



Н.П. Местников, Г.И. Давыдов, А.М.-Н. Альзаккар

ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И АРКТИКИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
по дисциплине «ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА»
и факультативу
«ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА»

Якутск
2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
Физико-технический институт
Сибирское отделение Российской академии наук
Институт физико-технических проблем Севера имени В.П. Ларионова

Н.П. Местников, Г.И. Давыдов, А.М.-Н. Альзаккар

**ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И АРКТИКИ**

Учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика»
и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности
в условиях Севера»

Якутск

2022

УДК 620.92

ББК 31.15

М53

Утверждено учебно-методическим советом СВФУ

Рецензенты:

Н.С. Бурянина, д.т.н., профессор кафедры ЭС ФТИ СВФУ, г. Якутск,

Л.Р. Гайнуллина, к.т.н., доцент кафедры ВИЭ КГЭУ, г. Казань

Местников, Н.П.

Водородная энергетика в условиях Севера и Арктики [Электронный ресурс] : учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика» и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» / Н.П. Местников, Г.И. Давыдов, А.М.-Н. Альзаккар. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2022. – 1 электрон. опт. диск
ISBN 978-5-7513-3316-4

Учебное пособие содержит теоретический материал и описание по выполнению практических заданий по дисциплине «Общая энергетика» и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» с ориентацией на методы и принципы развития водородной энергетики в климатических условиях Севера и Арктики. При разработке учебного пособия применялись стандарты и нормы ГОСТ Р 54110-2010, ГОСТ 3022-80, ГОСТ Р МЭК 62282-3-100-2014 и др.

Предназначено для студентов по направлениям подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение»), 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Энергообеспечение предприятий») в качестве курса лекций и практических занятий и начинающих специалистов отраслевых организаций в сфере энергетики.

УДК 620.92

ББК 31.15

ISBN 978-5-7513-3316-4

© Местников Н.П., Давыдов Г.И., Альзаккар А.М.-Н., 2022

© Северо-Восточный федеральный университет, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----------|
| ПРЕДИСЛОВИЕ..... | 6 |
| ВВЕДЕНИЕ | 8 |
| ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ..... | 10 |
| УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ | 13 |
| ГЛАВА 1. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕВЕРА И АРКТИКИ | 16 |
| 1.1. Климат Севера и Арктики..... | 16 |
| 1.2. Климат Арктики на зимний период | 19 |
| 1.3. Климат Арктики на летний период..... | 20 |
| 1.4. Климат Республики Саха (Якутия) | 22 |
| 1.5. Многолетняя вечная мерзлота..... | 28 |
| 1.6. Изменение климата Арктики..... | 31 |
| 1.7. Рекомендуемые видеоматериалы..... | 34 |
| 1.8. Контрольные вопросы | 35 |
| ГЛАВА 2. ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА | 36 |
| 2.1. Что такое водородная энергетика? | 36 |
| 2.2. Области применения водорода | 37 |
| 2.2.1. Применение водорода в химической промышленности | 40 |
| 2.2.2. Применение водорода в нефтеперерабатывающей промышленности | 40 |
| 2.2.3. Применение водорода в металлургии | 41 |
| 2.2.4. Применение водорода в стекольной промышленности | 41 |
| 2.2.5. Применение водорода в энергетической отрасли..... | 42 |

| | |
|--|------------|
| 2.2.6. Применение водорода в пищевой промышленности..... | 43 |
| 2.3. Классификация водорода на территории ЕС | 43 |
| 2.4. Преимущества и недостатки водородной энергетики | 45 |
| 2.5. Направления развития водородной энергетики..... | 46 |
| 2.6. Способы производства водорода..... | 47 |
| 2.7. Потенциал развития водородной энергетики | 54 |
| 2.8. Рекомендуемые видеоматериалы | 58 |
| 2.9. Контрольные вопросы | 58 |
| ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ | 60 |
| 3.1. Водород в роли энергетического носителя..... | 60 |
| 3.2. Роль водорода в машиностроении | 62 |
| 3.3. Роль водорода в электроэнергетике | 66 |
| 3.4. Водород в возобновляемой энергетике | 74 |
| 3.5. Получение водорода методом электролиза | 78 |
| 3.6. Рекомендуемые видеоматериалы..... | 84 |
| 3.7. Контрольные вопросы..... | 85 |
| ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ | 86 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 101 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА..... | 102 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ ИЗ ВОДОРОДА | 104 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В. УСЛОВИЯ И СПОСОБЫ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА | 105 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ С. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВОДОРОД-АККУМУЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ..... | 106 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие предназначено для изучения дисциплины «Общая энергетика» и факультатива «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» и адресовано студентам 2-4 курсов, которые обучаются по направлению подготовки бакалавров по специальностям 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» очного и заочного форм обучения в соответствии с требованиями и условиями ФГОС 3++.

Учебное пособие может быть применено в курсе изучения основ водородной энергетики с учетом особенностей Севера и Арктики. В пособии соблюдены нормы и стандарты высшего образования к водородной энергетике, реализовано требование профессионально ориентированного обучения в области общей энергетики.

Одной из задач данного курса является повышение исходного уровня владения основами функционирования объектов водородной энергетики, а также овладение ими необходимым и достаточным уровнем теоретических и практических компетенций для решения специализированных задач в области водородной энергетики с применением определенных закономерностей и методов.

При составлении учебного пособия автор исходил из концепции взаимосвязанного обучения основным видам технологических и инновационных проектов. Данный подход предопределил структуру и содержание пособия.

Учебное пособие направлено на формирование у студентов навыков и компетенций по разработке, оформлению технологических проектов в сфере водородной энергетики с учетом климатических особенностей Севера и Арктики.

Специализированное оформление пособия, разнообразие иллюстративного материала и обозримое построение дисциплины способствуют повышению мотивации студентов. Некоторые графические интерпретации в пособии играют роль стимула в рамках изучения данной дисциплины. В пособие включен терминологический словарь в области водородной энергетики.

Цель дисциплины – формирование у студента навыков и компетенций в области общей энергетики.

Задачами дисциплины являются:

- формирование представления у обучающихся о теоретических основах водородной энергетики.
- формирование представления у обучающихся о структуре водородной энергетики.
- развитие у обучающихся практических умений и навыков в области значения объектов водородной энергетики.
- формирование у обучающихся профессиональной готовности к овладению технологиями водородной энергетики.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать: понятийный аппарат в области водородной энергетики знания в целом; структуру и этапы развития водородной энергетики; жизненный цикл работы объектов водородной энергетики; структуру функционирования объектов водородной энергетики.

2) Уметь: проводить сбор и анализ информации в области водородной энергетики, в том числе, с использованием Интернет-ресурсов; осуществлять планирование проекта в области водородной энергетики; осуществлять электроэнергетическую и технико-экономическую оценку работы объектов водородной энергетики.

3) Владеть: современными средствами сбора информации; технологиями водородной энергетики; методами оценки проектов области водородной энергетики.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках реализации требований и условий Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС 3++) и Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 N 273-ФЗ высшими учебными заведениями (далее – ВУЗ) активно производятся процедуры обучения студентов по различным направлениям бакалавриата, магистратуры, аспирантуры и специалитета.

В условиях увеличения степени декарбонизации энергетики и ее цифровой трансформации в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и постоянной актуализации Федерального закона от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 11.06.2021) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации", Федерального закона "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ и Распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 года №1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» внутри предприятий в сфере энергетики и коммунального комплекса необходимо обеспечение взаимной интеграции ВУЗов и энергетических компаний в целях получения специалистов высокой квалификации, владеющие навыками в области декарбонизации энергетики, являющимися актуальными в наши дни.

В большинстве высших учебных заведений РФ фактически отсутствуют учебные факультативы, направленные обучение студентов к компетенциям и навыкам основ водородной энергетики в условиях Севера и Арктики.

В случае несоответствия компетенций, полученные студентом во время обучения в высшем учебном заведении, потенциальные работодатели вынуждены обеспечить переобучение молодого специалиста к новым компетенциям в сфере общей энергетики, где потребуется не менее полугода в зависимости от

интеллектуального уровня специалиста, что и является катализатором замедления развития предприятия. Вследствие данной тенденции потенциальные работодатели вынуждены нанимать на рабочую деятельность специалистов со стажем работы от двух лет.

Решением данной проблемной тенденции является разработка учебного пособия на основании требований и условий рабочих программ дисциплины «Общая энергетика» и факультатива «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера», которое разработано в соответствии с условиями и требованиями существующего уровня развития технологий в сфере водородной энергетики.

Авторы учебного пособия выражают свою благодарность за ценные замечания и советы своим научным руководителям и наставникам:

- Н.С. Буряниной, доктору технических наук, профессору кафедры «Электроснабжение» ФТИ СВФУ имени М.К. Аммосова.
- Нуруллину Э.Г., доктору технических наук, профессору кафедры «Машины и оборудования в агробизнесе» Института механизации и технического сервиса Казанского государственного аграрного университета.
- Гайнуллиной Л.Р., кандидату технических наук, доценту, заведующему кафедрой «Возобновляемые источники энергии» Института электроэнергетики Казанского государственного энергетического университета.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

| № | Сокращенное название | Определение |
|----------|---|--|
| 1. | ФЗ | Федеральный закон |
| 2. | СП | Свод правил |
| 3. | СанПин | Санитарные нормы и правила |
| 4. | СНиП | Строительные нормы и правила |
| 5. | МинЖКХиЭ | Министерство жилищно-коммунального хозяйства и энергетики |
| 6. | ДККЭиАР | Департамент коммунального комплекса, энергоэффективности и административной работы |
| 7. | ДЭФ | Департамент экономики, финансов, имущества и информатизации |
| 8. | ДЭ | Департамент энергетики, жилищной политики и оперативного контроля |
| 9. | Центр ЖКХ | ГАУ РС(Я) «Центр развития жилищно-коммунального хозяйства и повышения энергоэффективности» |
| 10. | Минстрой | Министерство строительства |
| 11. | Справка | Справочная информация об определенном вопросе в зависимости от запроса руководства |
| 12. | ВОС | Водоочистные сооружения |
| 13. | КОС | Канализационно-очистные сооружения |
| 14. | Указ 204 / Национальные цели и стратегические задачи развития Российской Федерации на период до 2024 года | Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» |
| 15. | ТЗ | Техническое задание |
| 16. | ПЗ | Пояснительная записка |
| 17. | НПА | Нормативно-правовой акт |
| 18. | ГИП | Главный инженер проекта |
| 19. | ОВОС | Оценка воздействия на окружающую среду |
| 20. | ЗУ | Земельный участок |
| 21. | ДЖКХ | Департамент ЖКХ и энергетики |

| | | |
|-----|------|--|
| 22. | ПО | Программное обеспечение |
| 23. | КИУМ | Коэффициент использования установленной мощности |
| 24. | УМП | Учебно-методическое пособие |
| 25. | ТЭО | Технико-экономическое обоснование |
| 26. | БП | Бизнес-план |
| 27. | ПС | Подстанция |
| 28. | ЭС | Электроснабжение |
| 29. | ВИЭ | Возобновляемые источники энергии |
| 30. | АРМ | Автоматизированные рабочие места |
| 31. | ПК | Персональный компьютер |
| 32. | ЛЭП | Линия электропередачи |
| 33. | СН | Собственные нужды |
| 34. | ВН | Высокое напряжение |
| 35. | НН | Низкое напряжение |
| 36. | ТЭР | Технико-экономический расчет |
| 37. | ИЭИ | Инженерно-экологические изыскания |
| 38. | ИГМИ | Инженерно-гидрометеорологические изыскания |
| 39. | ИГИ | Инженерно-геодезические изыскания |
| 40. | НИР | Научно-исследовательская работа |
| 41. | САПР | Система автоматизированного проектирования |
| 42. | ЗРУ | Закрытая распределительная установка |
| 43. | ОРУ | Открытая распределительная установка |
| 44. | РУ | Распределительная установка |
| 45. | ГПП | Главная понизительная подстанция |
| 46. | СМР | Строительно-монтажные работы |
| 47. | ТУ | Технические условия |
| 48. | НТД | Нормативно-техническая документация |

| | | |
|-----|-----------|---|
| 49. | ПД | Проектная документация |
| 50. | ПОС | Проект организации строительства |
| 51. | ППР | Проект производства работ |
| 52. | СДТУ | Средства диспетчерского и технологического управления |
| 53. | ДЭС | Дизельная электростанция |
| 54. | ДГУ | Дизель-генераторная установка |
| 55. | э/э | Электрическая энергия |
| 56. | о.е. | Относительные единицы |
| 57. | ПКА | Понятийно-категориальный аппарат |
| 58. | Рекреация | Комплекс оздоровительных мероприятий, осуществляемых с целью восстановления нормального самочувствия и работоспособности здорового, но утомленного человека |

УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

| Наименование | Обозначение | | Размеры в мм / Примечание |
|---|-------------|-----------|--|
| | Графическое | Буквенное | |
| Двухобмоточный силовой трансформатор | | T | Диаметр – 10, длина стрелки – 20, угол наклона – 45° |
| Автотрансформатор | | AT | - |
| Трехобмоточный силовой трансформатор | | T | - |
| Силовой трехфазный двухобмоточный с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) | | T | - |
| Трансформатор тока | | TA | Диаметр окружности – 10, радиус дуг – 2,5. |
| Трансформатор напряжения | | TV | Диаметр окружности – 10, расстояние между центрами окружностей – 6 |
| Кабельная линия | | КЛ | - |
| Токоограничивающий реактор | | LR | Диаметр – 12 мм |
| Сдвоенный реактор | | LR | - |
| Батарея конденсаторная силовая | | СВ | |
| Генератор | | Г (G) | Диаметр окружности – 10. Для основных элементов |

| | | | |
|---|--|--------------|---------------------------------------|
| | | | схемы размеры увеличиваются в 2 раза. |
| Синхронный компенсатор | | GS | - |
| Электродвигатель | | M | - |
| Ограничитель перенапряжения | | ОПН (FV) | |
| Разрядник вентильный | | FV | |
| Разрядник трубчатый | | FV | - |
| Плавкий предохранитель | | FU | - |
| Рубильник | | QS или SA | |
| Рубильник, выключатель низковольтный трехполюсный | | - | - |
| Разъединитель | | QS | |
| Выключатель нагрузки | | QW | - |
| Короткозамыкатель | | QN | - |
| Отделитель одностороннего действия | | QR | - |
| Заземляющий нож | | QSG | - |
| Заземление | | - | - |

| | | | |
|--|----------|-----|--------------------------------|
| Автоматический выключатель | | QF | - |
| Амперметр: А – показывающий Б – регистрирующий | (a) (б) | PA | Диаметр – 10; квадрат 10×10 |
| Вольтметр: А – показывающий Б – регистрирующий | (a) (б) | PV | Диаметр – 10; квадрат 10×10 |
| Ваттметр: А – показывающий Б – регистрирующий | (a) (б) | PW | - |
| Варметр: А – показывающий Б – регистрирующий | (a) (б) | PVA | - |
| Счетчик активной энергии | | PI | - |
| Счетчик реактивной энергии | | PK | - |
| Линия проводки | | Л | - |

Примененные нормативно-технические акты:

1. ГОСТ 2.722-68 Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические.
2. ГОСТ 2.780-68 Обозначения условные графические. Элементы гидравлических и пневматических сетей.
3. ГОСТ 2.782-68 Обозначения условные графические. Насосы и двигатели гидравлические и пневматические.
4. ГОСТ 2.745-68 Обозначения условные графические в схемах. Электронагреватели, устройства и установки электротермические.

ГЛАВА 1. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕВЕРА И АРКТИКИ

В данной главе представлена обзорная информация о климатических особенностях Севера и Арктики с приоритетом на северную часть Республики Саха (Якутия), где преобладают территории субарктической и арктической зоны. Выполнен обзор по основным климатическим характеристикам Севера и Арктики с приведением различных графических интерпретаций, рисунков и общих схем.

1.1. Климат Севера и Арктики

Арктика с географической точки зрения находится у Северного полюса. Площадь данной области составляет около 27 млн. км². Здесь «отметились» части акваторий всех земных океанов, исключая Индийский. Зона Арктики включает также североамериканские окраины и границы Евразии.

Климат Арктики считается одним из наиболее суровых и холодных на планете. В то же самое время он непредсказуемо изменчив: внезапно температура может возрасти от 7 до 10 градусов в результате проявления мощного теплого циклона.

Температура зимой в январе (он считается наиболее теплым в это время года) – минус 2-5 °C. Местные водные пространства холоднее воздуха. Температура в Баренцевом море – минус 25 °C, на Чукотском и Гренландском – минус 36 °C, температура воды Сибирского и Канадского бассейна – минус 50 °C. Весьма суровые – северные воды акватории, где показатели температуры доходят до минус 60 °C.

Во время полярной ночи (от 50 до 150 дней за год) ни света, ни тепла в эти края не поступает. За это время температура земли постоянно охлаждается. В период полярных суток, несмотря на довольно большое количество солнечных лучей, большой объем тепла поглощается за счет облаков, снега и льда.

На рис. 1.1 представлена карта арктической зоны с охватом территорий России, США, Канады, Дании, Исландии и Норвегии, указанная красной линией.



Рисунок 1.1 – Карта арктической зоны Земного шара

Арктический климат зимой и летом имеет одну важную особенность — высокую континентальность. И это, невзирая на то, что центральная часть в основном занята океаном. Поскольку воду здесь сковал лед, она практически не оказывает влияния на потоки воздуха. Континентальность климата в зоне Арктики нарастает с западного направления на восточное, поскольку именно в этом направлении перемещаются воздушные массы с океана, но влага по дороге постепенно теряется.

Особенности климата Арктики, в целом, можно классифицировать как, с одной стороны, типичный для тундровых земель (где в самый теплый годовой период температура в среднем от 0 до 10 $^{\circ}\text{C}$), с другой — наиболее подходящий областям с ледяным покровом (для местности, где не тает снег и средние показатели температуры около 0 $^{\circ}\text{C}$). Иногда идет снег, но в целом для климата Арктики осадки — редкое явление, их ежегодное количество менее 51 мм. Впечатление постоянного снегопада создается за счет того, что уже выпавший снег вымешивается ветрами.

Те области, что прилегают к океаническим акваториям (Тихой и Атлантической), в общей сложности, теплее, и снега там больше. Климату внутренних областей больше свойственны сухость и холод.

На рис. 1.2 представлен внешний вид арктической территории на весенне-летний период.



Рисунок 1.2 – Внешний вид арктической территории на весенне-летний период

1.2. Климат Арктики на зимний период

Арктическая зима характеризуется усиленным действием циклонов. С той их частью, что приходят в основном со стороны Атлантического океана, связаны такие особенности климата, как высокие показатели температуры воздуха, частые ветры (довольно большой силы), максимальные объемы осадков и большая облачность.

Антициклоны зимой, как правило, действуют в Сибирской части Арктики, немного слабее их влияние в Гренландском и Канадском районе. Ветры здесь либо совсем незначительные, либо умеренные, осадков выпадает мало, морозы сильные и небольшая облачность.

Короткий световой день и длинные ясные ночи предоставляют множество хороших возможностей для их наблюдения. Северное сияние можно наблюдать с сентября по начало апреля в дни повышенной солнечной активности. В остальные месяцы его не видно, так как на территории Ненецкого автономного округа наступает полярный день, когда светло даже ночью. Лучшее время суток для наблюдений — примерно с 10 вечера до 3 утра.

Полярное (северное) сияние — это явление свечения верхних слоев атмосферы Земли, вызванное движением заряженных частиц солнечного ветра в магнитном поле планеты. Обычно полярные сияния наблюдаются в так называемых авроральных зонах — зонах-поясах, которые расположены в высоких широтах, так как окружают магнитные полюса Земли. Но этим вечером планету достигла настолько мощная вспышка, что полярное сияние удалось увидеть жителям более южных широт, в том числе и в Москве.

Какой климат в Арктике, зимой по-настоящему почувствовать сложно, потому что в это время погода становится более-менее однообразной, с незначительными колебаниями температуры. Зима в Арктике — это полярная ночь, длившаяся полгода, и в это время столбик термометра может упасть до отметки минус 60 °С. В общей сложности, зимой температурные режимы не особенно отличаются друг от друга.

На рис. 1.3 представлены внешние виды северного сияния в Арктике.



Рисунок 1.3 – Внешние виды северного сияния в Арктике

Средние температуры самого холодного зимнего месяца Арктика — января — колеблются от - 2, - 4 °C в южной части Атлантического района до - 25°C на С. Баренцева м., З. Гренландского моря, в морях Баффина и Чукотском и от - 32, - 36°C в Сибирском районе Арктика, на С. Канадского и в прилегающей к нему части Арктического бассейна до - 45, - 50 °C в центральной части Гренландии. Минимальные температуры в этих районах иногда снижаются до - 55, - 60 °C, только в Арктическом бассейне они не опускаются ниже - 45, - 50 °C. При прорывах глубоких циклонов температура иногда повышается до - 2, - 10 °C. В результате сильного выхолаживания поверхности в этих районах постоянны инверсии температуры воздуха. Абсолютная влажность воздуха мала (парциальное давление водяного пара от 0,5 до 2—3 мбар), относительная влажность — высокая (80—90%).

