

Ф. Ф. Иксанов

F. F. Iksanov

fanis.iksanov.03@mail.ru

Ф. М. Филиппова

F. M. Filippova

filippova.fm@kgeu.ru

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
Kazan State Power Engineering University, Kazan

**ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ,
РАБОТАЮЩИХ НА ВОДОРОДЕ
ASSESSMENT OF THE LIFE CYCLE OF PASSENGER CARS POWERED BY
HYDROGEN**

Аннотация. Чтобы добиться постепенной, но своевременной декарбонизации транспортного сектора, важно оценить, какие типы транспортных средств обеспечивают подходящие экологические характеристики, позволяя использовать водород в качестве топлива. В этой работе сравниваются экологические характеристики жизненного цикла трех различных легковых автомобилей, работающих на водороде: Электромобиль на топливных элементах, автомобиль с двигателем внутреннего сгорания и гибридный электромобиль.

Abstract. In order to achieve a gradual but timely decarbonization of the transport sector, it is important to assess which types of vehicles provide suitable environmental characteristics, allowing the use of hydrogen as fuel. In this work, the environmental characteristics of the life cycle of three different passenger cars powered by hydrogen are compared: a fuel cell electric car, a car with an internal combustion engine and a hybrid electric car.

Ключевые слова: ископаемое топливо, глобальное потепление, транспортный сектор, чистый водород, сокращение выбросов.

Keywords: fossil fuels, global warming, transport sector, clean hydrogen, emission reduction.

В последние годы экологические проблемы растут все более быстрыми темпами. В Парижском соглашении 195 стран приняли первый универсальный и юридически обязывающий пакт о глобальном климате, определяющий глобальный план действий по смягчению последствий изменения климата и пытающийся удержать глобальное потепление значительно ниже +2 °С по сравнению с доиндустриальной эпохой. Что касается Европы, то цель углеродной нейтральности была поставлена к 2050 году. Межправительственная группа экспертов по изменению климата четко заявляет о необходимости срочно ограничить глобальное потепление до +1,5 °С, а не до +2 °С. Основная причина этих экологических

проблем заключается в широком использовании ископаемого топлива в энергетических целях. В 2018 г. мировой спрос на первичную энергию составил 14 282 млн т н. э., из которых 81% было удовлетворено за счет ископаемого топлива. В частности, только на транспортный сектор пришлось 2890 млн т н. э., что составляет 20% мирового спроса на первичную энергию. На сегодняшний день этот спрос почти полностью удовлетворяется за счет ископаемого топлива (96%) и преобладает нефтепродукты (92%). Кроме того, наблюдается непрерывный рост потребления топлива для транспорта и увеличение количества транспортных средств, особенно в странах, не входящих в ОЭСР [1].

По этим причинам транспортный сектор представляет собой ядро энергетического перехода, являясь единственным сектором, который продемонстрировал увеличение, а не сокращение выбросов парниковых газов. В частности, легковые автомобили составляют значительную часть (46%) спроса на энергию от транспорта, а именно 1323 млн т н. э. в 2018 г.

Водород призван сыграть стратегическую роль в декарбонизации транспортного сектора. Из-за экологических критериев его производство должно опираться на возобновляемые источники энергии. Кроме того, водород не связан с прямыми выбросами углерода при его использовании, что делает его перспективным чистым топливом для транспорта. Тем не менее, для проверки экологической пригодности водородных и транспортных систем требуется всесторонний анализ с точки зрения жизненного цикла.

В связи с этим стандартизированная методология оценки жизненного цикла (LCA) широко применяется для выявления потенциальных узких мест в экологических характеристиках жизненного цикла продуктовых систем. Что касается LCA в автомобильном секторе, часто проводится анализ скважины на колеса (WTW), который обычно включает подмножества, известные как скважина-резервуар (WTT) и резервуар-колеса (TTW) в соответствии с определением системных пределов. Анализ WTW учитывает все этапы производства и распределения топлива вплоть до бака транспортного средства и, кроме того, фазу использования топлива. LCA транспортного средства, в дополнение к этапам, связанным с топливом, должен также учитывать этапы производства, технического обслуживания и окончания срока службы самого транспортного средства, тем самым расширяя границы системы.

