

УДК 330.15

**Павлова Олена Миколаївна**

*доктор економічних наук, професор,  
завідувач кафедри економіки та природокористування  
Волинський національний університет імені Лесі Українки*

**Павлова Елена Николаевна**

*доктор экономических наук, профессор,  
заведующая кафедрой экономики и природопользования  
Волынский национальный университет имени Леси Украинки*

**Pavlova Olena**

*Doctor of Economics, Professor,  
Head of the Department of Economics and Environmental Management  
Lesya Ukrainka Volyn National University  
ORCID: 0000-0002-8696-5641*

**Павлов Костянтин Володимирович**

*доктор економічних наук, професор,  
завідувач кафедри підприємництва і маркетингу  
Волинський національний університет імені Лесі Українки*

**Павлов Константин Владимирович**

*доктор экономических наук, профессор,  
заведующий кафедрой предпринимательства и менеджмента  
Волынский национальный университет имени Леси Украинки*

**Pavlov Kostiantyn**

*Doctor of Economics, Professor,  
Head of the Department of Entrepreneurship and marketing  
Lesya Ukrainka Volyn National University  
ORCID: 0000-0003-2583-9593*

**Новосад Оксана Володимирівна**

*кандидат економічних наук,  
докторант кафедри економіки та природокористування  
Волинський національний університет імені Лесі Українки*

**Новосад Оксана Владимировна**

*кандидат экономических наук,  
докторант кафедры экономики и природопользования  
Волинский национальный университет имени Леси Украинки*

**Novosad Oksana**

*candidate of economic sciences,  
doctoral student of the Department of Economics and Nature Management  
Lesya Ukrainka Volyn National University  
ORCID: 0000-0001-7156-643X*

**Шабала Олександр Петрович**

*аспірант кафедри підприємництва і менеджменту  
Волинського національного університету імені Лесі Українки*

**Шабала Александр Петрович**

*аспирант кафедры предпринимательства и менеджмента  
Волинского национального университета имени Леси Украинки*

**Shabala Oleksandr**

*Graduate Student of Department of Enterprise and Management  
Lesya Ukrainka Volyn National University*

**ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВОДНЕВИХ  
ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ В РЕГІОНАХ УКРАЇНИ  
ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РЕГИОНАХ УКРАИНЫ**

## FEATURES AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF HYDROGEN ENERGY SYSTEMS IN THE REGIONS OF UKRAINE

*Анотація.* В статті розглянуто сучасні екологічні та технологічні виклики процесу розвитку енергетичного ринку. З'ясовано необхідність та ключові вектори функціонування оновленої енергетичної системи, де важлива роль відводиться підвищенню енергоефективності заходів по профілактиці та адаптації кліматичних видозмін до глобальних тенденцій енергетики. Як наслідок, відбувається активне запровадження інноваційних заходів в енергетичному секторі України та регіонах. Зокрема, це простежується у сегментах видобутку, переробки, транспортування, зберігання та споживання енергетичних ресурсів. Опрацьовано основний документ, що конкретизує та реалізує основні етапи трансформації енергетичного сектору: «Енергетична стратегія України на період до 2035 років: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Відмічено, що реалізація зазначених у документі стратегічних змін є важливою та бажаною за умов впливу галузевих, регіональних, соціально-економічних чинників та врегулювання ескалації україно-російського конфлікту. Змодельовано майбутній розвиток України за умов декарбонізації енергетики, де чільне місце належатиме водневому напрямку. Розглянуто етапи та особливості становлення водневої енергетики, природні властивості водню, враховано світову практику. Відмічено та запропоновано пріоритетні та економічно-обґрунтовані методи застосування водню для отримання аміаку та в якості альтернативного ресурсу нафті та газу. Однак, виокремлено ряд перешкод, які інституційно перешкоджають Україні та регіонам повномасштабно застосовувати водневі технології.

**Ключові слова:** енергетика, водень, декарбонізація, електроліз, аміак, паливні ресурси, альтернативні ресурси, гідрокрекінг.

