

<https://doi.org/10.15407/sofs2021.02.055>

УДК 0001.3

Л.Г. ЛОБУНЕЦЬ, науковий співробітник,
ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М.Доброва НАН України»,
бульвар Тараса Шевченка, 60, Київ, 01032, Україна,
e-mail: lulobunets@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7543-635X>

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ЕНЕРГЕТИКИ, ЯКІ ВИКОНУЮТЬ УСТАНОВИ НАН УКРАЇНИ

Актуальність теми дослідження обумовлена пріоритетністю впровадження альтернативних джерел і створення новітніх систем виробництва і постачання електричної та теплової енергії, що відображено в енергетичних системах більшості розвинених країн. Аналітичний огляд статистичних даних щодо динаміки цін на сонячну електроенергію, а також питомих капітальних витрат і цін на електроенергію для різних джерел підтверджує, що концепція переходу світової енергетики на відновлювані джерела енергії отримала необхідну техніко-економічну базу.

Наведено результати ретроспективного аналізу наукових досліджень, виконаних у наукових установах Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України, які відповідають напрямкам Енергетичної програми України «Нетрадиційна енергетика», «Вугільна енергетика» та «Нафтогазовий комплекс», а також порівняльної оцінки трендів їх розвитку.

Як інструментарій для проведення аналізу використовувалась база даних щодо завершених науково-дослідних робіт у галузі енергетики, створена в ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М. Доброва НАН України». Вона охоплює період починаючи з 1995 року і містить інформацію щодо всіх науково-дослідних робіт із відомчої тематики, виконаних у наукових установах Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України (ВФТПЕ НАН України). Особливістю бази є те, що зібрана інформація відповідає єдиному стандарту для всього періоду досліджень, що забезпечує достовірність і порівняльність даних. Обсяг і склад інформації в базі даних відповідає формі протоколу закінчених науково-дослідних робіт. Класифікацію тематики за напрямками здійснено на основі загальноприйнятої в НАН України рубрикації, яка ґрунтується на класифікації напрямів

Цитування: Лобунець Л.Г. Аналіз тенденцій розвитку досліджень у галузі енергетики, які виконують установи НАН України. *Наука та наукознавство*. 2021. № 2 (112). С. 55—63. <https://doi.org/10.15407/sofs2021.02.055>

Енергетичної стратегії України на період до 2030 року: «Вугільна промисловість», «Нафтогазовий комплекс», «Електроенергетика», «Нетрадиційна енергетика», «Атомна енергетика», «Енергозбереження», «Регіональні та загальні проблеми енергетики», «Науково-технічне забезпечення енергетики», «Екологія», «Проблеми Чорнобиля».

Аналіз досліджень у галузі енергетики, виконаних ВФТПЕ НАН України, здійснено за показниками обсягу фінансування робіт, кількості наукових тем і публікацій із нетрадиційної енергетики, на основі яких визначено тренди розвитку згаданих досліджень. За результатами аналізу зроблено висновок, що основні тенденції й напрями досліджень, виконаних ВФТПЕ НАН України, відповідають сучасним світовим трендам, оскільки в останні десятиліття пріоритети зрушилися у бік створення стійких енергетичних систем на основі використання безвуглецевих технологій та відновлюваних джерел енергії. З огляду на завдання, які стоять перед енергетичною наукою в період переходу до безвуглецевої системи енергозабезпечення, зроблено висновок щодо необхідності розширення досліджень в напрямках розроблення і створення ефективних систем довгострокового акумулювання електричної енергії.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, електроенергія, нетрадиційна енергетика, НАН України, наукові дослідження, фінансування.

Вступ. Початок ХХІ століття без перебільшення можна назвати переломним періодом у стратегії розвитку світової енергетичної системи. В цей період концепція переходу на переважно відновлювані джерела енергії набула незворотного характеру — в таких найбільш передових з точки зору створення сталої енергетичної системи країнах, як Швеція, Норвегія, Німеччина, Велика Британія, було визначено конкретні реальні часові рамки повного переходу на джерела енергії з нульовою емісією вуглецевих газів [1]. Загалом планується, що ці країни після 2040-х років відмовляться від застосування вуглеводневих палив для виробництва електроенергії на користь сонячної, вітрової та геотермальної енергії та повністю перейдуть на електротранспорт¹. Масштабні завдання у використанні відновлюваних джерел енергії стоять також перед наукою та промисловістю України [2].

