

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/FYZZ1289>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/SSTN6854>

***Г. К. Сыдыкова¹, Ж. Т. Жүнісов², И. Б. Құлтан³,
И. А. Утемуратова⁴, З. Р. Құдайберген⁵**

^{1,2,3,4,5}Қорқыт Ата атындағы Қызылорда Университеті,
Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6841-028X>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3934-5653>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-0425>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7170-3203>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6234-0520>

*email: sydykova77@mail.ru

СУ ЭЛЕКТРОЛИЗИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ЖАСЫЛ СУТЕГІНІ АЛУ ӘДІСТЕРІ

Энергия көзі ретінде сутегі жаңартылатын электр қуатын су электролизі жүйелерімен біріктіру арқылы климаттың өзгеруін азайтудың оңтайлы жолы ретінде анықталды. Протон алмасу мембранасы (ПАМ) технологиясы өңдеуге және техникалық қызмет көрсетуге байланысты қиындықтарды азайта отырып, жоғары таза сутегіні тиімді өндіру қабілетіне байланысты айтарлықтай назар аудартып отыр. Сутегі өндірудің тағы бір технологиясы болып табылатын сілтілі су электролизі сутегі өндірісінде кеңінен қолданылады. Анион алмасу мембранасы (ААМ) технологиясы салыстырмалы түрде төмен шығындармен сутегіні өндіре алады, өйткені протон алмасу мембранасы және сілтілі су электролизі жүйелерінде қолданылатын асыл металл катализаторлары әдеттегі арзан электр катализаторлармен ауыстырылады. Қатты оксидті электролиздік элемент технологиясы салыстырмалы түрде жоғары түрлендіру тиімділігімен, төмен бағамен және төмен шығарындыларымен сутегіні өндіруге арналған технология болып табылады. Дегенмен, қатты оксидті электролиз әдісінің жұмыс температурасы жоғары, бұл ұзақ іске қосу уақытын қажет етеді. Бұл мақалада электролиз жүйесінде суды пайдалануға қабілетті технологиялардың ағымдағы жағдайын қарастырады. Жаңартылатын электр қуатын, су электролизін және отын

элементтерін біріктіру арқылы қуат пен таза су қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін интеграцияланған жүйелік тәсіл ұсынылды.

Кілтті сөздер: сутегі, парниктік газдар, су электролизі, электрлік катализатор, анион алмасу мембранасы, протон алмасу мембранасы.

Кіріспе

Соңғы жылдары халық санының үздіксіз өсуі мен энергияны көп қажет ететін өмір салтының нәтижесінде жаһандық энергияға сұраныстың артуына байланысты қазба отындарын тұрақсыз пайдалану және жаһандық жылыну туралы алаңдаушылық күшейді. Энергия ресурстары адамның барлық қызметін қамтамасыз ету үшін қажет, сондықтан энергияның жаһандық көміртегі бейтараптығына көшуін жеделдету үшін жаңартылатын энергия көздерін дамыту маңызды болып саналады. Сонымен қатар, сутегінің жоғары гравиметриялық энергия тығыздығы (140 МДж/кг) және таза энергия тасымалдаушысы ретінде пайдалы физикалық және химиялық қасиеттері бар [1, 391-б.].

Бірнеше ондаған жылдар бойы сутегі алудың әртүрлі технологиялары зерттелді, мысалы, бу метанының риформингі, биомасса, су электролизі және т.б. сутегіні өндірудің әртүрлі технологияларының жалпы өндірістік қуаттағы үлесі 1- кестеде келтірілген. Қазіргі уақытта көмірсутектерден сутегі өндіру әлемдік нарықтың шамамен 96 % құрайды [2, 4017-б.].

Судың сутегі мен оттегіге ыдырауы бірқатар химиялық реакциялар арқылы жүреді. Судың конверсиясы 800–2000°C жоғары температура диапазонында жүреді. Күн және атом электр станциялары суды термохимиялық бөлу процесіне қажетті жылуды өндіре алады [3;4].

Кесте 1– Әлемдік сутегі өндіру көздері

энергия көзі	миллиард тек.метр/ жылына	үлес (%)
Табиғи газ	240	48
Мұнай	150	30
Көмір	90	18
Электролиз	20	4
Барлығы	500	100

Қолданыстағы су электролизерінің технологияларын салыстыру.

