{\text{ДЕН}}$:

$$T_{\text{ДЕН}} = 10 \text{ ч.}$$

Из таблицы 16 в Приложении 3 определяем мощность $P_{\text{мгнВГ}}$, выдаваемую ветроэнергетической установкой на скорости ветра 5 м/с:

$$P_{\text{мгнВГ}} = 0,4 \text{ кВт.}$$

Тогда энергия $E_{\text{ВЭУ-ДЕН}}$, поступившая от одной ВГ за период $T_{\text{ДЕН}}$:

$$E_{\text{ВЭУ-ДЕН}} = P_{\text{мгнВГ}} \cdot T_{\text{ДЕН}} = 0,4 \cdot 10 = 4 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Для энергоснабжения было выбрано 2 установки ВГ. Тогда суммарная энергия, вырабатываемая в течение дневного периода $T_{\text{ДЕН}}$, будет удвоена и составлять 8 кВт·ч.

Что удовлетворяет условия энергопотребления объекта по энергии $E_{\text{ВЕЧ}}$, которое составляет 7725 кВт·ч.

Расчет СБ

Расчет выработки электроэнергии СБ проводится по аналогии с ВЭУ на основе ряда общедоступных показателей. Стоимость солнечной батареи СНН250-60Р из 6 модулей составляет 151000 руб.

В целом обслуживание СБ не требуется. Однако, даже если взять регламентные работы (например, уборка снега в зимнее время, сбор опавших листьев с СБ и т. п.), конечная стоимость электроэнергии, вырабатываемой СБ изменится не существенно.

Для проведения расчетов возьмем солнечный модуль, СНН250-60Р с площадью $1,65 \text{ м}^2$ [51].

На основе диаграммы (приложение 1, рисунок 2) полагаем, что среднегодовая дневная сумма солнечной радиации составляет 3,8 кВт·ч в день.

Максимальная мощность СБ СНН250-60Р (6 модулей 1500Вт) достигает 9квт·ч за сутки [52].

Модуль 250 Вт (6шт) площадью 1,65 м² в среднем будет получать дневную сумму радиации $3,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \times 1,65 \text{ м}^2 = 6,27 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{день}$.

Следовательно, необходимо приобрести 2 модуля, которые будут вырабатывать за день $6,27 \cdot 2 = 12,54 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, что достаточно для среднесуточного энергопотребления объекта $E_{\text{сут}}$, и заряда АКБ в 8640 Вт·ч

3.3 Выбор резервной установки энергообеспечения для гибридной установки энергообеспечения

При использовании АКБ с мощностью 5кВт необходимо большое их количество что увеличивает стоимость установки. В частности, для обеспечения номинальной мощности 1 кВт в течении 10 часов стоимость комплекта АКБ в зависимости от типа, может составлять более 100 тыс. рублей. При использовании топливного элемента той же мощности, цена составит 1,5 млн. рублей. При использовании генератора с приводом от поршневого двигателя при той же мощности цена составит 300 тыс.руб.

На рисунке 25 представлено сравнение стоимости от срока обладания систем резервного энергообеспечения таких как топливный элемент, Бензогенератор, Li-ion АКБ, с мощностью 5 кВт.

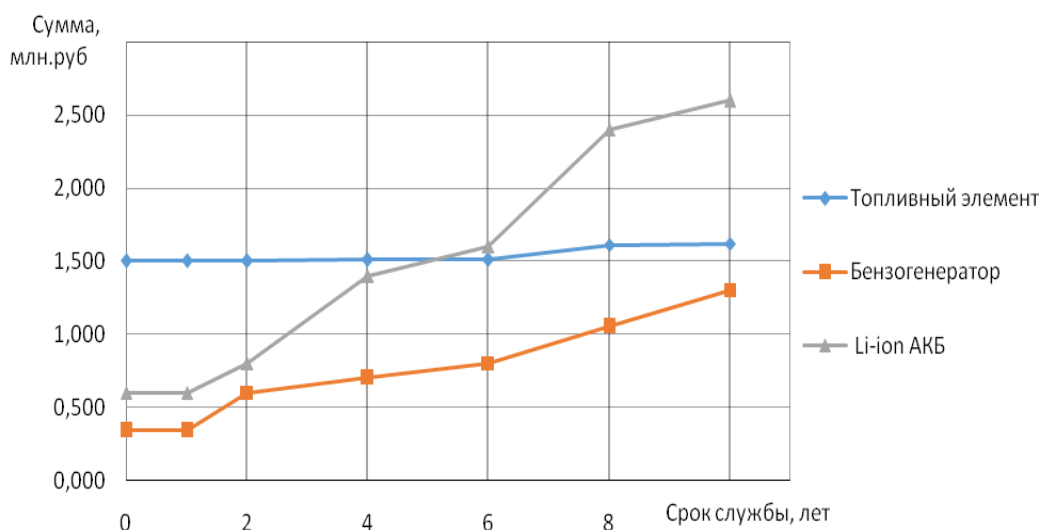


Рисунок 25 – Стоимость эксплуатации автономных систем энергообеспечения мощностью 5 кВт

На графике видно, что начальная цена литий-ионного аккумулятора мощностью 5 кВт достигает 600 тыс. руб., а с увеличением срока эксплуатации стоимость обладания увеличивается почти в 4,5 раза (за 10 лет). Система энергообеспечения на ТЭ имеет начальную цену в 1,5 млн. руб., а перспектива использования проявляется лишь при сроке эксплуатации свыше 10 лет. Бензо-генератор имеет начальную цену в 342 тыс. рублей при сроке эксплуатации в 10 лет цена составит 1,3 млн. руб., к тому же данная технология более развита и имеет дешёвые комплектующие.

Из графика можно сделать вывод, что использование автономной гибридной системы энергообеспечения на бензогенераторе имеет более низкую стоимость 1,3 млн. рублей на протяжении 10 лет.

