

UOT 662.769.21

DOI:10.34826/NAA.2020.21.4.001

ENERJİ MƏNBƏYİ QİSMİNDƏ HİDROGENİN XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN TƏHLİLİ**R.N. Nəbiyev, A.A. Abdullayev, Q.İ. Qarayev**

Milli Aviasiya Akademiyası

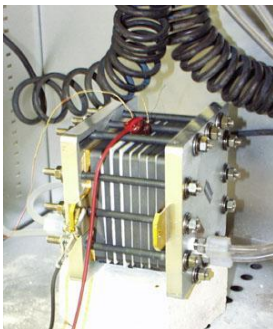
Məqalədə hidrogen əsaslı yanacaq elementlərindən istifadənin xüsusiyyətləri, hidrogen yanacağının alınması və saxlanması üsulları, tətbiq sahələri geniş şəkildə öyrənilmiş, enerji tutumu imkanları qiymətləndirilmiş, xüsusi enerji tutumları əsasında götürülmüş ekvivalent tərkibin parametrləri müqayisəli təhlil edilmişdir. Pilotsuz uçuş aparatlarında əsas enerji mənbəyi qismində hidrogen əsaslı yanacaq elementlərindən və hidrogenlə işləyən daxili yanma mühərriklərindən az istifadə edilməsinin səbəbləri müəyyənləşdirilmişdir. Çəkisi 15 kq-dan böyük olan pilotsuz uçuş aparatlarında enerji mənbəyi qismində hidrogen əsaslı yanacaq elementlərindən və hidrogenlə işləyən daxili yanma mühərriklərindən ibarət hibrid əsaslı qida mənbələrindən istifadənin mümkünlüyü, eləcə də hidrogenin alınması və hidrogen əsaslı yanacaq elementlərinin iş fəaliyyətinin təşkili üçün tələb olunan enerji sərfiyyatını və s. amilləri nəzərə alaraq sistemin faydalı iş əmsalının təxminən 50% təşkil etdiyi göstərilmişdir.

Açar sözlər: Yanacaq elementi, hidrogen, pilotsuz uçuş aparatı, elektroliz, proton, mübadilə membranı, daxili yanma mühərriki, akkumulyator, batareya.

Hal-hazırda PUA-ların etibarlı, təhlükəsiz və dayanıqlı uçuşlarının aparılması üçün elmi-tədqiqat institutları və müxtəlif ixtisaslaşmış şirkətlər enerji mənbələrinin axtarışındadır [1, 3, 5, 11]. Bu məqsədlə hidrogen əsaslı yanacaq elementlərindən (HYE), eləcə də HYE + AB (akkumulyator batareyası) və ya HYE + DYM ibarət hibrid enerji mənbələrinin tətbiqi imkanlarının daha dərindən öyrənilməsinə və tədqiq edilməsinə ehtiyac vardır. HYE-dən təşkil olunmuş qida mənbələrinin iş prinsipi, elektrokimyəvi reaksiya nəticəsində hidrogen əsaslı yanacaqdan sabit cərəyan və istiliyin ayrılması ilə gedən prosesə əsaslanır. Elektro-kimyəvi reaksiya nəticəsində sabit cərəyan hasil edən AB-də olduğu kimi, hidrogenlə işləyən HYE-nin də konstruksiyasına anod, katod və elektrolit daxildir. Fərqli xüsusiyyətləri odur ki, HYE-də elektrik enerjisi toplanmır və o, təkrar yüklənmir. DYM-dən, eləcə də qaz, kömür, mazut və s. ilə işləyən turbin və generatorlardan fərqli olaraq, HYE-də enerjinin hasil olunması üçün yanacağın yanma prosesindən istifadə edilmir.

Nəticədə sistem, yanmış qazların ayrılması zamanı yaranan akustik küydən və titrəmədən azad olur. Yanacaq və hava ehtiyatı olduqda HYE-də fasiləsiz olaraq elektrik enerjisi hasil edilir (şək.1), bu zaman az miqdarda karbon qazı və su buxarı ayrılır [1-3].

Konstruktiv olaraq HYE-lər vahid struktura malikdir və daxilində ayrı-ayrı funksional modullar yerləşdirilir. Yanacaq qismində HYE-də istifadə edilən hidrogenin qaz halında saxlanması və daşınması üçün kompozit çənlərdən istifadə edilir. Böyük çənlərin hazırlanması və hidrogenin onlara doldurulması, istifadə üçün kiçik çənlərə boşaldılması böyük zəhmət və xərc tələb edir. Daxilində təzyiqli 300-700 atm. olan çənə doldurulmuş hidrogen çənin ümumi çəkisinin 5-7 %-ni təşkil edir. Yüksək təzyiqli hidrogenin daşınması və qablaşdırılması üçün tələb olunan xüsusi boru və çənlərin partlama təhlükəsi olur. Avtonəqliyyat vasitələrində, HYE-nin xüsusi enerji tutumu 0,9...1 kVt*saat/kq (çənin təxminən 5%-ə

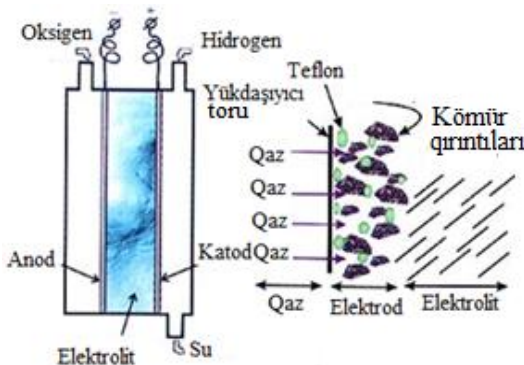


Şək. 1. Yanacaq elementi

qədəri hidrogen olarsa) təşkil edən kiçik çənlərdən istifadə edilir. Böyük nəqliyyat vasitələri ilə, məsələn, gəmi ilə daşımaq üçün hidrogeni maye halına çevirmək tələb edilir. Bu halda, HYE-nin xüsusi enerji tutumu orta hesabla 0,8...1,3 kVt* saat/kq təşkil edir. Alınan enerjinin 35%-ə qədəri hidrogenin maye haldan qaz halına çevirilməsinə sərf edildiyi üçün, az həcmli işlərdə bu tip HYE-dən istifadə etmək səmərəli olmur.

Ümumiyyətlə, HYE-yə, yanacağı saxlanılmasını, oksidləşməsinə, reaksiya nəticəsində yaranan qalıq məhsullarının və istiliyin sistemdən kənarlaşdırılmasını, elementləri ardıcıl və paralel qoşmaqla gərginliyin və cərəyanın lazımı qiymətinin seçilməsini, gərginliyin çevrilməsini (məs., inverter) və xarici dövrəyə ötürülməsini təmin edən sistem kimi baxmaq olar [4-7, 30, 32, 37].

Hidrogenlə işləyən HYE-lərin yaranma tarixi və inkişaf mərhələləri. 1820-ci ildə V. Sesil Kembridc filosoflar cəmiyyətində maşınların hidrogen yanacağı ilə hərəkətə gətirilməsini təklif etmişdi. 1841-ci ildə İngiltərədə hidrogen və oksigen qarışığı ilə işləyən mühərrik üçün ilk müəlliflik şəhadətnaməsi alınmışdı. İngilis alimi ser Vilyam Qrover oksidləşmə-reduksiya reaksiyası (ORR) haqqında verdiyi nəzəriyyədə oksidləşdiricinin molekullarından ayrılan elektronların istiqamətlənmiş hərəkəti nəticəsində enerjinin ötürülməsi, digər molekula keçməsi və reaksiya enerjisinin elektrik enerjisinə çevrilməsinin mümkünlüyünü nəzəri və praktiki olaraq təhlil etmişdi. Onun yaratdığı qurğu hidrogeni oksidləşdirən anoddan, hidrogeni reduksiya edən katoddan və elektrodların xarici dövrədə birləşməsi nəticəsində yaranan cərəyan dövrəsindən ibarət elektrokimyəvi sistem idi. Qrover öz qurğusunu “qaz akkumulyatoru” adlandırmışdı. Daha sonra “İmperial



Şək. 2. Qələvi elektrolitli və qazdiffuziyalı elektrodlu HYE

Chemical Industries” şirkətinin yaradıcılarından biri olan, kimyaçı alim Lüdviq Monda bu qurğuya “fuel cell” adını vermişdi. Reaksiya zamanı HYE qızdırır və reaksiya “Karno” qanunu ilə məhdudlaşır. Gedən prosesin, enerjinin heçdən yaranmaması və itməməsi qanununun tələblərini pozmadan baş verdiyi sübut edilmişdir. Reaksiya prosesində reagentlərin energetik və termal parametrlərinin dəyişməsi hesabına istilik enerjisinin bir hissəsi elektrik enerjisinə çevirildiyi sübuta yetirilmişdir. İki elektrod və qatılaşdırılmış qələvi-elektrolit tərkibdən ibarət olan Qrove aparatı - ensiz düzbucaqlı qutu formasında hazırlanmışdır (şək. 2) [27]. Qurğuda yan divarlar anod və katodu təşkil edir. Bu zaman elektrodlar verilən oksigen və hidrogen qazları ilə elektrolitin kontaktını təmin edir. Elektrik yükünün daşınması üç faza sərhəddində (elektrod, qaz və elektrolit) baş verir - elektron hidrogendən kömürün zərrəciyinə keçir, hidrogen molekulu protonlara parçalanaraq hidrosil molekulları ilə reaksiyaya girir [2, 29]:



Sonra, elektronlar kömürün bir zərrəciyindən digərinə - cərəyan yığıcısına, oradan xarici dövrəyə, daha sonra katoda və oksigen molekuluna doğru hərəkət edirlər. Bu zaman oksigen molekulu ionlaşır və iki su molekulunun hər birindən bir proton götürməklə hidrosil birləşməsi radikallarını yaradır:



Aparatın üstünlükləri: FİƏ-nin yüksək (termodinamik - 83%, real HYE qismində - 70%-ə yaxın) olması, hərəkətli hissələrin və ölçülərinə məhdudiyətin olmamasıdır [3, 26, 28, 37].