**Аннотация.** В статье рассмотрены современные экологические и технологические вызовы процесса развития энергетического рынка. Выяснено необходимость и ключевые векторы функционирования обновленной энергетической системы, где важная роль отводится повышению энергоэффективности мероприятий по профилактике и адаптации климатических видоизменений к глобальной тенденции энергетики. Как следствие, происходит активное внедрение инновационных мероприятий в энергетическом секторе Украины и регионах. В частности, это прослеживается в сегментах добычи, переработки, транспортировки, хранения и потребления энергетических ресурсов. Обработано основной документ, который конкретизирует и реализует основные этапы трансформации энергетического сектора: «Энергетическая стратегия Украины на период до 2035 годов: безопасность, энергоэффективность, конкурентоспособность». Отмечено, что реализация указанных в документе стратегических изменений является важной и наиболее приемлемой при условии влияния отраслевых, региональных, социально-экономических факторов и урегулирования эскалации украино-российского конфликта. Смоделировано будущее развитие Украины в условиях декарбонизации энергетики, где главное место будет принадлежать водородному направлению. Рассмотрены этапы и особенности становления водородной энергетики, природные свойства водорода, учтено мировую практику. Отмечено и предложено приоритетные и экономически обоснованные методы применения водорода для получения аммиака и в качестве альтернативного ресурса нефти и газа. Однако, выделены ряд препятствий, которые институционально препятствуют Украине и регионам полномасштабно использовать водородные технологии.

**Ключевые слова:** энергетика, водород, декарбонизация, электролиз, аммиак, топливные ресурсы, альтернативные ресурсы, гидрокрекинг.

**Summary.** *The article deals with modern environmental and technological challenges of the energy market development process. The necessity and key vectors of functioning of the renewed energy system, where an important role is assigned to increasing the energy efficiency of measures for the prevention and adaptation of climatic changes to the global energy trend, have been clarified. As a result, there is an active introduction of innovative measures in the energy sector of Ukraine and regions. This can be traced in the segments of production, processing, transportation, storage and consumption of energy resources. The main document has been processed, which specifies and implements the main stages of the transformation of the energy sector: "Energy strategy of Ukraine for the period up to 2035: safety, energy efficiency, competitiveness." It is noted that the implementation of the strategic changes specified in the document is important and most acceptable, subject to the influence of sectoral, regional, socio-economic factors and the resolution of the escalation of the Ukrainian-Russian conflict. The future development of Ukraine is modeled in the conditions of decarbonization of energy, where the main place will belong to the hydrogen direction. The stages and features of the formation of hydrogen energy, the natural properties of hydrogen are considered, the world practice is considered. The priority and economically justified methods of using hydrogen to produce ammonia and as an alternative resource for oil and gas are noted and proposed. However, several obstacles are highlighted that institutionally prevent Ukraine and the regions from fully using hydrogen technologies.*

**Key words:** *energy, hydrogen, decarbonization, electrolysis, ammonia, fuel resources, alternative resources, hydrocracking.*

**Постановка проблеми.** Оновлені екологічні та технологічні виклики світового розвитку суспільства потребують принципово нового підходу енергетичних стратегій держав та регіонів. Нині відбувається трансформація старого процесу функціонування енергетичної системи, в

якому мали місце великі виробники, традиційні паливні ресурси, застарілі мережеві комунікації, монопольний тиск на ринках природного газу. Тому виникає необхідність на новий лад створювати конкурентне середовище для можливостей функціонування та прогресу різних видів виробництва енергії або шляхів отримання та транспортування нових технологій паливних ресурсів. Вихідною тезою в оновлених стратегіях розвитку енергетики має стати підвищення досі незастосованих енергоефективних процесів по впровадженню альтернативних енергетичних ресурсів та використання заходів по профілактиці та адаптації кліматичних видозмін до глобальних тенденцій енергетичних змін.