3.4 Анализ стоимости установки в зависимости от ее мощности

Используя данные характеристик установок из источника [50], можно проанализировать и построить графики (рисунки 26-28) стоимости установок от их мощности, с различным моторесурсом.

Стоимость бензо-генератора от его мощности, с моторесурсом до 2500ч и до 5000ч

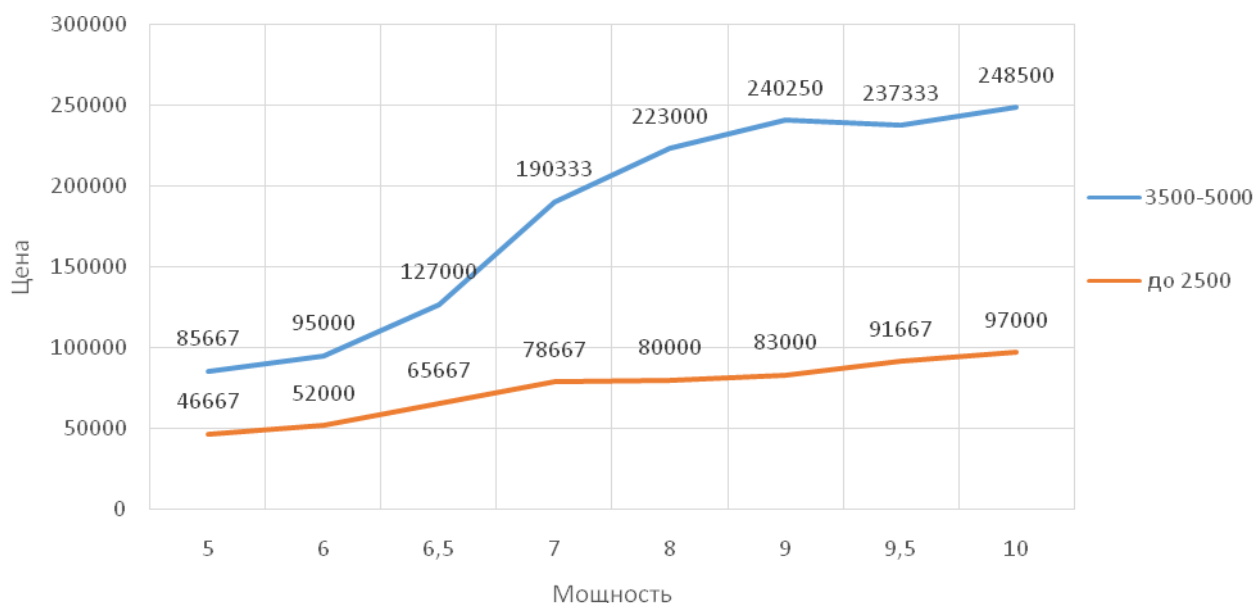


Рисунок 26 – Стоимость бензо-генератора от его мощности, с моторесурсом до 2500ч и до 5000ч

Из рисунка 26 видна разница стоимости установок с различным моторесурсом, в диапазоне мощностей от 5 до 6,5 кВт составляет в 1,87 раз, и от 7 до 10кВт составляет в 2,55раза. К примеру, при эксплуатации установки для выработки 5000 моточасов (без учета ремонта установки). Средняя стоимость у бензогенераторов с мощностью от 5 до 6.5 кВт, с моторесурсом до 2500 часов, в среднем будет выше на 7,3%, чем у бензогенераторов с моторесурсом от 3500 до 5000 часов. При мощностях от 7 до 10 кВт в среднем на 21,5% дешевле, у БГ с моторесурсом 2500ч.

Стоимость дизель-генератора от его мощности, с моторесурсом до 3500ч и до 45000ч

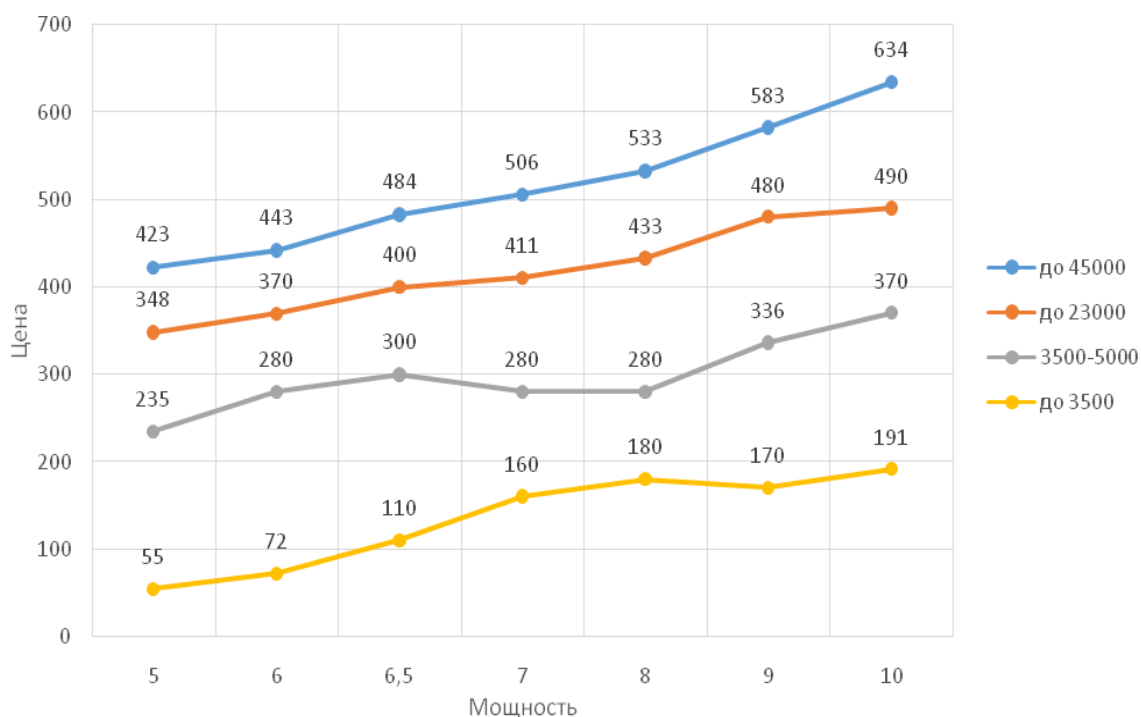


Рисунок 27 – Стоимость дизель-генератора от его мощности, с моторесурсом до 3500ч и до 45000ч