1.3. Климат Арктики на летний период

Особенности климата в Арктике летнего времени имеют определенные отличия от зимних. Наиболее теплый арктический период — июль, средние темпе-

ратурные значения в это время достигают температуры от 0 до плюс 5 °C (Арктический бассейн), от 2 до плюс 3 °C (морское побережье), 6-10 °C (район материка).

Лето в Арктике короткое, длится всего несколько дней или месяц. Количество дней, когда тепло и температура выше ноля на юге района – около 20 °C, а на севере 6-10 дней. Ветер северный. В июле температура воздуха составляет 0-5 °C, а на материке иногда может повышаться температура до +5 или +10 °C. В это время цветут северные ягоды, цветы, растут грибы. И даже летом в некоторых местах происходят заморозки.

Летом в центральном районе Гренландии еще теплее – до 12 °C. Однако и на протяжении всего теплого времени года возможны заморозки. На территории Арктического бассейна очень влажно (влажность среды составляет не более 98%), если попасть в Арктику летом, можно увидеть низкую слоистую облачность, частые туманы и осадками в виде дождя или мокрого снега. Ветер умеренный. Баренцево море летом почти свободно от покрова льда благодаря теплому подводному Северо-Атлантическому течению.

Необходимо упомянуть, что в настоящий момент средняя температура в Арктическом районе неуклонно растет. Это означает, что не только арктическая зима становится более теплой. В Северном Ледовитом океане меняются течения. Арктический регион приобретает новые особенности. И смягчение климата в целом несет с собой ощутимые последствия для всей планеты.

В конце августа наступает осень, длится тоже не долго, потому что в конце сентября уже снова наступает зима. В это время температура колеблется от 0 до –10 °C. Опять наступает полярная ночь, становится холодно и темно.

На рис. 1.4 представлены внешние виды летнего периода в Арктике.



Рисунок 1.4 – Внешние виды летнего периода в Арктике

1.4. Климат Республики Саха (Якутия)

Республика Саха (Якутия) расположена в северо-восточной части Сибири, граничит на востоке с Чукотским автономным округом и Магаданской областью, на юго-востоке – с Хабаровским краем, на юге – с Амурской областью и Забайкальским краем, на юго-западе – с Иркутской областью, на западе - с Красноярским краем. Северное побережье республики Саха омывается морем Лаптевых и Восточно-Сибирским морем. Республика Саха (Якутия) входит в состав Дальневосточного округа Российской Федерации. Столица – город Якутск. Также крупными городами республики являются: Нерюнгри, Мирный, Ленск, Алдан, Айхал, Удачный, Вилуйск. Площадь Якутии составляет три миллиона квадратных километров. Более 40% территории республики находится за Северным полярным кругом. Протяженность с запада на восток – 2000 км, с севера на юг – 2500 км. Большую часть территории занимают горы и плоскогорья, самая высокая точка – гора Победа (3700 метров). В Якутии насчитывается более 700 тысяч рек и более 800 тысяч озер. Общая протяженность всех рек превышает два миллиона километров, а наиболее крупными реками являются: Лена, Вилуй, Оленек, Алдан и Калыма. Также на территории республики Саха расположены крупные озера Бустах и Лабынкыр.

На рис. 1.5 представлена карта Республики Саха (Якутии) с указанием основных населенных пунктов.



Рисунок 1.5 – Карта Республики Саха (Якутия)

Климат Республики Саха (Якутии) субарктический, резко-континентальный. Вся территория республики относится к районам Крайнего Севера. В данном регионе – длинная зима и короткое лето. Амплитуда средних температур января и июля составляет около 100 градусов по шкале Цельсия.

В Якутии расположены два самых холодных города мира – Оймякон и Верхоянск, составляющие так называемый «полюс холода» Северного полушария. Минимальная температура зимой здесь составляет -72°C по Цельсию. Практически вся территория Якутии расположена в зоне вечной мерзлоты, которая имеет самую большую мощность в мире.

Зима в Якутии начинается в первых числах октября и продолжается семь месяцев. Якутская зима характеризуется малоснежной и очень холодной погодой. В октябре дневные температуры воздуха слабо отрицательные (-5, -8 °C), но вочные часы морозы усиливаются. Ноябрь – уже настоящий зимний месяц: температура в первых числах резко опускается до -20 °C, а в последнюю декаду месяца уже не поднимается выше -30 °C. В населенных пунктах нередко возникают ледяные туманы, причиной которых является поступление в воздух от деятельности человека (сжигания топлива, отопление и т.д.). В декабре средняя дневная температура воздуха составляет около -40 °C. На севере области за Полярным кругом наступают полярные ночи. Зимой над территорией Якутии воздух сильно выхолаживается, что способствует формированию области повышенного давления, называемый Сибирским антициклоном. Самым холодным зимним месяцем в Якутии является январь, со средней температурой -45 °C. Минимальные температуры могут опускаться до -65 °C, а в районах Оймякона и Верхоянска до -72,3 °C. На арктическом побережье самым холодным месяцем зимы является февраль, со среднесуточными температурами -50 °C. Март – зимний месяц, но температура медленно повышается и к середине месяца превышает -20 °C. Апрель – последний месяц зимы на большей части территории Якутии. Средняя дневная температура апреля составляет около -10 °C, а к концу месяца становится положительной, начинается снеготаяние, затем наступает весна.

На рис. 1.6 представлены внешние виды зимнего сезона в Якутии.

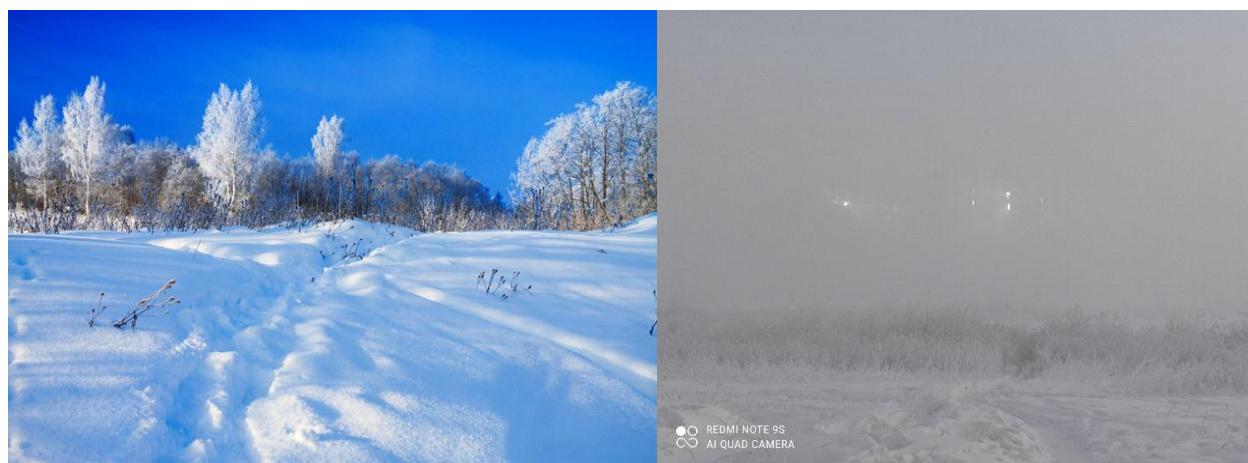


Рисунок 1.6 – Зимний сезон в Якутии

Весна в Якутии начинается обычно в первых числах мая и характеризуется солнечной погодой. В начале месяца интенсивно сходит снег, начинается ледоход на реках, а затем половодье. К середине мая средняя дневная температура превышает +5 °C, а после 20 числа уже выше +20 °C. Вместе с тем, еще часты заморозки в ночное время.

На рис. 1.7 представлены внешние виды весеннего сезона в Якутии.



Рисунок 1.7 – Весенний сезон в Якутии

Лето в Якутии начинается в середине июня. Лето короткое с очень жаркой погодой. Летняя погода отличается сильными суточными колебаниями температуры: жара днем сменяется ночной прохладой. В тундре и на арктическом побе-

реже безморозный период составляет всего 1-2 месяца, а на островах он отсутствует вообще. Самый теплый летний месяц – июль, когда дневная температура в центральной части Якутии может превышать +30 °С. Летом часты туманы, особенно в прибрежных районах и на арктических островах. Наибольшее количество осадков выпадает в июле и августе.

На рис. 1.8 представлены внешние виды летнего сезона в Якутии.



Рисунок 1.8 – Летний сезон в Якутии

Осень в Якутии начинается примерно с середины августа, когда дневная температура опускается ниже +15 °С. На фоне стремительного похолодания уже в последних числах месяца возможны первые снегопады, а температура в начале сентября уже опускается ниже +10 °С. Погода в сентябре ненастная: затяжные моросящие дожди быстро сменяются снегопадами, вначале октября большинство рек замерзает. Температура становится отрицательной, образуется устойчивый снежный покров, и начинается длительная холодная зима.

На рис. 1.9 представлены внешние виды осеннего сезона в Якутии.



Рисунок 1.9 – Осенний сезон в Якутии

Осадки по территории республики Саха распределены неравномерно. Наименьшее количество наблюдается на арктическом побережье, а максимум – в горах, причем на холодный период приходится около 25%, а с апреля по октябрь – около 75%. Максимум осадков приходится на июль-август. Из-за сухой погоды зимой снежный покров на всей территории республики имеет небольшую мощность.

На рис. 1.10 представлена карта арктической зоны Республики Саха (Якутия) в соответствии с Указом Президента РФ от 02.05.2014 года №296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации».



Рисунок 1.10 – Карта арктической зоны Республики Саха (Якутия)

По состоянию на сегодняшний день в составе Арктической зоны РФ входят 13 районов Республики Саха (Якутия), такие как: Абыйский, Аллаиховский, Анабарский национальный (долгано-эвенкийский), Булунский, Верхнеколымский, Верхоянский, Жиганский национальный эвенкийский, Момский, Нижнеколымский, Оленекский эвенкийский национальный, Среднеколымский, Устьянский и Эвено-Бытантайский национальный.

1.5. Многолетняя вечная мерзлота

Вечная мерзлота (многолетняя криолитозона, многолетняя мерзлота) — часть криолитозоны, характеризующаяся отсутствием периодического протаивания. Общая площадь — 35 млн км².

Распространение вечной мерзлоты — север Аляски, Канады, Европы, Азии, острова Северного Ледовитого океана.

Районы многолетней мерзлоты — верхняя часть земной коры, температура которой долгое время (от 2—3 лет до тысячелетий) не поднимается выше 0 °С. В зоне многолетней мерзлоты грунтовые воды находятся в виде льда, ее глубина иногда превышает 1 000 м.

Данное явление глобального масштаба, как вечная мерзлота, занимает не менее 25% площади всей суши земного шара.

Одно из первых описаний многолетней мерзлоты было сделано русскими землепроходцами XVII века, покорявшими просторы Сибири. Впервые на необычное состояние почвы обратил внимание казак Я. Святогоров, а более подробно изучили первопроходцы из экспедиций, организованных С. Дежневым и И. Ребровым. В специальных посланиях русскому царю они засвидетельствовали наличие особых таежных зон, где даже в самый разгар лета почва оттаивает максимум на 2 аршина. Ленские воеводы П. Головин и М. Глебов в 1640 г. сообщали: «Земля-де, государь, и среди лета вся не растаивает».

В 1828 г. Ф. Шергин начал проходку шахты в Якутске. За 9 лет была достигнута глубина 116,4 м. Шахта Шергина шла все время в мерзлых грунтах, не вскрыла ни одного водоносного горизонта. В 40-х гг. 19го века А. Ф. Миддендорф измерил температуру до глубины 116 м. С этого времени вопрос о существовании «вечной мерзлоты» уже всерьез не поднимался.

Термин «вечная мерзлота» как специфическое геологическое явление был введен в научное употребление в 1927 г. основателем школы советских мерзлотоведов М. И. Сумгиным. Он определял его как мерзлоту почвы, непрерывно существующую от 2 лет до нескольких тысячелетий.

Слово «мерзлота» при этом четкого определения не имело, что и привело к использованию понятия в различных значениях. Впоследствии термин неоднократно подвергался критике и были предложены альтернативные термины: многолетнемерзлые горные породы и многолетняя криолитозона, однако они не получили широкого распространения.

По длительности существования мерзлого состояния пород принято подразделять «родовое» понятие «мерзлые породы» на 3 видовых понятия:

1. Кратковременномерзлые породы (часы, сутки).
2. Сезонномерзлые породы (месяцы).
3. Многолетнемерзлые породы (годы, сотни и тысячи лет).

Между этими категориями могут быть промежуточные формы и взаимные переходы. Например, сезонномерзлая порода может не протаять в течение лета и просуществовать несколько лет. Такие формы мерзлой породы называются «перелетками». 65% территории России — районы многолетней мерзлоты. Наиболее широко она распространена в Восточной Сибири и Забайкалье.

На рис. 1.11 представлены внешние виды многолетней вечной мерзлоты.



Рисунок 1.11 – Внешние виды многолетней вечной мерзлоты

На рис. 1.12 представлена карта распространения многолетнемерзлых пород.



Рисунок 1.12 – Карта распространения многолетнемерзлых пород

1.6. Изменение климата Арктики

Изменение климата происходящее в мире, по мнению экспертов, больше всего заметно в Арктике. За последние десятилетия было отмечено, что в Арктике теплеет в 2-3 раза сильнее, чем на планете.

В чем же причина глобального потепления? По этому поводу среди ученых нет консенсуса. Существует две основные теории, объясняющие те изменения, которые происходят с климатом на Земле.

Теория цикличности базируется на статистических данных разных лет. Скачки температуры на Земле фиксируются каждые 60 лет. То есть 60 лет температура повышается, затем снижается и снова идет на повышение. Последний цикл датируется 1979 годом. Часть ученых считает, что скоро опять придет похолодание. Это должно случиться предположительно в течение ближайших 10-20 лет.

Но есть и диаметральная точка зрения ее придерживаются сторонники теории парникового эффекта. Они считают, что всему виной парниковые газы. Парниковые газы — это смесь из метана, углекислого газа, водяного пара, азота, углеводорода, содержащего фтор и хлор. Эти газы выступают в роли «колпака», останавливая тепловое излучение от земного покрова, нагреваемого солнцем. Это «парниковое одеяло» на самом деле защищает планету, делая ее пригодной для жизни, иначе Земля превратилась бы в лед. Но со временем промышленной революции 18-19 вв. содержание углекислого газа в воздухе неуклонно растет, и этот процесс будет продолжаться, а следовательно, в Арктике будет теплеть.

Изменение климата Арктики приводит к негативным последствиям как для коренных народов, так и для местной фауны. На основе научных данных сегодня составляются компьютерные карты, где четко прослеживается динамика сокращения площади льдов. Сейчас она несколько снизилась — на 15%. Но значение имеют не только размеры, но и толщина ледового покрова. Если раньше этот параметр варьировался в пределах 3-4 метров, то теперь толщина льда в среднем не более 1,5 метров.

Ледниковый щит Гренландии — второй по размеру после антарктического ледяного щита в мире. Процесс его таяния идет медленно, примерно 4 см в десятилетие, однако, если гренландский ледяной покров исчезнет, это приведет к гибели целой популяции белых медведей (ученые предполагают, что это может произойти к 2030 году).

В целом изменение климата имеет как отрицательную, так и положительную стороны.

Положительные последствия изменения климата:

- Возможность разработки арктического шельфа.
- Возможность прямого транзита грузов из Европы в Азию.
- Возможность судоходства по морскому пути без использования ледоколов.
- Уменьшение расходов на отопление.

Отрицательные последствия изменения климата:

- Значительно поднимется уровень мировых вод (на 1,8 мм каждый год). По некоторым данным, с конца 19 века океан уже поднялся на 30 см. В результате дальнейшего развития этого процесса многие прибрежные зоны окажутся затопленными. По мнению ученых под водой окажется Санкт-Петербург, Мурманск и другие большие портовые города. Также по прогнозам будут затоплены отдельные регионы Англии и Ирландии.
- Сильные ветры и ливни «вытаскивают» плодородную черноземную почву. Таким образом, медленно, но верно, они превратятся в засоленные степи.
- В процессе таяния мерзлоты освободится большой объем метана, который способен нанести вред здоровью человека и животных.
- Инфраструктура в Арктике расположена на вечной мерзлоте, и если она оттает, все постройки «поедут». В опасности будут находиться нефтедобывающие станции, газопроводы. Например, нефтепровод, ведущий к Мурманским терминалам.
- Люди и животные будут вынуждены подстраиваться к изменениям климата. Например, чукчи и эскимосы уже сейчас страдают от косаток, которые подплывают к жилищам слишком близко. Моржам из-за увеличения кромки льдов и их сдвига приходится глубже нырять за планктоном. Территория, на которой охотятся медведи, сокращается, и самкам не остается места для вынашивания потомства. Колебание температуры способствует исчезновению растительности, служащей пищей для сов и леммингов. Так что и этот вид птиц и грызунов может оказаться на страницах Красной книги. В целом таяние льда приводит к сокращению или даже исчезновению привычных источников пропитания для всех северных животных, а пищевые цепочки лишаются части своих звеньев.

С другой стороны, уже сейчас отмечается нашествие энцефалитных клещей и малярийных комаров в средней полосе: паразиты распространяются по се-

верным регионам, где их никогда раньше не было. Например, если раньше яблоневая моль не могла пережить сибирские морозы, то сегодня они ей уже не страшны.

На рис. 1.13 представлена карта ледяных образований в Арктике в виде сравнения 1980-го и 2012-го гг.

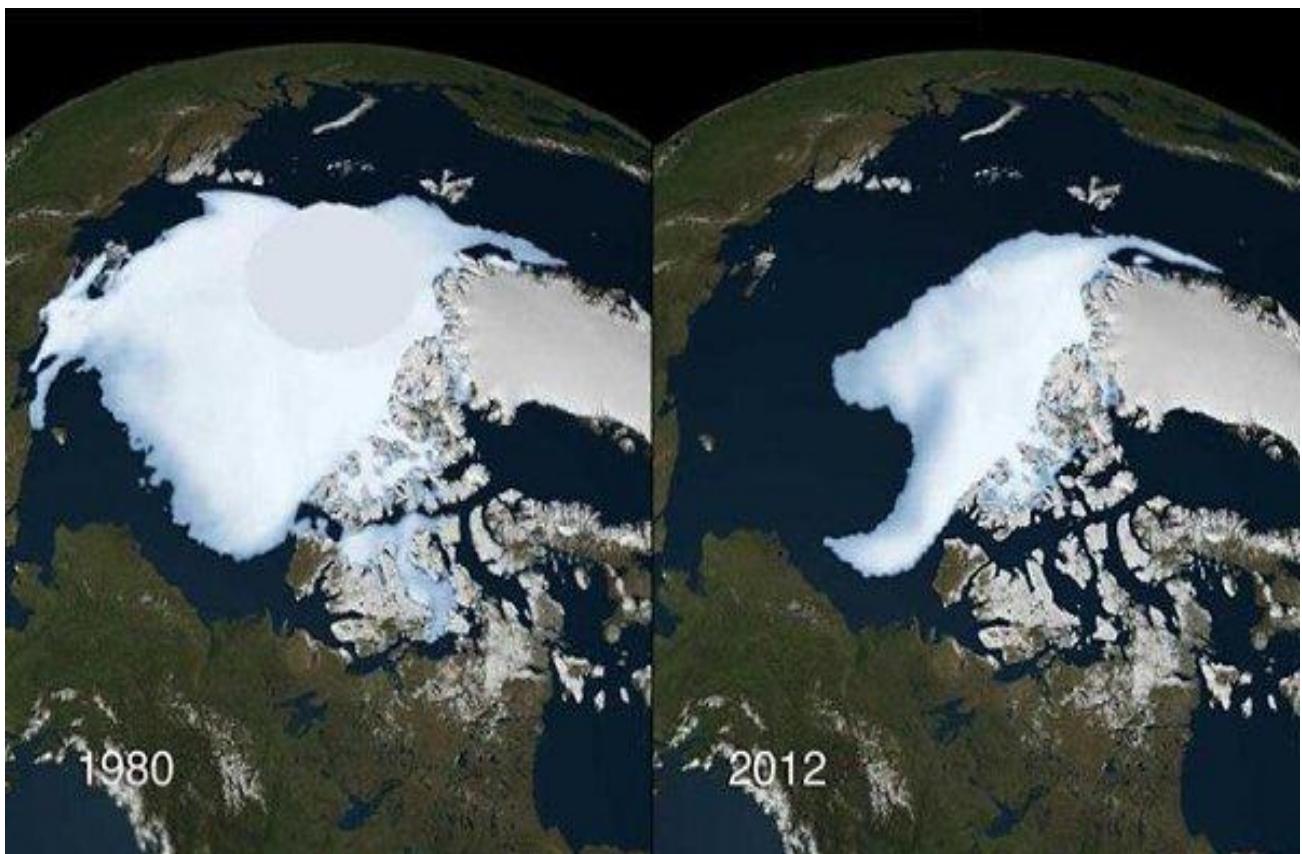


Рисунок 1.13 – Карта ледяных образований в Арктике

1.7. Рекомендуемые видеоматериалы

- Арктический ликбез. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=9xkUN60H1QA>.
- Климат в арктических широтах — Павел Константинов. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=OUO4G0sV8ME>.
- Наука Якутии - Климат Центральной Якутии. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=tzDIQN81leM>.
- Что такое вечная мерзлота? [Электронный ресурс]: режим доступа:

<https://www.youtube.com/watch?v=gu3c-TytldI>.