**Виклад основного матеріалу.** Усвідомлюючи окреслені вектори направленості енергетичного сектору Україна та її регіони активно ініціюють пошук інноваційних методів та способів видобутку, переробки різних видів енергетичних продуктів, видобування, транспортування, зберігання та споживання енергії що без сумніву відображається в схваленому розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 року документі: “ Енергетична стратегія України на період до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”.

Наразі, єдиним правомочним документом, який водночас конкретизує стратегію розвитку енергетичного сектору України на період до 2035 року є “Енергетична стратегія України на період до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”. Важливою місією зазначеного документу є міжгалузєва кооперація для досягнення ефективного та безпечного задоволення потреб нації при споживанні енергетичних ресурсів [3]. В свою чергу реалізація окресленої стратегії передбачає докорінну трансформацію енергетичного комплексу України при впливі галузєвих, регіональних та соціально-економічних чинників за умов дотримання відповідного рівня безпеки ескалації україно-російського конфлікту.

Україна та регіони володіють достатніми науково-технологічними інноваційними відкриттями, які є результатом залучення місцевої компоненти наукового та освітнього резерву та формуватимуть підвищення рівня зайнятості та зменшення імпортозаміщеності ресурсів. Задля реалізації намічених кроків передбачено імплементувати енергетичну стратегію України (далі - ЕСУ) протягом трьох етапів, терміном до 2035 року. На першому етапі вже відбулося реформування енергетичного сектору, який частково завершено до 2020 року.

На даному етапі імплементовано основні положення Третього енергетичного пакету ЄС, що започаткувало процес формування повноцінних ринків природного газу та електроенергії відносно законодавчих підвалин. Окрім того завершено інституційну інтеграцію України за умовами ENTSO-G та ENTSO-E (ENTSO-G – європейська мережа об'єднання операторів газотранспортної системи ENTSO-E – європейська мережа операторів системи передачі електричної енергії).

На другому етапі планується оптимізація та інноваційний розвиток енергетичної інфраструктури до 2025 року. В межах даного етапу слід створити інтегроване до ЄС ринкове середовище, що дозволить обґрунтувати послуги об'єктів для модернізації, реконструкції та нового будівництва енергетичного сектора в процесі підвищення енергоефективності.

Специфікою на даному етапі є реалізація механізмів залучення інвестицій для заміщення енергетичних потужностей в межах енергетичної інфраструктури, покращення рівня корпоративного керівництва та стимулювання функціонування внутрішнього та зовнішнього ринків енергетичних ресурсів України та регіонів. Інвестиції спрямовані здебільшого в альтернативні джерела енергії, запровадження "розумних" енергетичних мереж та поширення електротранспортної інфраструктури.

На третьому етапі, який триватиме аж до 2035 року спрямовані зусилля покладатимуться на досягнення інноваційного розвитку енергетичного сектору та побудову нової генерації. Загалом інвестиції націлено буде у нового виду потужності, які слід вивести з експлуатації. Обрання типу генерації є залежним від існуючої на той час цінової кон'юнктури паливних ресурсів та інноваційності розвитку певних типів генерації, що сприятиме підвищенню конкурентних відносин між ними в зв'язку з впровадженням smart-технологій задля балансування піків споживання.

Загалом окреслені етапи реалізації ЄСУ та регіонів підкреслюються незворотними процесами декарбонізації енергетики. Реалізація Паризької угоди потребує застосування консолідованих та виважених зусиль міжнародною спільнотою в проекції тенденцій глобального потепління на Землі. Першочергову роль в реалізації ЄСУ відіграватиме не лишень ядерна енергетика, гідроенергетика, а й альтернативні (відновлювальні) енергетичні системи, які мають найменший рівень викидів парникових газів.

Період реалізації окресленої стратегії є тривалим до 2035 року у зв'язку з можливістю успішного освоєння робіт розробки родовищ природного газу, заміна електроенергетичних ресурсів на інноваційно обґрунтовані нетрадиційні види, тощо. Зрештою, адаптивна та видозмінена енергетична інфраструктура покликана стати стимулом підвищення безпековості та майбутнім плацдармом надійного та безпечного енергозбереження споживацького попиту в напрямку сходу ЄС.