Стоимость газопоршневого-генератора от его мощности, с моторесурсом до 2500ч и до 8000ч

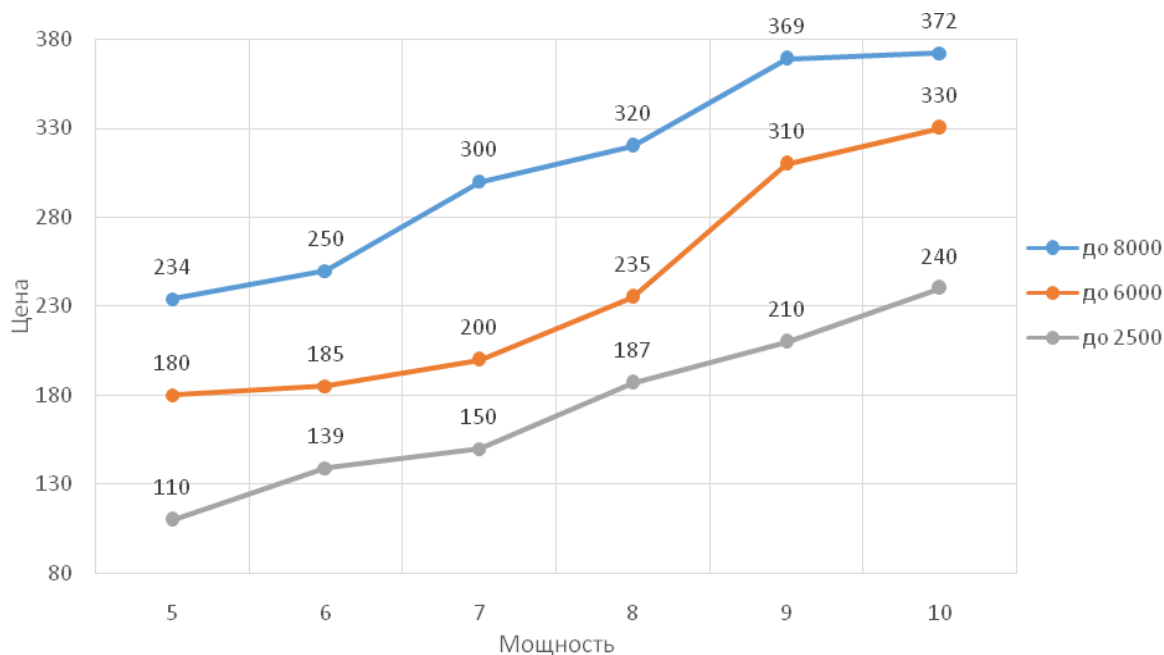


Рисунок 28 – Стоимость газопоршневого-генератора от его мощности, с моторесурсом до 2500ч и до 8000ч

Из приведенных графиков можно сделать вывод что самой дешёвой установкой на 6кВт является бензогенератор за 52тыс.руб., по сравнению с аналогами 72тыс.руб. ДГ и 139тыс.руб ГГ. Для выработки 45000 мотачасов (без учета ремонта установки) стоимость установки БГ составит 855тыс.руб., для ДГ 443тыс.руб., для ГГ 1400тыс.руб.

К примеру бензиновый генератор Leega LT7500CL-3 на 6 кВт стоит 36000рубна базе двигателя LAUNTOPLT240 с моторесурсом 2500 часов стоимостью 7800руб. Для наработки 45тыс. моточасов (без учета капитального ремонта) понадобится приобрести сам Бензогенератор и 17 двигателей, что выйдет в 168,6тыс.руб.

У газогенератора ФАС-6/1ЛМ стоимость лишь самой установки составляет 180тыс руб, а сам двигатель LC2V78F-1 с моторесурсом 8000 часов 39тыс.руб, наработка в 45тыс. моточасов составит 375тыс.руб.

Но по окончанию мотореруса нет необходимости заменять установку целиком, достаточно произвести технический или капитальный ремонт для

продолжения эксплуатации установки, что значительно удешевляет стоимость обладания, однако более частое проведение ТО и ТР(КР) приводит к увеличению стоимости обладания таких установок.

3.5 Обоснованность выбора

Так как в гибридной системе энергообеспечения доминирующее продолжительность времени будит работать системы на основе возобновляемых источниках электроэнергии, ветрогенератор или солнечная батарея, в зависимости от погодных условий (ясная погода, ветер). Не рационально приобретать дорогостоящую установку с большим моторесурсом, т.к. при малой продолжительности её работы, наработка установки будит не велика, следовательно, иметь более высокую цену обладания и стоимостью выработки 1кВт·ч электроэнергии. С другой стороны, малый ресурс установки приведет к более частым проведениям плановых ремонтов, что тоже приведет к увеличению стоимости обладания и выработки 1кВт·ч электроэнергии. В данном случаи использование генератора рассматривается как резервный или аварийный источник электроэнергии, либо в случаях, когда выработка энергии будит наиболее экономически оправданной, предпочтение отдается бензогенераторам. БГ обладают высокой вырабатываемой мощностью, просты в обслуживании и эксплуатации, компактны, дешевы, широкий и дешёвый рынок комплектующих. Данные требования удовлетворяет бензиновый генератор Leega LT7500CL-3 на 6 кВт, стоимостью 36000руб.