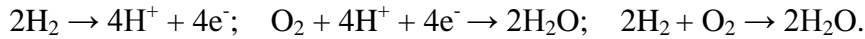
1852-ci ildə Almaniyanın Münhen şəhərində Kristian Teytman hidrogen-hava qarışığı ilə işləyən mühərrik hazırlamışdır. 1920-ci illərdə Q.F. Rikardo və A.F. Brustell hidrogen-hava qarışıqlı DYM-in iş prinsipini ətraflı araşdırmış, bu işlərdə “əks alov effekti”ni tətbiq etmişdilər. Həmin dövrdə “Çepelin” şirkətinin istehsal etdiyi hava şarlarında hidrogen mühərriklərindən istifadəyə başlanılmışdır. 1928-ci ildə bu tip hava şarları ilə Aralıq dənizi üzərindən ilk sınaq uçuşu keçirilmişdir.

1920-1940 illərdən başlayaraq Almaniya, İngiltərə, Rusiya və ABŞ alimləri tərəfindən hidrogenin müxtəlif mühitlərdə (oksigen və havada) yanma reaksiyaları öyrənilməyə başlanılmışdır. Hidrogen-hava qarışığı ilə işləyən mühərriklərin inkişaf tarixində əsas HYE-lər 1920-1930 illərdə Rudolf Erren tərəfindən aparılmış elmi tədqiqat işləri tutur [4]. O, ilk dəfə hidrogen mühərriklərində "daxili qarışıq yanma" texnologiyasını tətbiq etmişdir. Burada hidrogen DYM-in silindirinə divarından verilirdi. Bu da əks alovun yaranma təhlükəsini azaldırdı. Bununla yanaşı mühərrikdə əsas yanacağın verilməsi sistemi mövcud idi və istənilən yanacaq növü ilə, həmçinin hidrogen əlavə edilməklə maye yanacaq ilə işləyə bilərdi. Erren bir neçə növ mühərrikləri, həmçinin "Leyland" avtobusunun dizel mühərriki hidrogenlə işləyən mühərrikə çevirmiş və onun tərəfindən London yaxınlığında hidrogen-hava qarışığı ilə işləyən DYM-li avtobusun sınağı uğurla keçirilmişdir. Giriş taktında silindrə oksigenin su buxarı ilə qarışığı, sıxılma taktında isə hidrogen verilirdi. Yanma zamanı yaranan su buxarı mühərrikin giriş taktına az da olsa qayıdır və qismən kondensasiyaya uğrayırdı. Mühərrik işləmiş qazları xaricə buraxmadan işləyə bilirdi. Bu səbəbdən sualtı qayıqlarda DYM-də yanacaq qismində hidrogendən istifadə etmək mümkün idi. Həmin dövrdə Almaniya avtodrezinlərdə hidrogendən istifadə edilirdi. Bu məqsədlə hidrogen, yanacaq doldurma stansiyalarında suyun təzyiqlə altında elektrolizi üsulu ilə istehsal olunurdu [9-11].

Hidrogendən yanacaq qismində istifadəyə II Dünya müharibəsi illərindən başlanılmışdır. Sovet alimləri tərəfindən II Dünya müharibəsi zamanı avtomobillər üçün DYM-də yanacaq qismində hidrogendən istifadənin sınağı uğurla keçirilmişdir. 1941-ci ildə mühəndis B.İ. Şeliş Sankt Peterburqun mühasirəsi zamanı maneə aerostatlarını hərəkətə gətirmək üçün "QAZ AA" avtomobil mühərriklərindən istifadə etməklə "hidrogen-hava qarışığı"nın yanacağına çevrilməsini tətbiq etməyə başladı. Onlarda havanın miqdarı 15-20 %-ə çatırdı və əks alov aerostatın partlamasına səbəb ola bilirdi. Bunun qarşısının alınması üçün Şeliş mühərrikin önündə su kranı və mümkün vasitələrdən istifadə etməklə digər mühafizə tədbirləri tətbiq etmişdir. Müharibə illərində SSRİ-də maneə aerostatlarını işə salan 400-dən artıq avtomobil mühərrikləri hidrogen ilə işləyirdi. II Dünya müharibəsindən sonra hidrogen yanacağı ilə işləyən mühərriklərin hazırlanması istiqamətində tədqiqat işləri dünyanın bir çox ölkələrində davam etdirildi. Lakin sonralar tədqiqatların aktivliyi əvvəlki illərlə müqayisədə nəzərə çarpacaq dərəcədə azaldı. Ucuz neft və karbohidrat yanacaqları ilə işləyən nəqliyyat vasitələrinin artması, ekoloji problemlərin nəzərə alınmaması hidrogen əsaslı yanacaq texnologiyalarının inkişafını prioritet etmirdi. Bu istiqamətdə işlərin davam etdirilməsinin vacibliyi 1970-ci illərdə ilk neft böhranı və böyük şəhərlərdə ekoloji vəziyyətin kəskin pisləşməsi ilə aktuallaşdı. 1980-ci illərdən etibarən ABŞ, Yaponiya, Almaniya, SSRİ, Kanada və s. ölkələrdə nəqliyyat vasitələrində hidrogen, benzin-hidrogen, hidrogen-təbii qaz qarışıqları ilə işləyən hidrogen əsaslı DYM-li təcrübi avtomobil nümunələri istehsal edilir [13, 21, 25].

1970-ci illərin əvvəllərində Avstriyalı alim K. Kordeş 6 kVt gücündə olan hidrogen-qələvi əsaslı HYE ilə işləyən ilk eksperimental elektromobil yaratdı. Sonrakı illərdə bu istiqamətdə əsas işlər hidrogen-hava əsaslı HYE ilə işləyən effektiv və ucuz mühərrikin yaradılması oldu. SSRİ-də hidrogen energetikası və texnologiyasının geniş tədqiqatlarına 1970-ci illərin ortalarından başlanılmışdır. Təmiz hidrogen və hidrogen birləşməli qazların təbii yanacaqlardan, sudan və ənənəvi olmayan xammallardan alınmasının yeni texnologiyaları üzərində iri həcmli işlər görülmüşdür. Saxlanması, daşınması, eləcə də energetika, avtonəqliyyat, aviasiya, raket texnikası, metallurjiya, kimya sənayesi və s. sahələrdə istismar texnologiyaları hazırlanmışdır. Tədqiqatların əsas məqsədi, tullantıların zəhərlik dərəcəsini azaltmaq, ilkin enerji resurslarından istifadənin səmərəliliyini artırmaq, avtomobil və uçuş aparatlarının yanacaq təminatı problemini yaxşılaşdırmaq, mövcud DYM-li nəqliyyat vasitələrinin bazasında həm hidrogen, həm də benzin-hidrogen qarışığı ilə işləyən nəqliyyat sistemi yaratmaq, eləcə də hidrogen əsaslı HYE-nin bazasında tullantısız mühərrik qurğularını hazırlamaq idi. Tədqiqatçılar tərəfindən hidrogen və benzin-hidrogen DYM-in iş prosesi (hidrogen-hava qarışığının qaynar qaz tullantıları ilə kontaktı nəticəsində əks alov prosesinin yaranmaması) öyrənilmiş və bu zaman partlayışın olmaması üçün üsullar hazırlanmışdır. Mühərriklərin hidrogen, benzin-hidrogen qarışığı və benzinsiz dayanıqlı işləməsi, həmçinin yüksək və aşağı temperaturlu metallhidrid birləşməli hidrogenin təyyarədə effektiv saxlanması sistemi yaradılmışdır.

HYE-nin iş prinsipi. HYE-də anod və katod, protonları keçirən elektrolit ilə bir-birindən ayrılır. Hidrogen atomları anoda, oksigen atomları katoda daxil olduqda kimyəvi reaksiya başlayır. Nəticədə elektrik enerjisi, su və istilik ayrılır. Anodun katalizatorunda molekulyar hidrogen dissosasiya olunmağa və özündən elektronlar xaric etməyə başlayır. Hidrogen ionları (protonları) isə elektrolitdən keçir və katoda istiqamətlənirlər. Bu zaman elektrolit özündən xarici elektrik dövrəsinə elektronlar generasiya edir və dövredə sabit cərəyan formalaşır. Katodun katalizatorunda olan oksigen molekulaları, xarici dövredən gələn elektronlar və elektrodan keçib gələn protonlar ilə birləşir. Anodda, katoda və ümumilikdə gedən reaksiyaları aşağıdakı kimi yazmaq olar [2, 3, 12, 13]:



HYE-də hər bir element (modul) maksimal olaraq 0.5-0.6 V gərginlik hasil edir. HYE-nin dəyərinin yüksək olmasına səbəb, istehsal texnologiyasının, oksigen və hidrogen elementlərinin sənaye və ya laboratoriya üsulu ilə istehsalının mürəkkəb və baha olması, həmçinin bahalı katalizatordan, eləcə də polimer elektrolitdən istifadədir.