Особливим інноваційним видом альтернативних енергетичних ресурсів є водневі, які віднедавна сформували цілий напрям в енергетичній сфері. В широкому розумінні воднева енергетика є напрямом вироблення, споживання енергетичних ресурсів споживачами, які отримані шляхом застосування водню в якості акумуляції, транспортування та споживання

енергетичних особливостей в споживацьких та побутових цілях. Природні характеристики водню дозволяють мати найбільшу енергоємність і відтвореність та нескінченну поширеність на поверхні землі. Вперше термін "воднева енергетика" було вжито Джоном Бонрісом під час публічного викладу матеріалу в General Motors в 1970 році. Спочатку водень розглядали як паливний ресурс для транспортних засобів, згодом для енергопостачання будівель. Однак, водень не існує в чистому вигляді, а виробляється шляхом електролізу води та іншими прогресивними та вдосконаленими на сьогодні технологіями. Загалом водень є альтернативним варіантом нафти, може бути отриманий з використанням найрізноманітніших природних ресурсів: газових, вугільних, органічних та з різноманітного походження відходів.

Світова практика свідчить що величезні обсяги цього ресурсу можна отримати шляхом конверсії водяної пари і природного газу. Окрім того, водень є найбільш екологічно-чистим джерелом енергії придатним для безпечного споживання, беручи до уваги особливо забруднюючу транспортну галузь [2].

Практичне застосування водню  $H_2$  окреслюється в двох напрямках. Згідно першого, приблизно половина застосовується для отримання аміачного розчину ( $NH_3$ ) шляхом процесу Габера, який можна застосувати в якості добрива. Аміак є цінним продуктом, який має завжди високий споживчий попит. Другий напрямок використання водню націлений на перетворення сировини нафти в сипної структури у більш якісні форми, які здатні замінити паливо. Згодом відбувається процес гідрокрекінгу. Суть зазначеного процесу акумулюється в активному пошуці надлишкових компаній до збільшення доходності шляхом використання дешевших замінних складників (бітумінозні піски, нафтоносні сланці). Світові тенденції використання водню орієнтовані на запровадження природного газу, де 30%- націлено на нафту, 18%- на вугілля, електроліз води охоплює близько 4% [13].

Як правило, водень одержують в основному з викопних джерел, що підкреслює необхідність вирішення проблеми компактного та безпечного зберігання водневих ресурсів. Не значну кількість водню можна отримати через електроліз води. До прикладу, отримання кілограму водню є можливим за умови використання 50 кіловат-годин електроенергії.

Найбільш поширеними процесними методами отримання водню на сьогодні є: кварнер процес (кварнер сажі, використання методу, природного газу та біогазу для отримання водневої суміші); біологічний або ферментативний метод; електроліз води; електроліз високого тиску; електроліз за умов високих температур; фото електрохімічне розщеплення води; концентрація теплової сонячної енергії; фотоелектрокаталістичний метод; термохімічний метод.

Для отримання та подальшого застосування водневого ресурсу, не абияке значення мають умови зберігання. Водневе паливо для автомобільної індустрії як правило зберігається у вигляді стиснутого газу за тиску приблизно 350-700 бар. Для цього застосовують моделі баків вироблених з вуглекислого волокна, які є легкими та надійними. Вміщено водню у таких баках є статичним для 400-500 км пробігу автомобіля.

Також є практика підземного зберігання водню. В основному це зосередження отриманих водневих речовин в підземних сховищах з доменним скріпленням із застосування вторинних нафтових та газових родовищ. Саме підземний спосіб застосування водню є перспективною інфраструктурою майбутнього водневої енергетики.

На разі, інфраструктура водню в Україні та регіонах є слаборозвиненою. В основному вона складається з промислової трубопровідної системи, за допомогою якої можна перемішувати водневі ресурси, водневих заправок, які є важкодоступними, оскільки знаходиться на відповідному "водневому шосе".

