

FRI-25.25-2-SITSTL-06

## STUDY OF OPERATING MODES OF HYDROGEN FUEL CELL G-HFCS-3KW48V<sup>1</sup>

**Assoc. Prof. Dimitar Grozev, PhD**

Department of Transport,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Phone: 082-888 231  
E-mail: dgrozev@uni-ruse.bg

**Assoc. Prof. Ivan Beloev, PhD**

Department of Transport,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Phone: 082-888 231  
E-mail: dgrozev@uni-ruse.bg

**Abstract:** *The paper presents a study of the operating modes of the G-HFCS-3kW48V hydrogen fuel cell. A working model was built to evaluate the parameters for different operating modes. The results define the consumption of hydrogen when changing the values of the power required for the efficient operation of the hydrogen fuel cell. The conclusions and practical results will be used in assessing the characteristics of an urban concept car powered by a hydrogen fuel cell.*

**Keywords:** *Parameters, Operating modes, working model, Hydrogen, Fuel cell, urban concept car.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Водородът е най-разумният път към свободно от парникови емисии общество, и един от начините нарастващото с рекордни темпове човечество да избегне тежка енергийна криза. Използването на водородът, за сега, не може да се развие с високи темпове заради безброй технологични и икономически пречки, но постигането на целите за климатична неутралност не е възможно без поне частичното му въвеждане. А и техническият прогрес почти винаги преодолява пречките, стига да има достатъчна мотивация. Много производители на автомобили пускат на пазара серии от автомобили задвижвани с водородни клетки (Khurmi RS (2004) Material Science, Ali GQ, El-Hiti GA, Tomi I HR, Haddad R, Al-Qaisi, et al. (2016)).

Кои са основните проблеми и най-големите предимства и недостатъци от въвеждането на водорода като енергийно решение. Основните предимства са (Yousif E, Hasan A, El-Hiti GA (2016), Akram E, Shaalan N, Rashad AA, Hasan A, Al-Amiery A, et al. (2016), Prabhu RR (2013) Stationary Fuel Cells Market size to reach 350,000 Shipments by 2022):

- Още от 2025 година Европейският съюз се подготвя да въведе новия екологичен стандарт Euro 7, който на практика ще сложи точка на двигателя с вътрешно горене и особено на дизеловия. Цялата икономика на ЕС се крепи върху използването на дизеловия двигател. По пътищата на общността се движат общо около 400 милиона автомобила (данни от 2019). От пътническите автомобили 42% са с дизелов двигател. При лекотоварните делът на автомобилите с дизелов двигател е 89%, при автобусите - 94.5%, а при товарните автомобили - 97.8%. Премахването на дизеловите двигатели означава, че поне 200 милиона превозни средства в ЕС ще трябва да бъдат подменени с алтернативни. Електрическото задвижване с литиево-йонни батерии е алтернатива, макар и по-скъпа, при леките коли;

- За да се задвижват един товарен автомобил за преходи от по 1000 километра, тези батерии трябва да са много големи - което означава висока цена, голямо собствено тегло на товарния автомобил и дълги периоди за зареждане. Влекачът на Tesla ще тежи средно с 2

<sup>1</sup> Докладът е представен на пленарната сесия на 28 октомври 2022 с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕЖИМИТЕ НА РАБОТА НА ВОДОРОДНА ГОРИВНА КЛЕТКА G-HFCS-3KW48V1

тона повече от дизелов аналог - а това са два тона, които трябва да бъдат компенсирани от полезния товар. Освен това батериите имат ограничен живот, който при тежката експлоатация в товарните превози ще е дори по-кратък, отколкото в пътническите електромобили. Водородните горивни клетки са далеч по-добра алтернатива от гледна точка на тегло, себестойност и надеждност;

- Водородът е не само най-лекият, но и най-разпространеният елемент. Химичната реакция, чрез която горивните клетки го превръщат отново в енергия, дава само един отпаден продукт: чиста питейна вода. Самите горивни клетки имат несравнимо по-дълъг живот от литиево-йонните батерии, на които се залага в момента. Производството им е по-чисто и не се налага сложно и скъпо рециклиране. Използват се и някои скъпи суровини, като например платина, която се влага в мембраните. Но дори и така себестойността им си остава по-ниска от тази на комплекта електромотор-батерия, използвани от масовите електромобили днес;

