# СОДЕРЖАНИЕ

[СОДЕРЖАНИЕ 1](#_Toc91055424)

[ВВЕДЕНИЕ 2](#_Toc91055425)

[1 КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА 3](#_Toc91055426)

[2 СУЩНОСТЬ ТЕРМОХИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА 4](#_Toc91055427)

[3 КОНФИГУРАЦИИ ЦИКЛА МЕДЬ-ХЛОР (Cu-Cl) 6](#_Toc91055428)

# ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время 80% первичной энергии в мире производится из ископаемых видов топлива [1]. Среди них 32% приходится на нефть, которая по-прежнему является крупнейшим основным топливом для транспортировки. Согласно докладу Международного энергетического агентства (МЭА) о перспективах развития энергетических технологий за 2020 год, чтобы ограничить повышение глобальной температуры в пределах 2 °C, выбросы CO2, связанные с энергетическими и промышленными процессами, должны быть снижены примерно на 60% [2].

Существуют некоторые решения для снижения воздействия на окружающую среду процессов, связанных с энергетикой, таких как улавливание углерода и хранение (CCS) химическое циклическое улавливание углерода, тепловая декарбонизация и так далее [3]. Однако, хотя улавливание углерода может снизить экологические затраты, оно не может быть долгосрочным решением для устойчивого развития в контексте энергетики. Следовательно, альтернативные безуглеродные виды топлива, такие как водород и аммиак, рассматриваются как долгосрочные безуглеродные решения для обеспечения энергетической устойчивости и борьбы с изменением климата [4].

Водород рассматривается как альтернативный энергоноситель будущего из-за более высокой плотности энергии по массе, меньших экологических проблем, его обильного присутствия в различных формах во Вселенной и его конвертируемости в электричество или полезные химические вещества. Это самый легкий элемент во Вселенной, который не имеет вкуса, цвета, запаха и нетоксичен в нормальных условиях и имеет теплотворную способность в 2,4, 2,8 и 4 раза выше, чем у метана, бензина и угля соответственно [5].

Большая часть водорода, доступного на земле, находится в форме H2O, и для разрыва водородно-кислородной связи в воде необходимо подвести энергию. Способы производства водорода различаются видом подведенной энергии (электрическая, тепловая, ядерная и др.). Для производства водорода разработан ряд технологий: паровой риформинг природного газа, электролиз воды, газификация угля, а также расщепление воды термохимическими методами, например циклом Cu-Cl.

Целью данной работы является рассмотрение и выбор наиболее доступного варианта получения водорода с использованием цикла Cu-Cl в данных условиях.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА

Водород – один из перспективных видов альтернативного топлива, который можно получать из различных энергетических источников. В настоящее время водород используется в нефтепереработке для гидроочистки, для производства аммиака, пластмасс, метанола, в стекольной и электронной промышленности. Также водорода является одним из вариантов ракетного топлива. Популярно использование транспорта на топливных элементах, в которых производится электричество с использованием водорода.

Как показано на рисунке 1.1, водород является ключевой цепочкой между отраслями, потребляющими водород, такими как заводы по производству аммиака и этанола, и некоторыми важными секторами, такими как электросети, газовые сети, транспорт, жилищное хозяйство, сельское хозяйство и хранение энергии [6]. Водород играет интегрирующую роль между этими секторами, одновременно повышая производительность электросетей.

Водород может быть эффективно преобразован в электричество, и наоборот [7]. Он может быть получен из возобновляемых материалов, таких как биомасса и вода, и, что наиболее важно, он является экологически чистым во всех процессах, использующих водород [8].

Водород рассматривается как альтернативный энергоноситель будущего из-за более высокой плотности энергии по массе, меньших экологических проблем при его сжигании и его обильного присутствия в различных формах во Вселенной, а также его конвертируемости в электричество или полезные химические вещества. Это самый легкий элемент во Вселенной, который не имеет вкуса, цвета, запаха и нетоксичен в нормальных условиях и имеет теплотворную способность в 2,4, 2,8 и 4 раза выше, чем у метана, бензина и угля соответственно [5].

# СУЩНОСТЬ ТЕРМОХИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА

Термохимические циклы расщепления воды основаны на разложении воды посредством повторяющихся стадий химических реакций с использованием промежуточных реакций и веществ, которые в свою очередь перерабатываются в ходе этих процессов, так что общие реакции эквивалентны диссоциации молекулы воды на водород и кислород [16]. Теоретически, тепловая энергия является единственным источником энергии для данного процесса. Термохимический цикл расщепления воды предназначен для производства водорода с использованием тепловой энергии и переработкой веществ для повторного использования. Термохимические циклы расщепления воды мало зависят от катализатора, и единственным потребляемым веществом в цикле является вода, которая в свою очередь является источником водорода, а все остальные вещества могут быть циклически использованы [17].