Високі темпи впровадження альтернативних джерел і створення новітніх систем виробництва і постачання електричної та теплової енергії передбачено в енергетичних стратегіях більшості розвинених країн. Такому розвитку подій безумовно передував величезний обсяг наукових досліджень, завдяки яким за останні десятиліття відбулося прискорене зростання техніко-економічних показників альтернативної енергетики. Вартість фотоелектричних генераторів за цей період знизилась у п'ятсот разів, а встановлена потужність сонячних електростанцій — на п'ять порядків [3]. Відповідно, вартість сонячної електроенергії знизилась до прийняттого рівня. Динаміку цін на сонячну електроенергію показано на рис. 1. Об'єктивним показником вартості електроенергії є вирівняна вартість енергії LCOE — це економічна оцінка, яка дозволяє порівнювати різні методи та джерела виробництва електроенергії. Вона визначається як відношення загальних витрат на будів-

¹ Fossil fuel phase-out. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Fossil_fuel_phase-out (дата звернення: 10.07.2020).

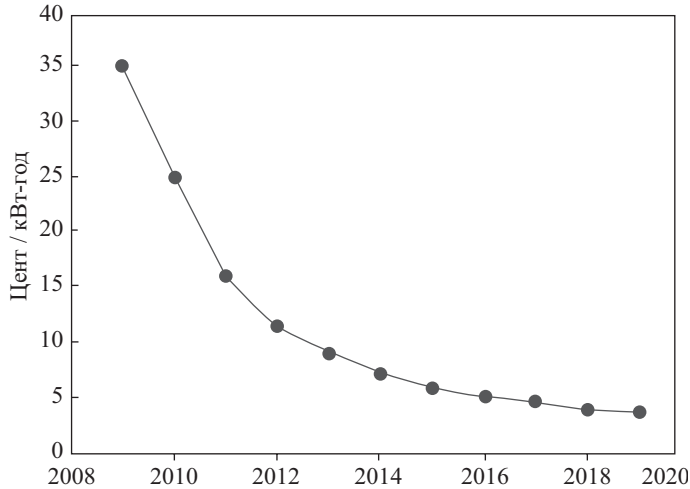


Рис. 1. Динаміка цін на сонячну електроенергію
Джерело: побудовано автором на основі даних [3].

ництво та експлуатацію енергогенеруючого активу протягом його життєвого циклу до загального обсягу електроенергії, виробленої протягом усього терміну експлуатації, й вимірюється у доларах США за МВт-годину електроенергії. Питомі капітальні витрати на сонячні та вітрові генератори суттєво знизились, навіть у порівнянні з найкращими традиційними системами, і складають, відповідно, 900 дол/кВт та 1100 дол/кВт (рис. 2). З урахуванням того, що паливна складова для цих джерел дорівнює нулю, це призвело до різкого падіння цін на альтернативну електроенергію. Порівняльні ціни на електроенергію різних джерел наведено на рис. 3.

Тобто для основних відновлюваних джерел енергії вартість електроенергії стала суттєво нижче цін на традиційні джерела, що забезпечує їм конкурентоздатність на енергоринках. Конкурентоздатність альтернативних джерел на перспективу також значно підсилюється планами щодо введення додаткової плати за викиди парникових газів, які вже набувають правового статусу в багатьох країнах світу. Отже, можна констатувати, що за останні роки було остаточно вирішено завдання створення економічних відновлюваних джерел енергії в промислових масштабах. Наступним складним завданням, над яким працює енергетична наука і промисловість, є створення енергосистем, які використовують лише відновлювані або безвуглецеві джерела енергії. Основна проблема створення таких енергосистем, зважаючи на стохастичний характер відновлюваних джерел енергії, полягає в необхідності забезпечення відповідності графіків споживання та генерації електроенергії. Головним напрямом врегулювання цієї проблеми є створення потужних, безінерційних й ефективних систем акумулювання електроенергії — електрохімічних, термодинамічних, механічних та інших.