3.6 Конвертирование на водород

Переход с бензина на водород обуславливается тем, что данную систему наиболее перспективна в наиболее отдаленных областях, где затруднено или невозможно провести ЛЭП, и транспортировка топлива в такие районы ведет к увеличению его стоимости в разы.

Бензиновый двигатель LAUNTOPLT240 расходует при 100% нагрузке 3,67 кг/ч бензина (311,86 г/кВт·ч), при нагрузке 75 % расход составляет 2.2 л/ч (189,2г/кВт·ч)

Номинальная мощность двигателя составляет 11,8кВт (16л.с.)

Переводя с бензина на водород через эквивалент вырабатываемого тепло на единицу мощности за час или (1г водорода \approx 3г бензина).

Низшая теплота сгорания водорода 120 МДж/кг, бензина 41,9МДж/кг

Вес 1л бензина составляет 0,76кг, а 1л водорода 0,09г.

Рассчитывать необходимо на максимальную нагрузку для гарантированного обеспечения топливом двигателя. При 100% нагрузки расход бензина составляет 311,86 г/кВт·ч получим

Определяем полученную энергию от сгорания бензина

$$311,86 \cdot 41,9 / 1000 = 13,1 \text{ МДж} / (\text{кВт} \cdot \text{ч})$$

Следовательно, для получения такого же тепла потребуется

$$13,1 / 120 \cdot 1000 = 108,9 \text{ г} / \text{кВт} \cdot \text{ч}$$

Переводим в массовый расход

$$108,9 \cdot 11,8 / 1000 = 1,28 \text{ кг} / \text{ч}$$

В объемный

$$1,28 / 0,09 = 14,24 \text{ л} / \text{ч}$$

При нагрузке 75 % расход водорода составит 0,77кг/ч или 8,64л/ч

Учитывая износ узлов двигателя, которые приводят к увеличению расхода топлива, падение производительности электролизера от

эксплуатации и погрешность расчетов, увеличим необходимую производительность электролизера на 25% для обеспечения гарантированного обеспечения топливом двигателя на 100% нагрузку. Получим:

$$Q_{\text{ЭЛтрреб}} = Q_{\text{ЭЛнеобх}} \cdot 25\% = 14,24 \cdot 1,25 = 17,8 \text{ л/ч}$$

Отталкиваясь от производительности в 17,8 л/ч подбираем электролизер для гарантированного обеспечения топливом двигателя.

Данную производительность способен обеспечить генератор водорода "Кулон-20", стоимостью 120тыс.руб.

Схема добавки водорода

Схема добавки водорода представлена на рисунке 29. В качестве источника водорода установлен электролизер. Для обеспечения подачи водорода в необходимом количестве во впускную трубу двигателя собрана магистраль, состоящая из осушителя, электромагнитного клапана, блока управления и предохранительного клапана.

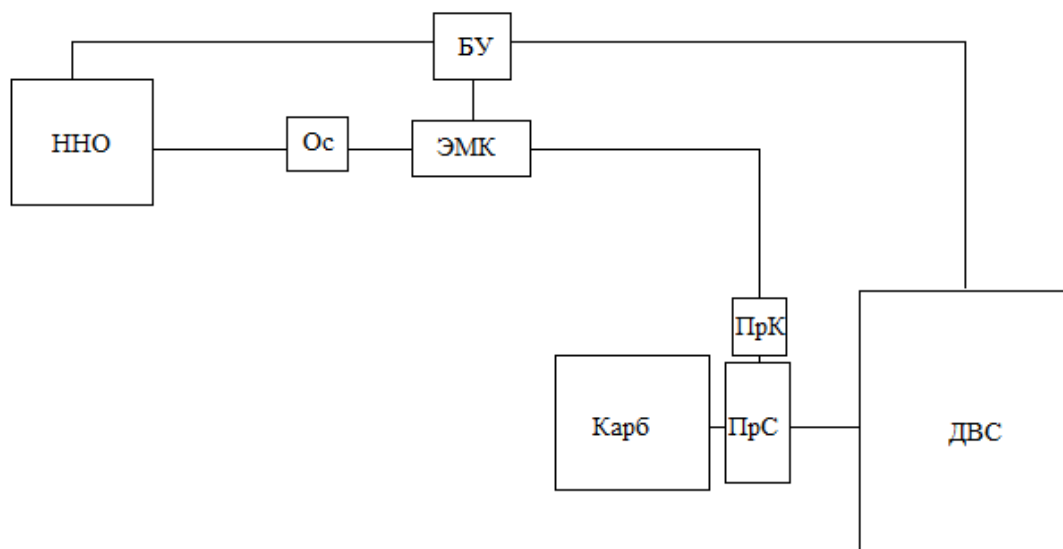


Рисунок 29 Схема добавки водорода

ННО – электролизер, Ос – осушитель, ЭМК – электромагнитный клапан, БУ – блок управления, ПрК – предохранительный клапан, ПрС – проставка, Карб – карбюратор, ДВС – двигатель

Вырабатываемый водород с давлением в 4 атм. Будит проходить через осушитель, дозировку водорода в проставку, постигаемого в двигатель, будит осуществлять и рассчитывать блок управления, посредством открытия и закрытия электромагнитного клапана. В качестве защиты от обратного воспламенения установлен предохранительный клапан.

3.7 Экономический расчет

Бензогенератор работающий на водороде

Таблица 13 Расчет выработки электроэнергии бензогенератором работающий на водороде

Наименование	Стоимость, руб.
БГ Leega LT7500CL-3 на 6 кВт	36000
Генератор водорода "Кулон-20"	120000
Расходы на ремонт и обслуживание в год	19400
Выработка электроэнергии в год при 75% нагрузке, по 5,5 часов в день кВт·ч	9033,8
Выработка БГ электроэнергии за 20 лет, кВт·ч	180680
Цена за кВт·ч от БГ, руб	2,52

При работе на бензине за 20 лет стоимость $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 20,53$ руб.

