

# TỔNG QUAN VỀ PIN NHIÊN LIỆU VÀ PHÂN TÍCH HỆ ĐỘNG LỰC PIN NHIÊN LIỆU KHÔNG PHỤ THUỘC KHÔNG KHÍ TRÊN PHƯƠNG TIỆN NGẦM

## AN OVERVIEW OF FUEL CELLS AND ANALYSIS OF FUEL CELL AIR INDEPENDENT PROPULSION (AIP) APPLIED FOR UNDERWATER VEHICLES

NGUYỄN HÀ HIỆP<sup>1\*</sup>, NGUYỄN QUỐC QUÂN<sup>1</sup>, PHẠM VĂN HẠ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Học viện Kỹ thuật Quân sự

<sup>2</sup>Quân chủng Hải quân

\*Email liên hệ: hahieppower@gmail.com

### Tóm tắt

Bài báo trình bày tổng quan về nguyên lý hoạt động các loại pin nhiên liệu (fuel cells), sự phát triển fuel cells trong và ngoài nước, phân tích hệ động lực không phụ thuộc không khí sử dụng fuel cells (fuel cell AIP) trên phương tiện ngầm hiện đại. Bài báo cũng đề xuất sơ đồ và định hướng thiết kế, chế tạo fuel cell AIP trong nước.

**Từ khóa:** Tế bào nhiên liệu, pin nhiên liệu, thiết bị ngầm, AUV, UUV.

### Abstract

The article presents an overview of the operating principles of fuel cells, the development of fuel cells in our country and abroad, as well as an analysis of fuel cell AIP for modern underwater vehicles. The article also proposes a schematic and an orientation for the design and manufacture of fuel cell AIP in our country.

**Keywords:** Fuel cell, fuel cells, underwater vehicles, AUV, UUV.

## 1. Mở đầu

Tế bào nhiên liệu (fuel cell) hay pin nhiên liệu (fuel cells) là một hệ thống dùng để chuyển đổi trực tiếp hóa năng thành điện năng bằng cách ô xy hóa nhiên liệu. Khác với pin điện chỉ sử dụng được một lần (pin hết điện khi các phản ứng hoạt tính ngừng hoạt động), hoặc ắc-quy dùng được một số lần (sạc và giải phóng điện), pin nhiên liệu hoạt động liên tục nếu được cấp nhiên liệu và chất ô xy hóa.

Nhiên liệu trong fuel cell đóng vai trò chất khử, như hydro (H<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), metanol (CH<sub>3</sub>OH), etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), dầu diesel (DO) và chất ô xy hóa là ô xy được lấy từ không khí trong các ứng dụng trên bộ hoặc từ các nguồn không phụ thuộc vào không khí trên phương tiện ngầm dưới nước, như, thiết bị ngầm

tự hành (autonomous underwater vehicle - AUV), thiết bị ngầm không người lái (unmanned underwater vehicles - UUV), tàu ngầm (submarines) và triển vọng trên ngư lôi (torpedo).

Một số thiết bị ngầm hoạt động trong vùng nước nông có thể sử dụng nguồn điện được cấp từ bờ hoặc từ tàu mặt nước bằng dây dẫn. Phương án này có nhiều hạn chế, nên việc sử dụng hệ động lực (HĐL) không phụ thuộc vào không khí (air independent propulsion - AIP) được ưu tiên.

Sử dụng AIP cho AUV, UUV là điều dễ hiểu, vì chúng có nhiệm vụ thăm dò dưới nước, thời gian, tầm hoạt động ngầm và độ sâu lặn càng lớn càng tốt, mức độ ồn càng nhỏ càng tốt. Đối với tàu ngầm diesel-điện, thời gian hoạt động ngầm hạn chế do giới hạn dự trữ điện ắc quy. Để sạc ắc quy, tàu ngầm phải nổi lên mặt biển hoặc động cơ diesel hoạt động ở chế độ ống thở, do đó xác suất tàu ngầm bị phát hiện bằng radar, hồng ngoại, quang điện tử và âm học tăng. Tỷ lệ giữa thời gian ống thở để sạc ắc quy và thời gian dùng điện ắc quy được gọi là “hệ số tồn thất tính bí mật” (0,07÷0,10 [1]). Để giảm hệ số này (đến 0) và tăng thời gian hoạt động ngầm cần sử dụng AIP.