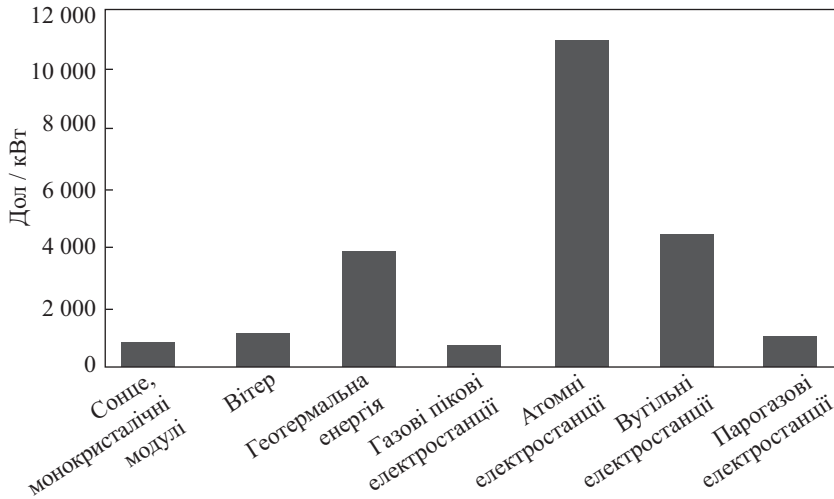


Рис. 2. Питомі капітальні витрати для різних джерел електроенергії

Джерело: побудовано автором на основі даних: LAZARD'S Levelized Cost of Energy Analysis. Version 13.0. (2019). URL: <https://www.lazard.com/perspective/lcoe2019/> (дата звернення: 10.05.2020).

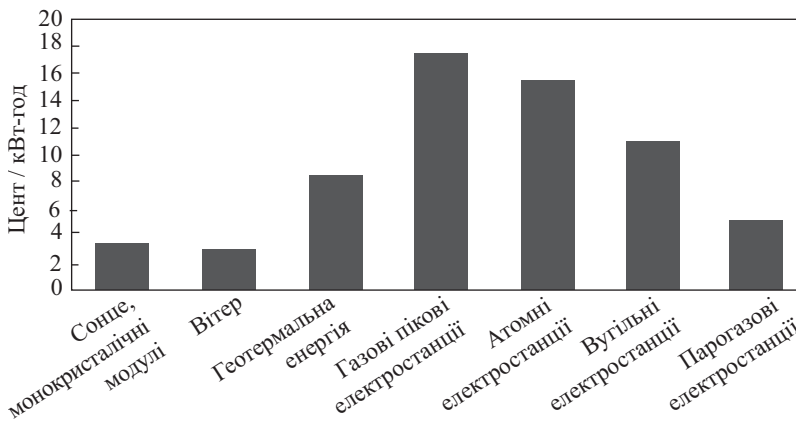


Рис. 3. Порівняння цін на електроенергію для різних джерел

Джерело: побудовано автором на основі даних: LAZARD'S Levelized Cost of Energy Analysis. Version 13.0. (2019). URL: <https://www.lazard.com/perspective/lcoe2019/> (дата звернення: 10.05.2020).

Наведена вище інформація обумовлює актуальність статистичного моніторингу показників, які відображають стан наукових досліджень у галузі енергетики в НАН України, з точки зору їх відповідності світовим трендам розвитку енергетики.

Метою статті є викладення результатів ретроспективного аналізу досліджень, виконаних у наукових установах Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України, які відповідають напрямам Енергетичної прог-

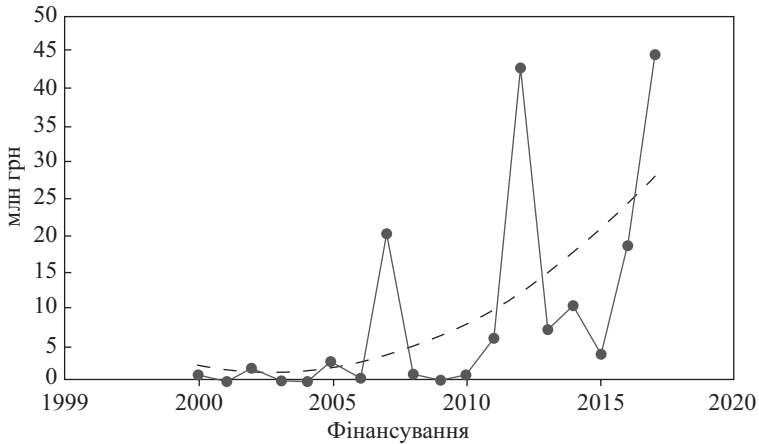


Рис. 4. Обсяги фінансування робіт із нетрадиційної енергетики у ВФТПЕ НАН України (зауваження гол. редактора: графік побудовано в поточних цінах і це створює надто оптимістичну картину, адже з 2000 до 2017 року гривня здешевіла у понад 12 разів)
Джерело: побудовано автором на основі власних розрахунків.