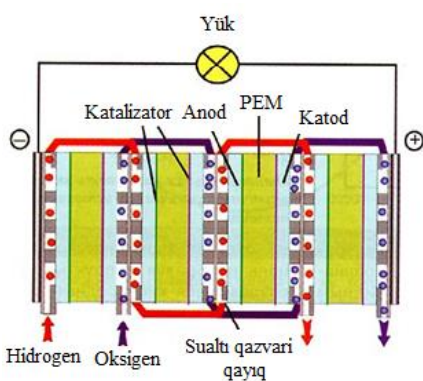
Sistemin əsas xüsusiyyətləri:

– cəld işə düşməsi (2 dəqiqəyə qədər) və istənilən temperaturda (0...+50 °C) soyuq işə salınması və konstruksiyasında dəyişiklik etmədən gücünün, eləcə də enerji hasilinin tənzimlənməsi imkanının olması;

- çıxış gücünün tənzimlənməsinin real zamanda istifadəçidən asılı olması;
- etibarlılığının (az sayda birləşdirici detallardan hazırlanması) yüksək olması;
- HYE-nin blok-modul formalı hazırlanması;
- küyün olmamasıdır.

HYE-nin tipləri. HYE-lər, tətbiq sahələrindən və istehsal texnologiyalarından asılı olaraq, aşağı və yüksək temperaturlu olmaqla iki əsas növə bölünürlər. Birincilərdə, yanacaq qismində təbii qazdan emal edilən nisbətən təmiz hidrogendən istifadə edilir. Bu da əlavə enerji sərfiyyatını və köməkçi qurğuların olmasını tələb edir. İkincilər isə əlavə proseslərin aparılmasını tələb etmir və enerji daxili çevrilmələr hesabına hasil edilir. Bu da hidrogen enerjisindən istifadə infrastrukturuna əlavə vəsaitin yatırılması problemini aradan qaldırmış olur. İstifadə edilən elektrolitin və yanacağın tipindən, həmçinin temperatur çevrilməsindən asılı olaraq HYE, aşağıda göstərilən istiqamətlərdə sürətlə inkişaf etmişdir.

1. **PEMFC (Polimer Electrolyte Membrane Fuel Cell)** - polimer elektrolit membranlı HYE (PEMYE). Bu tip HYE-də elektrolit qismində bir neçə millimetr qalınlığında olan polimer



Şək. 3. PEMYE texnologiyası

membrandan (PEM) istifadə edilir. Onun tərkibi, əsas karbon zəncirinə yandan SO₃ - birləşməsi qoşulan polivalentli turşunun nisbətən böyük molekullarından təşkil olunmuşdur. Polimer təbəqədə əsasən "Nafion" adı ilə tanınan poli-perftorsulfon politurşularından (tetraftoretillen) istifadə edilir. Müasir HYE-də "Nafion" təbəqə çox nazik (50-250 mkm) olur və hər iki tərəfdən (anod və katod) katalizatorla örtülür. Laylarına yüklü zərrəciklərin yaxşı keçməsi - cərəyanın axması üçün katalizator məsaməli formada hazırlanır. Katod və anoda oksigen və hidrogen gətirən kanallar, bu elektrodla yapışdırılmış lövhələrə birləşdirilir [7]. Maksimal gücdə işləyən zaman bir elementdə gərginlik təxminən 0.5-0.6 V təşkil edir (şək.3). Məhlulun tərkibində karbonoksidin payı 10-100 mq/kq olduqda, bərpaedici qismində təmiz hidrogendən istifadə edilir. PEMYE-də polimer

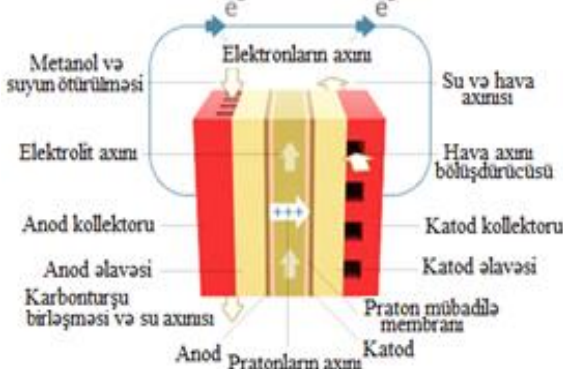
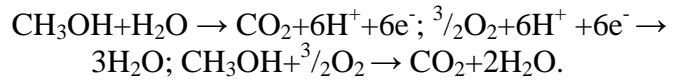
membran, su molekulaları ilə birləşmiş və H₂O⁺ su ionlarının hesabına keçiriciliyə malik polimer liflərdən təşkil olunmuşdur. İon mübadiləsinə sürətləndirmək üçün yanacağın və çıxış elektrodlarının tərkibində suyun konsentrasiyasının yüksək olması tələb olunur. Nəticədə, işçi temperatur 100 °C-də məhdudlaşır. PEMYE-nin iş prinsipinə, anodda hidrogen molekulunun proton və elektrona parçalanması nəticəsində istiqamətlənmiş müsbət yüklərin PEM-dən keçməsi və bu

zaman yaranan sərbəst elektronların xarici dövrəyə ötürülməsi daxildir. Protonlar polimerdə sərbəst hərəkət edir. Katodda hidrogen ionlaşır (bərpa olur) və oksigen ilə oksidləşməsi prosesi gedir. Nəticədə kimyəvi enerji elektrik enerjisinə çevrilir (FİƏ 60 % qədər) və təmiz su buxarı xaric olunur [1, 2, 8, 37].

PEMYE-lər digər tip HYE-lər arasında özünəməxsus tətbiq sahələri tapmışdır və əsasən, nəqliyyatda (hidrogen ilə işləyən avtomobillərin təxminən hamısında), eləcə də portativ cihazlarda əsas və ya ehtiyat qida mənbələri qismində istifadə edilir. Hidrogen enerjisi ilə işləyən və gücü 10 kVt-a qədər olan stasionar qurğuların təxminən 75%-nin enerji sistemləri PEMYE texnologiyası ilə hazırlanır.

FCFCP (Çin), Cellkraft AB (İsveç), European fuel cell GmbH (Almaniya), h-tec Hydrogen Energy Systems (Almaniya), Honda (Yaponiya), IdaTech (ABŞ), Ballard Power Systems (Kanada) şirkətləri PEMHYE texnologiyası ilə enerji mənbələri istehsal edir.

2. **DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)** - metanolun birbaşa oksidləşmə effektivinə əsaslanan HYE (**MOƏYE**) proton mübadilə membranlı (PMM) quruluşa malik olub, iş prinsipi metanolun hidrogenə parçalanması effektivinə əsaslanır. HYE-nin hazırlanmasına 1990-cı illərdən başlanılmışdır. Katalizator təkmilləşdirildikdən sonra HYE-nin FİƏ-si 40%-ə qədər yüksəldilmişdir. 50-140 °C temperatur diapozonunda işləmə rejimləri mövcuddur. PEMYE-də olduğu kimi bu tip HYE-də də elektrolit qismində polimerlərdən, yükdaşıyıcılar qismində isə hidrogen ionlarından (proton) istifadə edilir. Maye halda olan metanol (CH₃OH) katalizatorun iştirakı ilə anodda su ilə oksidləşir, bu zaman CO₂, hidrogen və elektronlar ayrılır (şək. 4). Elektronların xarici elektrik dövrəsinə istiqamətlənməsi nəticəsində elektrik enerjisi hasil olunur. Protonlar (H⁺) katodda PMM-dən keçir, oksigen molekulları ilə reaksiyaya girir və su əmələ gətirir. Anodda, katodda və ümumilikdə gedən reaksiyalar aşağıdakı kimi yazılır [2, 36-38]:



Şək. 4. MOƏHYE texnologiyası

saxlanılmasının mümkün olması. Hidrogen 800 atm. təzyiqdə xüsusi çənlərdə saxlanılır və sıxılmış halda çənin ümumi çəkisinin 5-7 %-ni təşkil edir. Metanol üçün bu nisbət 13% olur. 60-62%-li metanol qarışığından 0.9-1.2 kVt.saat/kq-a qədər enerji əldə etmək mümkündür. Qeyd edilən enerji tutumu məlum enerji sistemləri arasında (hidrogen, benzin, dizel və s.) ən səmərəlisidir. MOƏYE texnologiyasında metanoldan təmiz hidrogenin ayrılması prosesi xarici konvertora ehtiyac olmadan fasiləsiz olaraq elektrolitdə baş verir. PEMYE ilə müqayisədə MOƏYE-nin çatışmayan cəhəti kimyəvi reaksiyanın effektiv aparılması üçün 50-120 °C temperaturun tələb edilməsidir. Reaksiyanın aşağı temperaturda aparılması məqsədi ilə bahalı platin katalizatorlardan istifadə edilir. Nəticədə istehsal olunan qurğunun və enerjinin dəyəri yüksəkdir. Katalizatorun qiymətinin yüksək və metanol spirtinin zəhərli olması (10 qramı insanı kor edir, 30 qram isə öldürmək qabiliyyətinə malikdir) metanoldan yanacaq elementi qismində istifadəni məhdudlaşdırır və MOƏYE texnologiyasının inkişafına mane olur.

