ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)
DOI:10.52058/2708-7530-2024-4(35)

VĚDA A PERSPEKTIVY

No 4(35)
2024



Ми з Україною

ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)
DOI:https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-4(35)

Věda a perspektivy

№ 4(35) 2024

Praha, České republika
2024

Multidisciplinární mezinárodní vědecký magazín "Věda a perspektivy" je registrován v České republice. Státní registrační číslo u Ministerstva kultury ČR: E 24142. № 4(35) 2024. str. 486

Zveřejněnorozhodnutímakademické radyMezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. (zápis č. 115/2024 ze dne 22. duben 2024)

Vydavatel:
Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. , Česká republika
International Economic Institute s.r.o. Praha, České republika se sídlem V Lázních 688, Jesenice 252 42
IČO 03562671 Praha, České republika
zastoupen Mgr. Markétou Pavlovou

Časopis vychází v rámci práce vydavatelské skupiny „Scientific Perspectives" a s vědeckou podporou: veřejné organizace „Ukrainian Assembly of Doctors of Sciences in Public Administration", veřejné organizace „Association of Scientists of Ukraine",Institut filozofie a sociologie Ázerbájdžánu Národní akademie věd (Baku, Ázerbájdžán)

Časopis je zařazen do mezinárodní vědeometrické databáze Index Copernicus (IC), mezinárodního vyhledávače Google Scholar a do mezinárodní vědeometrické databáze Research Bible



Šéfredaktor:
Karel Nedbálek - doktor práv, docent (Zlín, Česká republika)



Zástupce šéfredaktora:
Markéta Pavlova - ředitel, Mezinárodní Ekonomický Institut (Praha, České republika)



Dina Dashevska - geolog, geochemist Praha, Česká republika (Jeruzalém, Izrael)

Členové redakční rady:
Humeir Huseyn Achmedov **-** doktor pedagogických věd, profesor (Baku, Ázerbájdžán)
Iryna Zhukova -kandidátka na vědu ve veřejné správě, docentka (Kyjev, Ukrajina)
Jurij Kijkov - doktor informatiky, dr.h.c. v oblasti rozvoje vzdělávání (Teplice, Česká republika)
Vladimír Bačišin - docent ekonomie (Bratislava, Slovensko)
Peter Ošváth - docent práva (Bratislava, Slovensko)
Dina Dashevsky - geolog, geochemik Praha, Česká republika (Jerusalem, Israeli)
Yevhen Romanenko - doktor věd ve veřejné správě, profesor, ctěný právník Ukrajiny (Kyjev, Ukrajina)
Oleksandr Datsiy - doktor ekonomie, profesor, čestný pracovník školství na Ukrajině (Kyjev, Ukrajina)
Badri Getchbaya - doktor ekonomie, profesor, docent na Batumi State University. Shota Rustaveli (Gruzie)
Laila Achmetová - doktorka historických věd, profesorka politologie, profesorka UNESCO, mezinárodní žurnalistiky a médií na žurnalistické fakultě Kazašské národní univerzity (KazNU). al-Farabi (Kazachstán)
Oleksandr Nepomnyashy - doktor věd ve veřejné správě, kandidát ekonomických věd, profesor, řádný člen Vysoké školy stavební Ukrajiny (Kyjev, Ukrajina)
Michał Tomasz - doktor věd, docent katedry geografie regionálního rozvoje, University of Gdańsk (Polsko)

Články jsou vyvěšeny v redakci autora. Za obsah a pravopis zaslaných materiálů odpovídají autoři

© Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. , Česká republika, 2024
© Vydavatelské skupiny „Scientific Perspectives", 2024
© autoři článků, 2024

Věda a perspektivy № 4(35) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

OBSAH

SÉRIE “Ekonomika”

Kseniia Demchenko 10
ASSESSING THE EFFICIENCY OF ECOLOGICAL MODERNISATION OF PRODUCTION AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Iryna Ivakhnenko 18
FORMATION OF INVESTOR ATTRACTION FUNNELS AND WORK WITH THE CLIENT BASE OF AN INVESTMENT CONSULTING COMPANY IN RESIDENTIAL REAL ESTATE

Daniella Mushka 25
DEVELOPMENT OF AI SYSTEMS IN GLOBAL DIGITAL MARKETING

Анна Кухарук 38
АНАЛІЗ РЕАЛІЗАЦІЇ ЦІЛЬОВИХ ПРОГРАМ ВІДНОВЛЕННЯ ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЙ ДУНАЙСЬКОГО БАСЕЙНУ

Олексій Миронов 50
ВПЛИВ ВІРТУАЛЬНИХ АКТИВІВ НА ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК

Наталія Трушкіна, Ірина Жукова 63
УПРАВЛІННЯ РОЗВИТКОМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ: УТОЧНЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ

SÉRIE “Veřejná správa”

Олег Біннатов 74
МЕХАНІЗМИ ДЕРЖАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ МАЛОГО *ПІДПРИЄМНИЦТВА В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЙНИХ ВИКЛИКІВ*

Мирослав Бурик 86
ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ТЕРИТОРІЙ В УМОВАХ ВІЙНИ

Věda a perspektivy № 4(35) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

Іван Хом'як 101
ЗАХОДИ З ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИМИ ГРОМАДАМИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Дмитро Юськов 112
ФОРМИ ВЗАЄМОДІЇ ІНСТИТУТІВ ГРОМАДЯНСЬКОГО СУСПІЛЬСТВА ТА ОРГАНІВ ПУБЛІЧНОЇ ВЛАДИ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ВИЩОЮ ОСВІТОЮ В УКРАЇНІ ТА ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ

SÉRIE "Právní vědy"

Інна Власенко 125
ОКРЕМІ АСПЕКТИ ЗАКОНОДАВЧОГО РЕГУЛЮВАННЯ РОЗІРВАННЯ *ШЛЮБУ В УКРАЇНІ ТА В ЗАРУБІЖНИХ КРАЇНАХ*

Артур Волобоєв 135
ОЦІНКА ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА КОЛО ОБСТАВИН, ЩО ПІДЛЯГАЮТЬ ВСТАНОВЛЕННЮ ПІД ЧАС РОЗКРИТТЯ КІБЕРШАХРАЙСТВ