Ветрогенератор

Таблица 14 Расчет выработки электроэнергии ветрогенератором

Ветрогенератор 3 кВт/48V 2шт., руб	194000
Выработка электроэнергии в год при средней скорости ветра, кВт·ч	3456
Выработка электроэнергии за срок службы, кВт·ч(выработка в год × 20 лет)	69120
Срок службы оборудования, лет	20
Расходы на ремонт в год, руб.	6000
Цена за кВт·ч, руб (за весь срок службы)	2,27

Солнечные батареи

Таблица 15 Расчет выработки электроэнергии солнечной батареей

Солнечная батарея СБ СНН250-60Р, руб	301700
Среднегодовая дневная сумма солнечной радиации составляет, кВт·ч в день	3,8
Выработка электроэнергии в год, кВт·ч	4577,1
Срок службы оборудования, лет	20
Выработка электроэнергии за срок службы, кВт·ч (выработка в год × 20 лет)	91542
Цена за кВт·ч, руб (за весь срок службы)	3,29

Блок аккумуляторов

Таблица 16 Расчет выработки электроэнергии

Аккумуляторная батарея DTM 1290 L, 90 Ач, AGM	108800
Количество циклов при разряде на 50%	1000
энергоёмкость АКБ, кВт·ч/задень	8,64
энергоёмкость АКБ за срок службы, кВт·ч	8640
Цена за кВт·ч, руб (за весь срок службы)	12,59

Таблица 17 Расчет выработки электроэнергии гибридной системой

Срок службы оборудования, лет		20	
Цена БГ		429500	
Цена ВГ		314000	
Цена СБ		301700	
Цена АКБ		467200	
Цена установки		1512400	
Потребление объектом электроэнергии за 20 лет, кВт·ч		91943,5	
Выработка АКБ электроэнергии за срок службы (2000 циклов разряда на 50%), кВт·ч		17280	
Фактическая выработка		Потенциал установки	
Выработка БГ электроэнергии за 20 лет, кВт·ч	83304	Выработка БГ электроэнергии за 20 лет, кВт·ч	131400
Выработка ВГ электроэнергии за срок службы, кВт·ч	83304	Выработка ВГ электроэнергии за срок службы, кВт·ч	69120
Выработка СБ электроэнергии за срок службы, кВт·ч	83304	Выработка СБ электроэнергии за срок службы, кВт·ч	91540
Цена за кВт·ч от БГ, руб	5,16	Цена за кВт·ч от БГ, руб	3,27
Цена за кВт·ч от ВГ, руб	3,77	Цена за кВт·ч от ВГ, руб	2,27
Цена за кВт·ч от СБ, руб	3,62	Цена за кВт·ч от СБ, руб	3,29
Цена за кВт·ч от АКБ, руб	27,04	Цена за кВт·ч от АКБ, руб	27,04
Цена за кВт·ч от БГ с АКБ, руб	9,75	Цена за кВт·ч от БГ с АКБ, руб	6,40
Цена за кВт·ч от ВГ с АКБ, руб	8,50	Цена за кВт·ч от ВГ с АКБ, руб	10,05
Цена за кВт·ч от СБ с АКБ, руб	8,36	Цена за кВт·ч от СБ с АКБ, руб	7,68
Цена за кВт·ч установки, руб	16,45	Цена за кВт·ч установки, руб	5,03

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрены варианты применения различных источников резервного энергоснабжения для гибридной системы энергообеспечения малой мощности. Выполнен анализ рынка и наиболее подходящего варианта для гибридной системы. Рассчитаны необходимые мощности СБ, ВГ и БГ для обеспечения электроэнергией объекта. Произведено конвертирование резервного источника электроэнергии с классического топлива на водород. Разработана схема электроснабжения удаленного объекта на базе бензогенератора в качестве резервного источника энергоснабжения, использующего в качестве топлива водород.

В данной работе рассмотрены варианты применения различных источников резервного энергоснабжения для гибридной системы энергообеспечения малой мощности. Выполнен анализ рынка и наиболее подходящего варианта для гибридной системы. Рассчитаны необходимые мощности СБ, ВГ и БГ для обеспечения электроэнергией объекта. Произведено конвертирование резервного источника электроэнергии с классического топлива на водород. Разработана схема электроснабжения удаленного объекта на базе бензогенератора в качестве резервного источника энергоснабжения, использующего в качестве топлива водород.

Стоимость 1кВт·ч у бензогенератора Leega LT7500CL будет зависеть от количества часов выработки электроэнергии за день. Потенциал установки в случае при 2х часовой работе стоимость обладания за 20 лет будет составлять 292760 руб., а стоимость 1 кВт·ч = 4,46руб. В случае более частой эксплуатации, к примеру 8 часов в день стоимость обладания составит 703020 руб, а стоимостью 1 кВт·ч = 2,67руб. Фактически для данного потребителя, потребление за этот промежуток времени составит 91943 кВт·ч, в данном случае средне суточная работа генератора равна 4 ч, стоимость обладания составит 429500 руб., стоимость 1 кВт·ч = 5,16 руб. С применением АКБ 1кВт=9,75руб. (на бензине за 20 лет стоимость обладания

составила бы 2763468 руб. стоимость 1 кВт·ч =21,03руб).

Окупаемость электролизера "Кулон-20", с производительностью 20л/ч H_2 , составит 1428ч от наработки установки, при работе двигателя на 75% нагрузке, при стоимости 1л бензина 38,2руб., и обеспечит независимость от классического топлива. Недостаток электролизера заключается в его длительном выходе работы на номинальный режим, который составляет около 30 минут. Данный недостаток можно решить установкой металгидридного накопителя, что приведет к значительному увеличению стоимости такой компоновки системы.