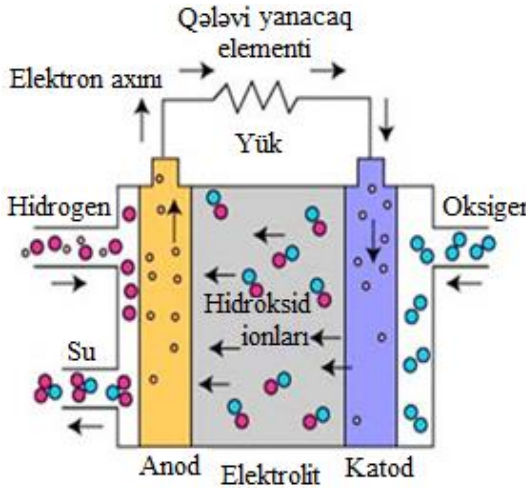
Nəqliyyatda, mobil rabitədə, məsafədən idarə olunan cihazlarda və notbuklarda enerji mənbəyi

qismində MOƏYE-dən istifadə edilir. Metanol ilə işləyən yanacaq elementi, hidrogenlə işləyən HYE kimi, perspektivli enerji mənbəyi sayılır və yaxın gələcəkdə portativ cihazlarda daha aktiv istifadəsi üçün elmi tədqiqat işləri davam etdirilir [1, 14, 15].

3. **AFC (Alkaline Fuel Cell)** - qələvi yanacaq elementi (QYE) çox öyrənilmiş yanacaq elementi növü olub, istismarına 1960-cı illərin ortalarında NASA-nın "Apollon" və "Space Shuttle"

proqramlarının icrası zamanı kosmik peykin bortunda içməli su və elektrik enerjisinin hasil edilməsi məqsədi ilə başlanılmışdır. Bu HYE-nin elektrodlarında katalizator qismində nazik platin lövhədən istifadə edilir. Elektrik enerjisinin hasil olunmasının FİƏ 70% təşkil edir. HYE-də elektrolit qismində, matrisada stabilləşdirilmiş məsamələrdə saxlanılan kalium-hidroksidin (KOH) sulu məhlulundan istifadə edilir (şək. 5).

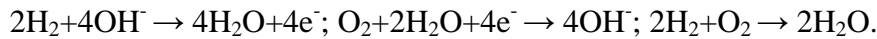
Qabarit ölçülərinin çox böyük olması hesabına QHYE xüsusi güc göstəricilərinə görə PEMYE-ni əhəmiyyətli dərəcədə üstələyir. QYE-də yanacaq və oksidləşdirici qismində, uyğun olaraq təmiz hidrogendən və oksigendən istifadə edilir.



Şək. 5. QYE texnologiyası

suyun ayrılması kimi üstün xüsusiyyətləri vardır. HYE-nin 65-220 °C-yə qədər dəyişən işçi temperaturundan asılı olaraq QYE-də elektolit qismində istifadə olunan məhlulda kaliumhidroksidin konsentrasiyası dəyişə bilər.

QYE-də, yükdaşıyıcı qismində çıxış edən hidrokسيد (OH⁻) ionları, katoddan anoda hərəkət edir, hidrogen ilə reaksiyaya girir, nəticədə su və elektronlar hasil edilir. Anodda alınan su, katod istiqamətində əksinə hərəkət edir və təkrar hidrokسيد ionlarının generasiya olunmasında iştirak edir. HYE-də ardıcıl gedən reaksiyaların nəticəsində elektrik və istilik enerjisi ayrılır. Anodda, katodda və ümumilikdə gedən reaksiyaları aşağıdakı kimi yazmaq olar:



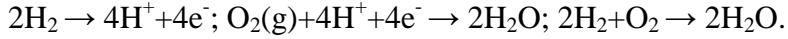
Hal-hazırda QYE texnologiyasının yeni növü - yanacaq qismində kimyəvi tərkibindən hidrogen ayrılan borhidridnatriumdan və elektrolit qismində qələvi birləşmələrdən istifadə edilən borhidridnatriumun (NaBH₄) birbaşa oksidləşməsinə əsaslanan yanacaq elementinin (BƏYE) hazırlanması istiqamətində işlər davam etdirilir. Metanol ilə müqayisədə borhidridnatrium və tetraboratnatrium az zəhərli, həmçinin borhidrid böyük enerji tutumuna malikdir. Bu tərkibdən istifadə etməklə əlvan metallardan hazırlanan katalizatora çəkilən xərci azaltmaq olur. QYE-ləri əsasən Fuji Electric (Yaponiya) və Korea Gaz (Koreya) şirkətləri istehsal edir.

4. **PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)** - elektrolit qismində maye fosfat turşusundan istifadə edilən yanacaq elementi (MFTYE) kommersiya təyinatlı ilk yanacaq elementi sayılır və iri həcmli stasionar obyektlərdə elektrik enerjisinin və istiliyin hasilatı məqsədi ilə istehsal edilmişdir. Yanacaq elementinin alınması texnologiyaları arasında bu, köhnəmiş üsul sayılır. Yanacaq elementinin hazırlanmasına 1960-cı illərdə, ilkin sınaqlarına isə 1970-ci illərdə başlanılmışdır. Hazırda dayanıqlığı və işçi göstəriciləri yüksək, maya dəyəri aşağı HYE hazırlanmışdır. Yanacaq elementində elektrolit qismində konsentrasiyası 100% olan ortofosfat turşusundan (H₃PO₄) və yükdaşıyıcılar qismində hidrogen ionlarından istifadə edilir. Enerjinin yaranması PMM texnologiyasına uyğundur.

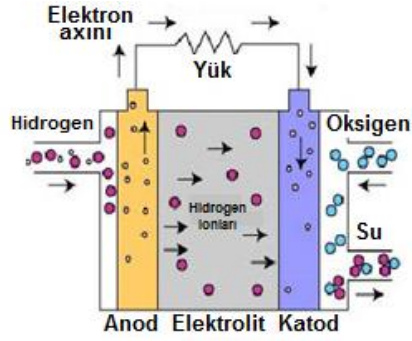
Yanacaq elementində, yanacaq qismində təbii və ya bio qazdan emal edilən hidrogenin təmizliyinə qoyulan tələb, PEMYE-yə nəzərən aşağı olur. ORR 150-220 °C temperaturda aparılır.

Hidrogen anodda proton və elektrona parçalanır (şək.6). Yaranan protonlar elektrolitdən keçərək oksigen ilə birləşirlər və nəticədə, su-hava tərkibli qarışıq və elektrik enerjisi alınır.

Anodda, katodda və ümumilikdə gedən reaksiyaları aşağıdakı kimi yazmaq olar:



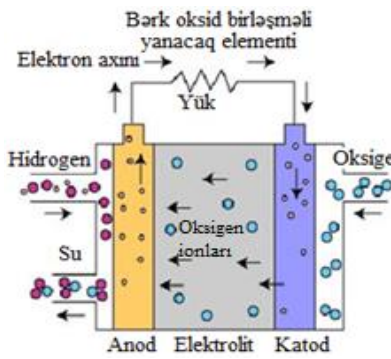
HYE-də elektrik enerjisinin generasiyasının FİƏ 40%-ə bərabər olur. Həsıl edilmiş istilik və elektrik enerjisi kombinə olunmuş şəkildə qəbul edilərsə, bu göstərici təxminən 85% olur. Tərkibində CO₂-nin konsentrasiyası 1.5% olduqda da yanacaqdan istifadə etmək mümkündür. Bu da HYE üçün yanacaq seçim imkanını genişləndirir.



Şək. 6. MFTHYE texnologiyası

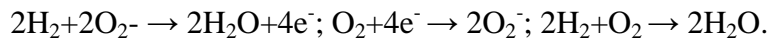
Konstruksiyasının sadə və elektrolitin buxarlanma səviyyəsinin aşağı olması, eləcə də yüksək stabilliyi MFTHYE-nin əsas üstünlükləridir.

MFTHYE-nin dəyəri QHYE-dən ucuzdur, lakin alınma dəyərinə görə enerjinin qiyməti bahadır. Yüksək temperaturda işləməsi HYE-nin tətbiqini məhdudlaşdırır. HYE-ni ABŞ-ın "UTC Power", Yaponiyanın "Fiji Elektrik" və Koreyanın "Korea Gas" şirkətləri istehsal edir. HYE-nin dünya üzrə ümumi istehsal payı təxminən 75 MVt təşkil edir [1, 3, 25, 37].