Ірина Максимів 149
ЮРИДИКО-ПСИХОЛОГІЧНА СУТНІСТЬ ПРОТИПРАВНИХ ДІЯНЬ У ВИДІ ВИКОРИСТАННЯ ДИТИНИ ДЛЯ ЗАНЯТТЯ ЖЕБРАЦТВОМ

Ірина Фарафонова 161
МІЛЬЙОННА ЗАРПЛАТА СУДДІВ УКРАЇНИ НЕ ВПЛИВАЄ НА СПРАВЕДЛИВІСТЬ ЇХ РІШЕНЬ

SÉRIE "Pedagogika"

Serhii Dekarchuk 183
METHODICAL ASPECTS OF THE CONSTRUCTION OF FUNCTIONALLY ORIENTED ELECTRONIC MANUALS ON PHYSICS FOR ZZSO

Olha Demianenko, Tetiana Moroz 191
IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FOREIGN LANGUAGE TEACHING: FORMING AND DEVELOPING STUDENTS' SKILLS

Mariia Medvedieva, Vladyslav Yamkovenko 200
APPLICATION OF PC BUILDING SIMULATOR FOR VISUALIZATION AND DESIGN OF COMPUTER SYSTEMS

Viktoriia Pavlyuk, Galyna Bondar 209
POLITE ADDRESSES TO ENGLISH WOMEN AS A COMPONENT OF GENDER-NEUTRAL LANGUAGE

Yuliia Postupaka 215
INTERNATIONAL STUDENT'S ACADEMIC MOBILITY: CASE STUDY OF UKRAINE KARAZIN NATIONAL UNIVERSITY

Svitlana Safarian, Liudmyla Zharikova 233
DEVELOPMENT OF ENGLISH LANGUAGE TEACHERS PROFESSIONALLY ORIENTED READING SKILLS IN THE SYSTEM OF POSTGRADUATE EDUCATION

Olena Shepitko 246
THE PHENOMENON OF INTERDISCIPLINARY CONNECTIONS AND INTERDISCIPLINARY TASKS IN O.Y. SAVCHENKO`S VIEWS

Oksana Tsyhanok, Oleksandr Sanivskyi, Natalia Syvachuk 252
RHETORICAL TECHNOLOGIES FOR THE FORMATION OF PERSONALITY CULTURE IN THE TRAINING SYSTEM OF FUTURE TEACHERS

Liudmyla Vesper 261
APPLICATION OF THE PATTERN METHOD TO FORM THE NEURAL STRUCTURES IN THE LEARNING PROCESS AS A WAY OF SOLVING MODERN PROBLEMS IN EDUCATION

Ірина Кузьменко 270
ВПРОВАДЖЕННЯ МЕНТАЛЬНО-МИСЛЄННЄВОГО МЕТОДИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ФОРМУВАННЯ ОСНОВ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ *ДІТЕЙ СТАРШОГО ДРШКІЛЬНОГО ВІКУ В РІЗНИХ ВИДАХ ДІЯЛЬНОСТІ: АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ*

Олександр Таран 280
ХАРАКТЕРИСТИКА СУТНОСТІ ТА ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ КОМУНІКАТИВНОЇ КУЛЬТУРИ ВИКЛАДАЧІВ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ У ПЕДАГОГІЧНІЙ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ

Тамара Торчинська 290
ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПАТРІОТИЧНОГО ВИХОВАННЯ ЯК ПРИОРИТЕТНОГО НАПРЯМКУ ВИХОВНОГО ПРОЦЕСУ В ПОЧАТКОВІЙ ШКОЛІ

Тетяна Філімонова 300
ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОБЛЕМНОГО НАВЧАННЯ НА УРОКАХ ІНТЕГРОВАНОГО КУРСУ «Я ДОСЛІДЖУЮ СВІТ»

Вікторія Фуркало, Володимир Фуркало 312
ФІЛОСОФСЬКИЙ АНАЛІЗ МОНІТОРИНГУ І ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ В ОСВІТІ

SÉRIE “Psychologie”

Вікторія Малиш 322
ДІАГНОСТИКА ТА КОРЕКЦІЯ ТРИВОЖНОГО РОЗЛАДУ ОСОБИСТОСТІ

Ганна Усатенко 334
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ АСИСТОВАНОЇ КОМУНІКАЦІЇ НА ПРИВ’ЯЗАНІСТЬ У ДИТЯЧО-БАТЬКІВСЬКИХ СТОСУНКАХ

SÉRIE “Lékařské vědy”

Illia Yermolenko 347
USING AI FOR FITNESS DEVELOPMENT

Наталія Шмаренкова 355
СПОРТИВНІ КЛУБИ ЯК ЗАСІБ ЗАЛУЧЕННЯ НАСЕЛЕННЯ ДО РУХОВОЇ АКТИВНОСТІ

SÉRIE “Kultura”

Larysa Butko, Svitlana Fedorenko, Volodymyr Maslak, Olga Chernyavska 371
TRADITION OF VINE WEAVING IN POLTAVA REGION: HISTORY AND MODERN DESIGN SOLUTIONS

Věda a perspektivy № 4(35) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

SÉRIE “ Zeměpis”

Михайло Мельнійчук, Юрій Білецький, Зоя Карпюк, Лариса Чижевська, Олег Мельник, Віталій Соловей, Сергій Ковальчук Роман Качаровський 386
ОСОБЛИВОСТІ РЕКРЕАЦІЙНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ У МЕЖАХ ОРНІТОЛОГІЧНИХ ЗАКАЗНИКІВ ЛУЦЬКОГО РАЙОНУ *ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ*

Ірина Нетробчук, Сергій Полянський, Зоя Карпюк, Роман Качаровський, Андрій Повзун, Ірина Теребейчик, Віолета Ковтунович, Ганна Пилипчук 400
ВОДНИЙ СТІК Р. ВИЖІВКА (1947–2020 РР.): ЖИВЛЕННЯ, ВНУТРІШНЬОРІЧНИЙ РОЗПОДІЛ, ДИНАМІКА