AIP trên phương tiện ngầm gồm: AIP ắc quy, AIP CCD (closed cycle diesel - diesel chu trình kín); AIP MESMA (moduled energie sous marine autonome - tua bin hơi chu trình kín); AIP Stirling và fuel cell AIP.

Theo [2] fuel cell AIP có ưu điểm vượt trội so với các AIP khác, như độ ồn thấp, kích thước-khối lượng nhỏ, hiệu suất cao (~70%). Do đó, fuel cell AIP là phương án lựa chọn đầy hứa hẹn trên các phương tiện ngầm hiện tại và tương lai.

Mục đích nghiên cứu là phân tích nguyên lý hoạt động các loại fuel cells, sự phát triển công nghệ fuel cells trong và ngoài nước, cũng như fuel cell AIP trên phương tiện ngầm hiện đại, đề xuất sơ đồ và định hướng thiết kế, chế tạo fuel cell AIP trong nước.

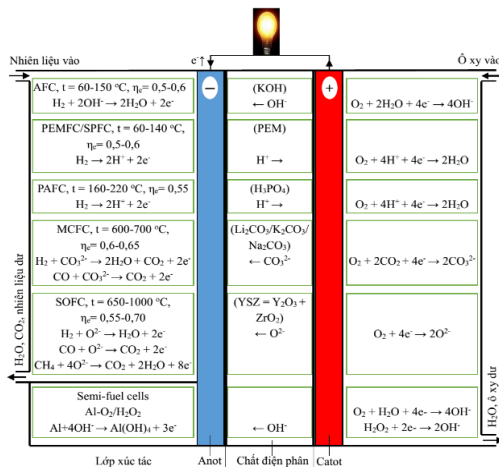
Phương pháp nghiên cứu là nghiên cứu lý thuyết,

bao gồm tổng hợp các dữ liệu, phân tích, đánh giá, kết luận và đề xuất định hướng.

## 2. Nguyên lý hoạt động của các loại fuel cell

Về cơ bản, nguyên lý hoạt động của fuel cell ngược lại quá trình điện phân nước, nghĩa là nếu cho hydro và ô xy tác dụng với nhau khi có mặt chất xúc tác và trong điều kiện xác định sẽ sinh ra điện và nước.

Phân tích tổng quan các nghiên cứu trong và ngoài nước [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9], các dữ liệu đã công bố không hoàn toàn thống nhất. Các tác giả đã so sánh, đối chiếu và tổng hợp thành sơ đồ nguyên lý hoạt động của các loại fuel cell (Hình 1). Một số ký hiệu: AFC - alkaline fuel cells (pin nhiên liệu kiềm); PEMFC - proton exchange membrane fuel cells (pin nhiên liệu màng trao đổi proton); SPFC - solid polymer electrolyte fuel cells (tên gọi khác của PEMFC); PAFC - phosphoric acid fuel cells (pin nhiên liệu axit photphoric); MCFC - molten carbonate fuel cells (pin nhiên liệu cacbonat nóng chảy); SOFC - solid oxide fuel cells (pin nhiên liệu oxit rắn); YSZ - yttria-stabilized zirconia (oxit yttria và zirconium ổn định); Al-O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - semi-fuel cells (bán pin nhiên liệu); t - nhiệt độ; η<sub>c</sub> - hiệu suất; vật liệu lớp xúc tác có thể là Pt, Pt-Ru, Ni, NiO hoặc kim loại không quý hiếm.