Функціонування зазначених станцій відбувається в основному через доставку водневих цистерн з стиснутим або зрідженим воднем транспортними засобами. Однак на сьогодні змінилися підходи від стаціонарних водневих станцій до динамічної системи водневого виробництва за допомогою генераторів малих та середніх розмірів для особистого виробництва водню.

На разі для розгалуженої інфраструктури водневої енергетики виробництво водню може бути як централізованим так і розгалуженим. Виробництво водневих ресурсів на заводах, які застосовують первинну енергію та в подальшому має бути ефективним на відміну від трансформуючих потужностей, які викликають певні труднощі та втрату хімічного значення водню у зв'язку з крихченням. Тому перед майбутнім водневої енергетики стоїть завдання: досягнення необхідного балансу між транспортуванням водню та його подальшою передачею у вигляді електричного ресурсу на далекі дистанції.

На сьогодні досі не розроблено методику оцінки застосування водню. Загалом, викопні види палива, які є основним джерелом енергії не є результатом людської праці, тому слід брати до уваги втрати пов'язані з видобутком, переробкою, транспортуванням та виробництвом водню. В той же час, одержання кожного кілограму водню високої чистоти потребує 30 кіловат-годин електроенергії, не впливає на істотне зниження ціни на водень.

Згідно світової практики, виробництво та стиснення кілограму водню потребує 60кВт/год та вартує орієнтовно 6\$ за кілограм, а в розрахунку вартості електроенергії 10 центів кВт за годину. Водночас виробництво та стиснення кілограму водню із природного газу вартує 3\$. На разі трубопроводи для переміщення водню є дорожчими за будь-які електроенергетичні та газотранспортні мережі. Водень є втричі ємнішим за газ та потребує вищих експлуатаційних втрат. Тобто повномасштабне

впровадження водневої енергетики потребує значних інвестицій зокрема в інфраструктурне середовище для зберігання та розподілу водневих ресурсів.

Однак за умови зростаючої тенденції застосування альтернативних джерел енергії, очікується що вже на початку 21 сторіччя вартість переходу на водневі технології стабілізує ціновий еквівалент з урахування принципу екологічності. Беручи до уваги цю обставину слід стверджувати орієнтуючись на останні дослідження, що водень може втамувати до 85% існуючих енергетичних потреб в галузі індустрії та більше 90% попиту промислової та споживчої сфер. Тобто він може бути більш вигідним в економічному та екологічному аспектах заміником природного газу, пального, коксу та метану [6].

Виходячи з існуючих теоретичних та практичних розвідок слід стверджувати що водень є енергоносієм майбутнього та на даний час є найбільшою альтернативою природному паливі. В свою чергу, це дозволяє виділити важливі енергетичні та вирішення екологічних потреб суспільства та мінімізація ризиків, які пов'язані із збагаченням атмосферою повітря вуглекислим газом.

Проте наявні запаси електроенергетики є недостатніми для виробництва водню для подальшого застосування в енергетичному секторі. Тому воднева енергетика постійно удосконалюється пошуками дешевших джерел та осередків для виробництва водню, а також удосконаленням процесу електролізу перетворювачів електроенергії у водень та навпаки. Первинними джерелами отримання водню можуть бути сонячна, вітрова та гідроенергія. Аналіз енергетичних систем з урахуванням впливу зазначених джерел енергії із застосуванням в якості акумулятора енергетичних процесів водню свідчить про недостатній рівень генерування електроенергії з сонячних джерел. Найбільш ефективним у цьому сенсі є застосування енергії вітрових та гідроенергетичних систем [4].

Водень є мінливою речовиною, яка може бути в будь-якому стані. Найбільш прийнятними га сьогодні є такі форми зберігання та переміщення водню як: водень газоподібної форми (підземні резерви); водень стиснений та газоподібної форми (балони, резерви, підземні сховища); водень зв'язаної форми (хімічні сполуки, гібриди металів); водень в рідкоподібному стані [7].