SÉRIE “ Informační a telekomunikační technologie”

Iurii Nikitin 418
MODEL OF DIGITAL INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEM SUPPORT SCIENTIFIC RESEARCH

Ірина Мушеник, Наталія Марчук 424
ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАТФОРМИ MOODLE ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ E-LEARNING SYSTEM З ВИКОРИСТАННЯМ СЕРВІСУ GOOGLE MEET

SÉRIE “Zemědělská věda”

Іванна Смульська, Юрій Данюк, Галина Дутова, Світлана Михайлик, Оксана Житомирець, Юлія Стефківська 436
АНАЛІЗ СОРТІВ ЛЮПИНУ ЖОВТОГО (LUPINUS LUTEUS L.), ЛЮПИНУ БІЛОГО (LUPINUS AIBUS L.), ЛЮПИНУ ВУЗЬКОЛИСТОГО (LUPINUS ANGUSTIFOLIUS L.) ВНЕСЕНИХ ДО ДЕРЖАВНОГО РЕЄСТРУ СОРТІВ РОСЛИН УКРАЇНИ

Věda a perspektivy № 4(35) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

SÉRIE “ Sociální komunikace”

Олег Натаров **451**
ПОПУЛЯРИЗАЦІЯ НАУКИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ ТА ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ: РОЛЬ НАУКОВИХ БІБЛІОТЕК

SÉRIE “Fyzikální a matematické vědy”

Катерина Ільніцька, Юрій Краснобокий, Ігор Ткаченко **464**
ПАЛИВНІ ЕЛЕМЕНТИ – ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ МАЙБУТНЬОГО

SÉRIE “Filologie”

Anatolii Alékséev **478**
LE -ISME EN FRANÇAIS MODERNE

Věda a perspektivy № 4(35) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

SÉRIE “Fyzikální a matematické vědy”

https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-4(35)-464-477

Катерина Ільніцька

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини, м. Умань, Україна,
https://orcid.org/0000-0002-6179-5543

Юрій Краснобокий

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини, м. Умань, Україна,
https://orcid.org/0000-0003-2103-9978

Ігор Ткаченко

доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини, м. Умань, Україна,
https://orcid.org/0000-0003-1775-1110

ПАЛИВНІ ЕЛЕМЕНТИ – ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ МАЙБУТНЬОГО

Анотація. У статті розглядаються порівняльні характеристики використовуваних у даний час різних джерел генерації електроенергії. У зв’язку з наростаючими темпами виробництва електромобілів окрема увага звертається на паливні елементи, як перспективні джерела живлення двигунів цього виду транспорту. Аналізуються конструктивні особливості, робочі речовини, генерована потужність, тривалість експлуатації одного з найпростіших і

разом з тим найпоширенішого у використанні киснево-водневого паливного елемента. Проведено чотири варіанти розрахунку коефіцієнта корисної дії такого паливного елемента. Показано, що в самому оптимальному випадку його коефіцієнт корисної дії може сягати майже сто відсотків.

Відзначаються переваги і можливі напрями удосконалення паливних елементів порівняно з тепловими двигунами. До перших, зокрема, віднесено те, що у паливних елементах вільна енергія процесу генерування електричного струму теоретично може бути цілком перетворена в електричну енергію, оскільки на них не поширюються обмеження, що накладаються другим началом термодинаміки на теплові двигуни.

Можливі перспективи поліпшення ефективності паливних елементів пов'язують з підбором сучасних нових матеріалів для електродів, оптимізацією їх конструктивних особливостей, пошуками таких каталізаторів, які не піддаються «отруєнню» домішками, що присутні у робочих речовинах елементів тощо.

Ключові слова: електрична енергія, електрохімічні процеси, паливні елементи, коефіцієнт корисної дії.

Kateryna Ilnitska

Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of the Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Ukraine, https://orcid.org/0000-0002-6179-5543

Yurii Krasnobokyi

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of the Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-2103-9978

Ihor Tkachenko

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of the Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Ukraine, https://orcid.org/0000-0003-1775-1110

Věda a perspektivy № 4(35) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

FUEL CELLS – ENERGY SOURCES OF THE FUTURE

Abstract. The article considers the comparative characteristics of currently used different sources of electricity generation. In connection with the growing pace of production of electric vehicles, special attention is being paid to fuel cells as promising sources of power for the engines of this type of transport. Design features, working substances, generated power, duration of operation of one of the simplest and, at the same time, the most widely used oxygen-hydrogen fuel cells are analyzed. Four options for calculating the efficiency of such a fuel element were carried out. It is shown that in the most optimal case, its efficiency can reach almost one hundred percent.

The advantages and possible directions of improvement of fuel cells compared to heat engines are noted. The first, in particular, includes the fact that in fuel cells, the free energy of the process of generating electric current can theoretically be completely transformed into electrical energy, since they are not subject to the restrictions imposed by the second law of thermodynamics on heat engines.

Possible prospects for improving the efficiency of fuel cells are associated with the selection of modern new materials for electrodes, optimization of their design features, the search for such catalysts that are not subject to "poisoning" by impurities present in the working substances of the cells, etc.

Keywords: electrical energy, electrochemical processes, fuel cells, energy conversion efficiency.

Постановка проблеми. Відомо, що в області енергетичних ресурсів і виробництва енергії загроза виснаження запасів природного палива об’єктивно існує, що змушує завчасно відшуковувати нові, достатньо потужні джерела енергії.

Величезні природні резерви людство витрачало поступово протягом тисяч років свого існування. Технічний прогрес з наростаючою швидкістю збільшує виснаження цих запасів. У зв’язку з цим все частіше починають звучати голоси щодо перспектив енергетичного голоду і доцільності економії природних ресурсів.