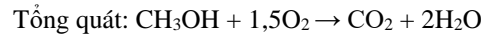
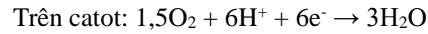
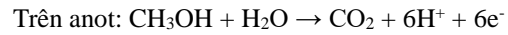


Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của các loại fuel cell

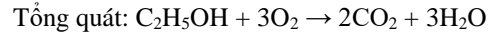
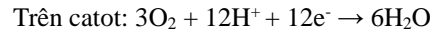
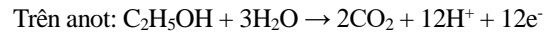
Như vậy, có 5 loại fuel cells cơ bản (AFC, PEMFC/SPFC, PAFC, MCFC, SOFC) và 1 loại semi-fuel cells, trong đó sử dụng nhôm hoặc kim loại khác làm nhiên liệu (không dùng H<sub>2</sub> hoặc khí tổng hợp).

Trong loại PEMFC có loại sử dụng trực tiếp metanol hoặc etanol làm nhiên liệu mà không có bước chuyển hóa thành H<sub>2</sub> nên được gọi tương ứng là pin nhiên liệu metanol trực tiếp (DMFC - direct methanol fuel cells) và pin nhiên liệu etanol trực tiếp (DEFC - direct ethanol fuel cells) [6].

Nguyên lý hoạt động của DMFC:



Nguyên lý hoạt động của DEFC:



Các loại fuel cell khác nhau về kết cấu, các điện cực, các chất tham gia phản ứng, các chất điện phân, xúc tác, nhiệt độ làm việc và hiệu suất.

## 3. Sự phát triển của fuel cells và fuel cell AIP

Fuel cells đầu tiên được phát minh vào năm 1838-1845 bởi Christian Friedrich Schoenbein và William Robert Grove [9]. Tuy nhiên, chúng phát triển không đáng kể so với động cơ nhiệt trong suốt thế kỷ đầu tiên vì nguồn nhiên liệu hóa thạch dồi dào. Bước đột phá đạt được vào những năm 1950-1960, khi phát triển các chương trình không gian. Cụ thể, hãng General Electric (Mỹ) đã phát triển PEMFC cho tàu vũ trụ Gemini, AFC cho chương trình vũ trụ Apollo mission và Space Shuttle. AUV "Deep Quest" đầu tiên lắp fuel cells được Mỹ chế tạo năm 1978 [10].

Tuy nhiên, đến nay, việc sử dụng rộng fuel cells trong kinh tế - xã hội còn gặp một số trở ngại do sự nghi ngờ về lợi nhuận của một số công ty về công nghệ này.

Mặc dù vậy, theo phân loại sáng chế quốc tế (IPC) được xác định bởi nhóm chuyên gia về IPC của Tổ chức Sở hữu trí tuệ thế giới [11]: Công cụ phân tích là công cụ tra cứu Orbit của Questel; Phạm vi không gian toàn cầu; phạm vi thời gian từ 01/01/2006; ngày thực hiện tra cứu 14/4/2020. Có tổng số 17.994 tài liệu sáng chế liên quan đến fuel cells, trong đó có 51,3% sáng chế đã được cấp bằng. Trong 3 chủ đơn hàng đầu, Toyota motor đã có 1505 hộ sáng chế, Honda motor có 748, Samsung SDI có 656.

Các mã IPC được nhóm trong 35 lĩnh vực công nghệ [11]. Theo đó, từ 2006 đến nay, các sáng chế fuel cells chủ yếu tập trung vào các lĩnh vực công nghệ thiết bị năng lượng; hóa học vật liệu cơ bản; phương tiện vận chuyển; công nghệ môi trường; công nghệ bề mặt; vật liệu luyện kim; kỹ thuật hóa học.