рами України «Нетрадиційна енергетика», «Вугільна енергетика» та «Нафтогазовий комплекс», та визначення трендів їх розвитку.

Джерела інформації, методологія та результати аналізу. Як інструментарій для проведення аналізу використовувалась база даних щодо завершених науково-дослідних робіт у галузі енергетики, створена в ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М. Доброва НАН України». Вона охоплює період починаючи з 1995 року і містить інформацію щодо всіх науково-дослідних робіт із відомчої тематики, виконаних у наукових установах Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України (ВФТПЕ НАН України). Особливістю бази є те, що зібрана інформація відповідає єдиному стандарту для всього періоду досліджень, що забезпечує достовірність і порівнянність даних. Цей стандарт ґрунтується на підходах, запроваджених Інститутом статистики ЮНЕСКО (UIS)² для моніторингу розвитку наукових досліджень, а саме на вивченні статистичних даних щодо фінансування досліджень і розробок як частки ВВП (SDG індикатор 9.5.1) та кількості дослідників на 1 млн мешканців (SDG індикатор 9.5.2)³.

Обсяг і склад інформації в базі даних відповідає формі протоколу закінчених науково-дослідних робіт. Класифікація тематики за напрямками здійснюється на основі загальноприйнятої в НАН України рубрикації, яка ґрунтується на класифікації напрямів Енергетичної стратегії України на період до 2030 року:

1. Вугільна промисловість.

² New UIS Data for SDG 9.5 on Research and Development. URL: <http://uis.unesco.org/en/news/new-uis-data-sdg-9-5-research-and-development> (дата звернення: 05.03.2019).

³ SDG Indicators. Metadata Repository: URL: <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/?Text=&Goal=9&Target=9.5> (дата звернення: 05.03.2019).

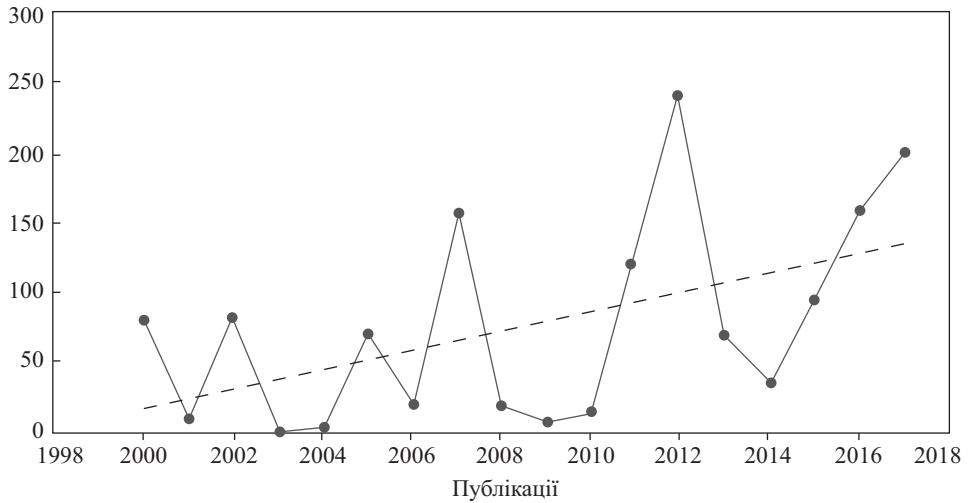


Рис. 5. Кількість публікацій з питань нетрадиційної енергетики у ВФТПЕ НАН України
Джерело: побудовано автором на основі власних розрахунків.

2. Нафтогазовий комплекс.
3. Електроенергетика.
4. Нетрадиційна енергетика.
5. Атомна енергетика.
6. Енергозбереження.
7. Регіональні та загальні проблеми енергетики.
8. Науково-технічне забезпечення енергетики.
9. Екологія.
10. Проблеми Чорнобиля.

База має такі поля: Рік; Порядковий номер теми; Напрямок; Код теми; Інститут; Строки виконання; Фінансування; Персонал (акад; чл-кор; дтн; ктн; допоміжн); Публікації; Патенти; Назва теми; Анотований зміст теми.

Більш детальну інформацію щодо цієї бази даних і результати моніторингу за 1995—2010 та 2010—2015 рр. наведено в [4, 5].