Як правило, газоподібний водень зберігається в балонах (15 Мпа), при цьому маса контейнера на 1 кг водню враховує 98 кг. Рідкоподібний водень зосереджується в криогенній формі в деюрах по 6.5 кг (деюрах розраховує 1 кг рідкого водню різного метану, який становить 1.3 кг) . Порівняльним показником різних форм водню є густина енергії [1].

В процесі опрацювання науково-технічної інформації для практичного підґрунтя в напрямі водневої енергетики застосовується ряд моделей екологічно-чистих систем щодо виробництва, зберігання та застосування водневих ресурсів різної енергетичної ємності. Залежно від потужностей електроустановок особливих природніх та хімічних ознак, техніко-технічних застосувань вже розроблені технічні проекти по акумулюванні водневих ресурсів наступної установленної потужності: 24 Вт, 83 кВт, 290 кВт, 410 кВт [5].

Оскільки водневі ресурси дозволяють акумулювати міжсезонні поставки водню важливим завданням є правильний вибір установки для одержання водню. На це завдання впливає енергетичний потенціал відновлювальних джерел енергії, які знаходяться в прямій залежності від потенціалу електрогенеруючого обладнання [8].

Процес електролізу не є складним по своїй суті, результатом розпаду якого є водень та кисень. Як було зазначено вище вибір методу зберігання водню є залежним в основному від енергетичної потужності, характерних особливостей, та потреб споживача. В разі застосування електролізних приладів з незначною енергетичною потужністю рідкоподібний водень

недоцільно зберігати так як він не адаптований до сучасних технологічних вимог української промисловості. Це пояснюється значною обмеженістю енергетичних системних електролізних установок комбінованих форм використання [9].

За умов запровадження комбінованих вітроенергетичних систем відбуваються наступні процеси: спалювання з отриманням теплової енергії; акумулювання електричної енергії (мотор-генератор, паливні ресурси); застосування в автотранспортній діяльності.

За умов впровадження водню для забезпечення побутових потреб застосовуються плити з комбінованими пальниками. Особливу цінність в отриманні електроенергетичного ресурсу належить водню – кисневим паливним елементам. Паливними елементами є хімічні осередки струму, де задіяні хімічні елементи, які впливають на пришвидшення отримання водню шляхом електролізу води. За хімічними ознаками, паливні елементи мають високу потужність та ККД, екологічно чисті та безпечні в застосуванні.

Результативним процесом в застосуванні паливних елементів є вода, яка має широкий спектр застосування. Для одержання 1 кВт. Год електроенергії використовуючи паливний елемент затрачається 0.371 км<sup>3</sup> або 33,12 гр. водню та 0.186 нм<sup>3</sup> або 133.03 Г кисню (ККД паливного ресурсу  $\approx 0.8$ ), при окисленні 1 км<sup>3</sup> водню отримується енергія рівнозначна 3.37 кВт. год [5].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Попри значні переваги та економічну обґрунтованість застосування водневих ресурсів в якості різних форм енергоносія та палива існує ряд перешкод у господарському ставленні споживачів. Панує думка у населення, яка не є безпідставною що водень є займистою сумішшю та може легко спалахнути змішуючись з повітрям. Це підтверджено і хімічними критеріями водню та схильністю спалахувати при ліміті від 4 до 75% [12].

Однак це не є свідченням постійних випадків займання водню. На противагу існуючій теорії слід врахувати низькомолекулярний склад водню та широкий діапазон дифузії у повітрі що не дозволяють йому спалахувати в замкненому просторі (тунелях та підземних паркінгах) [13].

Задля успішної комерціалізації водневої індустрії слід розпочати з досвіду Канади в частині програми водневої безпеки, яка охоплює особливу цінність провадження відповідної освіти з інженерії водневої безпеки. Результатом даної освіти очікується реакція громадськості на застосування новітніх технологій в повсякденному вжитку.