Trong nước, Bộ Khoa học & Công nghệ ban hành Quyết định về Danh mục các công nghệ chủ chốt của cuộc Cách mạng công nghiệp 4.0. Theo đó, có 41 công nghệ chủ chốt, đứng vị trí thứ 16 là "Công nghệ chế tạo pin nhiên liệu (Fuel cells)" [12]. Như vậy, nghiên cứu làm chủ công nghệ chế tạo fuel cells là

một vấn đề thời sự trong nước, cần được quan tâm, đầu tư thực hiện.

Bước đầu đã có một số nghiên cứu về fuel cells được thực hiện trong nước. Trong đó, có một số nghiên cứu tổng quan, phân tích, đánh giá về công nghệ fuel cells và ứng dụng của nó [2, 4]; nhóm nghiên cứu của GS.TS. Vũ Thị Thu Hà, Viện Hóa học công nghiệp Việt Nam và nhóm nghiên cứu của PGS.TS. Nguyễn Thị Phương Thoa, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh bắt đầu nghiên cứu về chất xúc tác cho fuel cells; nhóm nghiên cứu của PGS.TS. Nguyễn Mạnh Tuấn, Viện Vật lý TP. Hồ Chí Minh cũng như nhóm nghiên cứu của TS. Nguyễn Chánh Khê, Trung tâm R&D Saigon HitechPark nghiên cứu về DMFC [13]; nhóm nghiên cứu của các tác giả bài báo này đã tiến hành chế thử fuel cells kiểu PEMFC với 8 cặp pin, cho ra dòng điện một chiều 3,5A và điện áp 6,96V nhiên liệu sử dụng là hydro tinh khiết và chất ô xy hóa là ô xy tinh khiết (đây là kết quả ban đầu về fuel cells, hiệu suất tích toán ban đầu chỉ đạt 24%).

Thông qua các nhóm nghiên cứu, cũng như việc chế thử fuel cells trên, có thể thấy, trong nước hoàn toàn có thể tiếp cận với các loại vật liệu để chế tạo fuel cells theo mục đích sử dụng.

Như vậy, hiện nay các nghiên cứu về fuel cells ở nước ta đều trong giai đoạn ban đầu, chủ yếu là nghiên cứu hiệu ứng vật liệu xúc tác trong phòng thí nghiệm, chế thử fuel cells theo mẫu và hầu như chưa có nghiên cứu bài bản về công nghệ chế tạo fuel cells.

Fuel cell AIP có ưu điểm vượt trội so với các loại AIP khác, nhất là về độ ồn. Những năm gần đây các nước như Mỹ, Nga, Đức, Nhật, Canada, Trung Quốc không ngừng chế tạo AUV, UUV sử dụng fuel cell AIP.

Dưới đây trình bày tổng quan về phát triển fuel cell AIP của thế giới [1, 3, 5, 7, 8, 10, 14]:

*Thụy Điển*, theo đặt hàng của Hải quân Thụy Điển, năm 1964, công ty ASEA đã chế tạo thử nghiệm fuel cell AIP dựa trên AFC cho tàu ngầm.

*Tại Mỹ*, cuối năm 1960, hãng General Electric đã phát triển 2 fuel cell AIP loại SOFC thử nghiệm có công suất tương ứng 1,8 và 44 kW. Năm 1978 hãng Lockheed lần đầu tiên đã thử nghiệm thành công fuel cell AIP cho AUV “Deep Quest”. Trên đó lắp 2 AFC có công suất 30kW được sản xuất bởi hãng United Technologies Corp.

Cũng trong năm 1978, hãng General Electric chế tạo fuel cell AIP có công suất 17kW cho “Canadian Defense Research Establishment” để lắp lên AUV.

Năm 1989 hãng Perry Energy Systems (Florida)

hợp tác với hãng Ballard (Canada) sản xuất fuel cell AIP loại PEMFC để lắp cho 2 AUV Perry PC 1401.

Cơ quan Nghiên cứu khoa học Dự án Tiên tiến Quốc phòng (Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)) đã tài trợ cho hãng International Fuel Cells (IFC) để chế tạo UUV 44 inch lắp fuel cell AIP công suất 15kW bao gồm 4 PEMFC.