- Шесть° градусов могут изменить мир. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=RtPnzF80tGo>.
- Как изменится Земля, когда все ледники растают. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=8pDGYWoPqT0>.

1.8. Контрольные вопросы

Составьте ответы на вопросы в развернутом виде с указанием всех необходимых данных.

1. Расскажите о климате Арктики.
2. Как влияет глобальное потепление на климат Арктики?
3. Как особенности имеются в климате Якутии?
4. Что такое многолетняя вечная мерзлота?
5. Какие существуют виды вечной мерзлоты?
6. Чем может быть полезен глобальное потепление на климат Арктики?
7. Укажите преимущества и недостатки потепления климата Арктики.
8. Что такое глобальное потепление?
9. Укажите температурные характеристики климата Якутии.
10. Перечислите климатические характеристики Арктики.

ГЛАВА 2. ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

В данной главе представлена обзорная информация об основах водородной энергетики с приоритетом на накопление и сжигание данного топлива. Выполнен обзор по основным технологическим цепочкам работы системы в области водородной энергетики с приведением различных графических интерпретаций, рисунков и общих схем.

2.1. Что такое водородная энергетика?

Водородная энергетика — отрасль энергетики, основанная на использовании водорода в качестве средства для аккумулирования, транспортировки, производства и потребления энергии. Водород выбран как наиболее распространенный элемент на поверхности земли и в космосе, теплота сгорания водорода наиболее высока, а продуктом сгорания в кислороде является вода (которая вновь вводится в оборот водородной энергетики). Водородная энергетика относится к альтернативной энергетике.

Одной из основных идей в современной гонке экологически приемлемых энергетических технологий стало стремление к дальнейшей декарбонизации атмосферного воздуха (снижению доли «парниковых» выбросов углекислого газа). В этих целях осуществляется сокращение потребления мазута, нефти и угля. Продолжается их замена экологически приемлемым природным газом. Укрепляются позиции атомной энергетики и активно наращиваются объемы использования ВИЭ. В перспективе борьба за эффективные источники энергии и прогрессивную декарбонизацию атмосферы неизбежно будет продолжена в процессе активного развития водородной энергетики. Для этого потребуется значительное снижение себестоимости получения водорода и внедрение приемлемых решений по его транспортировке, хранению и использованию.

Водород — идеальный источник энергии и экологически приемлемое топливо. Теплота его сгорания (1,17 ГДж/кг) почти в 3 раза выше, чем у нефти, и в 4 раза больше, чем у каменного угля или природного газа.

В 2018 году потребление водорода в мире составило около 74 млн тонн. Он использовался преимущественно в нефтепереработке, химической промышленности и металлургии. К 2030 году можно ожидать рост его годового спроса до 100-114 млн тонн водорода (+35-55% к показателю 2018 года) при себестоимости производства около 2 долл./кг. Эксперты совета по водородным технологиям (Hydrogen Council) в своем недавнем докладе утверждали, что к 2050 году на водород придется 18% всех энергетических потребностей мира. По другим прогнозам, к этому времени мировое потребление водорода вырастет до 370 млн тонн в год (к 2100 году — до 800 млн тонн).

2.2. Области применения водорода

Современную промышленность невозможно представить без использования в разных ее отраслях и на разных этапах производства технических газов. И водород один из самых востребованных промышленностью газов, он занимает третье место после кислорода и азота.

На рис. 2.1 представлена круговая диаграмма доли востребованности различных газов в области промышленности.

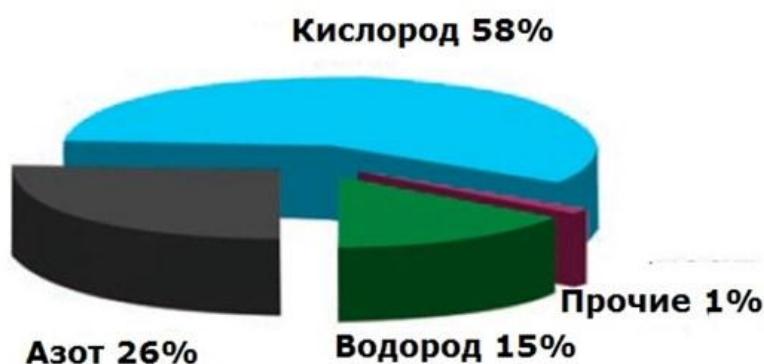


Рисунок 2.1 – Круговая диаграмма доли востребованности различных газов в области промышленности

Водород является одним из важнейших видов сырья нефтехимической и химической промышленности, где его доля от суммарного потребления составляет 15%. Без водорода не представляется возможным функционирование следующих отраслей: металлургическая, пищевая, стекольная, электронная, электротехническая.

Далее приводятся сферы применения водорода:

- Химическая промышленность.
- Нефтеперерабатывающая промышленность.
- Металлургия.
- Стекольная промышленность.
- Энергетика.
- Пищевая промышленность.

На рис. 2.2 представлена графическая структура мирового потребления водорода.

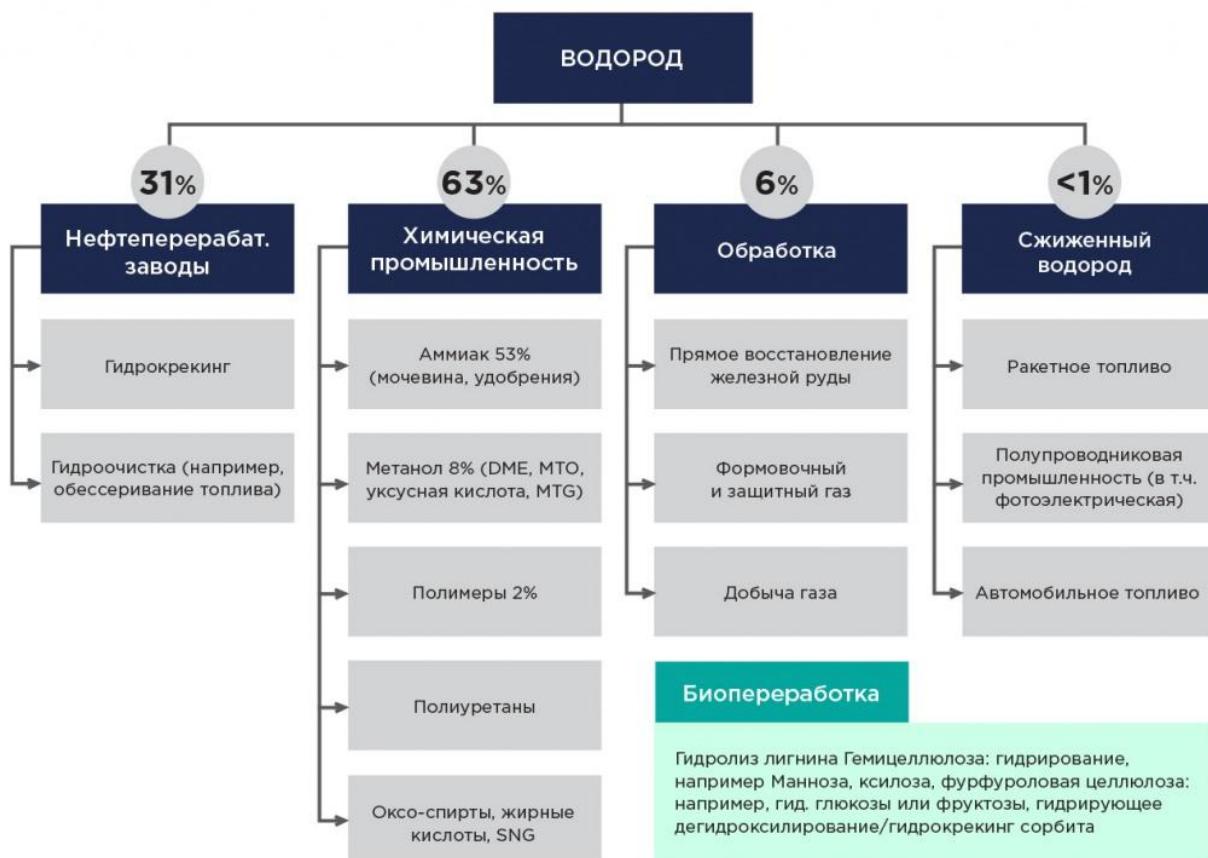


Рисунок 2.2 – Структура мирового потребления водорода

По сути, водород является видом энергоносителя, который рассматривается для решения климатических задач и может быть использован для накопления, хранения и доставки энергии. Япония, Германия, США, Китай и ряд других стран приняли «Зеленые» энергетические стратегии, смысл которых ясно изложен в Энергетической стратегии Европы. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р утвержден план мероприятий («дорожная карта») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года.

Главные направления использования водорода сегодня – в нефтепереработке и в химической промышленности (для производства различных товаров, в первую очередь – аммиака и метанола). Энергетическое использование водорода оценивается всего в 1-2% от общих объемов его потребления.

На рис. 2.3 представлена графическая структура потребления водорода на территории РФ по состоянию на 2013 г.



Рисунок 2.3 – Структура потребления водорода на территории РФ по состоянию на 2013 г.

2.2.1. Применение водорода в химической промышленности

В России основная область потребления водорода – производство химических продуктов, прежде всего аммиака и метанола.

Лидерами по потреблению водорода являются предприятия, производящие аммиак NH_3 . Сейчас на 28 предприятиях в России используется 2,46 млн. т. водорода в год.

Потребление водорода при синтезе метанола CH_3OH составило 0,6 млн.т. в 2013 г. Потребление водорода в остальных сегментах химической промышленности не превышает 90 тыс. т. – 3% от объема потребления.

2.2.2. Применение водорода в нефтеперерабатывающей промышленности

Водород применяется в нефтепереработке, в частности, при гидрокрекинге, изомеризации и др., в результате чего продукт крекинга обогащается углеводородами не просто легкими, но и высококачественными изоалканами, аренами, алкиларенами с температурами кипения от 80 до 195 °C.

Все сероорганические соединения не выдерживают обработки под давлением водорода на катализаторах, что используется в процессе гидроочистки. Благодаря этому происходит широкое вовлечение в переработку средних (дизельных) фракций нефти.

Повышается потребность НПЗ в водороде, необходимом для получения топлив из тяжелого высокосернистого сырья. Огромное количество водорода требуется для установок гидробессеривания, гидрокрекинга дистиллятов, гидроочистки, изомеризации, производств смазочных материалов. Кроме того, водород на НПЗ используется для активации катализаторов риформинга и регенерации катализаторов изомеризации.

2.2.3. Применение водорода в металлургии

Основной областью применения водорода в металлургии является производство металлизированного сырья методом прямого восстановления железа. В настоящий момент в данном процессе потребляется около 320 тыс. т. водорода.

Значительные объемы водорода расходуются в технологических процессах прокатного производства (при термической обработке холоднокатаного профилей). Потребление водорода – около 15 тыс. т. в год.

Водород на металлургических предприятиях используется для создания защитной азотно-водородной атмосферы при термообработке труб.

2.2.4. Применение водорода в стекольной промышленности

Стекольная промышленность также является весомым потребителем электролитического водорода. При производстве термополированного листового стекла флоат-методом, расплавленная в стекловаренной печи шихта (смесь компонентов стекла, таких как песок, сода, доломит, кокс, шпат, известняк и др.) подается в виде вязкой стекломассы в широкую ванну, наполненную расплавом олова.

Это позволяет получать абсолютно равномерное по толщине стекло с высоким качеством поверхности. Однако, на этой стадии температура достигает 1000-1100 °C, а олово способно окисляться на воздухе до оксида SnO₂, который прилипает к формируемому листу стекла. Для предотвращения этого и защиты расплава олова от воздушной среды пространство над ванной постоянно продувается защитными газами – азотом и водородом.

Изготовление высококачественных изделий из стекла производится путем минимизации количества примесей в процессе его формования

Газам отводится важная роль при формировании стекла флоат-методом, в процессе которого для предотвращения окисления олова, оставшегося в стекле, а также сведения к минимуму таких остатков используется среда, состоящая из азота и водорода. Эффективность такого формования зависит от бесперебойной

подачи газов с выбранным вами соотношением концентраций и объемным расходом.

2.2.5. Применение водорода в энергетической отрасли

В энергетике водород используется для охлаждения мощных турбогенераторов, благодаря его высокой теплопроводности и коэффициенту диффузии, а также нетоксичности. По оценкам, в энергетике на ТЭЦ, АЭС потребляется около 4-5 тыс.т. водорода в год.

Водород может использоваться в качестве топлива в обычном двигателе внутреннего сгорания. В данном случае снижается мощность двигателя до 65% - 82% при сравнении с бензиновым вариантом. В случае внесения небольших изменений в систему зажигания, мощность двигателя увеличивается до 117 % в сравнении с бензиновым вариантом, но в таком случае увеличится выход оксидов азота из-за более высокой температуры в камере сгорания и возрастает вероятность прогорания клапанов и поршней при длительной работе на большой мощности. В этой связи водород возможен в применении в виде энергоносителя.

На рис. 2.4 представлены технологические циклы производства и потребления водорода в качестве энергоносителя.

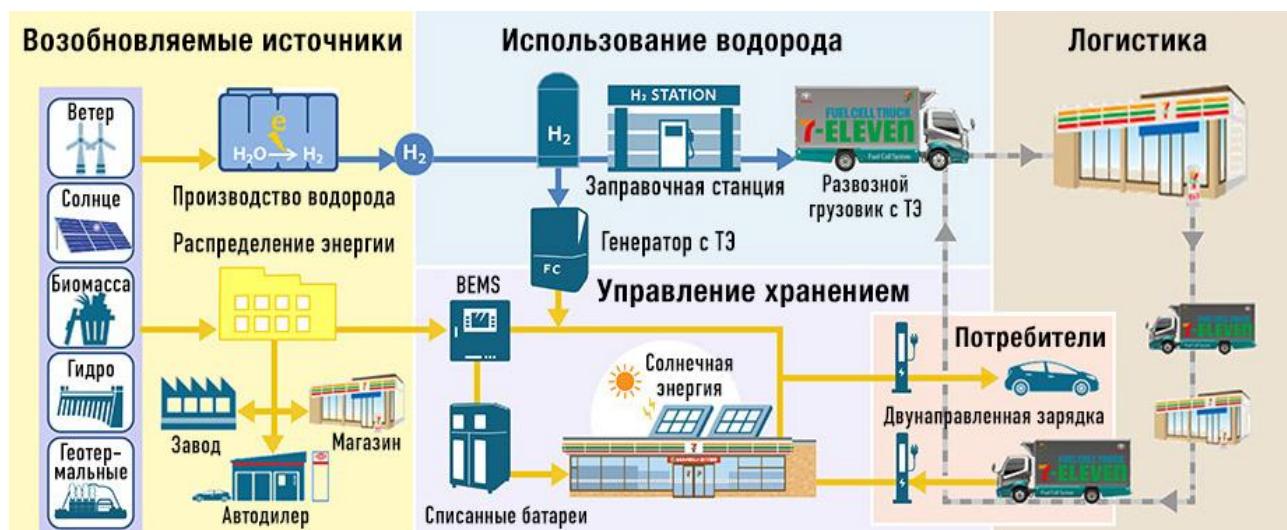


Рисунок 2.4 – Технологические циклы производства и потребления водорода в качестве энергоносителя

2.2.6. Применение водорода в пищевой промышленности

В пищевой промышленности водород используется в процессах гидрогенизации масел и жиров при получении твердых жиров (маргарина). Объем потребления водорода масложировыми комбинатами оценивается на уровне 1,5 тыс. т. в год.

Среди прочих потребителей водорода – обогатительные комбинаты, заводы, занимающиеся фабрикацией ядерного топлива, предприятия электронной и электротехнической промышленности, транспортные и газовые компании, фармацевтика.

2.3. Классификация водорода на территории ЕС

8 июля 2020 года Европейская комиссия опубликовала Стратегию в области водорода (*Building a hydrogen economy for a climate-neutral Europe*). В этот же день было официально объявлено о начале работы Альянса по развитию «чистого» водорода (*Clean Hydrogen Alliance*). В Стратегии впервые приводится подробная классификация различных видов этого газа в зависимости от источника происхождения и способа производства, где на рис. 2.5 представлена классификация водорода на территории ЕС.

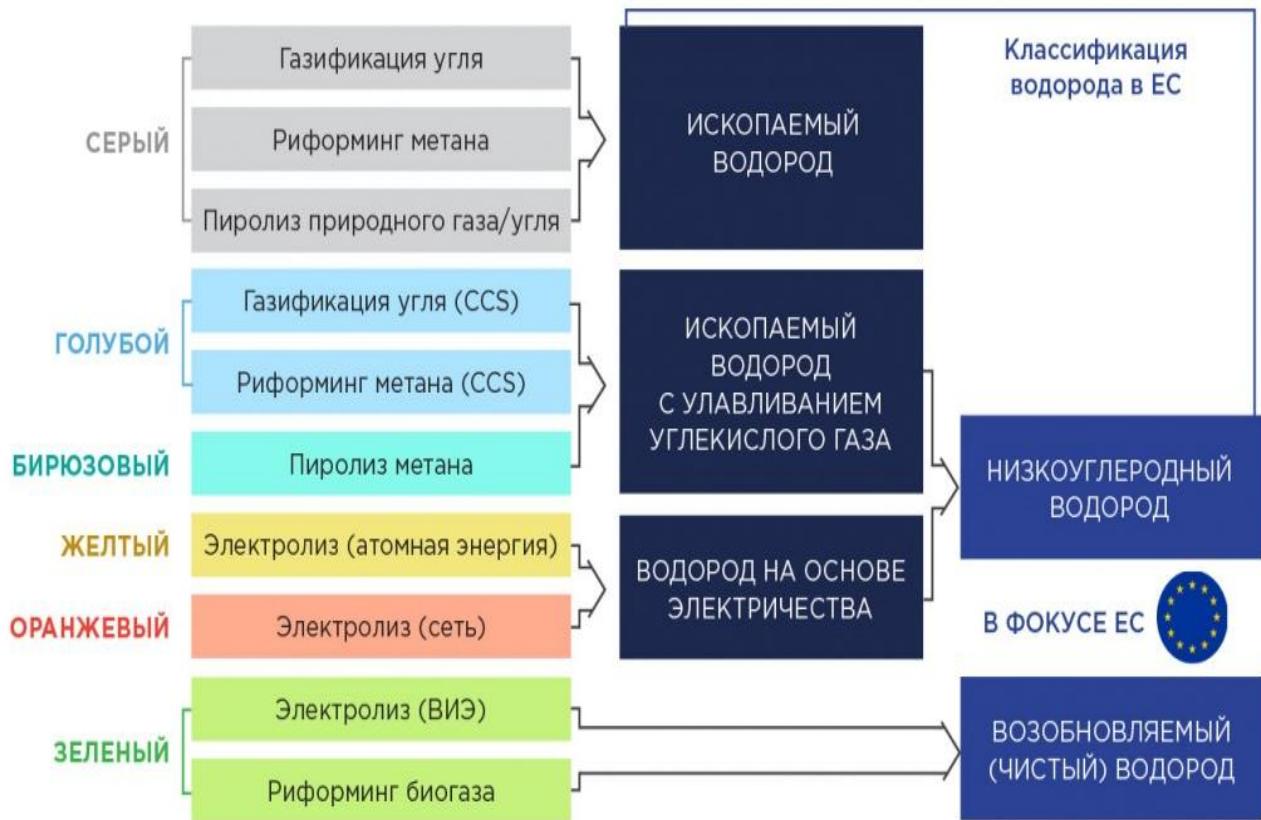


Рисунок 2.5 – Классификация водорода на территории ЕС

В классификации водорода главным критерием является его экологичность. Чем больше оксидов углерода выделяется при производстве водорода, тем менее экологичным он будет считаться. Для простоты каждый вид водорода обозначается цветом.

Зеленый водород

Данный водород является самым экологичным, т. к. получают его с помощью электролиза. Если электричество поступает от возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как ветер, солнечная или гидроэнергия, то выбросы CO₂ отсутствуют.

Желтый (оранжевый) водород

Как и зеленый, его получают путем электролиза. Однако источником энергии являются атомные электростанции (АЭС). Выбросы CO₂ отсутствуют, но метод не является абсолютно экологичным.

Бирюзовый водород

Этот водород получают разложением метана на водород и твердый углерод путем пиролиза. Производство бирюзового водорода дает относительно низкий уровень выброса углерода, который может быть либо захоронен, либо использован в промышленности, например, в производстве стали или батарей. Таким образом, он не попадает в атмосферу.

Серый водород

Серый водород производится путем паровой конверсии метана. Исходным сырьем для такой реакции служит природный газ. Этот процесс легко осуществим с практической точки зрения, однако в ходе химической реакции выделяется углекислота, причем в тех же объемах, что и при сгорании природного газа (также расходуется энергия на конверсию).