Сутегі ең алдымен қазба отынның бу реформациясы арқылы түзіледі, оның технологиялық жұмысы көмірқышқыл газының шығарындыларымен

қиындайды. Су электролизі электр энергиясының көзі ретінде жаңартылатын энергияны пайдалану кезінде сутегіні шығарудың ең тиімді технологиясы болып табылады.

Жасыл сутегі өндірісінің шығындарына күн, толқын, геотермалдық және жел энергиясынан алынатын жаңартылатын электр энергиясы әсер етеді. Сонымен қатар, күн фототүрлендіргіші (PV) жасыл электр энергиясының ең арзан көзіне айналды.

Сонымен қатар, электролизді қамтитын сутегі өндірісі әртүрлі жаңартылатын электр көздерін пайдалану арқылы икемді жұмыс істей алады. Ең маңызды фактор – жаңартылатын электр көзінің тұрақтылығы. Судың электролизі жоғары таза сутегіні өндіре алады және оны жаңартылатын энергиямен біріктіруге болады. Энергетикалық жүйе моделінің сұлбасы 1-суретте көрсетілген.



Сурет –1 Энергетикалық жүйе моделінің сұлбасы.

Материалдар мен әдістері

Су электролизінің термодинамикалық талдауы

Жалпы алғанда, тазартылған немесе ионсыздандырылған суды протон алмасу мембранасы электролизерлері үшін шикізат ретінде пайдалануға болады. Тұщы суды өзендерден, жер асты суларынан және көлдерден алуға болады, бірақ бірнеше фильтрация қадамдарын қажет етеді. Сонымен қатар, судың түрлері судағы кермектік пен тұздарға байланысты өзгеруі мүмкін. Соңғы 15 жыл ішінде протон алмасу мембранасы электролизер жүйелерінің жұмысына көптеген эксперименттік зерттеулер жүргізілді [5, 340-6.].

Су электролизінің түрлері

Су электролизінің көптеген технологиялары төменгі жұмыс температурасында судан сутегі мен оттегіні шығарады. Сутегіні алу үшін су электролизінің негізгі түрлеріне сілтілі электролиз, протон алмасуының

мембраналық электролизі, қатты оксидті электролиз және анион алмасу мембранасы электролизі жатады. Бұл электролизер түрлері келесі бөлімдерде талқыланады.

Сілтілік су электролизері

Сілтілі су электролизерлері, әдетте, кең ауқымды қолданбаларда сутегіні алу үшін қолданылады. Никель (Ni) және кобальт оксидтері сәйкесінше анодты және катодты материалдарды қалыптастыру үшін қолданылады. 3- суретте сілтілі су электролизерінің элементінің принциптік сұлбасы көрсетілген. Анод пен катодтың әрекеті сутегі мен оттегіні түзеді. Бөлгіш кеуекті диафрагма екі электрод арасына орнатылып, гидроксил иондары (OH⁻) түзіліп, асбест және полимерлер сияқты керамикалық оксидті материалдардан жасалған кеуекті диафрагма материалдары арқылы өтеді. Сутегі мен гидроксид катодта 65–100°C орташа жұмыс температурасында өндіріледі, содан кейін гидроксид реакциясы арқылы анодта оттегі пайда болады. Сілтілі су электролизерінің конверсиялық тиімділігі 60–80%, ал ұяшықтардың жұмыс кернеуі 1,8–2,4 В құрайды [6,55-6.]. Сілтілік электролизердің артықшылығы төмен температурада жұмыс істей алады.

Протон алмасуының мембраналық электролизері

Протон алмасу электролизерлері 70–90 °C төмен температура диапазонында жоғары таза сутегіні шығара алады. Иридий оксиді (IrO₂) және платина (Pt) сәйкесінше анод және катодты катализатор материалы ретінде пайдаланылады. Нафийон мембранасы әдетте сутегі иондарын (H⁺) өткізу үшін қолданылады, ол сілтілі электролизердегі сұйық электролитке қарағанда қатты электролит ретінде қолданылады [7, 5046-6.]. Протон алмасу мембранасының электролизер ұяшығының сұлбалық диаграммасы және реакция механизмі 4-суретте көрсетілген. Сутегі иондары сутегі молекулаларын түзу үшін қатты мембрана арқылы өтеді. Электролиттің қышқылдық қасиетіне және электродтың металдық беттеріне байланысты электролизердің реакция кинетикасы сілтілі жасушамен салыстырғанда жылдам индукцияланады. Протон алмасу мембранасы электролизерінің маңызды мәселесі олардың ауқымды қолданбалары үшін масштабтаудағы қиындықтар болып табылады.