Trong khuôn khổ khoản tài trợ 500.000USD nhận được vào năm 2011, hãng API Engineering và Nextech Materials đã chế tạo UUV lắp fuel cell AIP loại SOFC có công suất 2kW, đường kính 21 inch.

Năm 2012, hãng Fuel Cell Energy đã nhận tài trợ 3,8 triệu USD để chế tạo fuel cell AIP loại SOFC cho UUV có thời gian hoạt động độc lập đến 70 ngày.

*Tại Nga*, đầu những năm 1970, hãng Rubin đã nghiên cứu ra fuel cell AIP cho tàu ngầm dự án 865, thiết bị ngầm Poisk-6 và Sirena-K. Sau đó, fuel cell AIP loại AFC công suất cao sử dụng cho thiết bị ngầm Kristall-27. Ngoài ra, trong những năm 1980 hãng Lazurit đã phát triển dự án trang bị fuel cell AIP cho tàu ngầm dự án 613E với công suất 280kW, các nhà phát triển Kvant và Cryogenmash, Applied Chemistry, Rubin và Admiralteyskie Verfi đã chế tạo một hệ thống sản xuất hydro liên tục bằng phương pháp ô xy hóa thủy nhiệt bột nhôm. Công nghệ này được các nước Phương Tây gọi là semi-fuel cells.

*Tại Đức*, AUV sử dụng fuel cells được phát triển tích cực vào đầu năm 1980. Giữa những năm 1980 tập đoàn tàu ngầm Đức (GSC-German Submarine Consortium) bao gồm các hãng IKL, HDW và FS đã sản xuất thử nghiệm các fuel cell AIP trên cơ sở fuel cells của hãng Siemens. Kết quả thử nghiệm cho thấy, fuel cell AIP có hiệu quả khi sử dụng trên tàu ngầm.

Năm 1989 Hải quân Đức kết thúc thành công 9 tháng thử nghiệm biển tàu ngầm U-1 dự án 205 lắp fuel cell AIP. Trên đó, sử dụng 16 AFC, mỗi cái 5kW. Năm 1992 tàu ngầm U-1 được hoán cải lắp AIP CCD thử nghiệm. Các thử nghiệm hoàn thành năm 1993, dựa vào kết quả này, Hải quân Đức dừng đóng tàu ngầm chỉ lắp HĐL diesel-điện, mà lắp HĐL “hybrid” (gồm HĐL chính diesel-điện và fuel cell AIP phụ).

Fuel cell AIP được lắp trên 4 tàu ngầm 212A của Hải quân Đức và 2 tàu ngầm loại này của Italy, cũng như loại xuất khẩu 214 cho Hải quân Hy Lạp và Hàn Quốc. Trên tàu ngầm dự án 212/214, chất ô xy hóa là ô xy được lưu trữ ở trạng thái đông lạnh, nhiên liệu hydro lưu trữ ở dạng hấp phụ trong các hợp chất liên kim loại (Intermetallic compound - IMC). Hai tàu ngầm đầu tiên loại 212A được trang bị fuel cell AIP có công suất định mức 306kW, gồm 9 PEMFC BZM

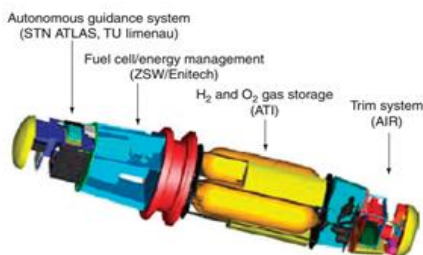
34 của hãng “Siemens” mỗi cái 34kW, hai tàu ngầm tiếp theo được lắp 2 PEMFC BZM 120 mỗi cái 120kW. Fuel cell AIP này còn được trang bị cho tàu ngầm “Dolphin” và 209PN, ngoài ra, nó còn được trang bị cho tàu ngầm “Okeanos” của Hy Lạp.