Крім того, в останні роки надто загострилися питання захисту оточуючого середовища, оскільки розвиток промисловості призводить до незворотних порушень існуючої у природі рівноваги. Сучасна паливна енергетика відіграє не останню роль у забрудненні повітряного і водного басейнів та суходолу шкідливими викидами, а також у «тепловому забрудненні» оточуючого середовища. Тож нові джерела енергії, які покликані замінити викопне паливо і забезпечити енергетичні потреби майбутнього, мають бути не лише достатньо потужними, але й достатньо «чистими». Саме це й спонукає учених й інженерів на пошуки нових шляхів, які допоможуть задовольнити майбутні потреби в енергії.

У яких же напрямах відбуваються пошуки учених? Це атомна енергетика, яка давно вже стала реальністю; проєкти використання теплового градієнта у світовому океані і енергії припливів [1, С. 6; 2]; будівництво геотермічних електростанцій; керована термоядерна реакція, над якою працюють учені багатьох країн на протязі багатьох років; і, нарешті, найбільш очевидне джерело – це використання сонячної енергії. Проте, як підтверджує практика, жодне з цих джерел не зможе у найближчому майбутньому забезпечити необхідний достаток енергії.

Справа в тому, що всі види енергії (теплової, атомної, термоядерної тощо), які виробляються на Землі, у кінцевому підсумку трансформуються у теплову енергію. Виробництво ж енергії (якщо таке станеться) у кількості, яка складатиме 5% від випромінюваної на Землю сонячної радіації (а це у 600 разів перевищує сучасне світове виробництво енергії [3, С. 6]), може, на думку багатьох учених, призвести до незворотних змін теплового балансу і клімату нашої планети. У цьому й полягає загроза «теплового забруднення» за виробництва енергії з використанням викопного палива і ядерних реакцій.

Що ж до сонячної радіації, як енергоджерела (її «чистота», повсюдна наявність, «безкоштовність» і т.ін.), то використання сонячної енергії ще не отримало значного поширення. Це зумовлено особливостями сонячної радіації і технічними труднощами, які пов’язані з її перетворенням. Так, сонячна радіація досить розсіяна, має малу «щільність» (питому потужність), мінлива з часом тощо. Крім того, ефективність перетворення сонячної променистої енергії у механічну і електричну обмежується ще й принциповими положеннями фізики і термодинаміки [3, С. 7-8].

Тож на думку багатьох учених, на публікації яких мають місце посилання у цій статті, у вирішенні енергетичних проблем майбутнього значну роль має відіграти хімія – гальванічні елементи і акумулятори, водневе пальне і паливні елементи, принцип роботи яких і перспективи використання є предметом розгляду у пропонованому матеріалі.

Мета статті. Описати фізико-хімічні процеси, конструктивні особливості, недоліки та переваги, а також галузі застосування і перспективи вдосконалення паливних елементів як джерел виробництва електроенергії.

Оскільки автори статті займаються викладацькою діяльністю, то зміст представленого матеріалу не претендує на глибоке науково-теоретичне обґрунтування, він більше адаптований до методики його вивчення в освітньому процесі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед літературних джерел, що стосуються проблематики статті, її автори вважають доцільним у першу чергу відзначити книгу професора фізики університету американського штату Індіана Д.Девінса «Енергія...» [4]. Авторам вона близька, оскільки написана колегою-викладачем. Книга містить 14 глав. У кінці кожної глави наводяться вправи, розв’язання яких полегшує розуміння і засвоєння викладеного

матеріалу. Розгляд найбільш складного теоретичного матеріалу супроводжується прикладами розрахунків, що також сприяє кращому його розумінню. Всього у книзі нараховується більше 300 вправ і біля 40 групових завдань, а також велика кількість прикладів, розрахунків, ілюстрацій. Поряд з комплексним розглядом конкретних проблем розвитку енергетики, енергопостачання і охорони біосфери у книзі викладаються численні фундаментальні аспекти енергетики: важливі положення термодинаміки, теоретичні основи ядерної і термоядерної енергетики, розглянуто питання роботи двигунів внутрішнього згорання з різними циклами, парових і газових турбін, холодильних машин, теплових насосів, паливних елементів і багато інших питань теорії, які мають прямий стосунок до процесів перетворення і використання енергії у різних її формах, до впливу енергетики на клімат та умови життя людей у глобальному, регіональному і місцевому масштабах. Саме в комплексному підході до викладу широкого кола конкретних проблем енергетики і полягає основна цінність книги Д.Девінса.

Перекликається зі змістом Глави 6. книги Д.Девінса й книга англійського ученого, викладача Кардіффського університету Б.Дж.Брінкворта «Сонячна енергія для людини» [3]. У цій книзі автор об’єктивно оцінює перспективи виснаження ресурсів викопного палива і необхідність пошуку нових відновлювальних джерел для енергетики майбутнього. Зокрема, значна увага приділена проблемам прямого перетворення сонячної енергії у теплову, електричну, хімічну та в роботу. Проаналізовано у цьому аспекті можливості фотохімії і фотобіології (Гл. 5-9).

У свій час різними видавництвами видано кілька книг про хімічні джерела енергії, а також низку монографій з проблем перетворення хімічної енергії в електричну за допомогою паливних елементів.

Серед перших відзначаємо книгу угорського ученого-електрохіміка Тібора Ердеї-Груза «Хімічні джерела енергії» [1] і книгу «В океані енергії» авторів А.В.Шилейко і Т.І.Шилейко [5]. У цих книгах у популярній формі, просто, доступно, але разом з тим логічно і достатньо строго висвітлені основні ідеї і теорія процесів безпосереднього перетворення хімічної енергії в електричну. Особлива увага цими авторами приділена проблемам отримання електроенергії за рахунок електрохімічного спалювання водню у паливних елементах, які, по-перше, забезпечують більш високий ККД, ніж інші джерела електроенергії, а по-друге, дозволяють вирішити проблему забруднення атмосфери. Передбачається широке застосування цих елементів на транспорті у якості джерел енергії для автомобілів.

Фундаментальними працями, у яких глибоко аналізуються теорії кінетики фізико-хімічних процесів у паливних елементах, є монографічні дослідження авторів Е.Юсті та ін. [6], а також В.Фільштіха [7].