Использование водорода в БГ генераторе хоть и позволит сократить затраты на углеводородном топливе, но также приведет к более высокой температуре выделяемой в систему охлаждения что сократит максимальное время работы двигателя, или дополнительных затрат на её улучшение. Переход на водородное топливо приведет к уменьшению его моторесурса, (который был уменьшен на 20% при расчете стоимости обладания установкой, но на практике возможны совершенно иные значения).

Две установки ветрогенератора 3 кВт/48V стоимость обладания за 20 лет составит 314000руб., а потенциал стоимости 1 кВт·ч=2,27руб. Фактическая стоимость выработки 1 кВт = 3,77руб, с применением АКБ 1кВт=8,50руб. Но количество электроэнергии, выработанной за этот период будет отличаться, так как расчет производился от средней скорости ветра $v_{cp}=5м/с$. При $v_v=9м/с$ выработка электроэнергии составит 2300кВт·ч с одного ветрогенератора.

Солнечная батарея СБ СНН250-60P, состоящая из 12 модулей, стоимость обладания которой за 20лет составит 301700руб. Потенциал стоимости 1кВт=3,29руб. Фактическая стоимость 1кВт=3,62руб. С применением АКБ 1кВт=8,36руб. Также в расчетах использовалась усредненная величина среднегодовой солнечной радиации за день (3,8 кВт·ч в) и не учитывались затраты на обслуживание, так как стоимость выработки 1кВт существенно не изменится.

В дневное потребление электроэнергии значительно ниже чем вечером и имеет невысокий пик мощности 4500 кВт, к том уже в данный период времени наибольшее значение солнечной радиации (при ясной погоде), то следует отдать приоритет работы СБ в этот промежуток суток, так как имеет самую низкую стоимость выработки электроэнергии.

В вечернее время наибольшей эффективностью выработки электроэнергии будет обладать ВГ (при наличии достаточной скорости ветра), так как имеет необходимую мощность 6 кВт и способен обеспечивать электроэнергию расходуемую потребителем в вечернее время. В ночное время 1 установка ВГ способна обеспечивать электроэнергией потребителя и восстанавливать заряд в АКБ при его расходе.

Частое использование АКБ или повышенная глубина их разряда приведет к увеличению их стоимости обладания, вследствие частой их замены. Приведенный расчет является усредненным, так как фактическое определение циклов, глубины разряда затруднено и будет зависеть от множества факторов. Данные расчеты показали, что при 50% разряде составит 1000 циклов, стоимость 1кВт будет составлять 27,04руб., что значительно дороже остальных источников.

В целом стоимость всего оборудования с учетом прочих затрат составит 1512400руб., потребитель за данный период времени потребит 91943кВт·ч, следовательно, выработка 1 кВт = 16,45руб., что дешевле выработки автономных дизель-генераторов стоимость у которых 1 кВт \approx 50руб, использующих углеводородное топливо. Различия между фактической стоимостью электроэнергии и потенциальной (1 кВт = 4,25руб.), обусловлены не столь детально подобранным потребителем, так как данный потребитель не сможет воспользоваться всей потенциальной выработанной энергии установки, которая будет составлять 309340кВт·ч за 20 лет, что в 3,4 раза больше потребленной.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ [Электронный ресурс.] URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/57788/1/eir_2017_020.pdf
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. Лукутин Б. В., Муравлев И. О., Плотников И. А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями. Томск: ТПУ, 2015. С. 5–46.
5. Пилотные проекты модернизации электроснабжения изолированных населенных пунктов на базе автономных гибридных энергетических установок [Электронный ресурс] <https://reencon.hse.ru/data/2018/03/23/1164014473/2.pdf>
6. Автономные гибридные установки [Электронный ресурс.] URL: <http://renew.ru/autonomous-hybrid-power-plants-how-and-why-does-it-work/>
7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В АФРИКЕ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАЦИИ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ [Электронный ресурс.] URL: http://mpei.ru/Science/Dissertations/dissertations/Dissertations/Крау_Zondje_Raimond_diss.pdf.

8. Официальный сайт компании «DeltaBatter»: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.delta-batt.com/catalog/gel> (дата обращения: 13.05.2016).
9. J.I. San Martín, I. Zamora, J.J. San Martín V. Aperribay, P. Eguía. Energy Storage Technologies for Electric Applications. International Conference Renewable Energies and Power Quality. (ICREPQ'11) Las Palmas de Gran Canaria (Spain), 13th to 15th April, 2011, P. 1-7.
10. Виссарионов В.И. «Солнечная энергетика» учебное пособие для вузов - Издательский дом МЭИ. - 2008. повтор
11. Информационный сайт «Солнечные элементы». [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://solarwind.net.ua/bars.html>.
12. Официальный сайт компании «МикроАРТ». [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://www.invertor.ru/solbat.html>.
13. Зарядка аккумуляторов с помощью солнечных батарей. [Электронный ресурс]. http://spotential.ru/sites/default/files/zaryadka_akkumulyatorov_s_pomoshchyu_solnechnyh_batarey.pdf
14. Солнечные батареи для дома. [Электронный ресурс]. <http://greensector.ru/inzhenernye-sistemy/solnechnye-batarei-dlya-doma-skhem-oborudovaniya-raschet-stoimosti-komplekta.html>
15. Ветрогенераторы и системы автономного питания. [электронный ресурс]. <Http://www.electrowind.ru/vetryanye-sistemy/polkilo>
16. Ветреная ветряная энергетика. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.nkj.ru/archive/articles/22733/>.
17. Гафуров Н.М., Хакимуллин Б.Р., Багаутдинов И.З. Основные направления альтернативной энергетика. // Инновационная наука. - 2016. - № 4-3. - С. 74-76.
18. Экологические проблемы энергетического обеспечения человечества. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/ecol05.htm>.