Валенте и др. исследовали роль, которую играет водород в качестве топлива в экологических характеристиках жизненного цикла легкового автомобиля на топливных элементах, рассмотрев три различные технологии производства водорода. Они показали, что выбор технологии производства водорода существенно влияет на характеристики всего жизненного цикла транспортных средств. Водород на основе возобновляемых источников

энергии, особенно при производстве с помощью электролиза энергии ветра (WPE), был определен в качестве предпочтительного варианта топлива. При использовании водорода из WPE отношение водородного воздействия к общему воздействию всей системы упало до значений около 20% или менее для оцениваемых показателей воздействия, смещая основной вклад от топлива к инфраструктуре транспортного средства. Рассматривая этот вывод в качестве основы, эта работа направлена на выявление экологически предпочтительного транспортного средства, работающего на водороде, среди различных альтернатив.

Исследования LCA водородных транспортных средств обычно рассматривают только электромобили на топливных элементах (FCEV). С другой стороны, немногочисленные анализы WTW на водородных транспортных средствах, оснащенных двигателем внутреннего сгорания, не расширяют границы системы до самого транспортного средства. Следовательно, это исследование направлено на сравнение различных технологий водородных силовых агрегатов с помощью тщательного LCA. Были рассмотрены технологии использования как чистого водорода, так и водорода, смешанного с ископаемым топливом, поскольку последнее может быть краткосрочным решением для сокращения выбросов транспортных средств, когда производство водорода недостаточно велико для заправки многих транспортных средств. Таким образом, основные новшества этого исследования заключаются в сравнении экологических характеристик жизненного цикла различных транспортных средств, работающих на водороде (FCEV, водородных транспортных средств, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, и водородных гибридных электромобилях), и предоставлении подробных перечней жизненного цикла и показателей транспортных средств, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, работающими на смесях водорода и обычного топлива (природного газа или бензина).

В качестве эталона рассматривался средний европейский бензиновый автомобиль, седан, 5-дверный, относящийся к сегменту C (малые семейные автомобили/компактные автомобили/средние автомобили), с номинальной мощностью автомобиля 80 кВт [2].

В то время как FCEV уже были смоделированы, остальные транспортные средства были смоделированы с учетом общих компонентов, таких как планер (кузов, шасси, стеклянные поверхности и т. д.), а также всех основных различий между силовыми агрегатами. В этой работе был смоделирован только ДВС искрового зажигания, в то время как ДВС с воспламенением от сжатия (дизель) не рассматривался. Все рассматриваемые NEV соответствуют полностью гибриднему, последовательному/параллельному типу. Транспортные средства были смоделированы путем разбивки инвентаря на основные подсистемы и компоненты. Затем каждая подсистема была разделена на различные компоненты. Вес и срок службы автомобиля различаются, в основном из-за различий в

силовых агрегатах. Предполагалось, что срок службы FCEV равен сроку службы стека топливных элементов, ограниченному долговечностью мембран. Тем не менее, исследовательские усилия в настоящее время сосредоточены на улучшении долговечности мембран топливных элементов, чтобы достичь целевого срока службы в 250 000 пройденных км. Для других транспортных средств срок службы считался таким же, как у ДВС [3].

Автомобиль H₂-ICE сжигает водород и воздух в ДВС с искровым зажиганием. Благодаря характеристикам сгорания он может рассчитывать на очень высокий КПД и низкие выбросы загрязняющих веществ, что также позволяет использовать ультраобедненные (воздушно-топливные) смеси. Конструктивно его ДВС почти идентичен СПГ, в то время как между двумя транспортными средствами есть незначительные различия, в основном связанные с хранением водорода на борту.