Виклад основного матеріалу. Загальновідомо, що проблема створення електромобілів на цей час особливо загострилася у зв’язку з необхідністю

всіма засобами боротися за чистоту оточуючого середовища. «Тяговими» енергетичними елементами двигунів електромобілів є акумулятори, які дають можливість автомобілю проїхати без підзарядки кілька сотень кілометрів. Суттєвим недоліком цього процесу є те, що зарядка акумулятора – процес тривалий. Наприклад, для повної зарядки свинцевого акумулятора потрібно від 16 до 20 годин. Для сучасних акумуляторів цей час суттєво менший, та все ж він вимагає перебування на заправній станції 2-3 години після кожних (приблизно) 100-150 кілометрів пробігу.

Фізико-хімічною причиною цього явища є те, що до акумулятора (як до бензинового бака) «пальне» добавляти неможливо. У ньому воно лише відновлюється за допомогою електричного струму. Тому заманливою є ідея створення такого «гальванічного елемента», у який можна було б добавляти пальне по мірі його витрати та ще й у якості останнього використовувати легкодоступні і дешеві речовини.

У 1839 році англійський дослідник У.Гров пропускав електричний струм через два платинових електроди, опущених у розчин сірчаної кислоти. У результаті на одному з електродів виділявся водень, а на другому – кисень. Гров помітив, що після відключення джерела струму між електродами зберігається невелика напруга, і якщо замкнути їх проволокою, то по ній тече електричний струм. Такого ж ефекту можна досягти, якщо отримувати кисень і водень не в результаті електролізу електроліту, а підводити ці гази до електродів із зовні по трубках.

Реакції, які за цього відбуваються, добре відомі з хімії. Якщо опустити два електроди у розчин лугу і обдувати їх: один – воднем, а другий киснем, то на водневому (негативному) електроді буде відбуватися реакція $H_2 + 2OH^- \rightarrow H_2O + 2e$. Два електрони вивільняються у результаті реакції і переходять у розчин. Це пов'язано з тим, що енергія електрона в атомі водню більша, ніж енергія електрона у кристалічній гратці металу. Таким чином, втрачаючи електрони, водень окислюється (згорає). На кисневому електроді відбувається реакція $½O_2 + H_2O + 2e \rightarrow 2OH^-$. Реакція відбувається з приєднанням двох електронів, тобто електрод заряджається позитивно [5, С. 129-130].

Після дослідів Грова стало зрозуміло, що такі хімічні елементи як кисень, можна добувати із звичайного повітря, а водень – із різних природних видів палива, наприклад, з природного газу. Звідси у 1889 році й виникла назва «паливний елемент».

У 1894 році німецький фізико-хімік В.Оствальд вперше висловив ідею про те, що використовувати пальне у паливних елементах набагато вигідніше, ніж у теплових електростанціях, оскільки ККД паливних елементів значно вищий (до 90%).

У 1958 році Ф.Бекон в Англії створив установку потужністю 5 кВт на основі киснево-водневих елементів. Варто відзначити, що киснево-водневі установки з паливними елементами (так звані електрохімічні генератори)

Věda a perspektivy № 4(35) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

використовувалися на борту американських космічних кораблів «Джеміні» і «Аполлон». Вони постачали астронавтів не лише електроенергією, але і водою [4, С. 92-93].

Наприкінці 60-х років минулого сторіччя американська фірма «Юніон карбайд» продемонструвала чотиримісний легковий електромобіль, обладнаний воднево-повітряним електрохімічним генератором потужністю 6 кВт. Запас водню в балонах забезпечував пробіг до 320 км за швидкості біля 60 км/год. З тих пір ідея випуску електромобілів набула поширення у багатьох промислово розвинутих країнах.

Паливні елементи – це такі електрохімічні системи, які виробляють електричний струм за безперервної подачі із зовні відновлюючих окислювальних речовин і за безперервного відведення продуктів реакції таким чином, що склад системи (елемента) у процесі генерування струму практично не змінюється (електроди в електрохімічних перетвореннях участі не беруть).

Паливний елемент може працювати в принципі з будь-яким процесом «окиснення-відновлення», у якому віддача і приєднання електронів просторово розділені. Тому теоретично цілком можливо здійснювати окиснення звичайних горючих речовин не таким чином, щоб вивільнювана хімічна енергія цілком переходила у термічну, як за звичайного спалювання, а щоб вільна енергія процесу у паливному елементі безпосередньо перетворювалася в електричну енергію. З точки зору електрохімії найпростішим з паливних елементів є киснево-водневий елемент (рис.), у якому в електричну енергію перетворюється та частина хімічної енергії, яка вивільняється за окиснення водню: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ і може бути перетворена в роботу.

Принцип його роботи полягає в наступному: електрони відбираються від активної речовини на аноді A і переносяться йонами по електроліту до катода, де рекомбінують з окислювачем, утворюючи стабільні продукти реакції, які необхідно видаляти з елемента.

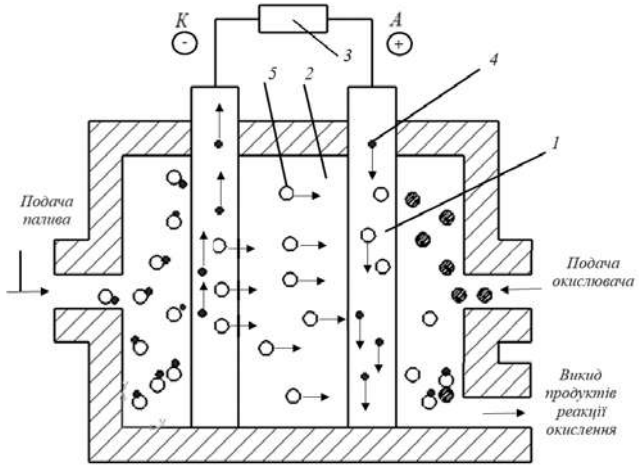


Схема паливного елемента:
1 – пористі електроди; 2 – електроліт; поживач; 4 – електрони; 5 – йони [4, С. 92].