Қатты оксидті электролизер

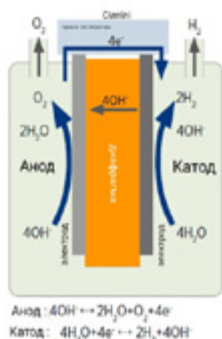
Қатты оксидті электролизерлерде ұяшық 900–1000 °C диапазонында сілтілі және протон алмасу мембранасы электролизерлеріне қарағанда айтарлықтай жоғары температурада жұмыс істейді. Ұяшық электродтары никельден жасалған және сутегіні бөлу процесі үшін электр энергиясын аз қажет ететіндігі 5- суретте көрсетілген. Жылыту мақсатында электр энергиясына деген тәуелділікті азайту үшін әртүрлі жылу беру көздерін, мысалы, қалдық жылу мен ядролық энергияны пайдалануға

болады [8, 370-б.]. Сонымен қатар, жұмыс температурасының жоғарылауымен ұяшықтардың тиімділігі артады. Өкінішке орай, жоғары температура электролиттердің деградация жылдамдығын арттырады және электролизердің қызмет ету мерзімін қысқартады.

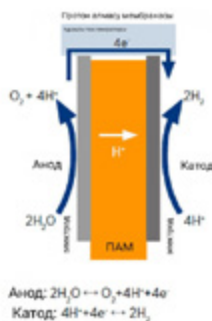
Анион алмасу мембранасы

Анион алмасу мембранасы – сутегі электролизінің ең соңғы технологиясы, негізінен соңғы бірнеше жыл ішінде сутегі өндіруге арналған электр химиялық қосымшаларға негізделген. Анион алмасу мембранасы электролизері сілтілі және протон алмасу мембранасы су электролизерлерінің артықшылықтарын біріктіреді. Анион алмасу мембранасы жасушасының реакция механизмі 6- суретте көрсетілген. Анион алмасу мембранасы жасушалары үшін катализатор ретінде түсті металдың материалдарын қолдануға болады, бұл сутегі өндірісінің шығындарын төмендетуге әкеледі.

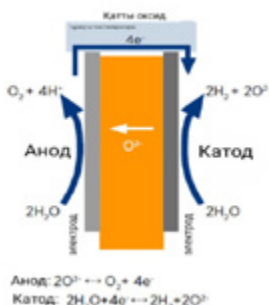
Қатты оксидті және анион алмасу мембранасы электролизерлері әлі де ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстар сатысында сілтілі және протон алмасу мембранасы технологияларымен салыстырғанда азырақ жетілгені анық. Анион алмасу мембранасы артықшылықтарына жалпы құнының төмендеуі және H₂ өндірісінің жоғары тұрақтылығы жатады [9, 1379-б.].



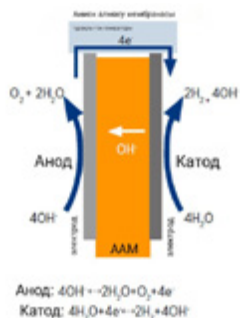
Сурет 2 – Сілтілік су электролизерінің технологиясы



Сурет 3 – Протон алмасу мембранасы су электролизерінің сұлбасы мен реакция механизмі



Сурет 4 – Қатты оксидті электролизердің реакция механизмі



Сурет 5 – ААМ реакциясының механизмі

Нәтижелер және талқылау

Су электролизіне арналған электрлік катализаторлар

Протон алмасу мембранасының су электролизіндегі сутегінің және оттегінің бөліну реакциясы