Голубой водород

Голубой водород – это водород, полученный путем паровой конверсии метана, но при условии улавливания и хранения углерода, что дает примерно двукратное сокращение выбросов углерода. Данный вид получения водорода является весьма дорогостоящим.

Коричневый (бурый) водород

Для получения коричневого водорода в качестве исходного сырья используется бурый уголь. Далее с помощью газификации бурого угля образуется синтез-газ (сингаз): смесь углекислого газа (CO_2), окиси углерода (CO), водорода, метана и этилена, а также небольшое количество других газов. Первые 2 из этих газов бесполезны в производстве электроэнергии. Это делает процесс очень неэкологичным по сравнению с другими методами.

2.4. Преимущества и недостатки водородной энергетики

Водородная энергетика развивается быстрыми темпами и прогнозируется, что к началу 2030-х годов себестоимость внедрения водородных технологий в электроэнергетическую систему региона, области или страну гораздо снизится.

Однако необходим учет всех преимуществ и недостатков водородной энергетики.

Преимущества водородной энергетики:

- ✓ Возобновляемые источники сырья, ибо главное сырье водородной энергетики – это вода.
- ✓ Энергоемкость водорода по массе выше, чем бензин или нефть в 3 раза.
- ✓ Относительно легкость в преобразовании энергий: химическая – > электрохимическая – > механическая.
- ✓ Отсутствие негативного влияния на окружающую среду, где продуктом окисления является вода, желательно, дистилированная.

Недостатки водородной энергетики:

- Водородное топливо не является ископаемым видом топлива.
- При производстве водородного топлива необходимо значительное количество электроэнергии, ибо водород – это только энергетический носитель или аккумулятор чистой энергии.

2.5. Направления развития водородной энергетики

В настоящий момент существуют 4 направления развития водородной энергетики в виде его составных частей, такие как:

Направление №1 – Производство водорода из воды с использованием традиционных (газ, нефть, уголь, атомная энергия и др.) и нетрадиционных источников энергии (солнце, ветер, биомасса, водные и др.).

Направление №2 – Транспортировка и хранение водорода в крупных и мелких масштабах (увеличение безопасности и уменьшение стоимости).

Направление №3 – Использование водорода в различных отраслях экономики, а именно в промышленности, на транспорте (наземном, воздушном, водном и подводном), в быту и т.д.

Направление №4 – Водородное материаловедение и безопасность водородных энергетических систем.

На рис. 2.6 представлена общая схема технологического «круговорота» водородной энергетики.



Рисунок 2.6 – Общая схема технологического «круговорота» водородной энергетики

На вышеуказанной схеме видно, что водород производится через электролиз воды и преобразовывается в топливо, которое сжигается в двигателях энергопотребителей. Однако употребленный водород после сжигания преобразовывается обратно в воду. Таким образом, достигается технологический «круговорот» водородной энергетики.

2.6. Способы производства водорода

Промышленное производство водорода — неотъемлемая часть водородной энергетики, первое звено в жизненном цикле употребления водорода. Водород практически не встречается на Земле в чистом виде и должен извлекаться из других соединений с помощью различных химических методов.

В настоящее время существует множество методов промышленного производства водорода: разрабатывались технологии производства водорода из мусора, этанола, металлургического шлака, биомассы и другие технологии. К подобным способам относятся:

1. Паровая конверсия метана и природного газа – это получение чистого водорода из лёгких углеводородов (метана, пропан-бутановой фракции) путём парового реформинга (катализитической конверсии углеводородов в присутствии водяного пара). Реформирование газового пара является самым популярным и самым дешевым способом производства водорода. По сравнению с, например, электролизом воды, количество водорода, полученного на единицу потребляемой энергии, намного выше.

Стадии:

- гидрирование сырья на кобальт-молибденовом катализаторе и поглощение сероводорода.
- предварительный реформинг.
- конвекционный реформинг в печи специальной конструкции.
- конверсия выделившегося CO в CO₂.
- очистка продуктового водорода в блоке короткоцикловой адсорбции (далее – КЦА).

Реформирование парового природного газа обычно происходит в два этапа. Первый этап называется первым реформингом и осуществляется в трубах, заполненных никелевым катализатором, нанесенным на алюминиевую подложку. Тепло, необходимое для процесса, подается через стенки труб, нагретых снаружи путем сжигания другой части природного газа.

Существуют следующие химические процессы получения водорода через паровую конверсию метана и природного газа в соответствии с выражениями 2.1-2.4.





Продуктовый водород поступает на блок очистки КЦА, где на специальных угольных фильтрах происходит его очистка до 99,9 % об.

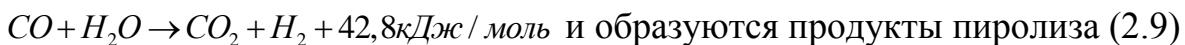
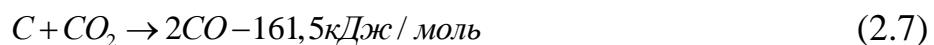
Необходимо отметить, что вследствие высоких температур процесса, для рекуперации тепла, на установке предусмотрена выработка водяного пара, который является также и сырьём процесса.

2. Газификация угля.

Газификация твердого топлива – преобразование органической части твёрдого или жидкого топлива в горючие газы при высокотемпературном (1000–2000 °C) нагреве с окислителем (кислород, воздух, водяной пар, CO₂ или, чаще, их смесь). Полученный газ называют генераторным по названию аппаратов, в которых проводится процесс — газогенераторов.

Сырьё для процесса обычно служат каменный уголь, бурый уголь, горючие сланцы, торф, дрова, мазут, гудрон.

Совокупность процессов, протекающих в ходе газификации твёрдых горючих ископаемых — пиролиз, неполное горение, полное окисление — называют конверсией в виде выражений 2.5-2.9:



3. Электролиз воды.

Электролиз — это процесс расщепления воды на составляющие элементы — водород и кислород — с помощью электрического тока. Этот процесс осуществляется в установке, называемой электролизером.

Электролиз широко применяется в современной промышленности. В частности, электролиз является одним из способов промышленного получения алюминия, меди, водорода, диоксида марганца, пероксида водорода. Большое количество металлов извлекается из руд и подвергается переработке с помощью электролиза (электроэкстракция, электрорафинирование). Также электролиз является основным процессом, благодаря которому функционирует химический источник тока.

Для производства одной тонны водорода путем электролиза требуется в среднем девять тонн воды. Но чтобы получить эти девять тонн воды, недостаточно просто перенаправить течение ближайшей реки. Вода, которую электролизер расщепляет на составные элементы, требует очистки.

На рис. 2.7 представлена схема получения водорода через электролиз воды, формула которой представлена в виде выражения 2.10:

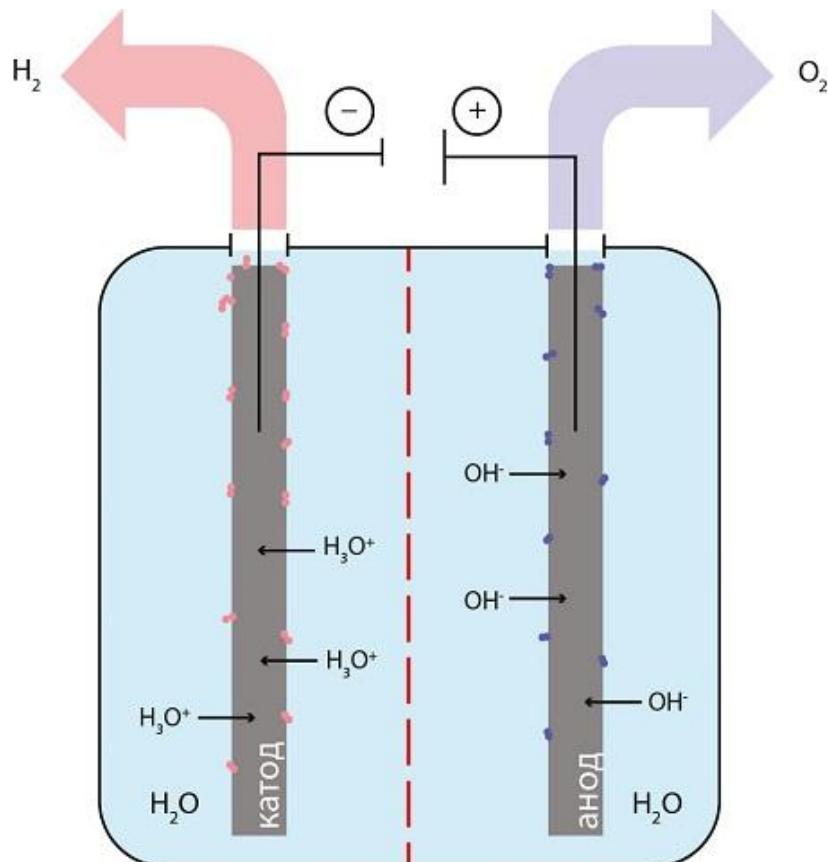


Рисунок 2.7 – Схема получения водорода через электролиз воды

4. Пиролиз.

В узком смысле — разложение органических природных соединений при недостатке кислорода (древесины, нефтепродуктов и прочего). Пиролиз может определяться как высокотемпературный (750—800 °C) термолиз углеводородов, проводимый при низком давлении и малой продолжительности.

В широком смысле под пиролизом понимают высокотемпературный термолиз органических соединений.

В наиболее широком смысле — разложение любых соединений на составляющие менее тяжёлые молекулы или химические элементы под действием повышенной температуры. Так, например, теллурводород разлагается на водород и теллур уже при температуре около 0 °C.

5. Частичное окисление.

Окислительно-восстановительные реакции (ОВР), также редокс — встречно-параллельные химические реакции, протекающие с изменением степени окисления атомов, входящих в состав реагирующих веществ (или ионов веществ), реализующиеся путём перераспределения электронов между атомом-окислителем (акцептором) и атомом-восстановителем.

Издавна учёные полагали, что окисление — потеря флогистона (особого невидимого горючего вещества, термин которого ввел Иоганн Бехер), а восстановление — его приобретение. Но, после создания А. Лавуазье в 1777 году кислородной теории горения, к началу XIX века химики стали считать окислением взаимодействие веществ с кислородом, а восстановлением их превращения под действием водорода. Тем не менее в качестве окислителя могут выступать и другие элементы в виде выражения 2.11:



В этой реакции окислитель — ион водорода. — H^+ , а железо выступает в роли восстановителя.

6. Биотехнологии.

Биологическое получение водорода при помощи водорослей — процесс биологического расщепления воды, сопровождающийся выделением молекулярного водорода, которое осуществляется в замкнутом фотобиореакторе одноклеточными зелёными водорослями — хламидомонадами или хлореллами. Данная технология образования биоводорода основана на адаптивном переключении фотометаболизма водорослей в ответ на неоптимальные условия среды и была предложена в 1990-х годах после обнаружения эмиссии водорода культурой хламидомонады Рейнгардта, которую вызвал дефицит серы.

На рис. 2.8 представлены внешние виды экспериментальных установок биологического получения водорода при помощи водорослей.



Рисунок 2.8 – Внешние виды экспериментальных установок биологического получения водорода при помощи водорослей

На рис. 2.9 представлена примерная схема биологического получения через фотобиологический синтез водорода бактерией *Cyanobacterium* 51142.

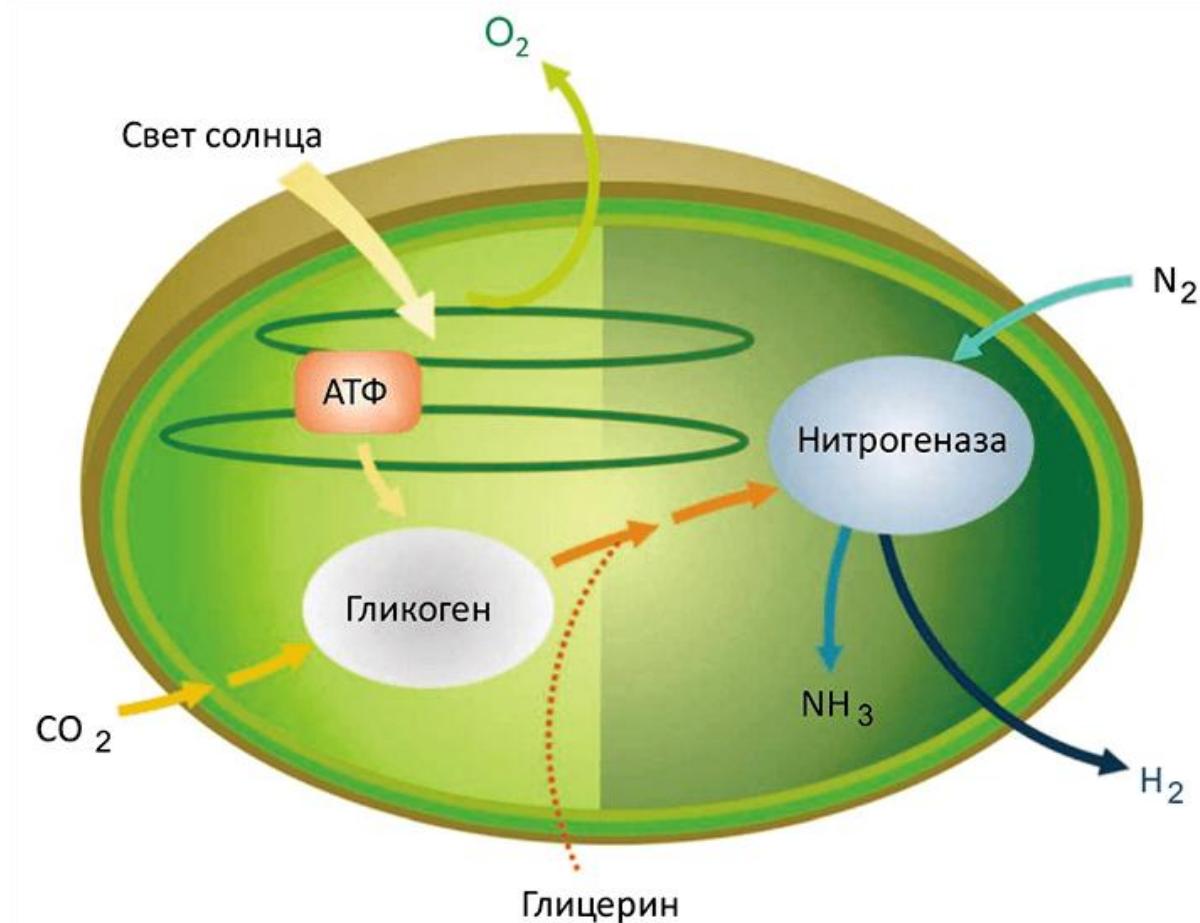


Рисунок 2.9 – Примерная схема биологического получения через фотобиологический синтез водорода бактерией *Cyanothece 51142*

Бактерия использует лучи солнца в качестве источника энергии, а углекислый газ и глицерин из окружающей среды (если есть) как субстрат для синтеза запасающего полимера — гликогена. В темное время суток он, распадаясь, служит источником энергии для другого процесса — фиксации атмосферного азота, в котором водород служит акцептором электронов и выделяется в качестве побочного продукта.

Разнообразие способов получения водорода является одним из главных преимуществ водородной энергетики, так как повышает энергетическую безопасность и снижает зависимость от отдельных видов сырья.

На настоящий момент наиболее экономически выгодным считается производство водорода из ископаемого сырья и в данный момент наиболее доступным

и дешёвым процессом является паровая конверсия (согласно прогнозам, она будет использоваться в начальной стадии перехода к водородной экономике для упрощения преодоления проблемы «курицы и яйца», когда из-за отсутствия инфраструктуры нет спроса на водородные автомобили, а из-за отсутствия водородных автомобилей не строится инфраструктура. В долгосрочной перспективе, однако, необходим переход на возобновляемые источники энергии, так как одной из главных целей внедрения водородной энергетики является снижения выброса парниковых газов; такими источниками может быть энергия ветра или солнечная энергия, позволяющая проводить электролиз воды). Снизить уровень выбросов углерода в производственных отраслях можно за счет водорода, полученного с использованием низкоуглеродных технологий, для этого можно применять технологии улавливания и хранения углекислого газа, а также электролиза воды, «в первую очередь с помощью энергии объектов атомной, гидро-, ветряной и солнечной энергетики».

2.7. Потенциал развития водородной энергетики

Прежде всего необходимо напомнить, что, хотя водород является самым распространенным элементом во Вселенной, в земной коре нет сколько-нибудь значительных его источников. Водород – вторичный энергоноситель, который может быть получен только на основе использования первичных источников энергии. Его промышленное потребление, выросшее с 1975 года в три раза, продолжает быстро увеличиваться, но практически полностью за счет использования ископаемых источников. На это уже сейчас расходуется примерно 6% мировой добычи природного газа и 2% мировой добычи угля, что приводит к эмиссии около 830 млн т CO₂ в год.

Исходя из объема CO₂, образующегося в процессе получения водорода, его принято делить на «серый» (получаемый путем конверсии ископаемых углеводородов), «голубой» (то же самое, но со сбором и захоронением образующегося при этом CO₂) и «зеленый», получаемый с использованием только ВИЭ.

Наиболее эффективная современная технология получения водорода, на которую приходится около 80% его производства, – паровой реформинг природного газа (Steam Reforming of Methane – SRM) [9, 10]. С учетом последующей паровой конверсии образующегосяmonoоксида углерода из одной молекулы метана можно получить четыре молекулы водорода. С точки зрения общего энергосодержания это примерно эквивалентно энергии исходной молекулы метана (низшая теплота сгорания водорода при нормальных условиях 10 800 кДж/м³, метана – 35 840 кДж/м³). Но с учетом большого дополнительного расхода энергии – в данном случае того же природного газа – на нагрев сырья и производство большого объема пара реальный расход природного газа в этой сложной капиталоемкой технологии примерно в два раза выше. Так, при объеме мирового производства водорода в 2019 году около 75 млн т (в основном на производство аммиака и нефтехимические процессы) расход природного газа на его производство составил примерно 205 млрд м³.

Поскольку получение водорода путем парового реформинга сопровождается образованием CO₂ (примерно 10 кг CO₂/кг H₂), такой водород по принятой «экологической» градации рассматривается, как «серый», то есть экологически непривлекательный и не решающий поставленную задачу снижения эмиссии CO₂ в атмосферу.

Для того чтобы получаемый водород можно было считать экологически более чистым и повысить его привлекательность с точки зрения решения экологических и климатических проблем, необходимо сквэстрировать как CO₂, содержащийся в дымовых газах, образующихся при нагреве реагентов и производстве пара, так и CO₂, образующийся при паровой конверсии monoоксида углерода, то есть дополнить процесс SRM технологией сбора и захоронения углерода (Carbon Capture and Storage – CCS). Получаемый в таком совмещенном процессе водород уже можно квалифицировать как «голубой». Однако для этого требуются дополнительные затраты энергии и дополнительный расход природного газа. То есть,

помимо немалых капитальных затрат и сложного процессинга, получение «голубого» водорода на основе совмещения технологий SRM + CCS потребует почти утройства общего потребления природного газа и, соответственно, скорости исчезновения его природных ресурсов.

В 2018 году в мире насчитывалось лишь 18 крупных проектов с технологией улавливания CO₂, еще 5 было в стадии строительства и 20 – в различных стадиях разработки. Добавление технологии CCS повышает капитальные затраты (CAPEX) технологии SRM на величину до 87%, а операционные затраты (OPEX) – на величину до 33%. Приведенная стоимость получаемого при этом водорода возрастает почти в полтора раза – до 1,8 евро за кг, а цена утилизации CO₂ достигает 70 евро за тонну CO₂.

В принципе «голубой» водород можно получать путем пиролиза природного газа, продуктами которого являются водород и твердый углерод. Такие процессы сейчас в небольшом объеме используют для производства технического углерода (сажи). Из термодинамики процесса следует, что затраты энергии непосредственно на пиролиз потребуют дополнительного расхода примерно 20% полученного водорода. Но для реальной оценки дополнительных затрат природного газа на получение такого водорода необходимо принять более высокое значение в ~50%. Тогда на пиролиз 1 м³ CH₄ будет затрачено 2 м³ CH₄ с суммарной низшей теплотой сгорания примерно 71 700 кДж. При этом будет получено 2 м³ водорода с суммарной низкой теплотой сгорания 21 600 кДж. Полный энергетический КПД этой операции составит всего 30%. Таким образом, чтобы обеспечить получение такого же количества энергии, которое обеспечивает использование природного газа, за счет водорода, получаемого пиролизом метана, придется увеличить мировое потребление метана примерно в три раза, с нынешних ~ 4 трлн м³/год до ~12 трлн м³/год. Это примерно эквивалентно всему суммарному мировому потреблению газа, нефти и угля. Для выхода на такой уровень добычи газа мировой экономике потребуются десятилетия и колоссальные инвестиции, а ресурсы газа будут убывать в три раза быстрее. Кроме того, ежегодно

будет образовываться примерно 9 млрд т/год никому не нужного в таких количествах мелкодисперсного угля (мировое потребление тех. углерода всего около 40 млн т/год). Чтобы полученный водород мог считаться «голубым», этот углерод нельзя использовать в качестве топлива, и возникнет дополнительная проблема его захоронения.

