УДК 629.032

© С. А. Воробьев, канд. техн. наук, доцент

© П. А. Разумов, студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: wolftier@mail.ru, svorobev@list.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-3-168-172

© S. A. Vorobyov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© P. A. Razumov, student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: wolftier@mail.ru, svorobev@list.ru

АЛГОРИТМ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА НА КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

ALGORITHM FOR USING HYDROGEN FUEL IN WHEELED VEHICLES

Рассмотрено применение водорода в качестве топлива на колесных транспортных средствах с двигателем внутреннего сгорания, и разработан алгоритм его эффективного использования. Данный алгоритм позволит минимизировать время и стоимость переоборудования системы питания для получения экологического и экономического эффекта на транспорте с бензиновым или газовым двигателями внутреннего сгорания, работающими по циклу Отто с различными системами питания.

Ключевые слова: транспорт, альтернативные виды топлива, водородное топливо, алгоритм, применение водорода, колесные транспортные средства.

The use of hydrogen as fuel in wheeled vehicles with an internal combustion engine is considered, and an algorithm for its effective use is developed. This algorithm will minimize the time and cost of re-equipping the power system to obtain an environmental and economic effect on vehicles equipped with gasoline or gas internal combustion engines operating on the Otto cycle with various power systems.

Keywords: transport, alternative types of fuel, hydrogen fuel, algorithm, hydrogen application, wheeled vehicles.

«Изучением вопроса использования водорода в качестве топлива начали заниматься еще в конце XVIII века. Первый патент на изобретение водородного автомобиля получил Франсуа Исаак де Риваз в 1807 году. В Советском Союзе работы начались в Московском механико-машиностроительном институте им. М.В. Ломоносова в 1935 году. На сегодняшний день в Российской Федерации исследования в области водородного топлива являются приоритетным направлением национальной технической политики, основанной на понимании современного механизма глобализации рынка таких технологий» [1]. Использование водорода в качестве топлива для автомобильной промышленности

является наиболее перспективной и проблемной темой для исследования [2, 3].

С одной стороны, водород — это неисчерпаемый источник энергии, который можно получать даже в домашних условиях при минимальных затратах. При его использовании отсутствуют выделения оксидов углерода, что благоприятно для окружающей среды [4–8]. С другой стороны, существуют проблемы хранения и транспортировки водорода до потребителя и повышенного образования оксидов азота, немного превышающее выделение оксидов азота при применении природного газа [9–11]. Была поставлена задача — решить вопрос эффективного использования и хранения водородного топлива, для чего разработали алгоритм его применения на колес-

ных транспортных средствах. Данный алгоритм можно использовать для двигателей внутреннего сгорания, работающих по циклу Отто со всеми существующими системами питания.

За основу был взят принцип работы газобаллонного оборудования, которое оснащено необходимыми газовыми форсунками для впрыска нефтяного или природного газа. Для получения водорода применен метод электролиза с его полным потреблением в целях безопасного использования газа на борту автомобиля. Перевод двигателей на водородное топливо осуществляется в пять этапов (рис. 1).

Первый этап заключается в выборе двигателя внутреннего сгорания. Главный критерий выбора — устройство стандартной топливной системы, установленной на автомобиле. На данный момент возможно использовать двигатели с карбюраторной, инжекторной нераспределенной (моновпрыск) и инжекторной распределенной топливными системами.

Второй этап — выбор необходимого поколения газобаллонного оборудования (ГБО). Для карбюраторных двигателей разработано второе поколение ГБО, для инжекторной нераспределенной системы — третье поколение, а для ин-

Рис. 1. Блок-схема алгоритма

жекторной распределенной системы — четвертое поколение. Такое распределение обусловлено применимостью различных поколений газобаллонного оборудования для различных систем питания бензиновых двигателей с учетом минимальных трудозатрат.

Третий этап заключается в сборке генератора водорода с ШИМ-контроллером. ШИМ-контроллер — это специальное устройство, предназначенное для регулирования мощности выходного тока. В генераторе он был применен в целях обеспечения оптимальной выработки водородного топлива в электролизере, а также работы двигателя на всех режимах.

Четвертый этап — монтаж генератора водорода, оборудованного ШИМ-контроллером, с необходимым газобаллонным оборудованием к двигателю автомобиля.

Третий и четвертый этапы — общие для всех двигателей.

Пятый этап заключается в настройке газобаллонного оборудования, ШИМ-контроллера, электронного блока управления двигателем на инжекторных двигателях, а также системы зажигания на карбюраторных двигателях.

Существует множество способов получения водородного топлива и его применения на борту автомобиля [12–15], но использование для этого генератора водорода имеет преимущества:

- 1) в качестве источника энергии для водородного генератора можно использовать аккумуляторную батарею, установленную на автомобиле;
- 2) отсутствует емкость для хранения водорода, что позволяет уменьшить объем, занимаемый дополнительным оборудованием, и обеспечить нормы пожарной безопасности на транспорте;
- 3) применение ШИМ-контроллера позволит полностью удовлетворить потребность в топливе для ДВС на различных режимах работы;
- 4) единственным расходным материалом является дистиллированная вода, которая используется для генерации водородного топлива, при этом расчетное количество выделяемой энергии при сгорании будет превышать количество потребляемой в 3,8 раза;
- 5) маленькие габаритные размеры водородного генератора позволят легко установить его в подкапотном пространстве.

Устройство для генерации водородного топлива представляет собой несколько пакетов листов из нержавеющей стали, разделенных прокладками для герметичности конструкции (рис. 2). При этом для увеличения или уменьшения производительности количество пакетов можно менять в связи с необходимостью использования их на различных транспортных средствах.

Применение алгоритма позволило использовать водород в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, работающих по циклу Отто с различными топливными системами. Эффективность этого метода заключается в возможности применения уже имеющегося ГБО, а также осуществимости точной настройки. Отсутствие емкости для хранения и транспортировки водородного топлива позволило решить поставленную задачу безопасности.

Практика показала, что при наличии всех необходимых комплектующих процесс переоборудования автомобиля занял один рабочий день; затраты на устанавливаемое оборудование составили 65–85 тыс. рублей и для дальнейшей эксплуатации не требуются специализированные заправочные станции, поскольку в качестве расходного материала для получения водородного топлива применяется дистиллированная вода.

Для сравнения, использование водородных топливных ячеек подразумевает полную сбор-

Рис. 2. Корпус водородного генератора: а — общий вид; б — вид в разрезе

ку автомобиля, стоимость такого оборудования превышает полмиллиона рублей и требует наличия водородных заправочных станций.

Результаты проделанной работы убедительно доказали эффективность использования водорода в качестве топлива на колесных транспортных средствах.

Библиографический список

1. Раменский А. Ю. Применение водорода в качестве топлива // АБС-авто. 2018. URL: <https://abs-magazine.ru/article/primenenie-vodoroda-v%C2%A0kachestve-topliva> (дата обращения: 20.01.2020).
2. Колпаков В. Е., Белинская И. В. Улучшение экологических показателей транспортных и мобильных агрегатов путем использования автотракторного генератора водорода // Известия СПбГАУ. 2018. № 3 (52). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-ekologicheskikh-pokazateley-transportnyh-i-mobilnyh-agregatov-putem-ispolzovaniya-avtotraktornogo-generatora-vodoroda> (дата обращения: 20.01.2020).
3. Stanley A. Meyer. The Birth of New Technology. Grove City, Ohio. 1995. 233 p.
4. Карпова К. Е., Гавриленков Д. А. Экологичность транспортных средств электромобилей и автомобилей, работающих на водородном топливе / отв. ред. А. А. Горохов // сборник научных статей 2-й Международной молодежной научн.-практ. конф. «Прогрессивные технологии и процессы». Курск: ЗАО «Университетская книга», 2015. Т. 2. С. 33–36.
5. Джерихов В. Б., Марусин А. В. Традиционные и альтернативные автомобильные топлива. СПб.: СПбГАСУ, 2016. 204 с.
6. Поконова Ю. В. Альтернативные топлива (заменители нефтяных топлив). СПб.: РИКОН, 2008. 78 с.
7. Филиппов А. З. Токсичность отработавших газов тепловых двигателей. Киев: Высш. шк., 2000. 160 с.
8. Джерихов В. Б. Автомобильные эксплуатационные материалы: учеб. пособие. Ч. I. Топлива. СПб.: СПбГАСУ, 2008. 245 с.
9. Скрыбин М. Л. Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива // Молодой ученый. 2015. № 14. С. 186–188. URL: <https://moluch.ru/archive/94/21277/> (дата обращения: 16.01.2020).
10. Раковская Е. Г., Афанасьева М. Р. Повышение экологической безопасности автотранспортных средств путем применения альтернативных видов топлива // Безопасность в строительстве: мат. I Междунар. науч.-практ. конф. 23–24 ноября 2017 г. / под общ. ред. Е. И. Рыбнова; СПб.: СПбГАСУ, 2017. С. 150–154.

11. Зельдович Я. Б. Окисление азота при горении. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1977. 148 с.

12. Жарков В. В., Назаров С. К. К вопросу применения водорода на двигателях внутреннего сгорания // Молодой ученый. 2012. № 5. С. 47–50. URL: <https://moluch.ru/archive/40/4716/> (дата обращения: 16.01.2020).

13. Мищенко А. И. Применение водорода для автомобильных двигателей. Киев: Наука думка, 1984. 143 с.

14. Мищенко А. И., Белогуб А. В., Савицкий В. Д., Талда Г. Б., Шатров Е. В., Кузнецов В. М., Раменский А. Ю. Применение водорода для двигателей автомобильного транспорта // Атомно-водородная энергетика и технологии: сб. ст. Вып. 8. М.: Энергоатомиздат, 1988.

15. Бабкин И. А., Гайдаш М. С., Никитина С. Д., Михайлов Е. Д. Водородная энергетика и экология, получение водорода, стоимость водородного топлива: сб. науч. тр. 3-й Всесоюзной научн.-практ. конф. Саратов: СарГТУ им. Гагарина Ю. А., 2007. С. 18–22.

References

1. Ramenskiy A. Yu. *Primenenie vodoroda v kachestve topliva* [Using of hydrogen as fuel]. ABS-avto, 2018. Available at: <https://abs-magazine.ru/article/primenenie-vodoroda-v%C2%A0kachestve-topliva> (accessed: 20.01.2020).
2. Kolpakov V. E., Belinskaya I. V. *Uluchshenie ekologicheskikh pokazateley transportnykh i mobil'nykh agregatov putem ispol'zovaniya avtotraktornogo generatora vodoroda* [Improvement of environmental indicators of transport and mobile aggregates by using an auto-tractor hydrogen generator]. *Izvestiya SPbGAU- Bulletin of SPbGAU*, 2018, no. 3 (52). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-ekologicheskikh-pokazateley-transportnyh-i-mobilnyh-agregatov-putem-ispolzovaniya-avtotraktornogo-generatora-vodoroda> (accessed: 20.01.2020).
3. Stanley A. Meyer. *The birth of new technology*. Grove City, Ohio. 1995, 233 p.
4. Karpova K. E., Gavrilencov D. A. *Ekologichnost' transportnykh sredstv elektromobiley i avtomobiley, rabotayushchikh na vodorodnom toplive* [Environmental friendliness of electric vehicles and vehicles running on hydrogen fuel]. *Trudy 2-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Progressivnye tekhnologii i protsessy»* [Proc. of the 2-nd. International youth scientific and practical conference "Progressive technologies and processes"]. Ed. by Gorokhov A. A. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2015, Vol. 2, pp. 33–36.

5. Dzherikhov V. B., Marusin A. V. *Traditsionnye i al'ternativnye avtomobil'nye topliva* [Conventional and alternative automobile fuel]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2016, 204 p.
6. Pokonova Yu. V. *Al'ternativnye topliva (zameniteli neftyanykh topliv)* [Alternative fuels (substitutes for petroleum fuels)]. St. Petersburg, RIKON Publ., 2008, 78 p.
7. Filippov A. Z. *Toksichnost' otrabotavshikh gazov teplovykh dvigateley* [Toxicity of exhaust gases of heat engines]. Kiev, Vyssh. shk. Publ., 2000, 160 p.
8. Dzherikhov V. B. *Avtomobil'nye ekspluatatsionnye materialy* [Automotive maintenance materials]. Pt. I. *Topliva* [Kinds of fuel]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2008, 245 p.
9. Skryabin M. L. *Obrazovanie toplivnykh oksidov azota v protsesse goreniya uglevodorodnogo topliva* [Formation of fuel nitrogen oxides in the process of hydrocarbon fuel combustion]. *Molodoy ucheniy – Young scientist*, 2015, no.14, pp. 186–188. Available at: <https://moluch.ru/archive/94/21277/> (accessed: 16.01.2020).
10. Rakovskaya E. G., Afanaseva M. R. *Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti avtotransportnykh sredstv putem primeneniya al'ternativnykh vidov topliva* [Improving the environmental safety of motor vehicles by using alternative fuels]. *Trudy I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 23–24 noyabrya 2017 g. «Bezopasnost' v stroitel'stve»* [Proc. of the 1-st. Int. sci. and pract. conf., November 23–24, 2017]. Ed. by Rybnov E. I. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2017, pp.150–154.
11. Zeldovich Ya. B. *Okislenie azota pri goreanii* [Oxidation of nitrogen in combustion]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1977, 148 p.
12. Zharkov V. V., Nazarov S. K. *K voprosu primeneniya vodoroda na dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya* [On the use of hydrogen in internal combustion engines]. *Molodoy ucheniy – Young scientist*, 2012, no. 5, pp. 47–50. Available at: <https://moluch.ru/archive/40/4716/> (accessed: 16.01.2020).
13. Mishchenko A. I. *Primenenie vodoroda dlya avtomobil'nykh dvigateley* [Application of hydrogen for automobile engines]. Kiev, Nauka dumka Publ., 1984, 143 p.
14. Mishchenko A.I., et al. *Primenenie vodoroda dlya dvigateley avtomobil'nogo transporta* [Application of hydrogen for motor transport engines]. *Atomno-vodorodnaya energetika i tekhnologii: sb. st.* [Atomic-hydrogen energy and technologies. Coll. of articles]. Iss. 8. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988.
15. Babkin I. A., Gaydash M. S., Nikitina S. D., Mikhaylov E. D. *Vodorodnaya energetika i ekologiya, poluchenie vodoroda, stoimost' vodorodnogo topliva* [Hydrogen energy and ecology, obtaining hydrogen, the cost of hydrogen fuel]. *Trudy 3-y Vsesoyuznoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 2007* [Proc. of the 3-th All-Union sci. and pract. conf. 2007]. Saratov, GTU im. Gagarina Publ., Pp. 18–22.