Порівняння виділених напрямів здійснювалось за кількістю науково-дослідних тем та за обсягами фінансування. На рис. 4 наведено інформацію щодо обсягів фінансування наукових досліджень із проблем нетрадиційної енергетики за період часу, що розглядається. Великі коливання цього показника пояснюються тим, що в протоколах завершених робіт наводиться кумулятивний обсяг фінансування за весь час виконання науково-дослідної теми, тобто періодичність надходження інформації складає 3—5 років (звичайна періодичність для строків виконання науково-дослідних робіт). В цьому сенсі більш показовою є крива тренду (пунктирна лінія), що показує монотонне зростання річних обсягів фінансування робіт із нетрадиційної енергетики.

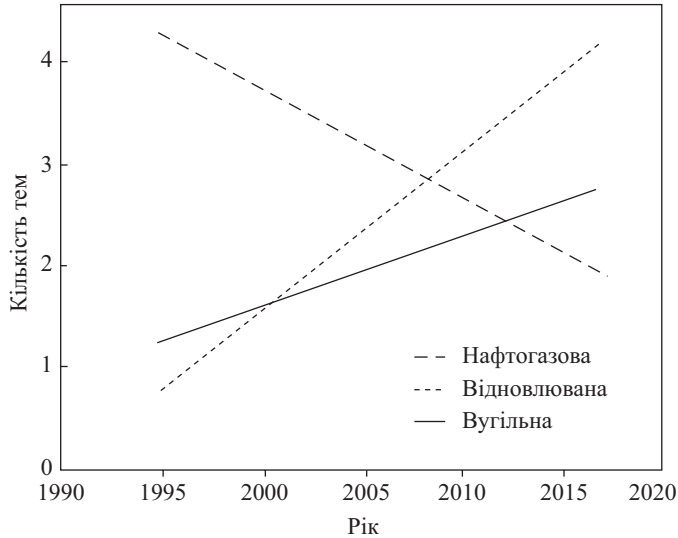


Рис. 6. Тренди розвитку наукових досліджень у ВФТПЕ НАН України

Джерело: побудовано автором на основі власних розрахунків.

На рис. 5 наведено інформацію щодо кількості публікацій з проблем використання відновлюваних джерел енергії. Вона за цей час зросла практично на порядок, що відповідає світовим тенденціям у цій галузі.

Більш інформативно тенденції розвитку відображає порівняльний аналіз статистичних даних щодо напрямів наукових досліджень, які розглядаються. В якості основного параметра порівняння використовувалась кількість завершених робіт за напрямками «Нетрадиційна енергетика», «Нафтогазовий комплекс» та «Вугільна енергетика» за період 1995—2018 рр. Вибірки за цими параметрами використовувались для визначення трендів розвитку обраних напрямів у визначений період часу. Як слідує з наведених на рис. 6 даних, кількість наукових тем із нетрадиційної енергетики монотонно зростала, водночас як кількість робіт для нафтогазового сектору невпинно падала. Вугільна тематика в останні роки також продемонструвала зростання, що пояснюється необхідністю переведення існуючих вугільних блоків електростанцій енергосистеми України на непроєктні марки вугілля. Слід зазначити, що такі тенденції цілком відповідають світовим трендам розвитку енергетичної науки.

Висновки і перспективи розвитку досліджень. За досліджений період часу відбулись суттєві зміни в пріоритетних напрямках наукових досліджень у галузі енергетики, виконуваних установами ВФТПЕ НАН України. Кількість робіт із проблем відновлюваних джерел енергії монотонно зростала, водночас як кількість робіт, присвячених проблемам традиційної енергетики, монотонно падала. Ці зміни цілком відповідають світовим тенденціям. Вуглецеві джерела енергії (нафта, газ, вугілля) поступово замінюються відновлю-

ваними джерелами. Головним перспективним напрямом досліджень стає вирішення проблеми балансування динамічних режимів енергосистем, тобто узгодження графіків споживання й генерації електричної енергії в режимі реального часу, яке пов'язано з розробленням і впровадженням систем акумулювання електроенергії. На актуальність цієї тематики необхідно звернути увагу при формуванні науково-технічних програм розвитку енергетичної галузі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Burch I. & Gilchrist J. Survey of Global activity to phase-out internal combustion. 2018. URL: <https://www.readkong.com/page/survey-of-global-activity-to-phase-out-internal-combustion-4753160> (дата звернення: 10.07.2020).
2. Кудря С.О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні. *Вісник НАН України*. 2015. № 12. С. 19—26.
3. Cengiz M.S. & Mamis M.S. Price-Efficiency Relationship for Photovoltaic Systems on a Global Basis. *Int. J. Photoenergy*. Vol. 2015. Article ID 256101. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/256101>.
4. Лобунець Л.Г. Результати моніторингу досліджень установ Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України. *Наука та наукознавство*. 2013. № 4, С. 82—89.
5. Лобунець Л.Г. Результати моніторингу досліджень установ Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України за 2010—2015 рр. XXVIII Київський міжнародний симпозиум по науковеденню и истории науки. Киев: «Феникс», 2018. С. 191—195.