Преимущества термохимических циклов расщепления воды: для процесса разделения O2-H2 не требуется наличие мембран; диапазон рабочих температур 500 -1800 °C (в большинстве случаев); отсутствие необходимости в дополнительном потреблении электроэнергии в чистых термохимических циклах и низкая потребность в электроэнергии в гибридных термохимических циклах.

Термохимические циклы требуют для реализации либо только тепловую энергию как показано на *рисунке* 1.5а, и называются чистыми термохимическими циклами, либо тепловую и другую форму энергии, и тогда называются гибридными термохимическими циклами (*рисунок* 1.5б). В гибридных термохимических циклах вода, высокотемпературная теплота от солнечных установок или ядерных реакторов, а также электричество или фотонная энергия являются входными составляющими, в то время как водород и кислород являются выходными составляющими [18].

Воду можно разложить на H2 и O2 всего за одну стадию. Однако ввиду потребности в очень высокой температуре, необходимой для одностадийного цикла, термохимические циклы рациональнее применять как повторяющийся набор реакций, в которых вода расщепляется с использованием тепловой энергии при температурах ниже 2000 °C и обычно в два или более этапов [19].

Наиболее разработанным является термохимический цикл на основе взаимодействия меди и хлора [19].

Термохимический цикл медь-хлор состоит из промежуточных реакций, в которых используются соединения меди и хлора для упрощения процессов разложения воды на водород и кислород. Существует несколько различных циклов Cu-Cl, различающихся количеством промежуточных реакций, используемых для разложения воды с образованием водорода и кислорода.

Три основные группы циклов сгруппированы по количеству стадий, и это трех -, четырех-и пятиступенчатые циклы.

3 КОНФИГУРАЦИИ ЦИКЛА МЕДЬ-ХЛОР (Cu-Cl)

Цикл Cu-Cl состоит из набора реакций для достижения общего разделения воды на ее составляющие, водород и кислород. Общая чистая реакция составляет H2 2 (г) + 1/2 2 O2(г). В цикле Cu-Cl используется ряд промежуточных соединений меди и хлоридов. Эти химические реакции образуют замкнутый внутренний цикл, который непрерывно перерабатывает все химические вещества без выделения каких-либо парниковых газов.

Было показано, что цикл Cu-Cl [12,19] является потенциально привлекательным вариантом для получения водорода из ядерной энергии. Ожидается, что по сравнению с другими вариантами производства водорода термохимический цикл Cu-Cl будет иметь более высокую эффективность, производить водород с меньшими затратами и оказывать меньшее воздействие на окружающую среду за счет сокращения выбросов в атмосферу, твердых отходов и энергетических расходов.



[Рисунок 3.1 – Концептуальная схема термохимического пятиступенчатого цикла производства водорода Cu-Cl 8](#_Toc83379652)

На рисунке 3.1 видно, что в цикл Cu-Cl поступает только вода и тепло, получаемое из ядерных источников, и образуются только H2 и O2, в то время как выбросы парниковых газов отсутствуют. На первом этапе цикла пар при 400°C и твердый хлорид меди (CuCl2) при 400°C из сушилки поступают в псевдоожиженный слой, где происходит эндотермическая химическая реакция, в результате которой образуется соляной газ (HCl) и Cu2OCl2. Соляной газ сжимают и Cu2OCl2 переводят на другую стадию процесса после повышения его температуры до температуры реакции получения кислорода 500°C. На втором этапе (производство кислорода) происходит эндотермическая химическая реакция, в ходе которой нагревается Cu2OCl2 и образуются O2 и монохлорид меди (CuCl). Жидкий монохлорид меди затвердевает путем охлаждения до 20°C, после чего он поступает на третью стадию (производство меди) вместе с твердым монохлоридом меди с пятой стадии. На третьем этапе твердый монохлорид меди и вода эндотермически взаимодействуют при 20°C. Вода действует как катализатор в этой реакции и не вступает в реакцию с другими элементами или соединениями. Третья реакция включает стадию электролиза, что делает ее самой дорогой стадией в зависимости от цены на электроэнергию. В этой реакции образуются твердая медь и водный раствор хлорида меди. Смесь хлорида меди и воды подается в сушилку, и твердая медь поступает на пятую стадию после повышения ее температуры до соответствующей рабочей температуры. На пятой стадии (производство водорода) поступают соляной газ и медь, которые преобразуются в газообразный водород (H2) и твердый монохлорид меди (CuCl) в стационарной реакции при 450°C.

В настоящее время исследуются три различных варианта цикла Cu-Cl: 3-ступенчатый, 4-ступенчатый и 5-ступенчатый циклы.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Статистика документа | | |
| 1 | Имя документа | Калий – Microsoft World – лаб 1 |
| 2 | Размер файла | 85 кб |
| 3 | Количество символов в документе | 1266 |
| 4 | Вычисляемое поле | 43,95 кб |