Что касается получения «зеленого» водорода электролизом на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), то это остается самой дорогой технологией его производства. Стоимость такого водорода в три раза выше стоимости водорода, получаемого путем паровой конверсии метана, поэтому, несмотря на все усилия, доля «зеленого» водорода в его мировом производстве много меньше 1%. И до сих пор в мире нет сколько-нибудь масштабных осуществленных проектов получения водорода с использованием ВИЭ. Наиболее реальные планы получения безуглеродного водорода пока предлагает только атомная энергетика при КПД электролиза около 40%. Но доля самой атомной энергетики в мировом энергобалансе всего около 4% и по ресурсным соображениям принципиально не может сколько-нибудь значительно превысить эту величину. Поэтому глобальные потребности в водороде этот источник обеспечить не может.

Необходимо также учитывать, что в настоящее время более 90% водорода производят непосредственно на месте его потребления (как так называемый кэптивный продукт) и лишь менее 10% поставляют специализированные компании, работающие на рынке промышленных газов (*Air Liquide, Linde, Praxair Inc.* и др.). Переход к более широкому использованию водорода в различных секторах энергетики и на транспорте невозможен без практического решения отдельной и не менее сложной проблемы, чем его получение, – проблемы его хранения, транспортировки и распределения. И пока эта проблема еще очень далека от практического решения не только в индустриальных масштабах, но и на уровне коммунального сектора и транспорта. Кроме того, широкое использование водорода, имеющего значительно более широкие пределы воспламенения и примерно в пять раз более высокую скорость горения, чем метан, невозможно без

разработки мер, гарантирующих его безопасную эксплуатацию в быту и на транспорте.¹

2.8. Рекомендуемые видеоматериалы

- Водородная энергетика. Большой скачок. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=oGNeDKVLxdY>.
- Проблемы водородной энергетики — Юрий Добровольский. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=enax7lwa0A>.
- Водородное будущее: Газпром, Linde, Uniper. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=xoeA4rz4KE8>.
- Производство водорода. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=A0RI09oJ0zI>.
- Электролиз воды. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=kPKKU9yW1ss>.
- Запускаю двигатель на воде. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=xYqHQMrV0Eg>.

2.9. Контрольные вопросы

Составьте ответы на вопросы в развернутом виде с указанием всех необходимых данных.

1. Расскажите об энергии водорода.
2. В каких областях применяется водород?
3. Перечислите способы и методы производства водорода.
4. Приведите классификацию водорода в соответствии с нормами и требованиями ЕС.

¹ Арутюнов, В. С. Потенциал водородной энергетики и возможные следствия ее реализации / В. С. Арутюнов, Л. Н. Стрекова // Нефтегазохимия. – 2021. – № 1-2. – С. 8-11. – DOI 10.24412/2310-8266-2021-1-2-8-11.

5. Какой потенциал развития имеется в области водородной энергетики?
6. Где можно применить водородное топливо?
7. Приведите технологический цикл производства водородного топлива путем электролиза воды.
8. Как производится сборка мини двигателя на основе водородного топлива?
9. Какие проблемы могут быть при электролизе воды?
10. Приведите основные физико-технические свойства водородного топлива.

ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

В данной главе представлена обзорная информация о возможности применения водородного топлива в объектах энергетики в целях генерирования электроэнергии. Выполнен обзор по основным технологическим цепочкам работы систем электроснабжения в области водородной энергетики с приведением различных графических интерпретаций, рисунков и общих схем.

3.1. Водород в роли энергетического носителя

Водород (H_2) – это, прежде всего, химический элемент, легкий газ, который выводится из углеводородов, биологической массы и различных видов коммунальных отходов жизнедеятельности человека.

Водород, как известно, применяется в различных отраслях промышленности (химическая, нефтеперерабатывающая, пищевая и др.) в том числе в виде энергетического носителя для систем накопления энергии объектов возобновляемой энергетики или же альтернативного вида топлива для различных типов наземных и воздушных транспортных средств.

На рис. 3.1 представлен общая схема, где указываются физические и химические факты водорода.



Рисунок 3.1 – Общая схема физико-химических фактов водорода

Чем же привлекает водород в качестве альтернативного источника топлива? Данный вопрос имеет несколько пунктов, такие как:

- Отсутствие вредных выбросов в окружающую среду.
- Возможность увеличения парка транспортных средств в условиях отсутствия нефтегазового сырья.
- Относительно быстрая заправка наземного транспортного средства (автомобили, автобусы и др.) в течение от 3 до 5 минут.
- Экономическая целесообразность в виде энергоэффективности водородного топлива при сравнении с дизельным и бензиновым топливом. Топливная эффективность водорода при сравнении с бензином составляет 80%.
- Малое удельное потребление двигателей, функционирующие на водородном топливе при сравнении с существующими двигателями внутреннего сгорания.

На рис. 3.2 представлен график сравнения различных видов топлив с водородом и указанием энергоемкости по массе и объему.

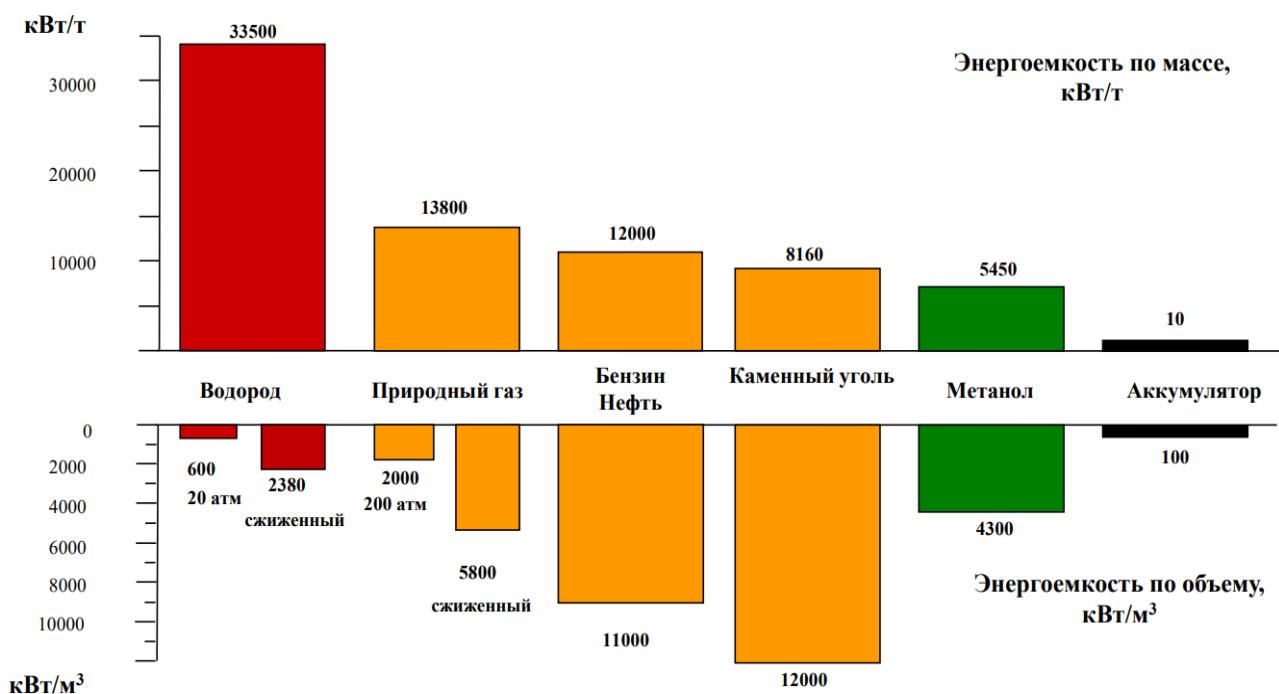


Рисунок 3.2 – График удельных энергоемкостей различных видов топлива

На вышеуказанном графике видно, что по энергоемкость водорода по массе в 2-3 раза выше, чем существующие виды твердого и жидкого топлива (природный газ, бензин, нефть, уголь и др.). Однако сжатие и сжижение водородного топлива является сложной процедурой, а также его показатели энергоемкости по объему гораздо ниже, чем у природного газа, бензина и т.д.

В этой связи при проведении технико-экономических расчетов эффективности внедрения водородного топлива рекомендуется учет энергетической емкости по массе (кВт/ч). Таким образом, в случае устойчивого применения водородного топлива возможно достижение не только климатической нейтральности, но и увеличение энергоэффективности объектов генерации различных видов энергии, применяющие данный вид топлива.

3.2. Роль водорода в машиностроении

Известно, что вследствие негативного влияния выхлопных газов транспортных средств производится загрязнение воздушной среды. Данная тенденция значительно влияет на ускорение процесса глобального потепления. На Конференции Организации Объединенных Наций по изменению климата (26-я сессия КС) были озвучены основные проблемы и причины ускорения процесса глобального потепления, где одной из причин является увеличение сброса выхлопных газов от транспортных средств.

В этой связи тренд развития технологий в области декарбонизации автотранспортных средств становится все более востребованным и актуальным. В настоящий момент существуют два способа декарбонизации автотранспортных средств (электромобили и машины на водородном топливе), которые представлены на рис. 3.2.

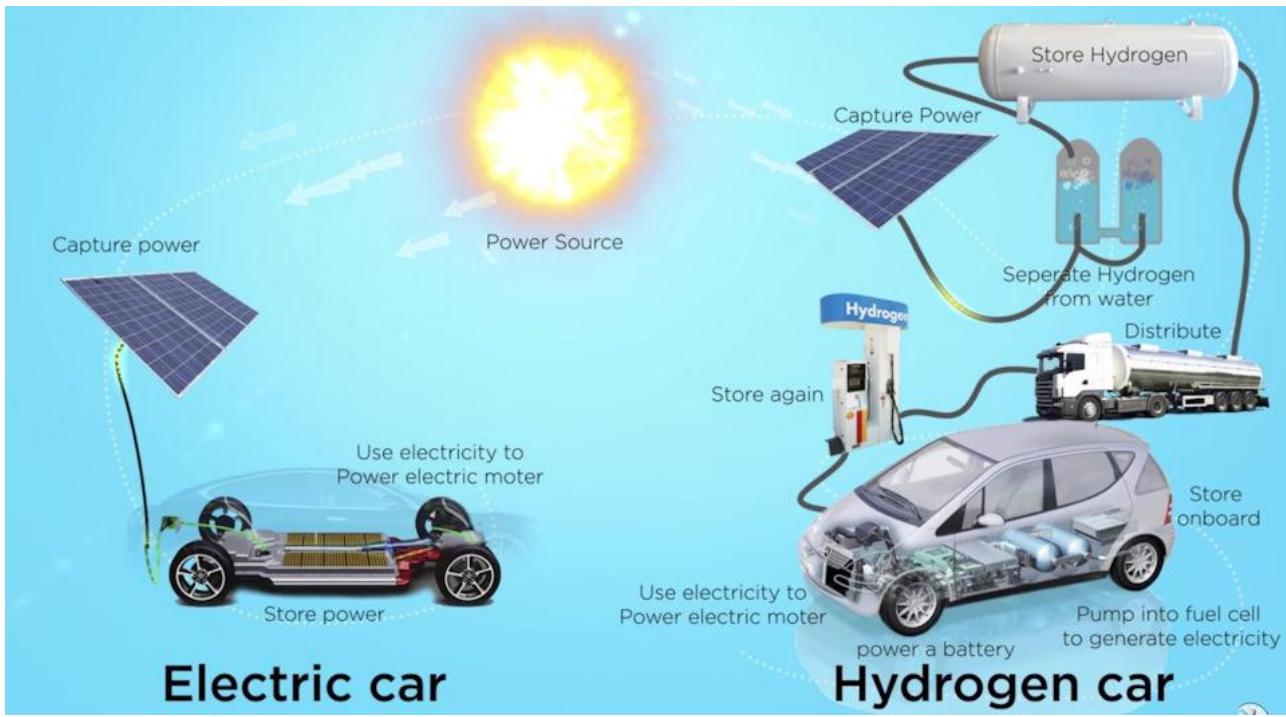


Рисунок 3.2 – Виды декарбонизированных автомашин

Основными производителями электрокаров (электромобиль) являются следующие предприятия: *Ford, Tesla, Volkswagen, Nissan, Porsche, Audi* и др.²

Известно, что электрокары функционируют за счет функционирования портативной системы накопления энергии с увеличенной емкостью, где заряд системы производится в специализированных зарядных станциях, внешний вид которых представлен на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Внешние виды зарядных станций для электрокаров

² Рейтинг лучших электромобилей 2021 года по версии издания «Популярная Механика». [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://vc.ru/transport/309156-reyting-luchshih-elektromobiley-2021-goda-po-versii-izdaniya-populyarnaya-mehanika> (дата обращения: 11.03.2022).

Также существуют автомобили с двигателями, функционирующие на основе сжигания водородного топлива. Функционирующие на водородном топливе транспортные средства заправлять сложнее, чем привычный транспорт вследствие наличия определенных физико-химических особенностей водорода (рис. 3.1). Заправка транспортного средства выполняется водородом в сжатом или сжиженном состоянии. На рис. 3.4 представлена общая схема автомашины на водородном топливе.

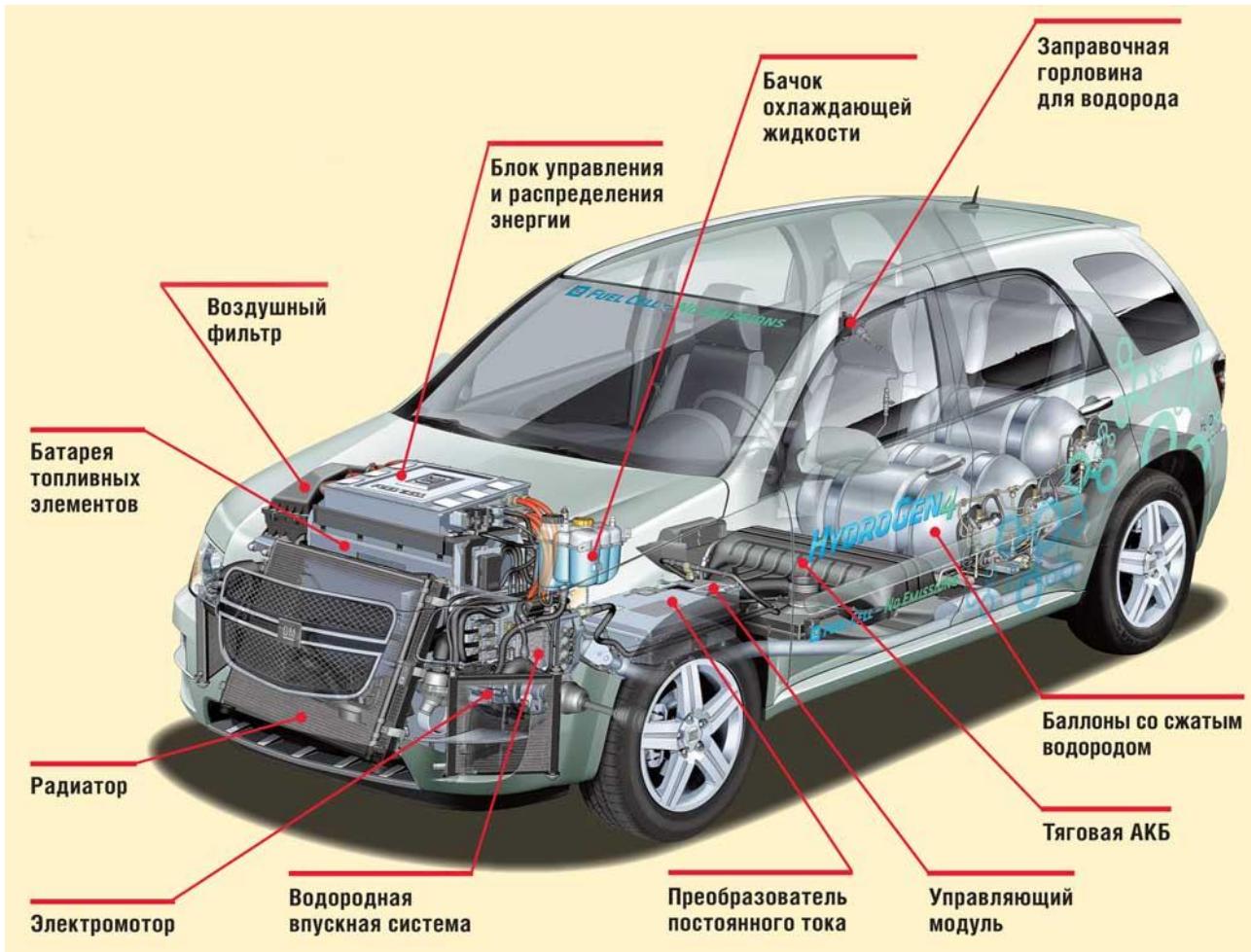


Рисунок 3.4 – Общая схема автомашины на водородном топливе

Функционирование автомашины на водородном топливе довольно стандартное и имеет следующий технологический цикл: в баллонах высокого давления производится хранение водородного топлива; обязателен наличие тягового АКБ в целях обеспечения бесперебойного питания электрической системы ма-

шины; через батареи топливных элементов и двигатель производится потребление и сгорания самого водородного топлива, с помощью которого функционирует вся система и машины приводится в движение; в целях недопущения критических температур внутри системе имеется бачок с хладагентом и т.д.

Заправка машины на водородном топливе производится в специальных водородных заправочных станциях, представленные на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Внешние виды водородных заправочных станций

Водородные заправочные станции принадлежат крупным компаниям и продают водородное топливо. Большая часть таких станций находится в Канаде и США, Китае, Японии и Германии. По объемам выдачи водородного топлива заправочные станции подразделяются на 3 типа, такие как:

- Малые. Выдача до 20 кг водорода за сутки. Данный объем хватит для заправки от 5 до 10 автомобилей.
- Средние. Выдача от 50 до 1 250 кг водорода за сутки. Данный объем хватит для заправки до 250 легковых автомобилей или до 25 грузовых автомобилей.
- Промышленные. Объем выдачи водорода составляет от 2,5 тонн газа, что хватит для заправки более 500 легковых автомобилей в сутки.

Основными производителями автомобилей на водородном топливе являются следующие производители: *Toyota, Honda, Ford, Mercedes Benz, BMW, Hyundai* и др.

На рис. 3.6 представлены внешние виды автомобилей на водородном топливе от вышеуказанных производителей.

Hyundai Nexo



BMW Hydrogen 7



Mercedes-Benz GLC F-CELL



Ford Airstream



Рисунок 3.6 – Внешние виды автомобилей на водородном топливе

Средняя мощность мотора автомобилей на водородном топливе составляет 177 л.с., где в течение 1 заправки автомобиль сможет проехать до 650 км на магистрали с твердым покрытием.

Максимальная скорость автомобиля на водородном топливе составляет до 135 км/ч, где в баке помещаются баллоны с 4,5 кг водородного топлива при давлении 350 атм.

3.3. Роль водорода в электроэнергетике

Водород, полученный с использованием низкоуглеродных технологий, может быть эффективным средством декарбонизации тех отраслей промышленности, которые в настоящее время потребляют большое количество угля или газа в качестве источника энергии, либо такой водород может стать вариантом замены

уже используемого водорода на низкоуглеродный (например, в нефтепереработке и химической промышленности).

Несмотря на то, что сегодня водород используется в основном в промышленном производстве, этот химический элемент имеет значительный потенциал расширения областей применения.

В сфере электроэнергетики водород может использоваться в качестве углеродно-нейтрального топлива как для централизованной, так и для распределенной генерации, выступать средством накопления энергии и применяться в качестве вторичного энергоносителя, аккумулирующего энергию, которая производится на объектах возобновляемой энергетики.

Кроме того, использование водорода в смеси с метаном или в чистом виде в системе газоснабжения рассматривается в качестве направления декарбонизации децентрализованного теплоснабжения и ЖКХ.

Водород может применяться в различных видах транспорта – автомобилях, складском транспорте, поездах, авиатранспорте, судах – как в топливных элементах, так и в двигателях внутреннего сгорания.

На рис. 3.7 представлена общая схема применения водорода в различных отраслях.