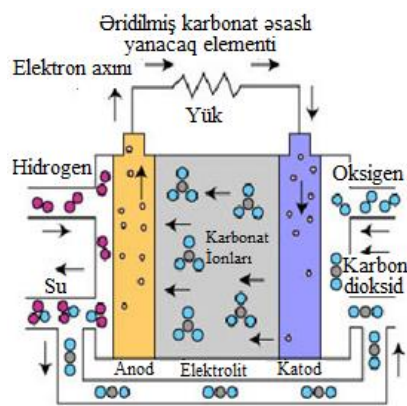


Şək. 7. BKEHYE texnologiyası

dövrəsinə istiqamətlənməsi nəticəsində kombinə olunmuş şəkildə elektrik və istilik enerjisi həsıl olunur (FİƏ təxminən 70% olur). Anodda, katodda və ümumilikdə gedən reaksiyaları aşağıdakı kimi yazmaq olar:



İşçi temperaturunun yüksək olması, HYE-nin optimal işçi vəziyyətə gəlməsi üçün müəyyən vaxt tələb edir və o, yanacaq sərfiyatının dəyişilməsinə aşağı sürətlə reaksiya verir. Bu, həm də, HYE-də H yanacağının təmizliyinə qoyulan tələbləri və istilik-elektrik qurğusunun mütləq dərəcədə təmiz yanacaqdan asılılığını azaldır. İstismar zamanı yüksək temperatura qədər qızmış zonanın yaranması bahalı konstruksiyalı materialların və yardımçı qurğuların tətbiqini tələb edir. HYE-dən sənayenin müxtəlif sahələrində böyük güclü elektrik enerjisi (100 kVt çıxış gücü) tələb olunan HYElərdə istifadə edilir. Əsasən - Acumentrics (ABŞ), Ceramic Fuel Cells Limited (CFCL, Avstraliya), Mesoscopic Devices LLC (ABŞ), Nano Dynamics Energy, Inc.

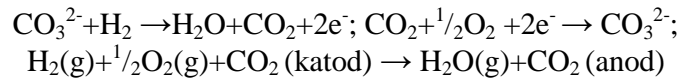


Şək. 8. ƏKƏHYE texnologiyası

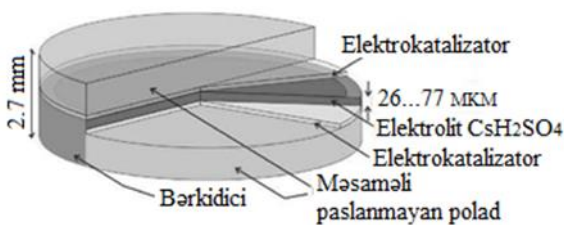
(ABŞ), Rolls-Royce (ABŞ), Siemens Westinghouse (Almaniya) şirkətləri tərəfindən istehsal edilir.

6. MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) - əridilmiş karbonat əsaslı (litium, kalium və ya natrium duzları) yanacaq elementinin (ƏKƏYE) istehsal texnologiyası 1960-cı illərin ortalarında

yaradılmışdır. İşləmə prinsipinə görə yüksək (600-700°C) temperaturu HYE tipinə aiddir. Bu da imkan verir ki, yanacaq prosessoru və katalizator olmadan fasiləsiz olaraq təbii qazdan enerji hasil edilsin. Belə ki, yüksək temperatur nəticəsində, təbii qazın parçalanması reaksiyası sürətlənir və yanacaq prosessorunun vacibliyinə olan tələbat azalır. Müsbət xüsusiyyətlərinə, konstruksiyasında standart materiallardan, məs., elektrodlarında paslanmayan polad lövhələrdən və nikel katalizatorlardan istifadənin mümkünlüyü daxildir (şək.8). HYE-də elektrolit qismində əridilmiş karbonat duzlarından (litiumkarbonat-kaliumkarbonat və yaxud litiumkarbonat-natriumkarbonat) istifadə edilir. Sistemin FİƏ 60-80 % təşkil edir. 650°C temperatura qədər qızdırıldıqda duzlarda ionlaşma prosesi başlayır. Yaranan ionlar (CO_3^{2-}) katoddan anoda doğru hərəkət edir və hidrogen ilə birləşirlər. Reaksiya nəticəsində: su, karbon-dioksit, sərbəst elektronlar və istilik ayrılır. Anodda, katodda və ümumilikdə gedən reaksiyaları aşağıdakı kimi yazmaq olar:



Sənayedə ƏKƏYE-nin geniş tətbiq edilməsinin 3 əsas səbəbi var: HYE qismində metanol və yaxud sintetik yanacaqlardan istifadə etmək imkanının olması, enerjinin alınması zamanı yanacaq çeviricisi tələb olunmaması (yanacaqdan birbaşa istifadə olunur) və elektrokimyəvi prosesin bahalı katalizator tələb etməməsi. Reaksiyanın yüksək temperaturda getməsi və ya işçi rejimin əldə edilməsi üçün müəyyən vaxtın tələb edilməsi səbəbindən, ƏKƏYE-nin yanacaq sərfiyyatının dəyişməsinə zəif reaksiya verməsi kimi müsbət xüsusiyyətləri var. Qeyd edilən xüsusiyyətlər, HYE-dən sabit gücə malik enerji mənbəyi qismində istifadə etməyə imkan verir. Həmçinin, yüksək temperatur HYE-nin karbon qazı ilə çirklənməsinə maneə olur. HYE-nin işçi rejimə gətirilməsi müəyyən vaxt tələb etdiyinə görə çıxış gücünün operativ olaraq tənzimlənməsi mümkün olmur. Bu səbəbdən ƏKƏYE texnologiyasından iri həcmli stasionar enerji mənbələrində istifadə edilir. Ayrılan istilikdən (yüksək təzyiqli buxar) sənaye və kommertiya təyinatlı müxtəlif sahələrdə istifadə etmək mümkündür. Yüksək temperaturda gedən reaksiyalar nəticəsində korroziyanın yaranması və konstruksiyasına daxil olan elementlərin istismar müddəti başa çatmadan köhnəlməsi çatışmayan cəhətlərinə daxildir. Sənaye üsulu ilə çıxış gücü 2.8 MVt gücündə enerji mənbələri istehsal edilir. Bu tip HYE-ni Ansaldo Fuel Cells SpA (İtaliya), GenCell Corporation (ABŞ), FuelCell Energy (ABŞ), MTU CFC Solutions GmbH (Almaniya) şirkətləri istehsal edir [3, 12].



Şək. 9. BTBYE texnologiyası

arasında çoxsaylı kontaktlar yaratmaq qabiliyyətini saxlamaq şərti ilə yanacaq, elektrodların məsamələrindən buxarlanıb çıxır [2].

8. MAFC (Metal Air Fuel Cells) bərk yanacaq əsaslı HYE (BYƏYE). HYE-də elektrolit qismində kaliumhidroksiddən (KOH), yanacaq qismində alüminium, manqan, kalsium, sink və dəmirdən istifadə edilir. Texnologiyanın tətbiq olunması təklif olunan əsas sahələrə avtomobil sənayesini və kiçik həcmli stasionar obyektləri göstərmək olar. Bu tip HYE nəzəri olaraq layihələndirilmiş, praktiki olaraq istehsal edilməmişdir [3].

Cədvəl 1-də müxtəlif texnologiyalar ilə istehsal olunan HYE-lərin texniki göstəriciləri ümumiləşdirilmiş şəkildə verilmişdir.

Aviasiyada hidrogenin tətbiqi istiqamətləri. PUA-da tətbiq olunan mühərriklər işləmə prinsipinə görə aşağıdakı növlərə bölünür: AB-li, HYE-li, DYM-li və hibrid (AB-DYM, AB-HYE, hidrogen əsaslı DYM). AB-li PUA-ların küyü aşağı və uçuş müddəti orta hesabla 2-3 saat olur. DYM-li PUA-lardan istifadə etdikdə bu göstəricilər çoxalır, nəticədə uçuş aparatının çəkisi, qanad uzunluğu, yaranan səs və ayrılan istilik hesabına təhlükəsiz uçuş ehtimalı (aşkarlanma) və s. əsas

parametrlər yüksəlir. Bu səbəbdən çəkisi 10-15 kq qədər olan PUA-da hibrid və yaxud DYM tipli enerji mənbələrindən istifadə etmək az yayılmışdır [14-20]. Hazırda bir çox şirkətlər HYE-li pilotlu və pilotsuz UA-ları istehsal edir. Belə ki, ABŞ-ın “Boeing”, “UQM Technologies” və “Horizon Energy Systems” şirkətlərində, Almaniyanın “Fraunhofer” İnstitutunda, Çin Xalq Respublikası (ÇXR) və Rusiyanın (RF) Elmi-Tədqiqat mərkəzlərində helikopter, multikopter və planer tipli UA-lar (məs. “Phantom EHYE”-ABŞ, “HyDrone 1500 MMC” ÇXR, “İnspektor-1 RF) istehsal olunmuşdur.