Протон алмасу мембранасы және сілтілі су электролизерлерінде қолданылатын ең көп тараған сутегі өндіру катализаторларын қарастырайық. Сутегі электролиз ұяшығының катодты жағында пайда болады. Қазіргі уақытта платина (Pt) негізіндегі материалдар протон алмасу мембранасы катодтары үшін ең қолайлы болып табылады, өйткені олар қышқыл электролиттерде айтарлықтай сутегі бөлінуін белсендіреді. Сонымен қатар, платина (Pt) негізіндегі электр катализаторлар протон алмасу мембранасы электролизіне арналған заманауи электр химиялық катализаторлар болып саналады. Дегенмен, платина (Pt) қол жетімсіздігі және жоғары құны оны ауқымды түрде қолдануды шектейді, сондықтан протон алмасу мембранасы электролизерлерін қолдану мүмкіндігін арттыру үшін тұрақтылығы жоғары белсенді катализаторларды жасау қажет. Қазіргі уақытта платина (Pt) катализаторының жүктемесін азайтуға бағытталған көміртекті наноталшықтардағы көміртекті қабықтың жоғары белсенділігі мен беріктігі зерттеліп, платина (Pt) және CNF атомдары арасында жоғары өзара әрекеттесу мен электр каталитикалық белсенділікті көрсетті. Электр каталитикалық бетінде электронды құрылым катодта сутегі адсорбциясын арттыратын катионды қоспалау арқылы жақсартылды [10, 21457-6.].

Су электролизерлерінен сутегіні алу жолдары

Таза емес су электролизерлерін зерттеудің көпшілігі анодтық реакцияларға бағытталған, дегенмен электролизер екі электродқа да - катодқа да, анодқа да қосылуы керек. Анион алмасу мембранасы және

протон алмасу мембранасы электролиз жасушаларында катион элементінің концентрациясы мен әсеріне байланысты өзіндік қиындықтар бар. Катализатордың жоғары жүктемесі және электрод құрылымы сияқты қымбат емес материалдарды пайдалану арқылы ұяшық өнімділігін үздіксіз жақсарту қажет, ал мембраналық электродтар жинағының өткізгіштігін сақтау электролизер өнімділігін арттырады. Сонымен қатар, катализатордың беріктігі мен морфологиясы, катализатор фазасы және құрамы сияқты сипаттамалар арасындағы байланысты зерттеуді қажет етеді. Қоспалардың катализатор қабатына және мембраналық электродтар жинағына түсуі мембрананың өткізгіштігі мен жасушаның беріктігін төмендетеді. Барлық электролиз жүйелеріне су қоспалары, соның ішінде ластанған су немесе теңіз суы әсер етеді. Сондықтан, мембрана элементінің деградациясын бағалау үшін қосымша зерттеулер қажет. Мембрананың тозуы негізгі төзімділік параметрі болып саналады, бұл мембрананы және барлық электролизер бөліктерін тезірек және жиі ауыстыруға әкелуі мүмкін. Теңіз суымен электролизердің энергия тиімділігі таза судың өнімділігінен төмен. Таза судың үстінде мембрананың деградациясы артады, бұл сутегі өндірісінің қымбаттауына әкеледі. Электролизер арқылы жаңартылатын сутегіні өндіру су мен энергияны қажет етеді. Электролиз жүйесінде бір кг H_2 -ге шамамен 9 кг суды пайдаланатын су аз болады. Электрмен жабдықтаудың құнын электр қондырғыларымен және электролизер элементтерін біріктіру арқылы азайтуға болады. Электр энергетикалық және электролизерлік жүйелерді ұзақ мерзімді біріктіру жасыл сутегі өндірісінің шығындарын 80 %-ға төмендетуге әкелуі мүмкін.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл мақала жоспарлы – нысаналы қаржыландыру жобасы (BR21882415) негізінде әзірленді.