Проте на шляху реалізації цієї ідеї інженери зустрілися з низкою труднощів, з яких основними було дві. Перша полягає в тому, що водень, як пальне, хоча і не є дефіцитом – його можна отримувати, наприклад, із води, але технологія його отримання у промислових масштабах пов'язана з багатоступеневими перетвореннями різних органічних речовин, що

вимагає значних витрат енергії, а отже знижує ККД відповідних генераторів.

Інша трудність пов'язана з тим, що електродні реакції протікають з певними швидкостями. Швидкість реакції суттєвим чином залежить від того, скільки газу розчинено в електроліті, а водень і кисень, як відомо, розчиняються дуже погано.

Оскільки наша кафедра здійснює підготовку учителів до викладання інтегрованих курсів (предметів) природничих наук, то у статті, забезпечуючи міжпредметні зв'язки для пояснення принципів роботи паливних елементів, ми крім фізики і хімії залучаємо ще й матеріал з біології.

Тож одне з вирішень цієї проблеми «підказала» Природа. Воно полягає у тому, щоб використовувати пористі електроди. У таких електродів набагато більша реакційно-активна площа, ніж у електродів у формі однієї пластини. Пористі електроди виготовляються із суміші двох речовин: гідрофільної (пори в ній заповнюються електролітом) і гідрофобної (пори в ній заповнюються газом).

Природа ж вирішила цю проблему наступним чином. У живій клітині кисень і водень присутні не у чистому стані. Молекули кисню і водню приєднуються до молекул спеціальних речовин-«переносників». Переносником кисню слугує гемоглобін і подібні до нього речовини. Одна молекула гемоглобіну може переносити до чотирьох молекул кисню.

Переносниками водню слугує ціла група хімічних сполук, серед яких найбільше значення має никотинамідаденинуклеотид (НАД). НАД не лише переносить водень, але й «вириває» атоми водню із окислюваних молекул їжі. За кожен такий «хід» молекула НАД забирає по два атоми водню, одночасно сприяючи тому, щоб один з них розпався на дві заряджені частинки: протон і електрон. За цього негативно заряджений електрон залишається приєднаним до молекули переносника, а позитивно заряджений протон (йон водню) переходить у розчин.

У згадуваних вище паливних елементах «виривання» атомів водню із молекул пального здійснюється завдяки складному технологічному процесові, наприклад, обробці кам'яного вугілля водяною парою, що вимагає високих температур. У живих клітинах та ж сама проблема вирішується за допомогою спеціальних хімічних речовин – ферментів.

Відомо, що окремі ферменти можна виокремлювати із клітин і використовувати у технологічних процесах. Це давно використовується у виноробстві, хлібопеченні, сироварінні тощо. Але виділити комплексно кілька десятків ферментів, щоб переробляти, наприклад, глюкозу у водень, як процес, пов'язаний з його переносником, надзвичайно важко.

Тому було запропоновано інший шлях, використовуючи живі клітини. Суспензію одноклітинних організмів, наприклад дріжджів, у рідині, яка

містить поживні речовини, поміщають у герметичну посудину. Клітини активно поглинають поживні речовини і перетворюють їх у вугільну кислоту і водень, який приєднаний до переносника. Водень не окислюється, оскільки кисню у посудині немає. Замість нього у посудину подається піровиноградна кислота, яка легко проникає крізь пористі оболонки клітин і, приєднуючи до себе два атоми водню, перетворюється у молочну кислоту. Молочна кислота також легко проникає через оболонки клітин і може бути виведена із посудини і підведена до водневого електроду паливного елемента. Тут вона окислюється, знову перетворюючись у піровиноградну кислоту, і цикл повторюється – «генератор працює» [5, С. 132-134].

У будь-якому хімічному джерелі струму окислюється, тобто згорає, пальне, подібно як у топці парового котла. Проте, у топці котла молекули пального і кисню стикаються (зштовхуються) випадковим чином. Енергія, яка за цього виділяється, витрачається на збільшення швидкості руху молекул, який відбувається хаотично. Іншими словами, енергія горіння, яка виділяється у топці котла, витрачається на підвищення температури (перетворюється у тепло).

У хімічному джерелі електричного струму енергія, що виділяється у результаті хімічної реакції окиснення, також витрачається на створення процесів руху йонів у електроліті і електронів у провіднику. Але, на відміну від топки котла, тут цей рух впорядкований. Він відбувається переважно в одному напрямі. Тож хімічне джерело струму поєднує в собі два різних процеси: вивільнення хімічної енергії і впорядкування виникаючого за цього руху переносників електричних зарядів. Завдяки наявності другого процесу отримується енергія більш високої якості, ніж теплова.

Таким чином, паливні елементи мають низку суттєвих переваг перед іншими джерелами електроенергії. А саме:

– середній ККД більшості теплових електростанцій складає приблизно 25%, а на старих електростанціях він ще нижчий;

– причина такого низького їх ККД частково полягає у тому, що тут процес перетворення хімічної енергії в електричну проходить через три стадії:

1. перетворення хімічної енергії у теплову за згорання палива у котлі;
2. перетворення теплової енергії в механічну роботу у паровій машині;
3. перетворення механічної роботи в електричну енергію у генераторі струму;

– на всіх цих стадіях відбувається втрата енергії – корисна енергія частково розсіюється у просторі у вигляді теплової енергії;

– крім того, ККД теплового двигуна має теоретичну межу, яка лімітується другим началом термодинаміки (у механічну роботу може бути перетворена лише частина тепла);

– якщо розглядати атомну (ядерну) енергію, то її перетворення в електричну на цей час також здійснюється лише через проміжну стадію виробництва тепла;

– на противагу цьому у паливних елементах вільна енергія процесу генерування струму теоретично може бути цілком перетворена в електричну, оскільки на них не діють обмеження з боку другого начала термодинаміки;

– оскільки вони не містять механічних рухливих частин, то працюють без вібрацій і шуму; вони компактні і можуть бути змонтовані у будь-якому місці; легко регулюються;

– ККД таких елементів, розрахований по відношенню до зміни повної енергії, може сягати 80-90% і більше.