Одержано 01.12.2020

REFERENCES

1. Burch, I. & Gilchrist, J. (2018). Survey of Global activity to phase-out internal combustion. Retrieved from <https://www.readkong.com/page/survey-of-global-activity-to-phase-out-internal-combustion-4753160> (last accessed: 10.07.2020).
2. Kudrya, S.O. (2015). Status and prospects of renewable energy development in Ukraine. *Bulletin of the NAS of Ukraine*, 12, 19—26 [in Ukrainian].
3. Cengiz, M.S. & Mamis, M.S. (2015). Price-Efficiency Relationship for Photovoltaic Systems on a Global Basis. *Int. J. Photoenergy*. Vol. 2015. Article ID 256101. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/256101>.
4. Lobunets, L.G. (2013). The results of monitoring the research of the Department of Physical and Technical Problems of Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. *Science and Science of Science*, 4, 82—91 [in Ukrainian].
5. Lobunets, L.G. (2018). The results of monitoring the research of the Department of Physical and Technical Problems of Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine for 2010—2015. Proceedings from: *XXVIII Kyiv International Symposium on Science and History of Science*. (pp. 191—195). Kyiv: "Phoenix" [in Ukrainian].

Received 01.12.2020

L.G. Lobunets, researcher,
Dobrov Institute for Research of Scientific and Technical Potential
and Science History Studies of the NAS of Ukraine,
Taras Shevchenko Boulevard, 60, Kyiv, 01032, Ukraine,
e-mail: lulobunets@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7543-635X>

ANALYSIS OF TRENDS IN THE DEVELOPMENT
OF ENERGY RESEARCH PERFORMED
IN INSTITUTIONS OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF UKRAINE

The relevance of the research topic is due to the priority of the introduction of alternative sources and the creation of new systems for the production and supply of electricity and heat, which is reflected in the energy systems of most developed countries. An analytical review of statistics on the dynamics of solar electricity prices, as well as specific capital costs and electricity prices for various sources confirms that the concept of the transition of world energy to renewable energy sources has received the necessary technical and economic base.

The results of a retrospective analysis of research performed in research institutions of the Department of Physical and Technical Problems of Energy of NAS of Ukraine (VFTPE NAS of Ukraine), which correspond to the directions of the Energy Program of Ukraine “Unconventional Energy”, “Coal Energy” and “Oil and Gas Complex”, and a comparative assessment of their development trends are shown.

A database of completed research in the field of energy, created in the State Institution “Dobrov Institute for Scientific and Technological Potential and Science History Studies”, was used as a tool for the analysis. The database covers the period since 1995 and contains information on all the research work on departmental topics performed in research institutions of VFTPE NAS of Ukraine. The peculiarity of the database is that the collected information meets a single standard for the entire research period, which ensures the reliability and comparability of data. The amount and composition of information in the database corresponds to the form of the protocol of completed research. The classification of topics by area is based on the rubrication generally accepted in the NAS of Ukraine, which is based on the classification of areas of the Energy Strategy of Ukraine until 2030: “Coal Industry”, “Oil and Gas Complex”, “Electricity”, “Unconventional Energy”, “Nuclear Energy”, “Energy Saving”, “Regional and General Problems of Energy”, “Scientific and Technical Support of Energy”, “Ecology”, and “Problems of Chernobyl”.

An analysis of research in the field of energy, performed by VFTPE NAS of Ukraine, was carried out using indicators of funding, number of research topics and publications on non-traditional energy, by which the trends in research in the field were determined. Results of the analysis allow to conclude that the main trends and directions of research conducted by VFTPE NAS of Ukraine are in line with current global trends, as in recent decades the priorities have shifted towards creating sustainable energy systems based on carbon-free technologies and renewable energy sources. Given the challenges facing energy science during the transition to a carbon-free energy supply system, the conclusion is made on the necessity to expand research in the development and creation of effective systems for long-term storage of electricity.

Keywords: *renewable energy sources, electricity, unconventional energy, NAS of Ukraine, research, financing.*