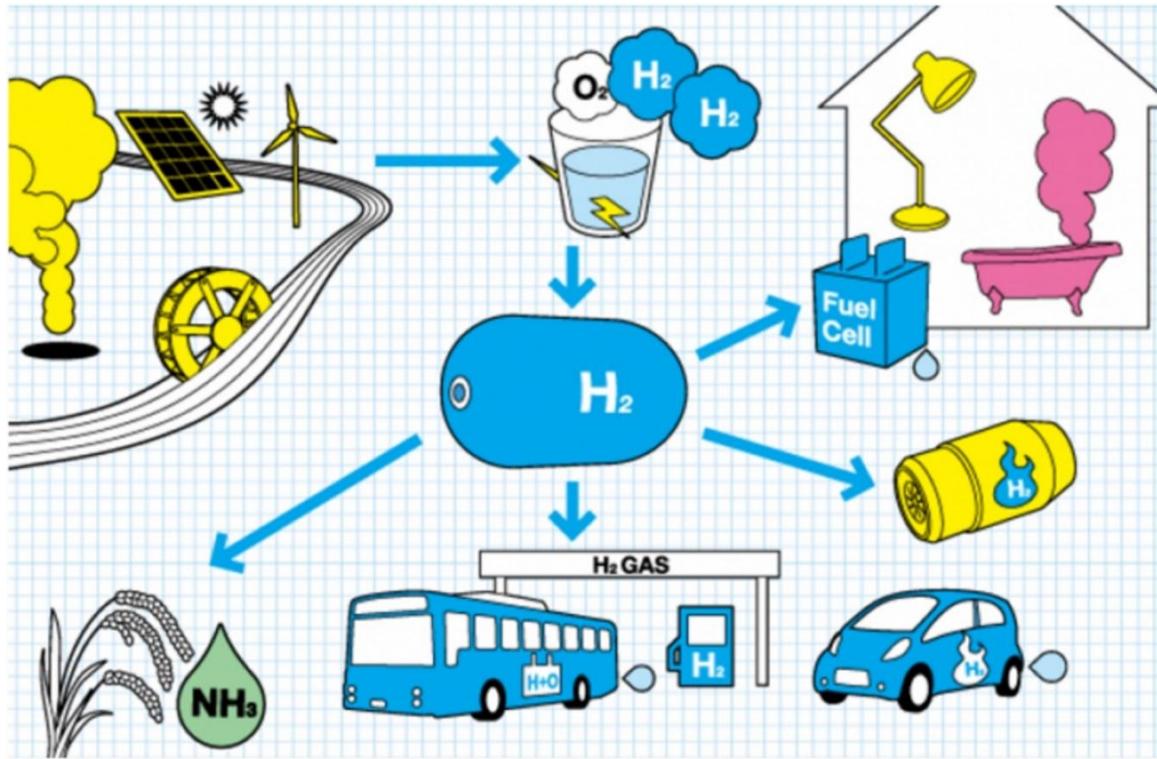


Рисунок 3.7 – Общая схема применения водорода в различных отраслях

Известно, что производство водорода с чистотой до 99,9% возможно через метод электролиза дистиллированной воды через электролизную установку, где на рис. 3.8-3.9 представлены внешний вид и общая схема данной установки.

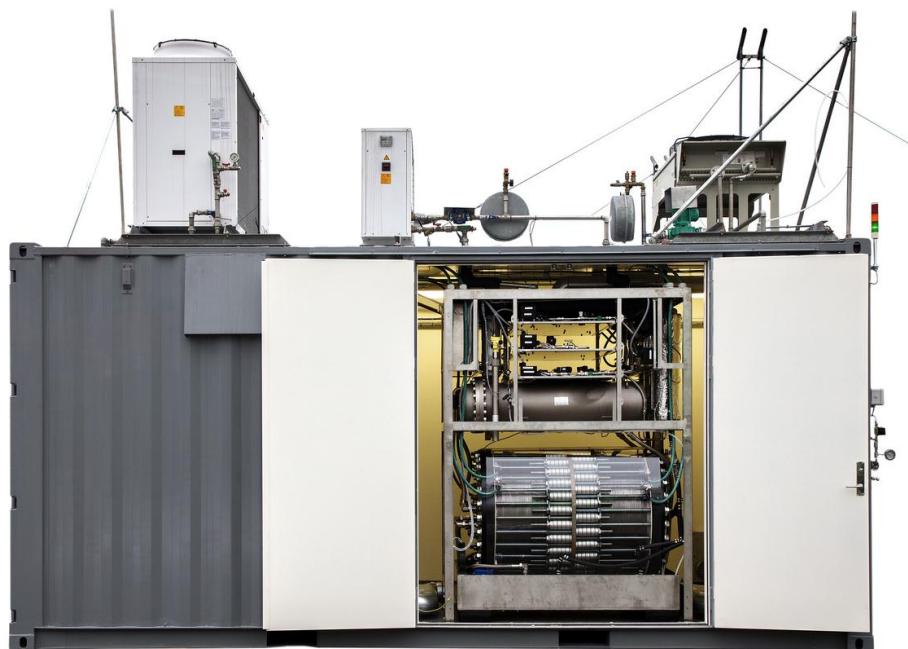


Рисунок 3.8 – Внешний вид электролизной установки

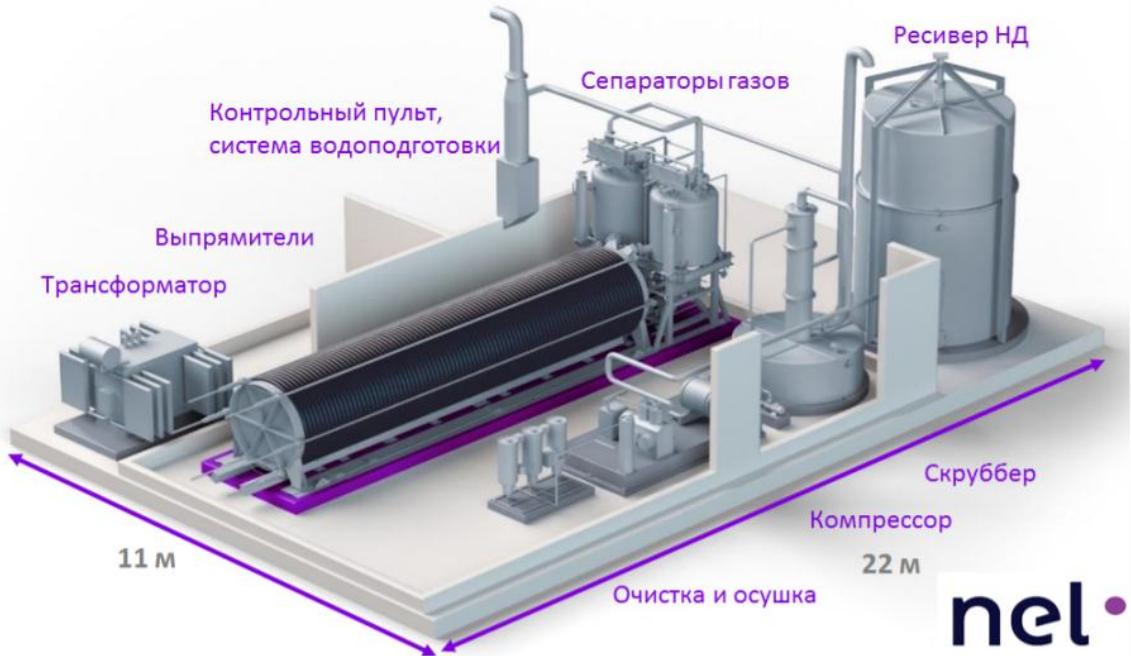


Рисунок 3.9 – Общая схема электролизной установки

На вышеуказанной схеме (рис. 3.7) видно, что электролизная установка может питаться не только от традиционных источников энергии, но и от нетрадиционных источников энергии в виде фотоэлектрических и ветровых энергетических установок. Тем самым, достигается декарбонизация энергетики. Водород может применяться в виде:

1. Энергоносителя для комбинированного сжигания в топливных элементах (*fuel cell*) в целях получения электро- и тепловой энергии.
2. Топлива для малых и крупных транспортных средств, двигатель которых спроектирован и переделан для комбинированного сжигания жидкого и водородного топлива.
3. Топлива для двигателей крупных и малых воздушных судов, двигатель которых спроектирован и переделан для комбинированного сжигания жидкого и водородного топлива. Например, данные проекты активно реализовываются на базе авиастроительной компании «Airbus»³. На рис. 3.10 представлена

³ Airbus создаст водородный авиадвигатель с криогенным охлаждением и сверхпроводимостью. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://3dnews.ru/1037820/airbus-sozdast-vodorodniy-aviadvigatel-s-kriogennym-ohlagdeniem-i-sverhprovodimostyu> (дата обращения: 11.03.2022).

общая схема использования жидкого водорода в контуре охлаждения силовой установки⁴.

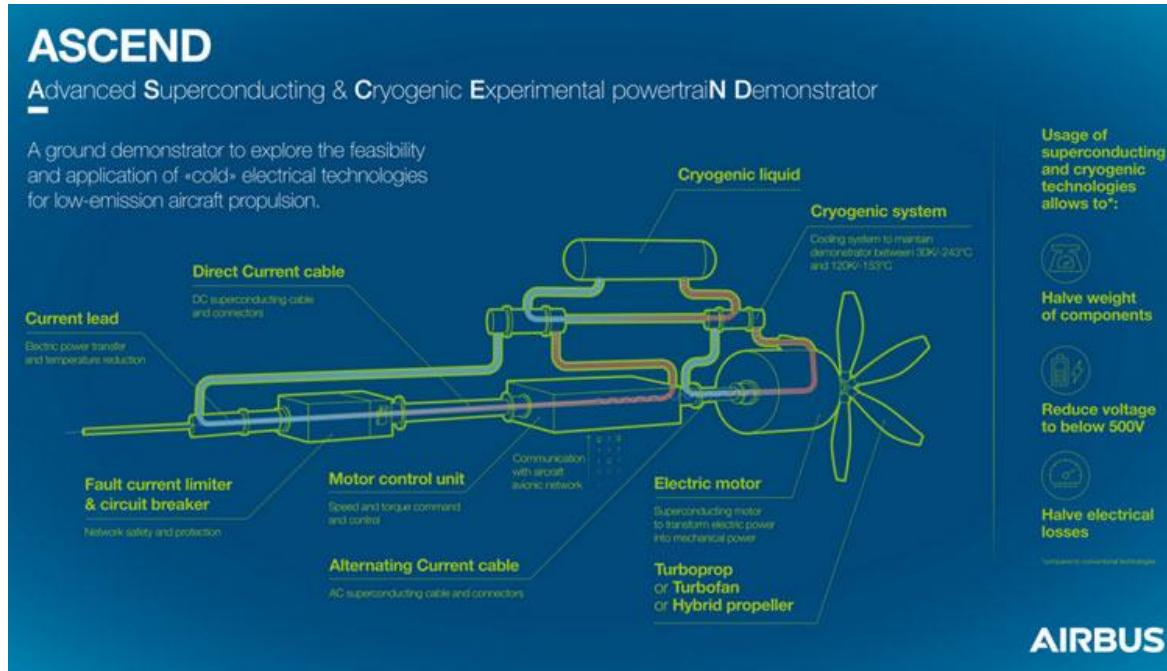


Рисунок 3.10 – Общая схема использования водорода в контуре охлаждения силовой установки летательного аппарата авиастроительной компании «Airbus»

Кроме того, хранение водорода производится в сжиженном, абсорбированном или сжатом газообразном состоянии в баллонах высокого давления, где на рис. 3.11 представлены их внешние виды.

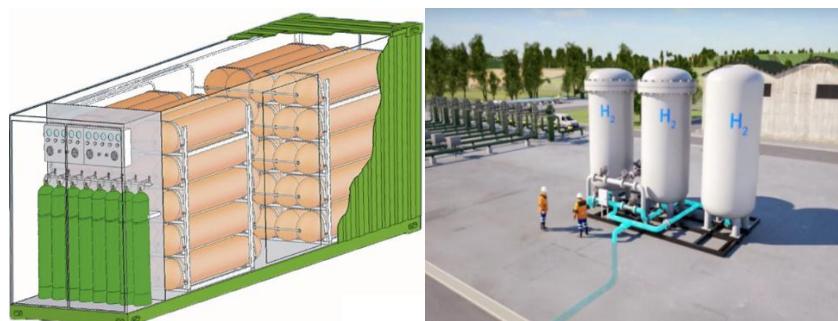


Рисунок 3.11 – Внешние виды системы хранения водородного топлива высокого давления

⁴ Airbus Ascend - cryogenic hydrogen powertrain for electric aircraft. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=m1FtDAnzhcU> (дата обращения: 11.03.2022).

Существуют 2 способа хранения и транспортировки водорода, а именно:

1. Промышленный способ:

1.1 В газообразной форме. Водород хранится в газообразной форме в баллонах высокого давления, но существует проблема в виде обеспечения безопасности вследствие особых химических и физических свойств водорода.

1.2 В сжиженном виде. Возможно применение в криогенных танках с последующей транспортировкой по трубопроводной системе, но данный способ экономически нерентабелен.

2. Инновационные способы:

2.1 Комбинированный способ. Возможно добавление водорода к метану по газовой магистрали при соотношении 1:4, но возможно проявление «водородного охрупчивания».

2.2 В обратимо связанном состоянии. Возможное размещение в металлогидридах или в контейнерах с жидкими соединениями (органика + аммиак) – в цистернах или трубопроводных системах.

На рис. 3.12 представлены примерные интерпретации вышеуказанных систем хранения и транспортировки водорода.



Рисунок 3.12 – Примерные интерпретации систем хранения
и транспортировки водорода

Далее существует водородная система резервного электроснабжения, где возможными областями применения данной системы являются:

1. Электроэнергетика. Обеспечение резервного питания без применения дизель-генераторных установок и системы накопления энергии в виде электрохимических аккумуляторных батарей.
2. Сети связи и Интернета. Данная установка значительно повышает надежность электроснабжения удаленных станций сетей связи.
3. Электротехника. Обеспечение бесперебойного электроснабжения ключевых узлов общих телекоммуникационных сетей и важных объектов жизнедеятельности.

На рис. 3.13 представлена общая схема вышеуказанной водородной системы резервного электропитания.

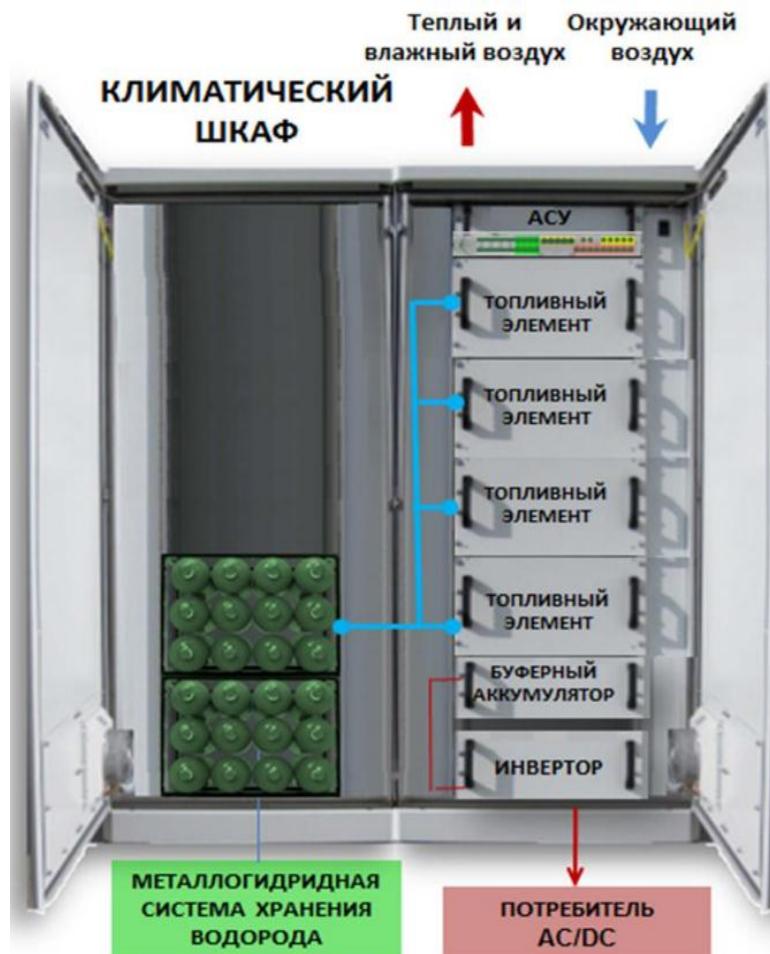


Рисунок 3.13 – Общая схема водородной системы резервного электропитания

Вместе с тем существует водородная система накопления энергии, где возможными областями применения данной системы являются:

1. Объекты возобновляемой энергетики. Замена существующих систем накопления энергии из электрохимических аккумуляторов на водородную систему. Преимуществом данной системы является повышение электроэнергетической эффективности фотоэлектрических и ветроэнергетических установок без применения электрохимических аккумуляторов, утилизация которых отрицательно влияет на окружающую среду.

2. Электроснабжение объектов промышленного комплекса. Обеспечение выравнивания пиковых нагрузок в суточных графиках потребления электроэнергии в бытовых и промышленных системах электроснабжения.

На рис. 3.14 представлена общая схема вышеуказанной водородной системы накопления энергии.



Рисунок 3.14 – Общая схема водородной системы накопления энергии

Функционирование вышеуказанной водородной системы накопления энергии довольно стандартное в виде следующего технологического цикла: электропитание системы производится от фотоэлектрических (солнечных) и ветроэнергетических установок в виде объектов возобновляемой энергетики; очищенная, желательно дистиллированная, вода подается в электролизер в целях производства водородного топлива внутри электролизера; при процедуре электролиза очищенной воды дополнительно добавляются щелочи для увеличения эффективности выработки водорода; произведенный водород направляется в баллоны высокого давления для последующего накопления; накопленный водород направляется в топливные элементы в целях сжигания и генерации электроэнергии; сгенерированная электроэнергия подается до конечного потребителя.

3.4. Водород в возобновляемой энергетике

Водородное топливо становится все более популярным направлением развития в отрасли возобновляемой энергетики. Роль водородной энергетики в области ВИЭ заключается в создании системы накопления энергии для последующего топливоснабжения потребителей водорода, а именно: электрокары, машины на водороде, турбогенераторы с комбинированной системой подачи топлива и т.д.

На рис. 3.15 представлена общая схема производства водородного топлива с применением фотоэлектрических (солнечных) и ветроэнергетических установок для производства водорода методом электролиза для топливоснабжения.

На данной схеме видно, что производство водорода имеет переменный характер при обязательном наличии безоблачной и ветреной погоды в целях возможности генерации электроэнергии от фотоэлектрических (солнечных) и ветроэнергетических установок, питающие электролизную установку.

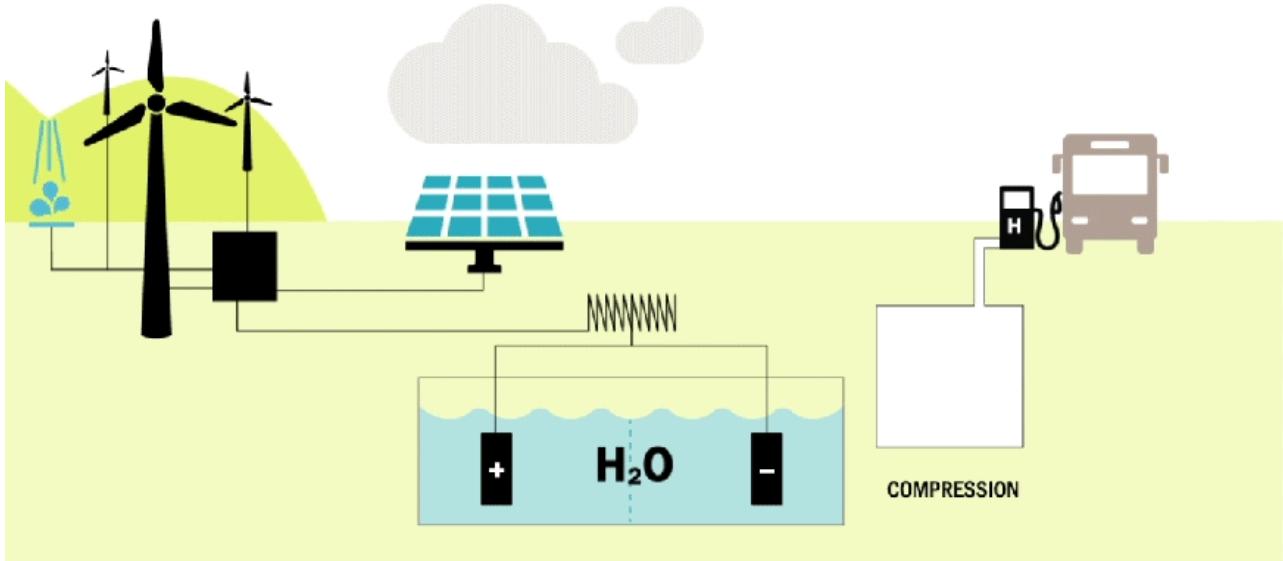


Рисунок 3.15 – общая схема производства водородного топлива
с применением объектов ВИЭ

На рис. 3.15 представлена общая схема производства водородного топлива с применением фотоэлектрических (солнечных) и ветроэнергетических установок для производства водорода методом электролиза для электроснабжения.