- Водородните клетки произвеждат електричество за няколко минути и не се налага да я складират в огромни батерии, затова водородните автомобили имат по-малка тегло. Горивните клетки са надеждни и издръжливи, с дълъг живот, както работят добре при всякакви климатични условия, докато капацитетът на батериите спада драстично при по-ниски температури;

- Главната причина водородните технологии да са толкова скъпи е слабото им разпространение. С увеличаването на производството неизбежно ще се стигне до сериозни икономии. Цената на електролизаторите за производство на водород се е понижила с около 60% за последното десетилетие. Прогнозите са до 2030 да спадне наполовина, а цената на "зеления" водород да падне до към 2-2.5 евро за килограм, съпоставима с тази на произведения от природен газ. Плановите на ЕС предвиждат да се инсталират общо 6 GW мощности за производство от електролиза до 2024 и 40 GW до 2030 година.

Недостатъците са:

- Зарядните станции са много скъпи. За да се съхранява безопасно, са нужни ниски температури и високо налягане. В първото поколение на водородния автомобил като Toyota Mirai, резервоарите работят при 700 атмосфери и за да издържат на налягането, в тях се влагат много въглеродни влакна. Цената на една зарядна станция днес си остава около 1 милион евро;

- Стратегията на Зелената сделка на ЕС предвижда, че такава инфраструктура ще трябва да започне да се строи и в България. Целта е заложена в публикуваната вече пътна карта. До 2023-2024 Европа ще трябва да изгради значителен брой зарядни станции за водород на основните магистрали - по една на всеки 150 км на всеки от паневропейските транспортни коридори. Това ще е достатъчно за товарните автомобили, но в скоро време ще трябва да се търсят решения и за лекотоварните автомобили;

- Водородът е летлив, тоест той не се задържа на едно място. Лесно може да се постигне в лабораторията, но е трудно постижимо в промишлен мащаб, за милиони автомобили в 200 различни държави на планетата;

- Един електрически автомобил, зареден с ток генериран от въглища, е по-малко екологичен дори от дизеловия си аналог. Същото важи и за водорода, който днес се произвежда основно от природен газ чрез метод, наречен "парно-метанова конверсия". Ако произвеждате водорода от природен газ, парниковите емисии са по-високи, отколкото ако просто изгорите природния газ в двигателя на автомобила. Единствената възможност за наистина чист водород е производството чрез електролиза от вода, но това изисква много енергия - и струва по-скъпо. Освен това повечето соларни и вятърни централи имат относително ниска пикова мощност, което ограничава количеството водород, което може да се произведе със захранване от тях.;

- Водородът от природен газ струва около 1.5 евро за килограм, по изчисления от 2020 година. Ако към процеса се добави и екологична схема за складиране на въглеродни емисии, цената се вдига до около 2.5 евро. Цената на водород, добит чрез електролиза, варира между 2.5 евро (в частни случаи) и 5.5 евро (по-често). При водорода това е само

производствената цена. Тепърва опираме до транспорта и съхранението, които вероятно ще са по-голямата част от себестойността. Автомобилът Toyota Mirai се нуждае от 0.76 kg, за да измине 100 km. Един бензинов автомобил, при текущите цени на горивата в България, се нуждае от около 12 евро, за да измине същото разстояние.

Всички тези предимства и недостатъци предполагат задълбоченото изследване на горините клетки, техните номинални и работни характеристики, за да се търси по широко им приложение в практиката.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

За изследването е избрана горивна клетка G-HFCS-3kW48V. Тя е идеалната алтернатива на стандартните преносими генератори на енергия. Лесна е за използване и с интелигентен, и компактен дизайн, като произвежда 3000 W номинална мощност и осигурява пълна енергийна независимост за различни приложения, които изискват мощност в диапазона от 0-3000 вата (H-1000XP Fuel Cell System, User manual, Date: 2013-08-05, Part Number: H-1000XP).

Може да се използва при безпилотни летателни апарати, дронове, приложения за роботика и други безпилотни превозни средства и в различни други приложения. Клетката е оборудвана с контролен модул, който управлява стартирането, изключването и всички други стандартни функции на системата с горивни клетки. Необходим е DC/DC преобразувател, за да преобразува мощността на горивната клетка в желаните стойности на напрежение и ток.

Тази преносима система може лесно да бъде свързана с източник на водород, като бутилка с компресиран водород, за получаване на най-висока производителност (фиг. 1).



Фиг. 1 Горивна клетка G-HFCS-3kW48V



Фиг. 2 Изпитна ситема на горивна клетка



Фиг. 3 Раходомер на водород RED-Y for gasflow

Характеристики на избраната горивна клетка са представени в таблица 1.

Таблица 1. Основни характеристики на горивна клетка G-HFCS-3kW48V

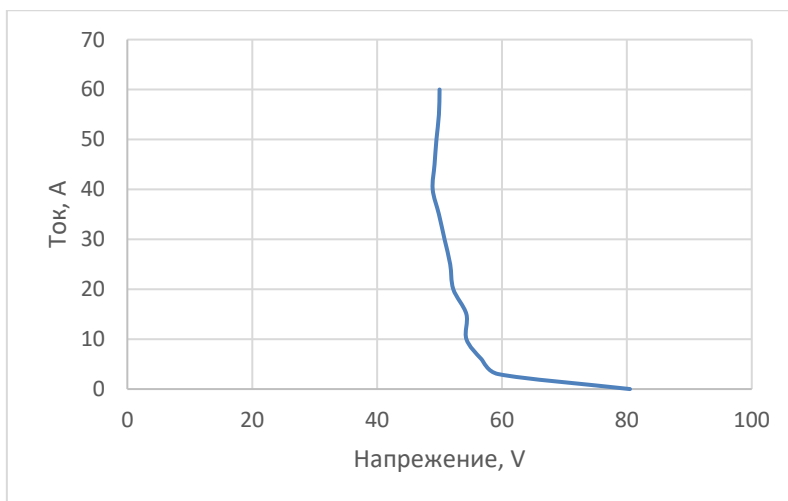
<b>Производителност:</b>	
Номинална Мощност	3000 W
Номинално напрежение	48 V
Номинален ток	62.5 A
Диапазон на постоянно напрежение (DC)	40 - 72 V
<b>Водородно гориво:</b>	
Чистота на водород	>99,99% (съдържание на CO <1 ppm)
Налягане на водорода	0.04 - 0.06 MPa
Разход на водород	35.1 L/min (при номинална мощност)
<b>Работна среда и Екологични характеристики:</b>	
Околна температура	-5 до +35 °C
Влажност на околната среда	10% RH до 95% RH (без замъгляване)
Околна температура на съхранение	-10 до +50 °C
Шум	<60 dB

При направеното изследване е използвана лабораторна система за изпитване (фиг. 2), като е използван расходомер на водород RED-Y for gasflow (фиг.3).

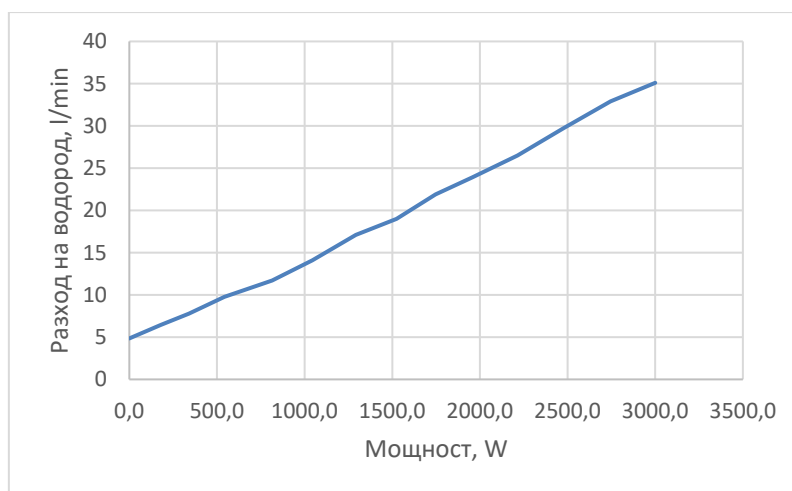
Получените резултати са представени в таблица 2. Построени са и волт-амперната характеристика и зависимостта от получената мощност и разхода на водород за минута (фиг. 4 и 5) (Grozev D., I. Beloev, G. Hristov (2019)).