Tại *Ban Nha*, công ty “Navantia” đã phát triển tàu ngầm dự án S-80 lắp fuel cell AIP loại PEMFC công suất 300kW hoạt động bằng cách tái cấu trúc (reforming) etanol. Dự án này bắt đầu từ năm 2006, hiện tại tàu ngầm S-80A được xuất khẩu cho nhiều quốc gia.

Tại *Anh*, đầu những năm 1990, hãng Vickers Shipbuilding and Engineering kết hợp với hãng Ballard Power Systems đã phát triển dự án tàu ngầm Type 2495 trên cơ sở 2400 (Upholder). Hiện nay, các dự án về PEMFC cho UUV được hãng Defense Science and Technology Laboratory thực hiện.

Tại *Canada*, những năm 1980 Cơ quan quốc phòng Canada đã bắt đầu phát triển AIP 300kW loại PEMFC của hãng Ballard cho tàu ngầm “Oberon”. Các nghiên cứu được hoàn thành vào năm 1992, nhưng không được áp dụng. Sau đó, hãng Ballard Power Systems xây dựng fuel cell AIP 250kW sử dụng etanol làm nhiên liệu cho tàu ngầm “Victoria” (Tên Canada của tàu ngầm Anh thuộc dự án “Upholder”).

Tại *Nhật Bản*, fuel cells cho phương tiện ngầm được phát triển bởi một số công ty và trường đại học, như, PEMFC bởi “Mitsubishi Heavy Industries” có công suất 2kW. Năm 2005, AUV "Urashima" (Hình 2) hoạt động ngầm trong 56 giờ với tầm bơi 317km ở độ sâu 800m.



Hình 2. Hình dạng AUV sử dụng fuel cells

Qua khảo sát trên, rút ra một số nhận xét sau:

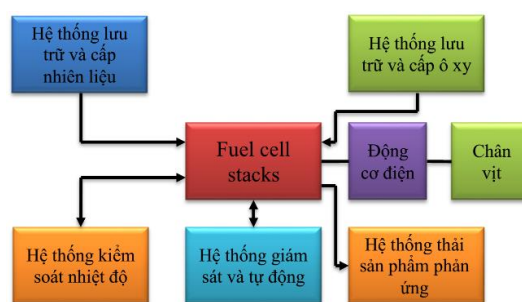
- Các hãng đi đầu trong sản xuất fuel cells: Siemens; General Electric, Fuel Cell Energy; Ballard, Mitsubishi Heavy Industries;
- Các hãng đi đầu trong phát triển fuel cell AIP: Lockheed, Perry Energy Systems, AIP Engineering, Rubin, IKL, HDW, FS, Ballard Power Systems;
- Trong 5 loại fuel cells và 1 loại semi-fuel cells được liệt kê ở phần 2, đối với AUV và UUV có thể sử

dụng các loại AFC, PEMFC, SOFC, đối với tàu ngầm sử dụng AFC, PEMFC hoặc semi-fuel cells. AFC đòi hỏi H<sub>2</sub> và O<sub>2</sub> tinh khiết nên chỉ được lắp trên một số phương tiện thể hệ đầu, hiện nay không còn sử dụng. Ưu điểm chính của PEMFC là có nhiệt độ làm việc thấp (Hình 1) nên được ưu tiên sử dụng trên cả AUV, UUV và tàu ngầm.

- Trong nước chưa có nghiên cứu nào được thực hiện về thiết kế, chế tạo fuel cell AIP.

#### 4. Đề xuất sơ đồ fuel cell AIP và định hướng thiết kế, chế tạo

Sơ đồ tổng quát của fuel cell AIP trên phương tiện ngầm được đề xuất như trên Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ tổng quát fuel cell AIP

Việc thiết kế, chế tạo fuel cell AIP không chỉ là thiết kế, chế tạo bản thân các fuel cells (fuel cells stacks) mà còn các hệ thống của nó, bắt đầu từ chọn loại nhiên liệu, chất ô xy hóa.