Что касается автомобиля, работающего на КПП, то рассматривался монотопливный автомобиль, предназначенный для работы только на природном газе. Следует отметить, что на сегодняшний день в некоторых странах коммерческие транспортные средства, работающие на КПП, классифицируемые как монотопливные, по-прежнему включают дополнительный небольшой бензобак емкостью менее 14 л для запаса топлива и запаса хода. В то время как двухтопливное транспортное средство имеет две независимые топливные системы, которые могут работать попеременно, лучшие характеристики могут быть достигнуты, если двигатели будут оптимизированы для использования только СПГ. Двигатель, рассматриваемый в данном исследовании, сжигает только СПГ.

Водородно-бензиновый автомобиль похож на обычный автомобиль с бензиновым двигателем с добавлением отдельной топливной системы, предназначенной для чистого водорода. Водород впрыскивается в двигатель в небольших количествах при каждом рабочем цикле, непосредственно или косвенно вместе с обычным впрыском бензина. Таким образом, часть бензина заменяется водородом. Двигатель с такими характеристиками определяется как двухтопливный; ДВС сжигает воздушно-бензиново-водородные смеси, но никогда не только водород или бензин. В этом автомобиле присутствуют два отдельных бака и системы распределения топлива, один для бензина, а другой для водорода [4].

Экологические характеристики жизненного цикла каждой транспортной системы были охарактеризованы с точки зрения потенциала воздействия глобального потепления.

(ПГП), потенциала воздействия подкисления (AP) и совокупного спроса на невозобновляемую энергию (CED) с использованием методов IPCC, CML и VDI соответственно. В соответствии с набором оцененных экологических показателей, из-за использования природного газа вместо бензина автомобиль с гитаном показывает лучшие характеристики, чем автомобиль с бензином H₂. Тем не менее, было обнаружено, что

транспортные средства, работающие на водородной смеси, работают значительно хуже, чем FCEV при ПГП и КНИ, в отличие от транспортных средств, работающих на водородной смеси [5].

Гитан и H₂-бензин демонстрируют сильное воздействие, связанное с TTW, с точки зрения ПГП, который связан с CO на основе ископаемого топлива² Выбросов. На самом деле, что касается показателей TTW, то преимущество FCEV, заключающееся в отсутствии вредных выбросов, было заметно только в категории ПГП, в отличие от незначительного воздействия на AP. В соответствии с набором оцененных экологических показателей, из-за использования природного газа вместо бензина автомобиль с гитаном показывает лучшие характеристики, чем автомобиль с бензином H₂. Тем не менее, было обнаружено, что транспортные средства, работающие на водородной смеси, работают значительно хуже, чем FCEV при ПГП и КНИ, в отличие от транспортных средств, работающих на водородной смеси.

Таким образом, можно сделать вывод, что водородные транспортные средства являются отличными решениями для декарбонизации при использовании возобновляемого водорода. В частности, хотя гибридные водородные автомобили с двигателем внутреннего сгорания (HEV H₂-ICE) требуют большего количества водорода по сравнению с электромобилями на топливных элементах (FCEV), было обнаружено, что они обеспечивают лучшие экологические показатели жизненного цикла по трем рассматриваемым показателям (углерод, энергия и следы подкисления). Благоприятный экологический профиль также был найден для варианта, использующего водород в качестве единственного топлива в двигателе внутреннего сгорания (H₂-ICE), но более высокое потребление водорода, чем у его гибридной версии, делает его характеристики жизненного цикла немного хуже.

Список литературы

1. Козлов С. Н., Фатеев В. Н. Топливные элементы – перспективные химические источники электрической энергии // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 3 (38). С. 7–22.
2. Мищенко А. И., Белогуб А. В., Савицкий В. Д. Применение водорода для двигателей автомобильного транспорта // Атомно-водородная энергетика и технологии : сборник статей. М. : Энергоатомиздат, 1988. Вып. 8. С. 115–135.
3. Пашова А. Водородная энергетика: обзор // Новая энергетика. 2003. № 1. С. 36–38.
4. Пронин Е. Н. Биогазовые и водородные технологии как инструмент повышения экоэффективности транспорта // Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе». 2010. № 5 (17). С. 30–33.

5. Афрошмова В. Н., Поляцкий М. А. Экспериментальное исследование эффективности горения газового топлива // Труды ЦКТИ. 1967. № 76. С. 25–42.