### Література

1. Асланин Г. С. Проблематичность становления водородной энергетики. Теплоэнергетика. 2006. № 5. С. 66-73.
2. Воднева енергетика. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B0\\_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0)
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>
4. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підручник. К. НТУУ "КПІ", 2012. 492 с.
5. Кудря С. О. Системи акумулювання і перетворення енергії відновлювальних джерел. Докт. Дис., Київ, 1996. 548 с.
6. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. К. Наукова думка. 1999. 314 с.
7. Гамбург Ю.М. Водород свойства. Получение, хранение, транспортирование, применение. Москва: Химия. 1989. 671 с.

8. Павлова О.М., Павлов К.В. Сучасний стан та перспективи розвитку відновлювальної енергетики в регіоні. Економічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки. 2020. Вип. 21(1). С. 146-154.
9. Павлова О.М., Павлов К.В., Якимчук А.Ю., Сорокопуд І.В., Галянт С.Р. Енергетичний ринок західного регіону України. Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". Серія: "Економічні науки". 2020. Вип.7. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2020-7-6202>
10. Писанко С. В., Романюк Р. В., Павлова О. М., Павлов К. В. Електроенергетичний ринок регіонів України в контексті модернізаційних змін. Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". Серія: "Економічні науки". 2020. №12. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2020-12-6795>
11. Писанко С. В., Павлова О. М., Павлов К. В. Роль та значення інвестиційно-інноваційних процесів в електроенергетичній галузі регіону. Український журнал прикладної економіки. 2020. Том 5. № 3. С. 320-328. ISSN 2415-8453.
12. Pavlova O., Pavlov K., Horal L., Novosad O., Korol S., Perevozova L., Obelnytska K., Daliak N., Protsyshyn O., Popadynet N. Integral estimation of the competitiveness level of western Ukrainian gas distribution companies. Accountating. 2021. Vol. 7. Iss. 5. P. 1073-1084. doi: <http://dx.doi.org/10.5267/j.ac.2021.3.001>
13. Hydrogen safety fact shee, wational hydrogen assotiation 2013.07.01.
14. Pavlov Kostiantyn, Pavlova Olena and al. Optimization of multi-channel queuing systems with a single retail attempt: Economic approach. Decision Science Letters. Decision Science Letters 9. 2020. URL: [http://www.growingscience.com/dsl/online/dsl\\_2020\\_22.pdf](http://www.growingscience.com/dsl/online/dsl_2020_22.pdf)
15. Pavlov K., Pavlova O., Korotia M. et al. Determination and Management of Gas Distribution Companies' Competitive Positions. In: Mrugalska B.,

- Trzcielinski S., Karwowski W., Di Nicolantonio M., Rossi E. (eds) Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control. AHFE 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1216. Springer, Cham. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51981-0\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51981-0_38)
16. Pavlov K., Pavlova O., Kupchak V. Integral Indicators Based on Competitiveness Capacity Characteristics of Regional Real Estate Markets of Ukraine. *Journal of Competitiveness*. 2019. № 11(3). P. 87–108. doi: <https://doi.org/10.7441/joc.2019.03.06>

### References

1. Aslanin G. S. (2006). Problematichnost' stanovleniya vodorodnoy yenergetiki. [Problematic of the formation of hydrogen energy]. *Teployenergetika*. № 5. S. 66-73. [in Russian].
2. Vodneva enerhetyka [Hydrogen energy]. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B0\\_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0)
3. Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2035 roku: bezpeka, enerhoefektyvnist', konkurentospromozhnist'. [Ukraine's energy strategy for the period up to 2035: security, energy efficiency, competitiveness]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
4. Kudrya S. O. Netradytsiyni ta vidnovlyuval'ni dzherela enerhiyi: pidruchnyk. (2012). [Non-traditional and renewable energy sources]. K. NTUU "KPI". S. 492. [in Ukrainian].
5. Kudrya S. O. Systemy akumuluyuvannya i peretvorennya enerhiyi vidnovlyuval'nykh dzherel. (1996). [Systems of energy accumulation and conversion of renewable sources]. *Dokt. Dys.*, Kyyiv. 548 s. [in Ukrainian].