Chọn các chất phản ứng trong fuel cell AIP theo các thông số chính, như thế điện cực; hoạt động điện hóa; đương lượng điện hóa; hiệu quả kinh tế.

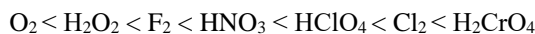
Mặc dù, thế điện cực đặc trưng cho khả năng khử của nhiên liệu, nhưng nó không phải là thông số chính vì hầu hết các chất khử có thế điện cực gần như nhau.

Đương lượng điện hóa biểu thị cho việc cứ một điện lượng 1C chuyển qua chất điện phân thì giải phóng được một khối lượng tương ứng chất đó ở điện cực. Do đó, đương lượng điện hóa gián tiếp đặc trưng cho khối lượng cần thiết của chất phản ứng để thu được 1C. Các chất có đương lượng điện hóa thấp hơn cần khối lượng ít hơn. Theo thông số này, các chất khử tiềm năng được sắp xếp thành một dãy:



Các chất khử nhẹ nhất bao gồm hydro, khí tổng hợp, hydrocarbon, hydrua bo.

Theo giá trị đương lượng điện hóa, các chất ô xy hóa được xếp thành một dãy:

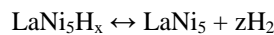


Như vậy, ưu tiên chọn nhiên liệu là H<sub>2</sub>, sau đó mới đến ankan, cồn và chất ô xy hóa là O<sub>2</sub> sau đó mới đến nước ô xy già.

Trên AUV và UUV, H<sub>2</sub> có thể được lưu trữ đông lạnh trong bình đặc biệt dưới áp suất 170MPa, ở nhiệt độ 17-20,4K. Phương pháp hiện đại để lưu trữ hydro ở dạng khí là lưu trữ trong ống nanocacbon và các bình mini làm từ nhựa thủy tinh có đường kính R = 20-500μm, tỷ lệ R/h = 20-100, h là chiều dày thành bình. Áp suất bình mini từ 50-200MPa [10].

Công nghệ lưu trữ hydro trong hợp chất liên kim loại, như LaNi<sub>5</sub>, FeTi, Mg<sub>2</sub>Ni, ZrV<sub>2</sub> được nhiều nước áp dụng trên các phương tiện ngầm.

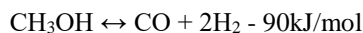
Sản sinh hydro từ hydrua kim loại bằng quá trình phân hủy nhiệt, ví dụ đối với MgH<sub>2</sub> ở 200°C hoặc từ hydrua liên kim loại LaNiH<sub>x</sub> (x = 6 - 7) và FeTiH<sub>y</sub>.



Sản sinh hydro bằng thủy phân hydrua kim loại và bohydrua kim loại nhẹ [15]:



Trên tàu ngầm ngoài các phương án lưu trữ và sản sinh H<sub>2</sub> như đối với AUV, UUV, H<sub>2</sub> còn được sản sinh từ metanol khi có chất xúc tác, như hợp chất của Cu, Zn, Pt ở nhiệt độ 227°C ÷ 427°C:

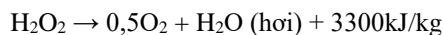


Sản sinh hydro từ metanol cũng có thể thực hiện bằng quá trình chuyển hóa hơi theo phản ứng:



Tương tự, có thể reforming C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH hoặc DO để sản sinh H<sub>2</sub> ngay trên tàu ngầm.