Основні напрямки подальшого удосконалення паливних елементів – це створення електродів більш зручної конструктивної форми, збільшення їх пористості (на цей час вже є електроди, корисна поверхня їх пор складає більше 200 м^2 на один грам речовини електрода), зменшення засмічення пор, збільшення каталітичного ефекту і пошуки таких каталізаторів, які не піддаються «отруєнню» домішками, які присутні у речовинах, що використовуються у процесі роботи елемента.

Важливим параметром за вибору матеріалів електродів, призначених для електрохімічного перетворення, є отримувана різниця електричних потенціалів між ними. Значення різниці потенціалів ε для даного елемента можна вирахувати із термодинамічних міркувань враховуючи принципову різницю між електрохімічним елементом і тепловим двигуном. Ця різниця полягає у здатності першого безпосередньо виробляти електричний струм. Саме цей факт й необхідно врахувати за формулювання першого начала термодинаміки стосовно описуваних процесів.

Нехай струм відводиться від елемента оборотним процесом і кількість перенесеного між електродами заряду дорівнює dq. З врахуванням законів електролізу Фарадея можна записати:

$$dq = Fdm, \tag{1}$$

де F – число Фарадея; dm – еквівалентна маса у грам-еквівалентах перенесеної речовини. Робота, яка виконується електричним струмом, дорівнює добутку різниці потенціалів ε на величину перенесеного заряду

$$dA = \varepsilon F dm. \tag{2}$$

З врахуванням (2) вираз першого начала термодинаміки набуває виду:

$$dQ = dU + pdV + \varepsilon F dm. \tag{3}$$

У більшості випадків $pdV = 0$, тоді, якщо для даної системи можна розрахувати $dQ - dU = \varepsilon F dm$, то можна визначити ε.

Хімічні реакції в електрохімічному елементі, як правило, відбуваються за сталих T і P, тому використовуючи термодинамічні співвідношення, що

включають dT і dP, можна спростити обрахунки. З цією метою введемо термодинамічний потенціал Гіббса «Γ»:

$$\Gamma = H - TS \text{ [8, С. 315-318].} \quad (4)$$

Використовуючи визначення ентальпії $H = TdS + Vdp$ [8, С. 314] і (3), із (4) отримуємо:

$$d\Gamma = -SdT + VdP - \varepsilon F dm. \quad (5)$$

Звідси за постійних значень T і P

$$\varepsilon = -\Delta\Gamma / nF, \quad (6)$$

де величина nF характеризує перенесений заряд.

Значення потенціалу Гіббса, відраховані від стандартного стану, можна знайти у таблицях термодинамічних властивостей речовин [9]. Це дозволяє розрахувати різницю потенціалів для різних речовин, що беруть участь у реакції.

В окремих публікаціях є дані, що електрохімічні джерела струму, особливо паливні елементи, дозволяють досягти ККД, що дорівнює 100% [1, С. 288] (правда, тут мова йде про теоретично можливий ККД). Це твердження дещо помилкове і підтверджує, що за визначення ККД електрохімічного перетворення допускається багато необґрунтованих припущень.

Розглянемо для наочності чотири випадки обрахунку ККД (η).

1. Нехай перший характеризує частку хімічної енергії реагентів, яку можливо в принципі отримати за допомогою електрохімічного елемента. Зміна потенціалу Гіббса $\Delta\Gamma$ для цих систем дорівнює роботі, яка виконується елементом. Із (6) отримуємо:

$$\Delta\Gamma = -FuU_{бат} dm. \quad (7)$$

Цей вираз являє собою максимальну роботу, яку може виконати елемент, оскільки вважається, що $T = \text{const}$ і $P = \text{const}$. Коли б реакція відбувалася без виконання робота за $P = \text{const}$, то зменшення загальної енергії дорівнювало б зміні ентальпії системи ΔH. Таким чином можна визначити ідеальний ККД у вигляді

$$\eta_i = \frac{\Delta\Gamma}{\Delta H} = 1 - \frac{T\Delta S}{\Delta H}, \quad (8)$$

де ΔS – зміна ентропії.

ККД (8) характеризує «досконалість» паливного елемента як теплової машини з точки зору другого начала термодинаміки. Відмітимо, що співвідношення (8) справедливе лише у випадку ізобарно-ізотермічного процесу без підведення або відведення речовини.

2. Термічний ККД киснево-водневого паливного елемента можна обрахувати, користуючись табличними даними $\Delta\Gamma$ і ΔH; за температури $298\ K$ він складає $0{,}94$ (але не 1). Величини $\Delta\Gamma$ і ΔH залежать від температури, тому за температури $2000\ K$ термічний ККД елемента взагалі зменшиться до $0{,}54$.

У таблиці наведено значення «ідеального» ККД киснево-водневого елемента за різних температур і для порівняння ККД циклу Карно для тих же граничних температур.

T, K	ΔH, $кДж/моль$	$\Delta Г$, $кДж/моль$	$\eta_i = \Delta Г / \Delta H$	ККД циклу Карно, $1 - T_c / T$
298	241,8	228,6	0,94	0
400	242,8	223,9	0,92	0,26
500	243,8	223,3	0,90	0,40
1000	247,7	193,7	0,78	0,70
2000	252,1	135,2	0,54	0,85

$T_c = 298\ K -$ температура середовища

3. Теоретично можливий ККД електрохімічного перетворення енергії завжди менший за одиницю. Розглянемо, який максимальний ККД цього перетворення можна отримати практично.

Реальний ККД дорівнює відношенню кількості виробленої електроенергії до споживаної хімічної енергії:

$$\eta = A / \Delta H = mF\varepsilon_p / \Delta H , \qquad (9)$$

де m – еквівалентна маса перенесеної речовини; ε_p – реальна різниця потенціалів. Через наявність різних поляризаційних ефектів реальна ЕРС елемента завжди менша від максимального значення, яке розраховується за формулою (6) для розімкнутого кола. У киснево-водневому елементі реальне значення напруги складає близько $0{,}7\ B$, хоча вона може змінюватися в залежності від струму навантаження і робочої температури елемента. За цього його ККД дорівнює $0{,}56$. Тож ця цифра значно нижча від значення $\eta = 1$, разом з тим вона значно вища, ніж у будь-якої теплової машини, яка працює за кімнатної температури.