Cədvəl 1

Müxtəlif texnologiyalar ilə istehsal olunan hidrogenlə işləyən HYE-lər

S/s	Texnologiya	Elektrolitin və yanacağın tipi	Reaksiyanın getmə temperaturu, °C	Elektrik enerjisinin alınmasının FİƏ	Texnologiyanın vəziyyəti
1	PEMYE (PEMFC)	Polimer membranlı – təmiz hidrogen	30-100	30–35 (hibridlərdə 70%)	Daşınan qurğularda
2	MOƏYE (DMFC)	Polimer membranlı – metanol	20-90	20-40 % qədər	Nəqliyatda
3	QHYE, BƏHYE (AFC, DBFC)	Kalium hidroksid – təmiz hidrogen (borhidridnatrium)	25–75 və ya 100–250	50–60 % qədər 40-65 %	Kosmik sənayedə
4	MFTHYE (PAFC)	Fosfor turşusu – təmiz hidrogen	100–220	37–42 % (hibridlərdə 85%)	Böyük sənaye qurğularında
5	BKEYE (SOFC)	Keramik element – hidrogen, təbi qaz, metanol, etanol və s.	650-1000 450–1000	50% (hibridlərdə 80%)	Kiçik, orta və böyük qurğularda
6	ƏKƏYE (MCFC)	Litium və natrium karbonat – təbii qaz, bio qaz, sintetik qaz, metan, propan	650	50% (hibridlərdə 85%)	Orta və böyük ölçülü qurğularda
7	BTBYE	$C_8H_{18}SO_4$	100-300		Tədqiq olunur
8	BYƏYE (MAFC)	kaliumhidroksid – alüminium, maqniyum, kalsium, sink, dəmir	-	-	Layihə səviyyəsində

Cəd. 2-də müxtəlif növ (AB, DYM, hibrid və HYE) enerji mənbələrinin texniki göstəriciləri müqayisə edilmişdir [16, 22-24, 26-34, 39, 40]. Müəyənləşdirilmişdir ki, HYE-nin FİƏ və çəkiyə nəzərən xüsusi enerji tutumu digər tip enerji mənbələrindən yüksəkdir. Lakin, həcmə nəzərən xüsusi enerji tutumu müqayisə olunan digər tip enerji mənbələrindən 3-4 dəfə azdır. Bu səbəbdən PUA-da HYE-dən az istifadə edilir.

Cədvəl 2

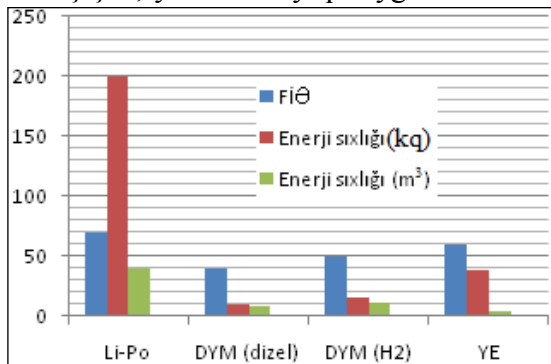
Müxtəlif növ enerji mənbələrinin texniki göstəriciləri

S/s	Göstəricilər	Akkumulyator batareyası (Li-Po)	DYM (dizel)	Hibrid DYM (qaz)	Yanacaq elementi (hidrogen-PEMYE)
1	FİƏ, (%)	70	40	50	60
2	Xidmət müddəti, (il)	4	7	5-6	15
3	Enerji sıxlığı, (Vt*saat/kq)	150÷260	10.17	15.45	39.45
4	Enerji sıxlığı, (Vt*saat/m ³)	25÷40	8.3	11.11	3.53
5	Qulluq	periodik olaraq 3-7 ildən bir AB-lar dəyişdirilir	mövsumə uyğun periodik olaraq mühərrikin yağının, filtrin və yanacağın dəyişdirilməsi	periodik olaraq mü-hərrikin yağının və filtrin dəyişdirilməsi	hava filtrin 1-2 ildən bir dəyişilməsi
6	Küey	yoxdur	var,- yüksək	var,- orta	yoxdur
7	İşlənmiş qaz	yoxdur	yanacağın yanma məhsulları	yanma məhsulları	yoxdur
8	İşləmə dövrü	kimyəvi enerjinin	yanma-fırlanma-EHQ	yanma-	kimyəvi enerjinin

		birbaşa elektrik enerjisinə çevrilməsi nəticəsində	yanarması-elektrik enerjisi	fırlanma-EHQ yaranması-elektrik enerjisi	birbaşa elektrik enerjisinə çevrilməsi nəticəsində
9	Uzun müddət işləmək imkanı	yoxdur	var	var	var
10	İşə düşmə müddəti	dərhal	2-3 dəqiqəyə	2-3 dəqiqəyə	dərhal

Şək. 10-da müxtəlif tip enerji mənbələrinin FİƏ, çəki və həcmə nəzərən enerji sıxlıqları qrafik olaraq müqayisəli şəkildə verilmişdir. Hidrogen yananda ayrılan istilik üzvü yanacaqlara nisbətdə 2,8 dəfə çox olur. Hidrogenin tam yanma xüsusiyyəti DYM-də yanacaq sərfiyatının azalmasına, mühərrikin ölçü və çəkisinin kiçilməsinə və FİƏ-nin yüksəlməsinə səbəb olur [41]. UA-da ikili yanacaqdan istifadə etdikdə, hidrogen üçün əlavə yanacaq çəninin quraşdırılması tələb olunur.

Çəkisinin kerosindən 2.8 dəfə az olmasına baxmayaraq, hidrogen üçün tələb olunan yanacaq çəninin həcmi 4.3 dəfə böyük olur. Şək. 11-də Çin mütəxəssisləri tərəfindən HYE ilə işləyən və 150 dəqiqə uçuş müddətinə malik olan "HyDrone 1500 MMC" tipli multikopter təsvir edilmişdir [42, 43]. Burada 1800 Vt gücündə olan HYE-dən istifadə edilir və sıxılmış halda olan hidrogen xüsusi konstruksiya ilə hazırlanmış çənə doldurulur. Konstruksiyasına: HYE, idarəetmə sistemi, hidrogen çəni və LiPo tipli köməkçi AB daxildir. Burada, HYE 60 ədəd qrafit lövhədən və soyutmaq üçün idarə olunan dörd ventilyatordan təşkil olunmuşdur. Sıxılmış hidrogeni saxlamaq üçün təyin olunmuş çən, yüksək təzyiqli duyğacı və hava kompressorundan ibarətdir. İdarəetmə sistemi 2 ədəd



Şək. 10. Müxtəlif tip enerji mənbələrinin əsas göstəricilərinin müqayisəsi

elektromaqnit klapanndan, aşağı təzyiqli duyğacıdan, radioqəbuledici və xüsusi kompüterdən təşkil olmuşdur. Sistemdə hidrogenin təzyiqinin 8 MPa-dan aşağı azalmasına və 37 MPa-dan yuxarı artmasına qarşı mühafizə sistemi var.

Ümumiyyətlə, aviasiya yanacağı qismində istifadə edilən hidrogen, hibrid DYM-də yanma kamerasının həcmi boyu sürətlə yayılır və asan buxarlanır. Mühərrik az enerji və geniş alışma sahəsi hesabına müxtəlif temperatur və hündürlüklərdə tez işə düşür. Yanma zamanı hidrogen aşağı şüalanma

qabiliyyətli alov verir və qalıqsız yanır. Bu da mühərrikin etibarlılığını artırır. Hidrogen mühərrikləri praktiki olaraq ətraf mühiti çirkləndirmir. Hidrogenin istilikudma qabiliyyəti kerosindən 30 dəfə çoxdur, bu da onun mühərrik elementlərinin soyudulmasında istifadə edilməsinə imkan verir. Soyudulma effektivliyinin yüksək olması, turbinin önündə temperaturun və kompressorun təzyiqinin artmasına, yanacaq sərfiyatının azalmasına (15-20 %) və mühərrikin dartı qüvvəsinin yüksəlməsinə səbəb olur. Hidrogen yanacağı tez axma qabiliyyətli olub, titrəyişlərə qarşı dayanıqlı olur. Yanacaq qismində istifadə edilməsinin başlıca problemi, hidrogenin çox aşağı sıxlığa ($63-70 \text{ kq/m}^3$) və aşağı qaynama temperaturuna (20 K) malik olmasıdır. Bu səbəbdən, eləcə də partlama və yanğın hallarının baş verməməsi üçün uçuş aparatlarında yanacaq çənləri, xüsusi texnologiya ilə nisbətən iri həcmdə hazırlanır. Təbii qazdan alınan hidrogenin (dünya üzrə alınan hidrogenin orta hesabla 50 %-i) tərkibində olan CO_2 qazı enerjinin alınması zamanı istifadə edilən bahalı katalizatoru zəhərləyir.

Katalizatorun zəhərlənməsini azaltmaq üçün HYE-nin oksidləşmə reaksiyasının temperaturunu artırmaq tələb olunur. UA-nın çəkisinin az olması, qanadların ölçüsünün, onlara düşən yüklənmənin, həmçinin küylərin az olmasına gətirib çıxarır.

Təhlildən göründüyü kimi, hidrogen əsaslı enerji mənbələrinin müsbət xüsusiyyətləri ilə yanaşı ondan istifadənin məhdudlaşdıran amillər də vardır.

PUA-larda HYE-dən istifadə zamanı aşağıdakı problemlərin həll olunması vacib məsələlərdəndir:

- hidrogenin effektiv və təhlükəsiz saxlanması problemləri;
- sadə konstruksiyalı və yüksək FİƏ-lının təmin edilməsi;
- yüksək hühdürlüklərdə işləmək imkanına malik HYE-nin işlənməsi;
- böyük xüsusi enerji tutumuna malik HYE-lərin hazırlanması;
- hibrid enerji mənbələrinin optimal idarəetmə sisteminin qurulması.