Nếu chất ô xy hóa là ô xy thì nó được lưu trữ đông lạnh ở nhiệt độ -160°C ÷ -180°C; sử dụng H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> làm chất ô xy hóa, có ưu điểm là lưu trữ ở nhiệt độ thường tại áp suất bất kỳ trong bình nhẹ và vỏ mềm, dễ dàng bố trí trên phương tiện ngầm. Nước ô xy già chuyển đổi thành ô xy theo phản ứng:



Việc lựa chọn loại fuel cells cho phương tiện ngầm đòi hỏi phải phân tích nhiều tiêu chí, đây cũng là know-how của các nhà sản xuất phương tiện ngầm.

## 5. Kết luận

Sử dụng fuel cell AIP để nâng cao tính bí mật, kéo dài thời gian và tầm hoạt động ngầm cũng như tăng chiều sâu lặn của phương tiện ngầm là xu hướng tất yếu, cần được nghiên cứu phát triển.

Trên AUV và UUV hiện đại có thể lắp fuel cell AIP loại PEMFC, SOFC; trên tàu ngầm lắp loại PEMFC và semi-fuel cells.

Đã đề xuất sơ đồ fuel cell AIP, cách chọn nhiên liệu và chất ô xy hóa cũng như định hướng thiết kế, chế tạo fuel cell AIP trong nước.

Thực trạng công nghệ của nước ta, cũng như việc tiếp cận các loại vật liệu hoàn toàn cho phép thiết kế, chế tạo fuel cells sử dụng cho phương tiện ngầm.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Кормилицин Ю.Н., Хализев О.А. *Устройства подводных лодок*. СПб.: Элмор, - 280 с. 2009.
- [2] Nguyễn Hà Hiệp, Nguyễn Hoàng Vũ, Phạm Văn Hạ. *So sánh, đánh giá các hệ động lực tàu ngầm sử dụng động cơ nhiệt hoạt động trong điều kiện yếm khí*. Kỷ yếu HN KH&CN toàn quốc về cơ khí lần thứ IV, TP. HCM. Tập 1, tr. 537-544. 2015.
- [3] Carrette, Friedrich. *Fuel Cells - Fundamentals and Applications*. Fuel cells, No.1. pp.5-39. 2001.
- [4] Nguyễn Thị Lê Hiền. *Pin nhiên liệu - nguồn năng lượng tương lai*. Tạp chí Dầu khí. Số 7, tr.57-67. 2019.
- [5] Winkler W. *Ships: Fuel Cells*. Elsevier, pp.338-358. 2009.
- [6] Badwal S., Giddey S., Kulkarni A. *Direct ethanol fuel cells for transport and stationary applications - A comprehensive review*. Applied Energy, Vol.145, pp.80-103.2015.
- [7] Jen-Chieh Lee, Tony Shay. *Analysis of fuel cell applied for submarine air independent propulsion (AIP) system*. Journal of Marine Science and Technology, Vol.26, No.5, pp.657-666, 2018.
- [8] Peter L. Mart, Jenny Margeridis. *Fuel Cell Air Independent Propulsion of Submarines*. Commonwealth of Australia 1995.
- [9] *Fuel cells Handbook* ed. S. Edition. EG&G Technical Services, Inc, 2004.
- [10] Дядик А.Н., Замуков В.В., Дядик В. А. *Корабельные ВЭУ*. СПб.: Судостроение, - 424 с, 2006.
- [11] <http://noip.gov.vn> [Truy cập 10/6/2021].
- [12] <http://baochinhphu.vn> [Truy cập 10/6/2021].
- [13] Khoa Cơ khí Động lực. *Chuyên đề về pin nhiên liệu*. Trường ĐHSPKT TP.HCM, 86 tr, 2010.
- [14] Замуков В. В., Сидоренко Д. В. *Выбор ВЭУ подводных лодок*. Судостроение, №4. С.29-33. 2012.
- [15] Nie Luoa, G.H. Miley. *NaBH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fuel cells for air independent power systems*. Journal of Power Sources 185, pp.685-690, 2008.

Ngày nhận bài: 14/6/2021

Ngày nhận bản sửa: 02/8/2021

Ngày duyệt đăng: 13/8/2021