Renewable energy

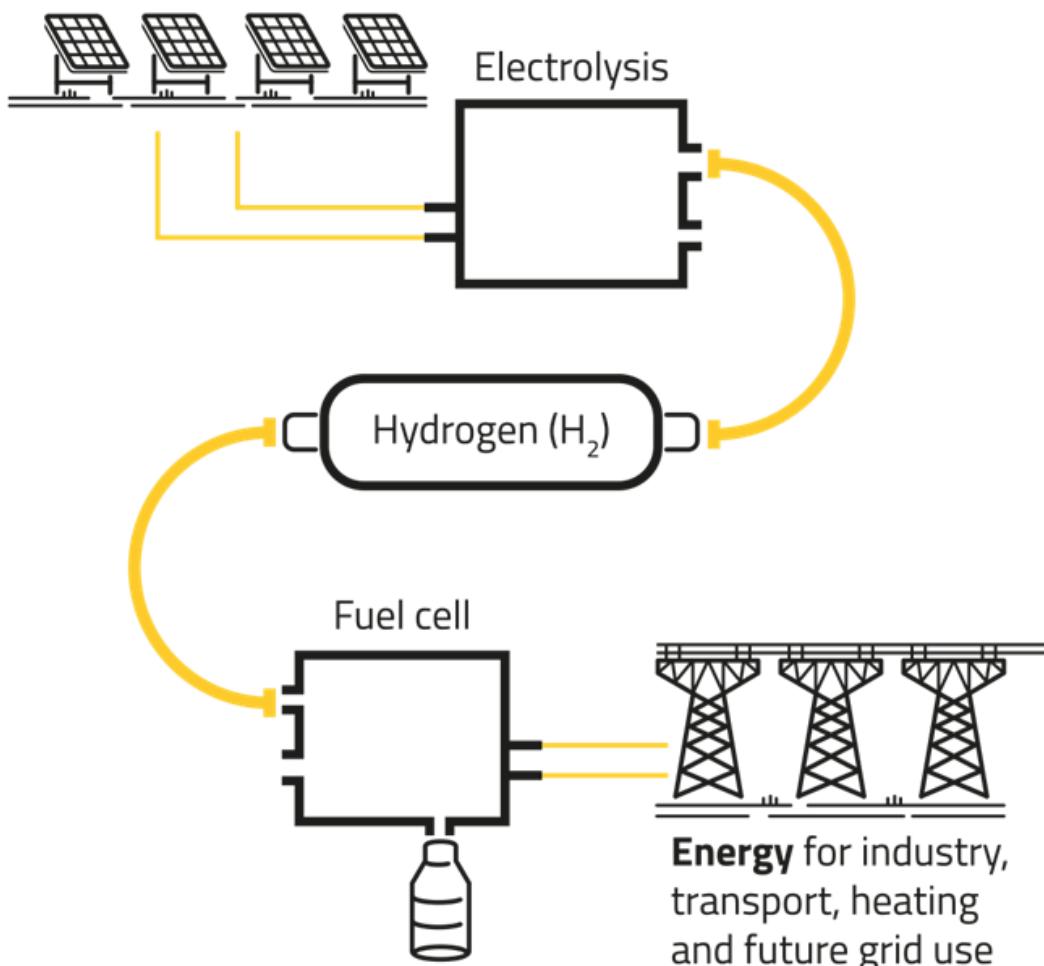


Рисунок 3.16 – Общая схема производства водородного топлива
с применением объектов ВИЭ

Функционирование вышеуказанной схемы довольно стандартное и имеет следующий технологический цикл: питание электролизной установки производится от фотоэлектрических (солнечных) установок; методом электролиза производится водородное топливо; произведенное топливо накапливается в баллонах высокого давления; накопленное водородное топливо подается на топливные элементы для последующего потребления и генерации электроэнергии; сгенерированная электроэнергия направляется конечному потребителю.

Далее на рис. 3.17 представлена общая схема перспектив развития водородной энергетики в увеличенных масштабах.

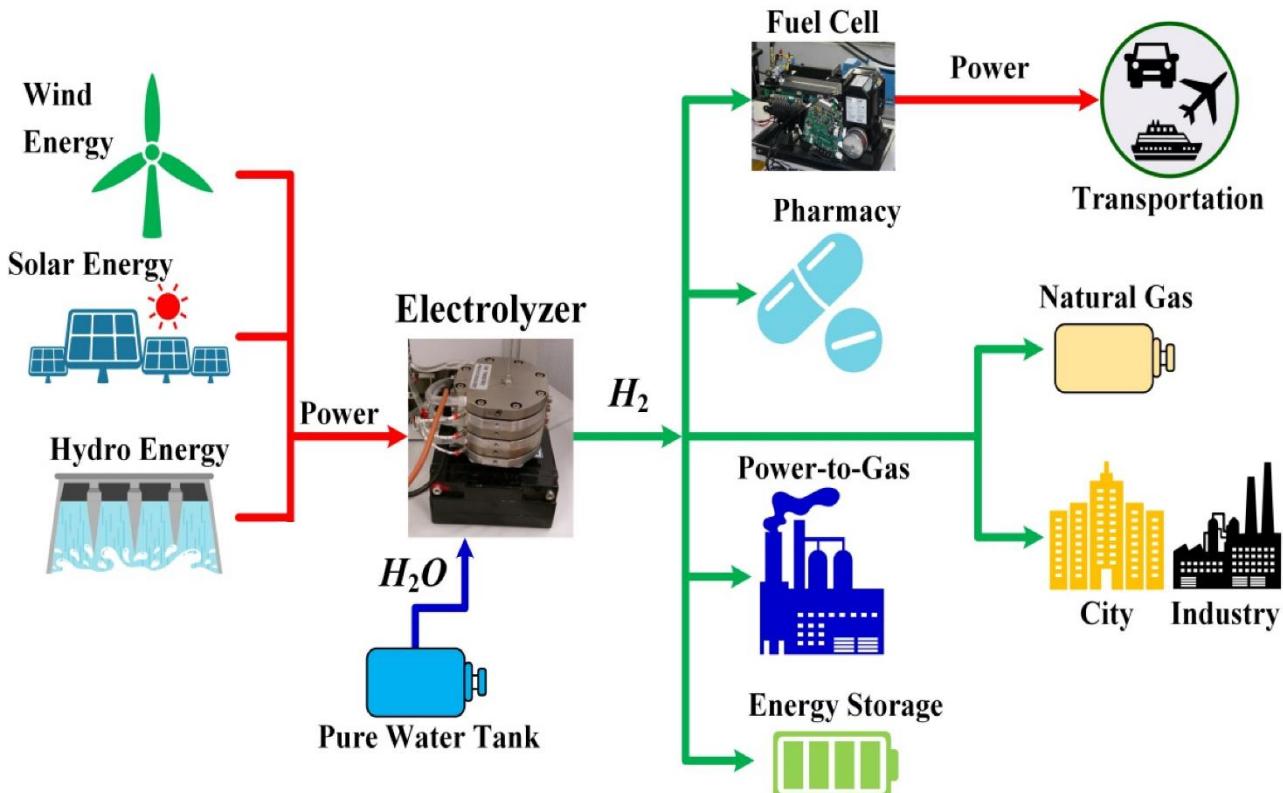


Рисунок 3.17 – Общая схема перспектив развития водородной энергетики

На вышеуказанной схеме видно, что развитие водородной энергетики возможно не только совместно с ВИЭ, но и возможно направление в другие отрасли экономики, а именно: теплоснабжение, накопление энергии, фармацевтика, транспорт и др.

А на рисунке 3.18 представлена общая схема возможного автономного энергообеспечения с водородным аккумулированием электроэнергии для отдельных жилых зданий / домов.

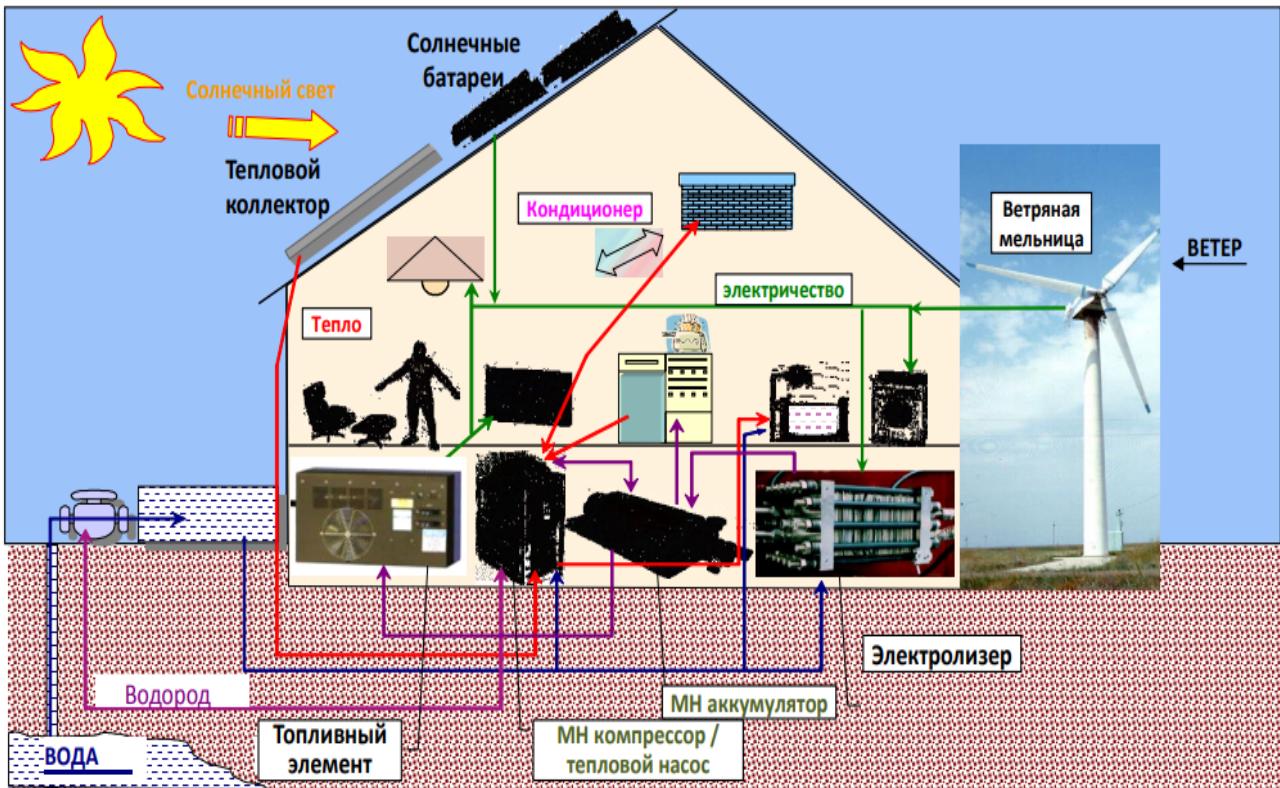


Рисунок 3.18 – Общая схема возможного автономного энергообеспечения с водородным аккумулированием электроэнергии для отдельных жилых зданий / домов

3.5. Получение водорода методом электролиза

К 2020-м годам способы получения водородного топлива с использованием углеродного сырья будут основными. Сыревые и экологические ограничения процесса паровой конверсии метана стимулируют разработку процессов производства водорода из воды. Среди способов получения водорода из воды наибольший интерес в контексте атомно-водородной энергетики представляют электролиз.

Впервые электролитическое разложение воды на кислород и водород осуществлено в 1800 г., а промышленное освоение этого метода началось с 1888 г., когда стали доступны генераторы постоянного тока. Электролиз воды является наиболее перспективной технологией получения водорода в будущем, хотя в настоящее время из-за высокой стоимости доля этого метода в мировом произ-

водство водорода не превышает 5% (рис. 3.19). Наиболее привлекательными особенностями электролизной технологии являются экологическая чистота (разумеется, при условии, что производство первичной энергии не сопряжено с загрязнением окружающей среды), возможность создания установок с широким диапазоном производительности (от нескольких литров до сотен м³ водорода в час), простота эксплуатации и удобство в работе, высокая чистота производимого водорода и наличие ценного побочного продукта — газообразного кислорода. Метод нашел широкое применение в ряде стран, обладающих значительными ресурсами дешевой гидроэнергетики. Наиболее крупные электрохимические комплексы находятся в Канаде, Индии, Норвегии, Египте.

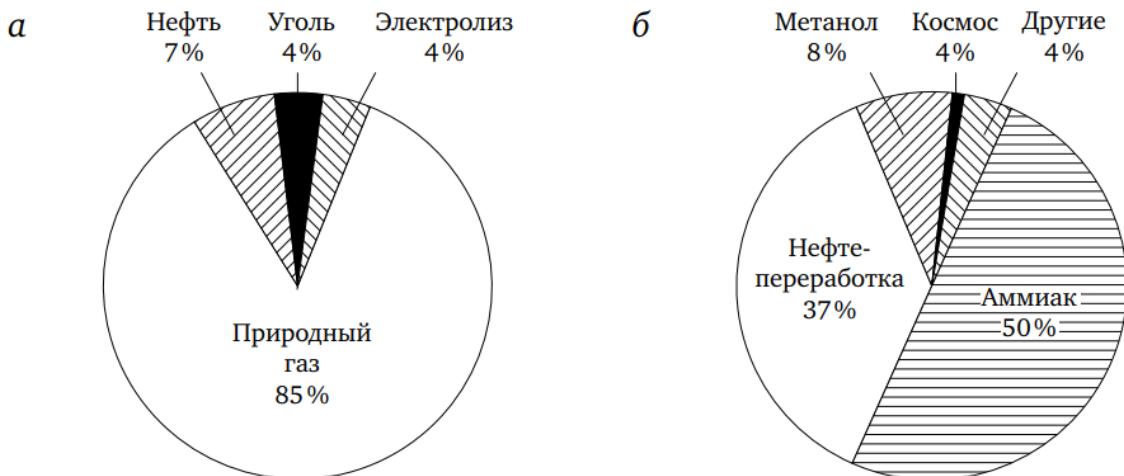


Рисунок 3.19 – Структура мирового производства (а) и потребления (б) водорода

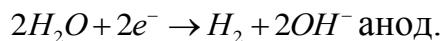
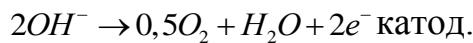
Из различных методов разложения воды (электрохимический, термический, термохимический, биохимический, фотохимический и др.) технически наиболее разработан электролитический метод, который позволяет производить водород с полезным использованием затрачиваемой электрической энергии примерно 70%. При дальнейшем усовершенствовании процесса теоретически возможно увеличение этого показателя до 80%, а при высокотемпературном электролизе и до 80–90%

В настоящее время существуют три способа реализации электролизной технологии производства водорода, отличающиеся типом используемого электролита и условиями проведения электролиза, где в таблице 3.1 представлен основные их характеристики.

Таблица 3.1 – Способы реализации электролизной технологии производства водорода

| Тип электролизера | Энергозатраты, $H_2 \text{ м}^3 / \text{kВт}\cdot\text{ч}$ | Температура, К | Производительность, $H_2 \text{ м}^3 / \text{ч}$ | 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 | 250-370 | до 100 | 0,1-15 | 80-90 |
| с твердым оксидным электролитом | 2,5-4 | 1070-1270 | - | 0,1-3 | ≥ 85 |

Щелочной электролиз — процесс прохождения электрического тока через раствор электролита (20–30% раствор KOH или NaOH) от анода к катоду, вследствие чего на них соответственно образуются газы водород и кислород:



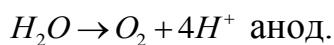
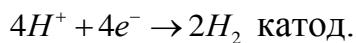
Особенность процесса щелочного электролиза — возможность работать в широких пределах нагрузки (начиная с 20% от номинальной мощности). Основными производителями являются: *Stuart IMET, The Electrolyser Corporation Ltd, Norsk Hydro, DeNora*, НПО «Уралхиммаш» и др.

К исследованиям, направленным на усовершенствование традиционного процесса электролиза воды и повышения его экономичности, можно отнести разработку электролизёров с твердо-полимерным электролитом (ТПЭ). Данный метод производства водорода исторически связан с появлением перфторированной ионообменной мембранны «Нафион» фирмы DuPont. Первые электролизёры с

ТПЭ были созданы в 1966 г. компанией General Electric. Такие изделия предназначались для специальных целей (космические корабли, подводные лодки и т.п.), а также для нужд гражданской индустрии.

В настоящее время областями применения электролизёров с ТПЭ, помимо использования произведенных ими газов в топливных элементах, являются: аналитическое приборостроение (оборудование для газовой хроматографии, обеспечение водородом лабораторий), системы коррекции водо-химического режима атомных реакторов, водородная сварка, производство особо чистых веществ для электронной промышленности и т.п. Водород также широко используется в различных химических технологических процессах, например, аммиака, при гидрировании органических соединений. При этом производимый кислород, помимо его использования для дыхания (например, в медицине), может быть применен в некоторых областях промышленной энергетики, таких как различные процессы горения, производство полупроводников, выплавка стекла, обработка твердых бытовых отходов и сточных вод, а также газификация угля. Необходимо отметить, что при некоторых условиях, помимо производства водорода и кислорода, в процессе электролиза воды с ТПЭ может выделяться озон.

Мембрана таких электролитов — беспористая полимерная на основе перфторированного углерода обладает механической прочностью, химической стойкостью и высокой электропроводностью. Переносчик заряда в таких мембранных является гидратированный протон:



ТПЭ электролизёры в 5–7 раз дороже водно-щелочных с аналогичными характеристиками, но при этом экологически чистые, имеют значительно меньшие массогабаритные характеристики и энергозатраты, повышенный уровень безопасности, возможность работы в нестационарных режимах, простое обслуживание, и в дополнение ко всему, можно получить компримированные газы (до 30

атм. и более) непосредственно в электролизёре. Важной особенностью систем электролиза воды с ТПЭ является то, что чистота производимого водорода (а также кислорода) соответствует качеству газов, необходимых для использования в топливных элементах с ТПЭ, которые сегодня начинают внедряться на транспорте и в децентрализованной энергетике (например, чистота водорода, полученного электролизом с ТПЭ, составляет не менее 99,98%). Но и сами электролизные системы на основе ТПЭ предъявляют жесткие требования к чистоте подаваемой воды.

На сегодняшний день основными производителями электролизёров с ТПЭ являются: в США *Hamilton Sundstrand, Proton Energy Systems Inc.* (электролизёры, работающие под давлением до 28 атм, производительностью по водороду до $26 \text{ м}^3/\text{ч}$ с возможной комбинацией электролизёров в энергоустановку производительностью $260 \text{ м}^3/\text{ч}$), *Membrel process, David Systems and Technology, Iwani*; в Германии *H-tec* (электролизёры мощностью до 10 кВт). Исследования и разработка электролизёров с ТПЭ проводятся в Норвегии (*Norwegian University of Science and Technology*), а также в Японии (*Matsushita Electric Works, Ltd.* и *Fuji Electric Co., Ltd*)

Получение водорода и кислорода электролизом воды осуществляется по сравнительно простой технологической схеме. Подготовка сырья — чистой воды — и первичная переработка водорода и кислорода, получающихся при электролизе (охлаждение, очистка от щелочного тумана, осушка), не требуют сложного оборудования.

Электролиз воды протекает по общему суммарному выражению 3.1:



Для получения водорода электролизом воды используют дистиллиированную или обессоленную природную воду, что позволяет избежать накопления в электролите различных примесей. Однако несмотря на эти предосторожности, в электролите при длительной работе накапливаются примеси, содержащиеся

(хотя и в небольшом количестве) в питательной воде или появляющиеся в нем в результате коррозии деталей электролизёров. Обычными примесями к электролиту являются CO_3^{2-} , Cl^- , SO_3^{2-} , SiO_4^{2-} , железо, продукты разрушения металлических деталей электролизёра и диафрагмы.

Удельная электропроводимость обычной водопроводной воды невелика и близка к 10^{-1} Ом/м, а очень чистой дистиллированной воды — около $4 \cdot 10^{-6}$ Ом/м. Для увеличения удельной электропроводимости воды при электролизе применяют водные растворы электролитов — кислот, щелочей, солей.

В промышленности в настоящее время используют практически только щелочные электролиты: водные растворы едкого кали или едкого натра. Другие электролиты (растворы некоторых солей или кислот) иногда применяются в специальных электролитических установках.

На рис. 3.20 представлен внешний вид специальной электролитической установки.

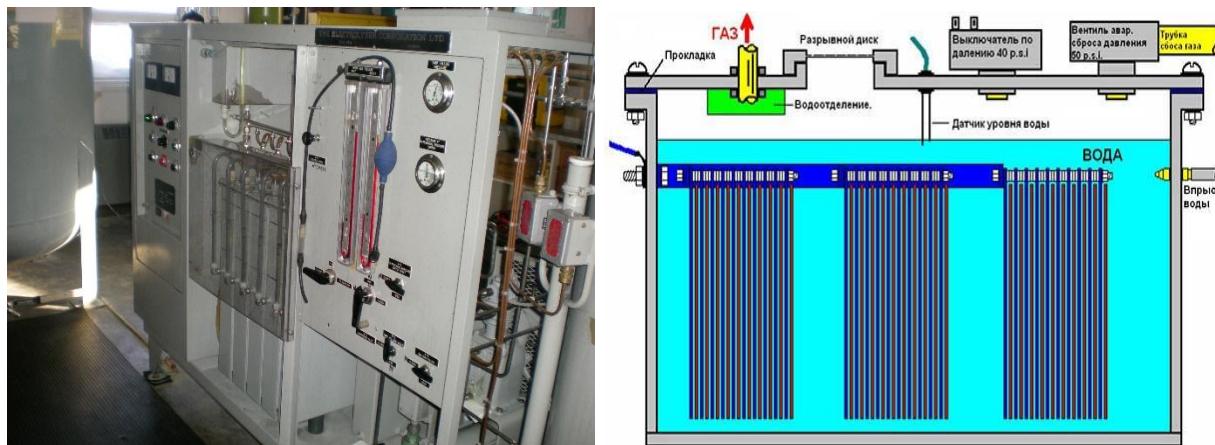


Рисунок 3.20 – Внешний вид специальной электролитической установки

При эксплуатации электролитической (электролизной) установки в условиях Севера и Арктики необходимо особо отметить следующие рекомендации:

1. Обеспечить высокое качество очистки воды, направляемая для последующей обработки в электролитической (электролизной) установке ввиду того, что водные ресурсы Якутии имеют значительную степень концентрации различных металлов и глины.