Nəticə

Hidrogen əsaslı yanacaq elementləri və DYM-lərindən ehtiyatsız istifadə zamanı PUA-larda yerləşdirilən qaz çəninin partlama ehtimalı artır. Belə yanacaqlarda ayrılan temperatur yüksəlir və uyğun olaraq da alınan enerjinin maya dəyəri çoxalır. Bu səbəbdən çəkisi 15 kq-a qədər olan PUA-larda enerji mənbəyi qismində hidrogen əsaslı HYE-lərdən istifadə etmək səmərəli olmur. Amma, hidrogenin oksidləşməsi zamanı yüksək FİƏ-nin təmin olması PUA-larda elektrik enerjisi mənbəyi qismində HYE-dən istifadə edilməsinə imkan yaradır.

Bundan başqa, qida mənbəyi qismində DYM-lərdən istifadə etdikdə PUA-ların çəkisi artır. Bu baxımdan yuxarıda deyilənləri nəzərə alaraq qərarlaşdırmaq olar ki, çəkisi 15 kq-dan böyük olan pilotsuz uçuş aparatlarında DYM və HYE-lərindən hibrid enerji mənbəyi qismində istifadə etməklə uzaq məsafələrə uçuşları təmin edə bilən effektiv qida mənbələrini yaratmaq mümkündür.

ƏDƏBİYYAT

1. R.N. Nəbiyev, Q.İ. Qarayev, A.A. Abdullayev. Pilotsuz uçuş aparatları üçün qida mənbələrinin seçilməsi. Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. Cild 25, №3, 2018. səh 1-11.
2. Топливные элементы (топливные ячейки). http://www.energy-units.ru/en_units.php
3. Топливные (водородные) элементы/ячейки. http://www.intech-gmbh.ru/energy_units.php
4. Hydrogen Power/ Borderlands. Vol. 52.No. 04/ https://borderlandsciences.org/journal/vol/52/n04/Armstrong_on_Hydrogen_Power.html
5. Мировые запасы природного газа https://ru.wikipedia.org/wiki/Мировые_запасы_природного_газа.
6. Роль водорода в переходе к новой энергетической модели. www.inenergy.ru
7. Удивительные функции водородных топливных элементов могут стать хорошим выбором для будущего альтернативной энергетики. https://www.htbook.ru/publ/no-vosti_tekhnologij/vodorodnoye_toplivnoye_ehlementy_i_ego_udivitelnoye_funkcii/4-1-0-7.
8. А.Ю. Раменский, С.А. Григорьев. Технологии топливных элементов: Вопросы технического регулирования. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» Научно-технический центр «ТАТА», 2000-2016. № 19-20 (207-208) 2016. Ст.107-129.
9. Ю.А. Добровольский, Е.В. Волков, А.В. Писарева, Ю.А. Федотов, Д.Ю. Лихачев, А.Л. Русанов. Протонообменные мембраны для водородно-воздушных топливных элементов. www.inenergy.ru.
10. Топливный элемент. https://ru.wikipedia.org/wiki/Топливный_элемент.
11. Сравнительный анализ различных видов топливных элементов. www.inenergy.ru.
12. Сравнение аккумуляторных систем и установок на основе топливных элементов. www.inenergy.ru
13. Б.П. Тарасов, М.В. Лотоцкий. Водородная энергетика: прошлое, настоящее, виды на будущее. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2006, м. L, № 6. Ст. 5-18.
14. Современные аккумуляторы. <http://compress.ru/Article.aspx?id=14438>
15. Типы аккумуляторных батарей. <https://best-energy.com.ua/support/battery/414-vidy-i-tipy-akkumulyatornykh-batarej-v-pod-robnostyakh>
16. БПЛА «Инспектор-1»-Российский беспилотник с перспективным водородно-воздушным топливным элементом. <https://nampuom-rycu.livejournal.com/148506.html>

17. Создан беспилотник с водородным двигателем. <https://xage.ru/sozdan-bespilotnik-s-vodorodnyim-dvigatелем/>
18. Водородный двигатель автомобиля: лекарство от нефтяной зависимости <http://carextra.ru/obzory/vodorodnyiy-dvigatel.html>
19. Водородно-электрический двигатель для беспилотников http://ruvsa.com/news/-development/vodorodno_elektricheskii_dvigatel_dlya_bespilotnikov/
20. Протонные водородные батареи могут заменить литий-ионные аккумуляторы. <https://3dnews.ru/802440>
21. Я.А. Кумченкон. Нестандартная высокоэффективная водородная энергетика в космосе на примере твердотопливного фтористоводородного ракетного двигателя и ее выгодное сравнение с солнечной энергодвигательной установкой СЭДУ в комплексе с носителем типа союз-2. Авиационно-Космическая Техника и Технология, 2005, № 9 (25). Ст. 168-172.
22. Квадрокоптеры-дроны. <http://htech-world.ru/elektronika/robototexnika/vodorodnyj-kvadrokor-ter-smozhet-letat-dolgo.html>
23. Квадрокоптер на водороде может летать несколько часов без подзарядки, <http://savepearlharbor.com/?p=257692>
24. Водородный транспорт. https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородный_транспорт.
25. Федеральное агентство по образованию Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования. Уральский государственный университет им. А.М. Горького. Материалы для водородной энергетике. Курс лекций. Екатеринбург, 2008. 132 ст.
26. Э.Э. Шпильрайн, С.П. Малышенко, Г.Г. Кулешов. Введение в водородную энергетике. Москва, Энергоатомиздат, 1984, 262 ст.
27. Из истории водородной энергетике. <http://www.eprussia.ru/epr/107/8367.htm>
28. Л.Ф. Козин, С.В. Волков. Водородная энергетика и экология. Киев. Наукова думка. 2002, 337 ст.
29. Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа. Водород в энергетике. Екатеринбург. Издательство. Уральского университета, 2014. 232 ст.
30. 2007 Niche Transport Survey (1) Dr. Kerry-Ann Adamson, Fuel Cell Today-July 2007 www.fuelcelltoday.com
31. Boeing представил мощнейший водородный беспилотник. <http://www.membrana.ru/particle/4254>
32. Г.А. Месяц, М.Д. Прохоров. Водородная энергетика и топливные элементы. Вестник Российской Академии Наук, том 74, № 7, с. 579-597 (2004).
33. Установлен рекорд длительности полета дрона. <https://www.rc-hobby.com.ua/infocenter/obzory-istati/ustanov-len-rekord-dlitelnosti-poleta-drona>
34. Аккумуляторы - основные типы и характеристики. http://xn--80adxqwa5e.xn--p1ai/storage_batteries
35. Военные технологии аккумуляирования энергии. <http://universe-tss.su/main/flot/12850-voennoye-tehnologii-akkumulirovaniya-energii.html>
36. Direct methanol fuel cell. http://www.daviddarling.info/encyclopedia/D/AE_direct_methanol_fuel_cell.html
37. А.М. Крайцберг. Залей метанол в телефон. Химия и жизнь XXI век http://www.peterlife.ru/info/technology/fuel_item_3.html#_WjY_Y1WwbIU
38. Прямой метанольный топливный элемент ru.wikipedia.org/wiki/Прямой_метанольный_топливный_элемент.
39. <http://for-ua.info/viewtopic.php?f=2&t=51595&start=80>
40. Альтернативная энергетика для Арктики. <https://academcity.org/node/3234>.
41. Беспилотные летательные аппараты на топливных элементах <https://zetsila.ru/беспилотные-летательные-аппараты/>.
42. Pierwsze komercyjne drony na wodór firmy MMC. <http://www.swiatdronow.pl/pierwsze-komercyjne-drony-wodor-firmy-mmc>.