4. У технічній літературі часто використовуються поняття ККД елемента за значеннями напруги ($\eta_н$) і струму (η_c). Перший визначається із виразу

$$\eta_н = \varepsilon_p / \varepsilon , \qquad (10)$$

де ε для оборотного процесу розраховується по (6). ККД за значенням струму (його ще називають ККД Фарадея) називають величину

$$\eta_c = I_з / mF\upsilon , \qquad (11)$$

де $I_з$ – струм у зовнішньому колі елемента; υ – швидкість електрохімічної реакції ($моль/с$). ККД елемента за значенням напруги зазвичай складає $50 - 60\%$, а ККД за струмом значно вищий. Він характеризує повноту участі реагентів у струмоутворюючій реакції.

Якщо провести розрахунки ККД найпростішого паливного елемента, описаного вище, то у цьому процесі повна вивільнювана енергія (у розрахунку на 1 моль рідкої води) складає $287 \cdot 10^3$ *Дж*, з яких $238 \cdot 10^3$ *Дж* припадає на частку вільної енергії, а $49 \cdot 10^3$ *Дж* перетворюється у тепло навіть за оборотного протікання процесу. Отже, за самого сприятливого випадку лише 83% звільненої у цій реакції хімічної енергії може перетворитися в електричну. Якщо продуктом є не вода, а водяна пара, то в оптимальному випадку в електричну енергію перетворюється 94% загальної енергії, але все ж не 100%. Тож і в цьому випадку ККД не може бути рівний одиниці.

Висновки. Створення дешевих паливних елементів з «високим» ККД (~90%), які працюють за киснево-водневим принципом, у широких масштабах дозволило б зберегти викопні паливні ресурси на багато сторіч. Цілу низку негативних проблем, пов'язаних з розміщенням АЕС, можна було б запобігти, якщо передавати на великі відстані не електроенергію, а водень.

У перспективі, наприклад, пропонується такий проєкт [4, С. 94]: розмістити АЕС на плаваючій в океані платформі. Вона може шляхом електролізу морської води виробляти водень. Останній по трубопроводах може передаватися до паливних елементів споживачів або централізовано накопичуватися у спеціальних сховищах, як сьогодні це відбувається з природним газом.

Література:

1. Erdey-Grúz T. Die chemischen Quellen der Energie. Budapest : Akadémiai Kiadó, 1971. 318 s.
2. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А., Ільніцька К.С. Інтегративний підхід до вивчення елементарної астрофізичної теорії явища припливів на поверхні Землі. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Кропивницький : РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2021. Вип. 201. С. 90-98.
3. Brinkworth B.J. Solar Energy for Man. London : Compton Press, 1972. 251 p.
4. Devins D.W. Energy: Its Physical Impact on the Environment. New York : Wiley, 1982. 572 p.
5. Шилейко А.В., Шилейко Т.И. В океане энергии. Москва : Знание, 1989. 192 с.
6. Justi E., Bischoff K., Spengler H. Stand und Aussichten der reversiblen Erzeugung elektrischer Energie aus festen Brennstoffen in Brennstoffelementen mit festen Elektrolyten. Wiesbaden, 1956. 397 s.
7. Vielstich W. Brennstoffelemente: Moderne Verfahren zur elektrochemischen Energiegewinnung [Fuel Cells: Modern Processes for the Electrochemical Production of Energy]. Weinheim: Verlag Chemie, 1965. 388 s.
8. Дущенко В.П., Кучерук І.М. Загальна фізика. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Київ : Вища школа, 1987. 431 с.
9. Таблицы физических величин. Справочник. Москва : Атомиздат, 1976. 1008 с.

References:

1. Erdey-Grúz, T. (1971). *Die chemischen Quellen der Energie [The chemical sources of energy]*. Budapest : Akadémiai Kiadó [in German].

2. Krasnobokyi, Yu.M., Tkachenko, I.A., & Ilnitska, K.S. (2021). Intehratyvnyi pidkhid do vyvchennia elementarnoi astrofizychnoi teorii yavyshcha pryplyviv na poverkhni Zemli [An integrative approach to the study of the elementary astrophysical theory of the phenomenon of tides on the Earth's surface]. *Naukovi zapysky. Seriia: Pedahohichni nauky – Academic notes. Series: Pedagogical Sciences,* 201, 90—98 [in Ukrainian].

3. Brinkworth, B.J. (1972). *Solar Energy for Man*. London : Compton Press [in English].

4. Devins, D.W. (1982). *Energy: Its Physical Impact on the Environment*. New York : Wiley [in English].

5. Shilejko, A.V., & Shilejko, T.I. (1989). *V okeane energii [In an ocean of energy]*. Moskva : Znanie [in Russian].

6. Justi, E., Bischoff, K., & Spengler, H. (1956). *Stand und Aussichten der reversiblen Erzeugung elektrischer Energie aus festen Brennstoffen in Brennstoffelementen mit festen Elektrolyten [Status and prospects of the reversible generation of electrical energy from solid fuels in fuel elements with solid electrolytes]*. Wiesbaden [in German].

7. Vielstich, W. (1965). *Brennstoffelemente: Moderne Verfahren zur elektrochemischen Energiegewinnung [Fuel Cells: Modern Processes for the Electrochemical Production of Energy]*. Weinheim : Verlag Chemie [in German].

8. Dushchenko, V.P., Kucheruk, I.M. (1987). *Zahalna fizyka. Fizychni osnovy mekhaniky. Molekuliarna fizyka i termodynamika [General Physics. Physical foundations of mechanics. Molecular physics and thermodynamics]*. Kyiv : Vyshcha shkola [in Ukrainian].

9. *Tablicy fizicheskih velichin. Spravochnik*. (1976). Moskva : Atomizdat [in Russian].