2. Обеспечить температурный режим не менее + 15 °С внутри здания, где эксплуатируется электролитическая (электролизная) установка в целях недопущения обледенения трубопроводов источника водных ресурсов.

3. Обеспечить бесперебойную подачу щелочей в целях увеличения производительности водородного топлива внутри электролитической (электролизной) установки.

4. Обеспечить высокое качество электроэнергии (изменение напряжения в сети в пределах ±15%, изменение частоты сети в пределах ±0,4 Гц и др.) для устойчивого электроснабжения электролитической (электролизной) установки.

3.6. Рекомендуемые видеоматериалы

- Водородное топливо. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=mvO2segHqSE>.
- Водородный двигатель. [Электронный ресурс]: режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=M-brVK-DJ_c.
- Toyota Mirai на водороде. [Электронный ресурс]: режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=YQ_t22BK9PQ.
- Самый большой самолет на водородном двигателе совершил первый полет. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=GAKRRJ5ySB8>.
- Airbus Future Plane Concept - ZEROe - Hydrogen, New Cabins And Zero Emissions - Never Built. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=KSLygoaZVfI/>
- Hydrogen Fuel Cell Project at Honolulu Harbor. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=crdoEFVBPno>.
- New type of electrolyzer: Cost-efficient production of hydrogen with AEM electrolyzer. [Электронный ресурс]: режим доступа: [youtube.com/watch?v=t3RueyN3t1w](https://www.youtube.com/watch?v=t3RueyN3t1w).

- Hydrogen Generators: Safer Solutions for Power Plants. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=5mXa13CUMz0>.

3.7. Контрольные вопросы

Составьте ответы на вопросы в развернутом виде с указанием всех необходимых данных.

1. Расскажите о роли водорода на функционирование энергетической отрасли.
2. Расскажите о роли водорода на функционирование авиационной и машиностроительной отрасли.
3. Как применяются водородные технологии в объектах ВИЭ?
4. Приведите пример использования водородных технологий на примере ветро-солнечной электростанции.
5. Что такое метод электролиза воды?
6. Какие проблемы могут быть при производстве водорода посредством применения метода электролиза воды?
7. Существуют ли турбогенераторы, которые полностью работают на водородном топливе?
8. Как рекомендуется использовать водородное топливо для подачи в камеру сгорания?
9. Приведите информацию о возможном потенциале развития водородной энергетики.
10. В чем заключается смысл технологического цикла производства водородного топлива?

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. В с. Оленек функционирует малая дизельная электростанция мощностью 15 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:5. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.
2. В с. Оленек функционирует малая дизельная электростанция мощностью 15 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:4. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.
3. В с. Оленек функционирует малая дизельная электростанция мощностью 15 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:3. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.
4. В с. Оленек функционирует малая дизельная электростанция мощностью 15 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топлив-

ных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:2. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

5. В с. Жиганск функционирует малая дизельная электростанция мощностью 100 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:4. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

6. В с. Жиганск функционирует малая дизельная электростанция мощностью 100 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:5. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

7. В с. Жиганск функционирует малая дизельная электростанция мощностью 100 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:3. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

8. В с. Жиганск функционирует малая дизельная электростанция мощностью 100 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного

и дизельного топлива составляет около 1:2. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

9. В с. Усть-Куйга функционирует дизельная электростанция мощностью 1 МВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:2. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

10. В с. Усть-Куйга функционирует дизельная электростанция мощностью 1 МВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:3. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

11. В с. Усть-Куйга функционирует дизельная электростанция мощностью 1 МВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:4. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

12. В с. Усть-Куйга функционирует дизельная электростанция мощностью 1 МВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топлив-

ных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:5. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

13. В п. Черский функционирует малая дизельная электростанция мощностью 100 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:4. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

14. В п. Черский функционирует малая дизельная электростанция мощностью 100 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:5. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

15. В п. Зырянка функционирует малая дизельная электростанция мощностью 150 кВт для бесперебойного электроснабжения местного аэропорта. Директор аэропорта планируется проведения предварительного анализа о возможности внедрения системы водородной энергетики в виде дополнительных топливных ресурсов. Известно, что концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет около 1:10. Выполните расчет тепловых параметров совместного сжигания водородного и дизельного топлива.

16. На территории п. Чокурдах (Аллаиховский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 3х5 кВт с удельным расходом топлива 1,36 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посред-

ством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:4 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

17. На территории п. Чокурдах (Аллаиховский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 5x5 кВт с удельным расходом топлива 1,36 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:5 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

18. На территории п. Чокурдах (Аллаиховский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 2x5 кВт с удельным расходом топлива 1,42 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вме-

сте с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:2 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

19. На территории г. Вилуйск (Вилуйский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 2х5 кВт с удельным расходом топлива 1,38 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:3 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

20. На территории г. Вилуйск (Вилуйский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 2х5 кВт с удельным расходом топлива 1,36 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:2 соответственно. Необходимо выполнить расчет

годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

21. На территории г. Вилюйск (Вилюйский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 6х5 кВт с удельным расходом топлива 1,41 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:2 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

22. На территории г. Вилюйск (Вилюйский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 6х5 кВт с удельным расходом топлива 1,41 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:3 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения

выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

23. На территории г. Вилюйск (Вилюйский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 6х5 кВт с удельным расходом топлива 1,41 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:6 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

24. На территории г. Вилюйск (Вилюйский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 8х5 кВт с удельным расходом топлива 1,41 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:3 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

25. На территории г. Вилюйск (Вилюйский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 5х5 кВт с удельным расходом топлива 1,37 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:3 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

26. На территории с. Сунтар (Сунтарский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 3х6,8 кВт с удельным расходом топлива 2 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:2 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

27. На территории с. Сунтар (Сунтарский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 4х6,8 кВт с удельным расходом топлива 2 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных

технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:3 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

28. На территории с. Сунтар (Сунтарский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью $5 \times 6,8$ кВт с удельным расходом топлива 1,5 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:4 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

29. На территории с. Окоемовко (Усть-Алданский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 2×6 кВт с удельным расходом топлива 2,6 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно,

что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:2 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

30. На территории с. Окоемовко (Усть-Алданский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 3х6 кВт с удельным расходом топлива 2,8 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:3 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

31. На территории с. Окоемовко (Усть-Алданский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 4х6 кВт с удельным расходом топлива 2,5 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водород-

ного и дизельного топлива составляет 1:4 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

32. На территории с. Окоемовко (Усть-Алданский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 5x6 кВт с удельным расходом топлива 2,8 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:5 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

33. На территории с. Окоемовко (Усть-Алданский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 4x6 кВт с удельным расходом топлива 2 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:8 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать

существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

34. На территории с. Уус-Кюель (Усть-Алданский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 2х6 кВт с удельным расходом топлива 2 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:2 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

35. На территории с. Уус-Кюель (Усть-Алданский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 4х6 кВт с удельным расходом топлива 2,5 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:5 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электро-

снабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

36. На территории с. Уус-Кюель (Усть-Алданский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 5х6 кВт с удельным расходом топлива 2,9 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:3 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

37. На территории с. Уус-Кюель (Усть-Алданский район) активно функционируют дизель-генераторные установки с установленной мощностью 3х6,5 кВт с удельным расходом топлива 2,5 л/ч. Планируется внедрения энергоэффективных технологий в виде практического применения водородного топлива посредством дополнительного применения электролизной установки. Известно, что водородное топливо подается в камеру сжигания в комбинированном порядке вместе с дизельным топливом. Концентрация совместной подачи водородного и дизельного топлива составляет 1:4 соответственно. Необходимо выполнить расчет годового и месячного потребления водородного топлива, выбрать существующую модель электролизной установки и материала катодов, определить источник электроснабжения выбранной электролизной установки и вычислить технико-экономические показатели, а именно: капитальные затраты, эксплуатационные расходы, срок окупаемости и другие.

38. Выполнить обзор перспективных направлений развития водородной энергетики в целях возможного комбинированного топливоснабжения дизель-генераторных установок в условиях Арктики.

39. Выполнить обзор перспективных направлений развития водородной энергетики в целях возможного комбинированного топливоснабжения дизель-генераторных установок малой мощности в условиях Субарктики.

40. Выполнить обзор перспективных направлений развития водородной энергетики в целях возможного комбинированного топливоснабжения дизель-генераторных установок микро- мощности в условиях Субарктики.

41. Выполнить обзор перспективных направлений развития водородной энергетики в целях возможного комбинированного топливоснабжения дизель-генераторных установок средней мощности в условиях Арктики.

42. Выполнить обзор перспективных направлений развития водородной энергетики в целях возможного комбинированного топливоснабжения дизель-генераторных установок малой мощности в условиях Якутии.

43. Выполнить обзор перспективных направлений развития водородной энергетики в целях возможного комбинированного топливоснабжения дизель-генераторных установок микро- мощности в условиях Субарктики с учетом технологий хранения водородного топлива.

44. Выполнить обзор перспективных направлений развития водородной энергетики в целях возможного комбинированного топливоснабжения дизель-генераторных установок малой мощности в условиях Арктики с учетом технологий хранения водородного топлива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уважаемый студент, Вы изучили учебное пособие в области водородной энергетики в условиях Севера с учетом большинства существующих требований и стандартов. В настоящий момент Вы можете выполнить обзор существующих технологий в области водородной энергетики.

При рабочей деятельности в энергетических предприятиях, организациях местного самоуправления или исполнительных органах государственной власти рекомендуется применять существующие нормативно-правовые и нормативно-технические акты.

При составлении презентации или расчетов показателей технико-экономического обоснования внедрения водородных технологий по определенному проекту рекомендуется применение лицензированных программ MS Office Power Point (для презентаций), Splan 7.0 (для составления электрических схем), MS Office Project или Gantt Project (для составления дорожных карт проекта) и др.

В связи с этим рекомендуется полное ознакомление со стандартами и условиями ГОСТ Р 54110-2010, ГОСТ 3022-80, ГОСТ Р МЭК 62282-3-100-2014 и др.

Желаю Вам успехов в учебной и рабочей деятельности в сфере водородной энергетики.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Велькин, В. И. Атомная энергетика мира. Состояние и перспективы : учебное пособие для студентов специальностей 13.05.03 — Атомные электростанции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг и 14.06.01 – Ядерные, тепловые, возобновляемые электростанции и сопутствующие технологии / В. И. Велькин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2021. – 442 с. – ISBN 978-5-907297-94-4.
2. Кобылин, В.П. Проблемы северного завоза органического топлива и роль использования АСММ в условиях Крайнего Севера / М. П. Лебедев, О. И. Слепцов, В. П. Кобылин, А. П. Шадрин // Перспектива развития систем атомных станций малой мощности в регионах, не имеющих централизованного электроснабжения, Москва, 11–12 ноября 2010 года / Президиум Российской Академии наук. – Москва: Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр РАН "Издательство "Наука", 2010. – С. 14-25.
3. Красноселов, В.А. Введение в атомную энергетику : учеб. пособие по направлению 651000 "Ядер. физика и технология" по специальности 070500 "Ядер. реакторы и энергет. установки" / В.А. Красноселов, А.Ф. Грачев ; В.А. Красноселов, А. Ф. Грачев. – Ульяновск, 2004. – 204 с. – ISBN 5-89146-468-3.
4. Константинов, А.Ф. Общая энергетика : учебное пособие / А. Ф. Константинов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Физико-технический институт П.Ф. Васильев, к.т.н., и.о. зав. кафедрой электроснабжения ФТИ СВФУ - рецензент А.К. Корякин, к.т.н., ОАО «Сахаэнерго» - рецензент. – Якутск : Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2020. – 171 с. – ISBN 978-5-7513-2905-1.

5. Ташлыков, О. Л. Основы ядерной энергетики : учебное пособие / О. Л. Ташлыков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2016. – 212 с. – ISBN 978-5-7996-1822-3.

6. Букринский, А. М. Безопасность атомных станций и ее регулирование в России : Сборник статей / А. М. Букринский. – Москва : Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, 2016. – 421 с.

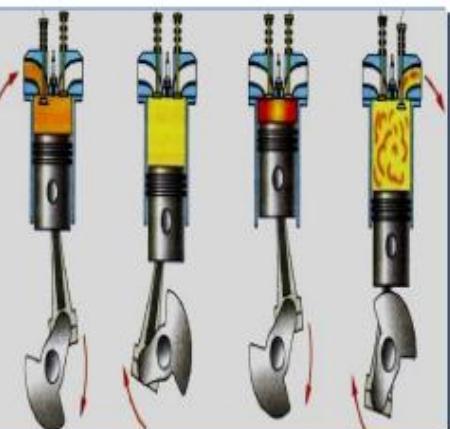
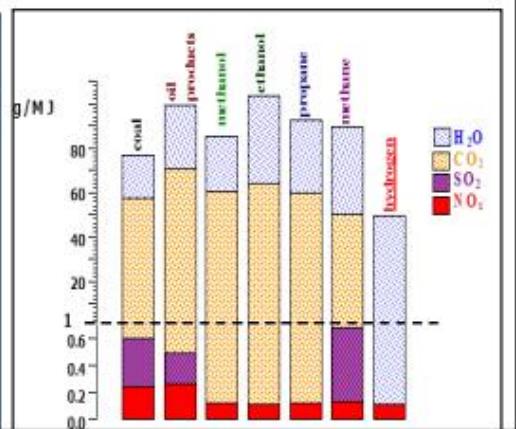
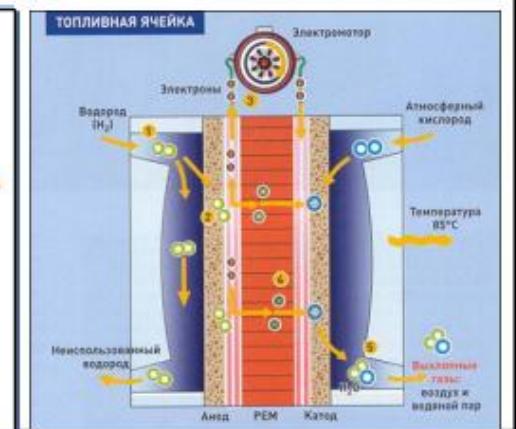
7. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88) ПН АЭ Г-1-011-89, М. Энергоатомиздат, 1990.

8. Букринский А.М., Сидоренко В.А., Почему необходимо вывести из-под действия Федерального закона «О техническом регулировании» объекты использования атомной энергии. Пояснительная записка к открытому обращению к Президенту Российской Федерации. Ежеквартальный журнал Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору "Ядерная и радиационная безопасность", № 1, 2005.

9. РД-03-43-98, Положение об организации государственного надзора за безопасностью при использовании атомной энергии.

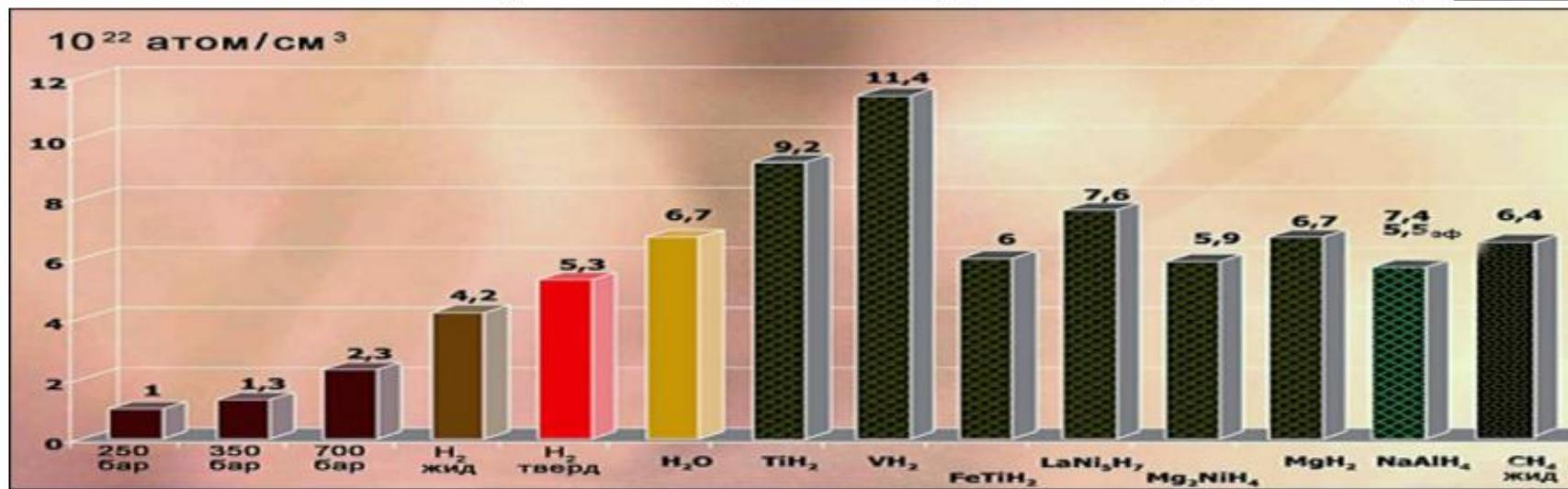
10. Федеральный закон "Об использовании атомной энергии" от 21.11.1995 N 170-ФЗ.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ ИЗ ВОДОРОДА

| Водородные двигатели внутреннего сгорания | Водородные топливные элементы |
|--|---|
| <p>Преобразование химической энергии в тепловую: $H_2 + 0.5 O_2 = H_2O + 286 \text{ кДж/моль}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Эффективность больше, чем у бензиновых двигателей; • Меньшее количество вредных выбросов по сравнению с бензиновым двигателем; • Водородное окрупчивание металлических частей двигателей внутреннего сжигания.   | <p>Преобразование химической энергии в электрическую: $H_2 + 0.5 O_2 = H_2O + 1,23 \text{ В}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Высокая объемная и массовая мощность; • Различные типы топливных элементов: рабочая температура зависит от природы электролитов; • Высокий коэффициент полезного действия (особенно при низкой нагрузке); • Полное отсутствие вредных выбросов; • Требуется высокочистый водород; • Недостаточно большой ресурс.   |

ПРИЛОЖЕНИЕ В. УСЛОВИЯ И СПОСОБЫ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

| Состояние водорода | Газообразный водород | | | Жидкий водород | Водород в гидриде |
|--|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Давление, атм | 1 | 350 | 700 | 1 | 1 |
| Температура, К | 300 | 300 | 300 | 20 | 300 |
| Расстояние H_2 - H_2 или H - H , нм | 3,3 | 0,54 | 0,45 | 0,36 | 0,21 |
| Концентрация атомов, ат./см ³ | $5,6 \cdot 10^{19}$ | $1,3 \cdot 10^{22}$ | $2,3 \cdot 10^{22}$ | $4,2 \cdot 10^{22}$ | $10,7 \cdot 10^{22}$ |
| Схема расположения молекул или атомов водорода | | | | | |



ПРИЛОЖЕНИЕ С. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВОДОРОД-АККУМУЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

| Металлогидридный аккумулятор | Принцип действия | Материал | Температура, °C | Количество H ₂ , мас.% |
|---|---|--|---|---|
|   | <p>Обратимое гидрирование $M + xH_2 \leftrightarrow MH_{2x}$</p> | La(Mm)Ni₅ TiFe (Ti,Zr)(Mn,Cr)₂ Mg₂Ni Mg-Mm-Ni Mg + 5%C Mg + 3%Ni/C | -50 – +50 -30 – +50 -30 – +50 250 – 300 250 – 300 300 – 350 300 – 350 | 1.5 1.8 2.0 3.6 5.5 7.0 7.0 |

Учебное издание

**Местников Николай Петрович, Давыдов Геннадий Иванович
Альзаккар Ахмад Мухаммед-Насер**

**ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И АРКТИКИ**

Учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика»
и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности
в условиях Севера»

Выпускается в авторской редакции

Дата подписания к использованию 06.06.22. Электронное издание.
Объем 3,0 Мб. Тираж 10 дисков. Заказ № 103.

Минимальные системные требования:
процессор с тактовой частотой 1,3 Гц и выше, оперативная память 128 Мб,
операционные системы: Microsoft Windows XP/Vista/7/8/10,
ОС MAC OS версии 10,8.

Издательский дом Северо-Восточного федерального университета,
677891, г. Якутск, ул. Петровского, 5. E-mail: izdat-svfu@mail.ru

Изготовлено с готового оригинал-макета в Издательском доме СВФУ