Қорытынды

Бұл жұмыс қол жетімді су электролизінің технологияларын жан-жақты шолуды қамтамасыз етті. Протон, сілтілі және анион су электролизерінің катализаторлық материалдары зерттелді. Протон алмасу мембранасы су электролизі сутегінің және оттегінің бөлу реакциясында электрлі катализаторларында жоғары ұяшық тиімділігін алу үшін әлі де әртүрлі кедергілер бар. Протон алмасу мембранасы электролизеріне арналған ең танымал сутегінің бөлу электрлік катализатор материалдары платина (Pt) негізіндегі катализаторлар болып табылады, бірақ практикалық протон алмасу мембранасы электролизерін қолдану мақсаттарына жету үшін белсенділік пен жоғары өнімділікке көбірек күш салуды қажет етеді. Сонымен қатар, оттегінің бөлу реакциясы электрлік катализаторлары негізінен төмен белсенділікпен және жоғары тұрақтылықпен IrO_2 пайдаланылады. Сондықтан, оттегінің

бөлу реакциясының электрлік катализаторлары протон алмасу мембранасы электролизерінің белсенділігін арттыру үшін көбірек назар аударуды қажет етеді. Сондай-ақ, протон алмасу мембранасы электролизі жоғары ток тығыздығын, ұзақ жұмыс уақытын және төмен кернеулерде жоғары энергия тиімділігін қажет етеді. Белсендірек катализаторларды таңдау аса маңызды емес шикізатты пайдалану және жұқа мембраналарды пайдалану сияқты сілтілі, протон алмасу мембранасы және анион алмасу мембранасы электролизердің тиімділігін арттыру үшін қиындықтарды қарастыру қажет болады. Сілтілі су электролизеріне кіріс қуатының ауытқуы электролизердің өнімділігін төмендетеді. Катализатордың деградациясы іске қосу және өшіру операцияларында кері ток тудырған сілтінің негізгі мәселесі болып табылады.

Сонымен қатар, мембраналық электродтар жинағының физикалық дамуы электр химиялық сипаттамалар мен термиялық тұрақтылықты арттырады. Түсті металл катализаторын пайдалану жүйенің жұмыс сапасын төмендетуі мүмкін, бірақ анион алмасу мембранасы өнімділігі әлі де төмен және оны кең ауқымды сутегі өндірісінде қолдану үшін арттыру қажет. Дегенмен, протон алмасу мембранасы электролизерінің құны сілтіліге қарағанда әлі де жоғары және экономикалық шығындарды төмендету мәселелері бар. Анион алмасу мембранасы технологиясы бойынша сутегі өндірісі арзанырақ материалды пайдалана алады. Анион алмасу мембранасы технологиясы протон алмасу мембранасы технологиясымен салыстырғанда шығындарды азайту әлеуетіне ие. протон алмасу мембранасы электролизер қабатының өнімділігін мембрана қалыңдығын азайту, катализатормен қапталған электродтарды қайта жобалау және арзан катализатор материалдарын пайдалану арқылы да арттыруға болады. Ақырында, анион алмасу мембранасы болып табылады және иондық өткізгіштік анион алмасу мембранасы өнімділігінде маңызды рөл атқарады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Jun Chi, Yu Hongmei** Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production. Chinese Journal of Catalysis, – 2018. – P. 390–394. – [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(17\) 62949-8](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(17) 62949-8)

2 **Balat, M.,** Potential important of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems. International Journal of Hydrogen Energy, – 2008. – P. 4013–4029. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.05.047>

3 **Xiao, L., Wu, S. Y., Li, Y. R.** Advances in solar hydrogen production via two-step watersplitting thermochemical cycles based on metal redox reactions. Renewable Energy, - 2012. – P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.11.023>

4 **Steinfeld, A.** Solar thermochemical production of hydrogen – a review. Solar Energy, – 2005. – P. 603–615. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.12.012>

5 **Bessarabov, D., Wang, H., Li, H., Zhao, N.** PEM Electrolysis for Hydrogen Production: Principles and Applications, CRC press, 2016. https://books.google.kz/books?hl=ru&lr=&id=BNuYCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=aGFMZGDb6h&sig=lQzh0goTpC1y7olcaLSicSYBmxw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

6 IRENA, Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolyzers to Meet the 1.50C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020.