Таблица 2 Резултати от направеното изследване

Напрежение, (V)	Ток, (A)	Мощност, W	Разход на водород, l/min
80,5	0	0,0	4,85
59,4	3	178,2	6,44
56,7	6	340,2	7,78
54,3	10	543,0	9,77
54,3	15	814,5	11,7
52,2	20	1044,0	14,1
51,7	25	1292,5	17,1
50,8	30	1524,0	19
49,9	35	1746,5	21,9
48,9	40	1956,0	23,9
49,2	45	2214,0	26,5
49,5	50	2475,0	29,7
49,9	55	2744,5	32,9
48,1	60	3000,0	35,2



Фиг.4 Волт-амперна характеристика на горина клетка G-HFCS-3kW48V



Фиг.5 Разход на водород в зависимост от получената мощност на горина клетка G-HFCS-3kW48V

От получените резултати установяваме, че в границите от 10 до 60 А натоварване, изменението на напрежението е около 4 V, а в интервала 0 до 10 А е 26,2 V, което е шест пъти повече. Тези резултати са получени при изследване с лабораторна система за изпитване. Производителят не предоставя техническа документация за изследваната клетка, а само основни параметри за избраната водородна клетка. Зависимостта между тока и напрежението във волт-амперната характеристика е експоненциална функция (Белоев И. Проектиране, създаване, провеждане на експерименти и оптимизация на прототип на градски автомобил задвижван от алтернативен енергиен източник. Русе, Академично издателство "Русенски университет", 2018).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследваната клетка при номиналната си мощност от 3000W достига и номиналния си разход на водород от 35,21;

Зависимостта между тока и напрежението във волт-амперната характеристика е експоненциална функция.

От получените резултати установяваме, че в границите от 10 до 60 А натоварване, изменението на напрежението е около 4 V, а в интервала 0 до 10 А е 26,2 V, което е шест пъти повече.

## REFERENCES

- Khurmi RS (2004) Material Science, S Chand & Company Ltd, New Delhi, ISBN 8121901464 (ISBN13: 9788121901468).
- Ali GQ, El-Hiti GA, Tomi I HR, Haddad R, Al-Qaisi, et al. (2016) Photostability and performance of polystyrene films containing 1,2,4-triazole-3-thiol ring system Schiff bases. *Molecules* 21: 1699. [Crossref]
- Yousif E, Hasan A, El-Hiti GA (2016) Spectroscopic, physical and topography of photochemical process of PVC films in the presence of Schiff base metal complexes. *Polymers* 8: 204.
- Akram E, Shaalan N, Rashad AA, Hasan A, Al-Amiery A, et al. (2016) Study of structural and optical properties of New Films Derived PVC-2-[5- phenyl-1,3,4- thiadiazol-2-ylimino-methyl]-benzoic acid. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 7: 2836-2844.
- Prabhu RR (2013) Stationary Fuel Cells Market size to reach 350,000 Shipments by 2022, Renew India Campaign.
- Srivastava HC (2014) Nootan ISC Chemistry, Nageen Prakashan, ISBN 9789382319399. (12th) Edition 18: 458-459.
- Nigel S, Roberto B, Knut S (2004) Phosphoric acid fuel cells: Fundamentals and applications. *Current Opinion in Solid State and Materials Science* 8: 372-378.
- Zhiwei Y (2004) Novel inorganic/organic hybrid electrolyte membranes Preprints of Papers-American Chemical Society. Division of Fuel Chemistry 49: 599.
- Townsend CW, Naselow AB (2008) US Patent 5266421 – Enhanced 59 membrane electrode interface, assigned to Hughes Aircraft.
- Matar S, Hongtan L (2010) Effect of cathode catalyst layer thickness on methanol cross-over in a DMFC. *Electrochimica Acta* 56: 600-606.
- H-1000XP Fuel Cell System, User manual, Date: 2013-08-05, Part Number: H-1000XP, Version: 20130805
- Grozev D., I. Beloev, G. Hristov (2019). Creating a urban vehicle prototype with a hydrogen fuel, Scientific Conference RU & SU, Ruse, Copyrights© 2018 ISSN 1311-3321 (print), ISSN 2535-1028 (CD-ROM), ISSN 2603-4123 (on-line)
- Grozev D., I. Beloev, G. Hristov (2019). Determining the power required to drive a prototype with hydrogen fuel cell, Scientific Conference RU & SU, Ruse, Copyrights© 2018 ISSN 1311-3321 (print), ISSN 2535-1028 (CD-ROM), ISSN 2603-4123 (on-line)
- Beloev I., *Design, creation, experimenting and optimization of a city car prototype powered by an alternative energy source*, Ruse, Ruse University Academic Publishing House, 2018, p. 80, ISBN 978-954-712-39-5, (Оригинално заглавие – Белоев И. Проектиране, създаване, провеждане на експерименти и оптимизация на прототип на градски автомобил задвижван от алтернативен енергиен източник. Русе, Академично издателство "Русенски университет", 2018, стр. 80, ISBN 978-954-712-39-5.)