19. Экологические проблемы человечества и пути их решения. Часть 2. Энергетика. [Электронный ресурс] / http://www.chemfive.ru/news/ehkologicheskie_problemy_chelovechestva_i_puti_ikh_reshenija_ehnergetika/2014-04-25-266.
20. Калимуллина Д.Д., Гафуров А.М. Влияние альтернативной энергетики на окружающую среду. // Инновационная наука. - 2016. - № 3-3. - С. 97-98.
21. Нанохимия и нанотехнология. [Электронный ресурс] . http://him.1september.ru/view_article.php?ID=200902102
22. Кашкаров А. - Современные био-, бензо-, и дизель-генераторы. ДМК-Пресс, 2011 г., стр.136.
23. ГЕНЕРАЦИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК Гудков С.А., Лебедева Е.А. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ) Нижний Новгород, Россия
24. Larminie J., Dicks A. "Fuel Cell Systems Explained". Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2003. p. 406.
25. Кпау Зондже Раймонд. Исследование эффективности схем энергоснабжения автономных потребителей в Африке на основе солнечной фотоэлектрической станции и электрохимических накопителей энергии. [Текст] / Кпау Зондже Раймонд; [Нац. исслед. ун-т МЭИ]. - Москва, 2014. - 165 с.
26. Водородная энергетика. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pnpi.spb.ru>; <http://lepfed.narod.ru/>.
27. Электролиз, или вода вместо бензина. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.skyzone.ru/tech/meyer_h2.htm.
28. Пономарев-Степной Н. Н. Атомно-водородная энергетика / Н. Н. Пономарев-Степной // Росэнергоатом. 2004, № 4.
29. Хранение водорода - Промышленность, производство. [Электронный ресурс] URL: <https://www.kazedu.kz/referat/8479>

30. Р.В. Радченко, Водород в энергетике«учебное пособие для студентов, обучающихся по дисциплинам» [Текст] / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа ; М-во образования Российской Федерации, Уральский федеральный ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, [Уральский энергетический ин-т]. - Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2014. - 229 с

31. Атомно-водородная энергетика [Электронный ресурс] URL: Режим доступа: <http://minatom.ru>

32. Электрохимическое получения водорода [Электронный ресурс] URL:<http://referat.yabotanik.ru/himiya/jelektrohimicheskoe-polucheniya-vodoroda/251655/237925/page3.html>.

33. A. Züttel. Materials for hydrogen storage. // Materials Today. 2003, September, p.24-33

34. Ассад, М. С. Состав продуктов сгорания водородсодержащих топлив на режиме холостого хода двигателя внутреннего сгорания / М. С. Ассад, О. Г. Пенязьков // Тепло- и массоперенос–2008. – Минск: ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2009. – С. 82–88. __ 25. Ассад, М. Улучшение основных показателей работы моноциклона тракторного двигателя / М. Ассад, А. Н. Карташевич // Диагностика, повышение эффективности, экономичности и долговечности двигателей: постоянно действующий науч.-техн. семинар стран СНГ. – СПб., 1992.

35. Вагнер, В. А. Насыщение топлива водородом и предел его эффективного использования при улучшении экономических и экологических характеристик дизелей / В. А. Вагнер // Альтернативные топлива в двигателях внутреннего сгорания: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. – Киров, 1988. –С. 155–156.

36. Жегалин, О. И. Альтернативные топлива и перспективы их применения в тракторных дизелях: Обзор / О. И. Жегалин, Е. Г. Пономарев, В. К. Журавлев. – М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1986. – 40 с.

37. Watson, H. C. Efficiency and emissions of a hydrogen or methane fueled spark-ignition Engine / H. C. Watson, E. E. Milkins, J. V. Deslandes // FISITA. Paris, 1974. – P. 1–9.
38. Шкаликова, В. Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях / В. Н. Шкаликова, Н. Н. Патрахальцев. – М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 1993. – 64 с.
39. Зельдович, Я. Б. Окисление азота при горении / Я. Б. Зельдович, П. А. Садовников, Д. А. Франк-Каменецкий. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – 147 с.
40. Stebar, R. F. Emission control with lean operation using hydrogen-supplemented fuel / R. F. Stebar, F. B. Parks // SAE. Pap. – 1974. – N 740187. – P. 1–11.
41. Alternative fuels for control of engine emission / E. Starkman [et al] // J. Air Pollution Control Association. – 1970. – Vol. 20, N 2. – P. 87–92.
42. Warnatz, J. Concentration-, pressure-, and temperature dependence of the flame velocity in the hydrogen-oxygen-nitrogen mixtures / J. Warnatz // Combust. Sci. Technol. – 1981. – Vol. 26. – P. 203.
43. Применение водорода в качестве топлива для тепловых двигателей / А. Н. Подгорный [и др.] // Вопр. атомной науки и техники. Сер. Атомно-водородная энергетика. – М.: Изд-во ИАЭ АН СССР, 1977. – Вып. 2(3). – С. 52–60.
44. Finegold, J. D. The UCLA hydrogen car: Design, construction and performance / Finegold J. D. // SAE. Trans. – 1974. – N 730507. – P. 1626–1637.
45. Канило, П. М. Токсичность ГТД и перспективы применения водорода / П. М. Канило. – Киев: Наукова думка, 1982. – 140 с.
46. Clauton, R. M. Hydrogen enrichment for low-emission jet Combustion / R. M. Clauton // Evaporat. Combust. Fuels Symp. 172nd meet. amer. chem. Soc. Washington, 1978. – P. 267–286.
47. Бортников Л.Н. Экспериментальная и расчетная оценка эффективности применения водорода на автомобиле / Л.Н.Бортников,

Д.А.Павлов, М.М.Русаков // Автомобильная промышленность. -2013. -№ 6. - С. 28-33.

48. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н.Абрамович.- М.: Наука, 1976.- С. 238.

49. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив [Текст] : образование, расчет, эксперимент / М. С. Ассад, О. Г. Пенязьков ; Национальная академия наук Беларуси ; Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова. - Минск : Беларуская навука, 2010. - 258,

50. Интернет магазинENERGY BROKER [Электронный ресурс] URL: <http://energybroker.ru/serija-rid-mitsubishi-ot-8-do-40-kva/647-dizelnyy-generator-et-r-8-a-m.html>

51. Альтернативные источники электроэнергии[Электронный ресурс] URL: <http://energystock.ru/vetrogenerator/vetryanye-elektrogenerator/vetryaki-dlya-doma-kupit>

52. Энергия солнца[Электронный ресурс] URL: <http://www.solnechnye.ru/batareya/solnechnaya-batareya-Chinaland-CHN250-60P-250W.htm>

53. Источники бесперебойного питания [Электронный ресурс] URL: http://www.1000va.ru/shop/alarm_force/fb_65-12/

54. Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа [Электронный ресурс] URL: <http://dlib.rsl.ru>

55. М. С. Ассад, О. Г. Пенязьков ; Национальная академия наук Беларуси [Электронный ресурс] URL: <http://dlib.rsl.ru>

56. Пример расчета параметров ветроэнергетических установок [Электронный ресурс] URL: <https://moluch.ru>

57. Разработка и исследование пленочного литиевого аккумулятора[Электронный ресурс] URL: <http://mpei.ru>

58.

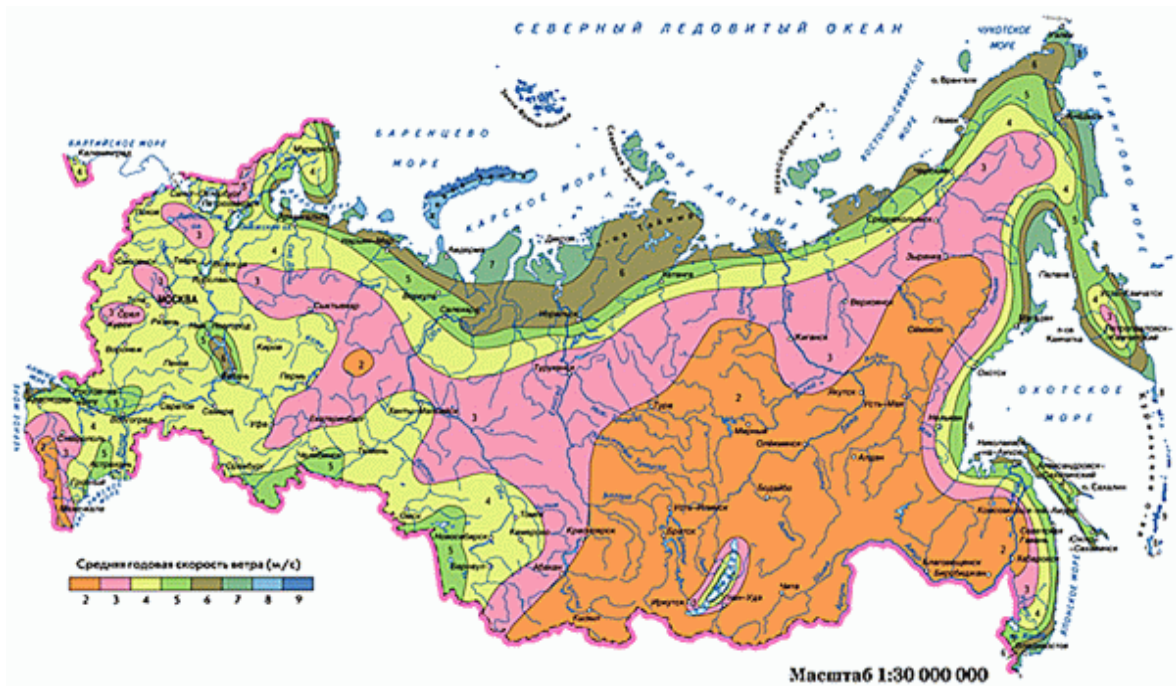


Рисунок 31 Карта скоростей ветров уср Российской Федерации



Рисунок 32 Карта среднегодовой солнечной радиации Российской Федерации

Таблица потребителей


















	Номинальная мощность потребителя	Необходимая номинальная мощность станции
	0,06 кВт	0,066 кВт
	0,75 кВт	1 кВт
	1,6 кВт	5 кВт
	0,5 кВт	1,5 кВт
	1-9 кВт	1,2-10,8 кВт
	2,0 кВт	2,2 кВт
	2,0 кВт	2,2 кВт
	1,5 кВт	1,7 кВт
	2,0 кВт	2,2 кВт
	2,0 кВт	2,2 кВт
	0,5 кВт	0,65 кВт
	0,3 кВт	0,5 кВт
	1,1 кВт	3 кВт
	1 кВт	3 кВт
	1,6 кВт	4 кВт
	1,5 кВт	4,5 кВт
	1 кВт	5 кВт

Рисунок 33 Таблица номинальных мощностей электроприборов

Таблица 18 Технические характеристики ветрогенератора

Ветрогенератор 3 кВт/48V	97 000 руб.
Мощность при 10 м/с	3500 ватт
Мощность при 9 м/с	2300 ватт
Мощность при 5 м/с	500 ватт
Стартовое значение	2,5 м/с
Рабочий диапазон	3-25 м/с
Материал лопастей	армированное стекловолокно с защитным покрытием 3М
Диаметр ротора	4 м
Масса ветрогенератора	130 кг
Подшипники на валу	NSK, Япония
Подшипник вертикальный	токосъёмный
Крепления мачты	«труба в трубу»
Срок эксплуатации	25 лет и более
Гарантия	1 год