6. Mkhitaryan N. M., Yenergetika netraditsionnykh i vozobnovlyayemykh istochnikov. (1999). [Energy of non-traditional and renewable sources]. K. Naukova dumka. 314 s. [in Ukrainian].
7. Gamburg Y.M., Vodorod svoystva. Polucheniye, khraneniye, transportirovaniye, primeneniye. (1989). [Hydrogen properties. Receiving, storage, transportation, application]. Moskva: Khimiya. 671 s. [in Russian].
8. Pavlova O.M., Pavlov K.V. Suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku vidnovlyuval'noyi enerhetyky v rehioni. (2020). [Current state and prospects of renewable energy development in the region]. Ekonomichnyy chasopys Volyns'koho natsional'noho universytetu imeni Lesi Ukrayinky. Vyp. 21(1). S. 146-154. [in Ukrainian].
9. Pavlova O.M., Pavlov K.V., Yakymchuk A.Yu., Sorokopud I.V., Halyant S.R. Enerhetychnyy rynek zakhidnoho rehionu Ukrayiny. (2020). [Energy market of the western region of Ukraine]. Mizhnarodnyy naukovyy zhurnal "Internauka". Seriya: "Ekonomichni nauky". Vyp. 7. doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2020-7-6202>
10. Pysanko S. V., Romanyuk R. V., Pavlova O. M., Pavlov K. V. (2020). Elektroenerhetychnyy rynek rehioniv Ukrayiny v konteksti modernizatsiynykh zmin [Electric power market of regions of Ukraine in the context of modernization changes]. Mizhnarodnyy naukovyy zhurnal "Internauka". Seriya: "Ekonomichni nauky". (12). doi: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2020-12-6795> [in Ukrainian].
11. Pysanko S. V., Pavlova O. M., Pavlov K. V. (2020). Rol' ta znachennya investytsiyno-innovatsiynykh protsesiv v elektroenerhetychniy haluzi rehionu. [The role and importance of investment and innovation processes in the power industry of the region]. Ukrayins'kyy zhurnal prykladnoyi ekonomiky. Tom 5. № 3. S. 320-328. ISSN 2415-8453. [in Ukrainian].
12. Pavlova O., Pavlov K., Horal L., Novosad O., Korol S., Perevozova L., Obelnytska K., Daliak N., Protsyshyn O., Popadynet N. (2021). Integral

- estimation of the competitiveness level of western Ukrainian gas distribution companies. *Accounting*, Vol. 7. Iss. 5. S. 1073-1084. doi: <http://dx.doi.org/10.5267/j.ac.2021.3.001>
13. Hydrogen safety fact sheet, national hydrogen association 2013.07.01.
  14. Pavlov Kostiantyn, Pavlova Olena and al. Optimization of multi-channel queuing systems with a single retail attempt: Economic approach. *Decision Science Letters*. *Decision Science Letters* 9 (2020). URL: [http://www.growingscience.com/dsl/online/dsl\\_2020\\_22.pdf](http://www.growingscience.com/dsl/online/dsl_2020_22.pdf)
  15. Pavlov K., Pavlova O., Korotia M. et al. (2020) Determination and Management of Gas Distribution Companies' Competitive Positions. In: Mrugalska B., Trzcielinski S., Karwowski W., Di Nicolantonio M., Rossi E. (eds) *Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control. AHFE 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 1216. Springer, Cham. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51981-0\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51981-0_38)
  16. Pavlov K., Pavlova O., Kupchak V. (2019). Integral Indicators Based on Competitiveness Capacity Characteristics of Regional Real Estate Markets of Ukraine. *Journal of Competitiveness*, № 11(3). P. 87–108. doi: <https://doi.org/10.7441/joc.2019.03.06>