REFERENCES

1. R.N. Nabiyev, Q.İ. Qarayev, A.A. Abdullayev. Pilotsuz ucush aparatları ucun qida mənbələrinin seçilməsi. Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. Cild 25, №3, 2018. səh 1-11.
2. Toplivnie elementi (toplivnie yaceyki). http://www.energy-units.ru/en_units.php
3. Toplivnie (vodorodnie) elementi/yaceyki. http://www.intech-gmbh.ru/energy_units.php
4. Hidrogen Power/ Borderlands.Vol. 52.No. 04/ https://borderlandsciences.org/journal/vol/52/n04/Armstrong_on_Hydrogen_Power.html
5. Mirovie zapasi prirodnoqo qaza. https://ru.wikipedia.org/wiki/Miravie_zapasi_prirodnoqo_qaza
6. Rol vodoroda v perexode k novoy energeticeskoy modeli. www.inenergy.ru
7. Udivitelnie funkcii vodorodnix toplivnix elementov moqut stat xoroshim viborom dlya budusheqo alternativnoy energetiki. https://www.htbook.ru/publ/no-vosti_tekhnologij/vodorodnoye_toplivnyoe_ehlementy_i_ego_udivitelnoye_funkcii/4-1-0-7
8. A.YU. Ramenskiy, S.A. Qriqorev. Texnoloqi toplivnix elementov: Voprosi texniceskoqo regulirovaniya. Mejdunarodnoy naucniy jurnal «Alternativnaya energetika I ekoloqiya» Naucno-texniceskiy centr «TATA», 2000-2016. № 19-20 (207-208) 2016. st.107-129.
9. YU.A. Dobrovolskiy, E.V. Volkov, A.V. Pisareva, YU.A. Fedotov, D.YU. Lixacev, Rusanov A.L. Protonoobmennie membrane dlya vodorod-vozdushnix toplivnix elementov. www.inenergy.ru
10. Toplivniy element. https://ru.wikipedia.org/wiki/Топливный_элемент
11. Sravnitelniy analiz razlicnix vidov toplivnix elementov. www.inenergy.ru
12. Sravnenie akkumulyatornix sistem i ustanovok na osnove toplivnix elementov. www.inenergy.ru.
13. B.P. Tarasov, M.V. Lotockiy. Vodorodnaya energetika: proshloe, nastoyashee, vidi na budushee. Pos. xim. j. (J. Ros. xim. ob-va im. D.I. Mendeleeva), 2006, m. L, № 6. st. 5-18.
14. Sovremennie akkumulyatori. <http://compress.ru/Article.aspx?id=14438>
15. Tipi akkumulyatornix batarey. <https://best-energy.com.ua/support/battery/414-vidy-i-tipy-akkumulyatornykh-batarej-v-pod-robnostyakh>.
16. BPLA «Inspektor-1»-Rossiyskoy bespilotnik s perspektivnim vodorodno-vozdushnim elementom. <https://nampuom-pycu.livejournal.com/148506.html>
17. Sozdan bespilotnik s vodorodnim dviqatelem. <https://xage.ru/sozdan-bespilotnik-s-vodorodnyim-dvigatелеm>.
18. Vodorodniy dviqatel avtomobil: lekarstvo ot neftyanoy zavisimosti <http://carextra.ru/obzory/vodorodnyiy-dvigatel.html>
19. Vodorodno-elektriceskiy dviqatel dlya bespilotnikov http://ruvsa.com/news/-development/vodorodno_elektricheskii_dvigatel_dlya_bespilotnikov.
20. Protonnie vodorodnie batarei moqut zamenit litiy-ionnie akkumulyatori. <https://3dnews.ru/802440>.
21. YA.A. Kumcenkon. Nestandartnaya visokoeffektivnaya vodorodnaya energetika v kosmose na primere tverdotoplivnoqo ftoistorvodorodnoqo raketnoqo dviqatelya i ee vqidnoe sravnenie s solnecnoy energodiviqatelnoy ustanovkoy SEDU v komplekse s hositelem tipa soyuz-2. Aviacionno-Kosmiceskaya Texnika i Texnoloqiya, 2005, № 9 (25). St. 168-172.
22. Kvadrokopteri-droni. <http://htech-world.ru/elektronika/robototexnika/vodorodnyj-kvadrokoptер-smozhet-letat-dolgo.html>
23. Kvadrokopter na vodorode moqet letat neskolko casov bez podzaryadki. <http://savepearlharbor.com/?p=257692>
24. Vodorodniy transport. https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородный_транспорт
25. Federalnoe aqentstvo po obrozovaniyu Qosudarstvennoe obrozovatelnoe ucrejdenie visshiqo professionalnoqo obrozovaniya «Uralskoy Qosudarstvenniy Universitet im A.M. Qorkoqo». Materiali dlya vodorodnoy energetiki. Kurs lekciy. Yekatirinburq, 2008. 132 st.

26. E.E.Shpilrayn, S.P.Malishenko, Q.Q. Kuleshov. Vvedenie v vodorodnuyu enerqetiku. Moskva, Enerqotomizdat, 1984, 262 st.
27. Iz istorii vodorodnoy enerqetiki. <http://www.eprussia.ru/epr/107/8367.htm>
28. L.F. Kozin, S.V. Volkov. Vodorodnaya Enerqetika i ekologiya. Kiev. Naukova dumka. 2002, 37 st.
29. R.V. Radcenko, A.S. Mokrushin, V.V. Tyulpa. Vodorod v enerqetike. Yekatirinburq. Izdatelstvo. Uralskoqo universiteta, 2014. 232 st.
30. 2007 Niche Transport Survey (1) Dr. Kerry-Ann Adamson, Fuel Cell Today-July 2007 www.fuelcelltoday.com
31. Boeing predstavil moshneyshiy vodorodniy bespilotnik. <http://www.membrana.ru/particle/4254>
32. Q.A. Mesyac, M.D. Proxorov. Vodorodnaya enerqetika i toplivnie elementi. Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk, tom 74, № 7, s. 579-597 (2004).
33. Ustanovlen record dlitelnosti poleta drona. <https://www.rc-hobby.com.ua/infocenter/obzory-istati/ustanov-len-rekord-dlitelnosti-poleta-drona>.
34. Akkumulyatori-osnovnie tipi i xarakteristiki. http://xn--80adxqwa5e.xn--p1ai/storage_batteries.
35. Voennie texnoloqii akkumulirovaniya enerqii. <http://universe-tss.su/main/flot/12850-voenno-tehnologii-akkumulirovaniya-energii.html>
36. Direct methanol fuel cell. http://www.daviddarling.info/encyclopedia/D/AE_direct_methanol_fuel_cell.html
37. A.M. Kraycberq. Zaley methanol v telefon. Ximiya i jizn XXI vek. http://www.peterlife.ru/info/technology/fuel_item_3.html#. WjY_Y1WwbIU
38. Priyamoy metanolnoy toplivniy element. ru.wikipedia.org/wiki/Priyamoy_metanolniy_toplivniy_element.
39. <http://for-ua.info/viewtopic.php?f=2&t=51595&start=80>
40. Alternativnaya enerqetika dlya. Arktiki. <https://academcity.org/node/3234>
41. Espilotnie letatelnie apparati na toplivnix elementax. <https://zetsila.ru/espilotnie-letatelnie-apparai/>
42. Pierwsze komercyjne drony na wodór firmy MMC. <http://www.swiatdronow.pl/pierwsze-komercyjne-drony-wodor-firmy-mmc>.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

Р.Н. Набиев, А.А. Абдуллаев, Г.И. Гараев

В статье широко изучены эксплуатационные свойства топливного элемента на основе водорода, методы производства и хранения водородного топлива, области его применения, оценена энергоёмкость, а также проведен сравнительный анализ параметров эквивалентного состава по удельным энергетическим характеристикам. Выявлены причины меньшего применения топливных элементов и двигателей внутреннего сгорания, работающих на основе водорода, которые возможно применить в качестве основного источника энергии в беспилотных летательных аппаратах. Показано, что весом более 15 кг в беспилотных летательных аппаратах в качестве источника энергии могут использоваться гибридные источники энергии, состоящие из двигателей внутреннего сгорания и топливных элементов. Учитывая энергопотребление и другие факторы, необходимые для производства водорода и организации работы топливного элемента, работающего с водородом, было показано, что эффективность системы составляет около 50%.

Ключевые слова: топливный элемент, водород, беспилотный летательный аппарат, электролиз, протонообменная мембрана, двигатель внутреннего сгорания, аккумулятор, батарея.

ANALYSIS OF THE FEATURES OF HYDROGEN AS AN ENERGY SOURCE**R.N. Nəbiyev, A.A. Abdullayev, Q.İ. Qarayev**

In article widely studied the operational properties of a hydrogen-based fuel cell, methods for the production and storage of hydrogen fuel, its application areas, estimated energy intensity, and also performed a comparative analysis of the parameters of the equivalent composition, by specific energy characteristics. The reasons for the lesser use of fuel cells and internal combustion engines based on hydrogen, which can be used as the main energy source in unmanned aerial vehicles, are revealed. It is shown that weighing more than 15 kg of unmanned aerial vehicles, hybrid energy sources consisting of internal combustion engines and fuel cell can be used as an energy source. Considering the energy consumption and other factors necessary for the production of hydrogen and the organization of the work of a fuel cell working with hydrogen, it was shown that the system efficiency is about 50%.

Keywords: *fuel cell, hydrogen, unmanned aerial vehicle, electrolysis, proton exchange membrane, motor internal thrust, accumulator, batteries.*

Məqalədə aparıla işlər Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkətinin 01 noyabr 2017-ci il 09_LR-MAA sayılı qrand çərçivəsində maliyələşdirilmişdir.

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı *Nəbiyev Rasim Nəsim oğlu*

İş yeri *Milli Aviasiya Akademiyası*

Vəzifəsi *t.e.d., professor, şöbə rəisi.*

Maraq sahəsi *aviasiya texnikası; aeronaviqasiya, cihazqayırma, elektronika.*

E-mail *nabiyevrasim@gmail.com*

Əlaqə telefonu *[\(+994\) 55 754 76 46](tel:+994557547646)*

Soyadı, adı, atasının adı *Abdullayev Anar Arif oğlu*

İş yeri *Milli Aviasiya Akademiyasının doktorantı*

Vəzifəsi *f-r. f.d., doktorant*

Maraq sahəsi *aviasiya texnikası; elektronika, cihazqayırma.*

E-mail *anarcafarov09@mail.ru*

Əlaqə telefonu *[\(+994\) 77 756 48 75](tel:+994777564875)*

Soyadı, adı, atasının adı *Qarayev Qadir İsxan oğlu*

İş yeri *Milli Aviasiya Akademiyası, Elmi-tədqiqat Aviasiya İnstitutu, Aviasiya Elektronikasısı şöbəsi*

Vəzifəsi *t.f.d., böyük elmi işçi.*

Maraq sahəsi *elektronika, cihazqayırma.*

E-mail *qedir71@mail.ru*

Əlaqə telefonu *[\(+994\) 70 321 81 15](tel:+994703218115)*

Rəyçi: *t.f.d., dos. F.Ə. Mahmudlu*