7 **Millet, P., Ngameni, R., Grigoriev, S.A., Mbemba, N., Brisset, F., Ranjbari, A., Etiévant, C.** PEM water electrolyzers: from electrocatalysis to stack development. International Journal of Hydrogen Energy, – 2010. – P. 5043–5052. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.09.015>

8 Hino, R., Haga, K., Aita, H., Sekita, K. R&D on hydrogen production by high- temperature electrolysis of steam, Nuclear Engineering and Design, – 2004. – P. 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2004.08.029>

9 **Pavel, C. C., Cecconi, F., Emiliani, C., Santiccioli, S., Scaffidi, A., Catanorchi, S., Commotti, M.** Highly efficient platinum group metal free based membrane-electrode assembly for anion exchange membrane water electrolysis. Angewandte Chemie International Edition, – 2014. – P. 1378–1381. <https://doi.org/10.1002/anie.201308099>

10 **Yoo, S., Kim, Y., Yoon, Y., Karuppannan, M., Kwon, O.J., Lim, T.** Encapsulation of Pt nanocatalyst with N-containing carbon layer for improving catalytic activity and stability in the hydrogen evolution reaction. International Journal of Hydrogen Energy, – 2021. – P. 21454–21461. – <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.225>

17.10.24 ж. баспаға түсті.

17.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Г. К. Сыдыкова¹, Ж. Т. Жунисов², И. Б. Култан³,

И. А. Утемуратова⁴, З. Р. Кудайберген⁵

^{1,2,3,4,5}Кызылординский университет имени Коркыт Ата,

Республика Казахстан, г. Кызылорда

Поступило в редакцию 17.10.24

Поступило с исправлениями 17.10.24

Принято в печать 04.12.24

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗЕЛЕННОГО ВОДОРОДА

В качестве источника энергии водород определяется как оптимальный способ снижения воздействия на климат путем интеграции возобновляемой электроэнергии с системами электролиза воды. Технология протонно-обменной мембраны (ПАМ) привлекает значительное внимание благодаря своей способности эффективно производить высокочистый водород, снижая сложности, связанные с обработкой и техническим обслуживанием. Щелочной электролиз, являясь другой технологией производства водорода, широко используется в этой области. Технология анионно-обменной мембраны (ААМ) может производить водород с относительно низкими затратами, так как драгоценные металл-катализаторы, используемые в системах ПАМ и щелочного электролиза, заменяются обычными дешевыми электрическими катализаторами. Технология твердооксидных электролизных элементов обеспечивает производство водорода с относительно высокой эффективностью преобразования, низкой ценой и низкими выбросами. Однако метод твердооксидного электролиза требует высокой рабочей температуры, что приводит к длительному времени запуска. В данной статье рассматривается текущее состояние технологий, способных использовать воду в электролизных системах. Предлагается интегрированный системный подход для удовлетворения потребностей в энергии и чистой воде путем объединения возобновляемой электроэнергии, электролиза воды и топливных элементов.

Ключевые слова: водород, парниковые газы, электролиз воды, электрический катализатор.

*G. K. Sydykova¹, Zh. T. Zhunusov², I. B. Kultan³, I. A. Utemuratova⁴,
Z. R. Kudaybergen⁵

^{1,2,3,4,5}Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan, Kyzylorda

Received 17.10.24

Received in revised form 17.10.24

Accepted for publication 04.12.24

APPLICATION OF WATER ELECTROLYSIS TECHNOLOGIES FOR OBTAINING GREEN HYDROGEN

As an energy source, hydrogen is identified as an optimal way to reduce climate impact by integrating renewable electricity with water electrolysis systems. Proton exchange membrane (PEM) technology attracts significant attention due to its ability to efficiently produce high-purity hydrogen while reducing the complexities associated with processing and maintenance. Alkaline electrolysis, another hydrogen production technology, is widely used in this area. Anion exchange membrane (AAM) technology can produce hydrogen at relatively low costs, as the precious metal catalysts used in PEM and alkaline electrolysis systems are replaced with ordinary, inexpensive electric catalysts. Solid oxide electrolyzer cell technology provides hydrogen production with relatively high conversion efficiency, low cost, and low emissions. However, the solid oxide electrolysis method requires high operating temperatures, leading to long startup times. This article reviews the current state of technologies capable of utilizing water in electrolysis systems. An integrated system approach is proposed to meet the needs for energy and clean water by combining renewable electricity, water electrolysis, and fuel cells.

Keywords: hydrogen, greenhouse gases, water electrolysis, electric catalyst.

Теруге 04.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4317

Сдано в набор 04.12.2024 г. Подписано в печать 30.12.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4317

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz