
**СВІТОВЕ ГОСПОДАРСТВО
І МІЖНАРОДНІ ЕКОНОМІЧНІ ВІДНОСИНИ**

УДК 330.342

DOI: <https://doi.org/10.32782/2520-2200/2023-2-2>**Редько К.Ю.**кандидат економічних наук,
старший науковий співробітникДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки
імені Г.М. Доброва Національної академії наук України»**Вовченко О.В.**кандидат економічних наук,
науковий співробітникДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки
імені Г.М. Доброва Національної академії наук України»**Redko Kateryna, Vovchenko Olena**Dobrov Institute for Scientific and Technological Potential and Science History Studies
of the National Academy of Sciences of Ukraine**ОСНОВНІ АСПЕКТИ ПЕРЕХІДНОГО ПЕРІОДУ
МІЖ ПРОМИСЛОВИМИ РЕВОЛЮЦІЯМИ
(НА ПРИКЛАДІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ)****THE MAIN ASPECTS OF THE TRANSITION PERIOD
BETWEEN THE INDUSTRIAL REVOLUTIONS
(ON THE EXAMPLE OF ELECTRICITY)**

У статті досліджено варіативність енергетичної сфери в періоди між промисловими революціями, тобто перебудову системи виробництва, споживання, транспортування і постачання енерго-ресурсів під впливом змінного зовнішнього середовища. Охарактеризовано особливі тенденції видобутку корисних копалин після 1900 р. Запропоновано перспективні напрямки та сфери, які потребують збільшення інвестицій з урахуванням потреб підвищення конкурентоспроможності економіки, досягнення цілей сталого розвитку та зростання енергетичних інновацій як сприятливого фактору, що забезпечує становлення Індустрії 4.0. Сформульовані й обґрунтовані авторами наукові положення, висновки і пропозиції можуть бути застосовані для подальших наукових розробок та на законодавчому рівні для вирішення проблем удосконалення енергетичної сфери в умовах становлення Індустрії 4.0.

Ключові слова: Індустрія 2.0, Індустрія 3.0, Індустрія 4.0, енергетика, промислова революція, споживання енергії.

The variability of the energy sector was studied in the periods between industrial revolutions, i.e. the restructuring of the system of production, consumption, transportation and supply of energy resources under the influence of a changing external environment. Specific trends were described in mineral extraction after 1900 and shown that the global increase in coal mining and hydrocarbon production from 1900 to 2019 increased the annual production of fossil carbon approximately 20 times, from 500 Mt in 1900 to 6.7 Gt a century later and to 10.2 Gt in 2019. Because of the asymmetric distribution of minerals, this production led to global oil trade, but the analysis showed that there were significant limits and exceptions where global growth resulted in absorption and reduction of national production or a complete cessation of fuel production. Technical improvements were the most important factors in this cheap and productive extraction, transportation, and processing, as well as increased environmental friendliness. We have shown in the study that there has been a noticeable shift in the direction of higher-quality fuel, that is, from coal to oil and natural gas. The result of this process was the relative decarbonization of global fossil fuel production, while the absolute level of CO₂ emissions in the atmosphere increased. In the article, we proposed promising directions and areas that require increased investment due to the needs of increasing the competitiveness of the economy, achieving

overall sustainable development and the growth of energy innovations as a favorable factor that ensures the formation of Industry 4.0. We have determined that the development of leading technologies is a promising direction for ensuring the growing consumption of industry in the conditions of Industry 4.0. Technological changes are so powerful that they make our age both the most promising and at the same time full of threats in the history of mankind. The scientific provisions, conclusions and proposals formulated and substantiated by the authors can be applied for further scientific developments and at the legislative level to solve the problem of improving the energy sector in the conditions of the formation of Industry 4.0.

Key words: Industry 2.0, Industry 3.0, Industry 4.0, energy, industrial revolution, energy consumption.

Постановка проблеми. У 1800 р. паливом була біомаса, наприклад, деревина з повалених дерев. Навіть у другій половині XIX ст., після того, як США та частина Європи почали індустріалізуватися, більша частина промисловості цих країн працювала переважно на біомасі. Вона була дуже неефективною як паливо, оскільки майже вся її втілена енергія була втрачена при спалюванні. Тим не менш, до широкої індустріалізації втрати від конверсії були стерпними; загалом, було достатньо деревини для спалювання, щоб економіка зростала. Потреба в первинній енергії також зростала приблизно на 1% на рік з 1850 по 1900 рр. Згодом, на рубежі XX ст. темпи як попиту на енергію, так і економічного зростання почали зростати. З 1900 по 1950 рр., коли коні поступалися місцем автомобілям, олійні лампи – електричному освітленню, а льодові ящики – холодильникам, попит на первинну енергію майже подвоївся. Темпи економічного зростання також зросли, у Сполучених Штатах ВВП на душу населення у 1950 р. був більш ніж удвічі більшим порівняно з 1900 р. Для цього рівня створення багатства спалювання дерев та інших форм біомаси було недостатнім.

Значна частина світових науковців твердить, що однією з рушійних сил розвитку економіки досі залишається енергетична сфера. На це чітко вказують і підтверджують промислові революції XIX та XX ст., першу з яких пов'язують із видобутком та використанням вугілля, другу – нафти і газу. З початком ери індустріалізації виникла необхідність у великій кількості електричної енергії для задоволення зростаючих потреб населення, підприємств видобувної та переробної галузей. Дана тенденція зберігається і сьогодні, проте поряд із нафтою, газом та вугіллям для вироблення електричної енергії широко використовують відновлювальні джерела енергії, що дозволило людству говорити про третю промислову революцію. Сьогодні світ перебуває на порозі Четвертої промислової революції. Як стверджує К. Шваб [1], серед основних її аспектів найвагомішими є злиття технологій та стирання меж між фізичними, цифровими та біологічними сферами.

Зважаючи на розвиток, який призвів до Четвертої промислової революції, розглянемо значення понять енергії та економіки. Сучасні наукові підходи дають можливість нам трактувати ці поняття власне як тавтологію за своєю суттю, оскільки кожна економічна діяльність в основі ніщо інше, як перетворення енергії, і гроші є лише зручним замінником оцінки енергетичних потоків. Цілком зрозумілою постає теза Нобелівського лауреата Ф. Содді, який ще 1933 р. стверджував, що «якщо у нас є доступна енергія, ми можемо підтримувати життя та виробляти всі необхідні матеріали. Ось чому потік енергії має бути головною турботою економіки» [2, с. 56]. Водночас, енергетичний потік є невідповідним мірилом інтелектуальної активності: очевидно, що освіта потребує значних енергетичних витрат на інфраструктуру та працівників.

Цей факт пояснив нещодавне відмежування зростання ВВП від загального попиту на енергію: науковці надають перевагу грошовій вартості нефізичних досягнень, які тепер становлять найбільшу частку економічного продукту. З огляду на сучасні економічні дослідження, можна зробити висновок щодо недостатньої уваги до вивчення глобального значення енергії. До цього часу це зводилося до розгляду практичних питань щодо цін, зокрема на сиру нафту, або проблем екології, які привертати увагу хіба що фахівців з екологічної економіки. У будь-якому разі, так виглядало публічне обговорення даної проблематики.

«Кожна із промислових революцій поступово змінювала світові ринки енергетичних ресурсів. Історично склалось так, що ці ринки від моменту їх створення мали монопольний характер ціноутворення та були вертикально-інтегрованими. Протягом багатьох десятиліть такий стан справ повністю задовольняв як виробників, так і споживачів» (рис. 1) [3, с. 161].

Навіть попри перерву на дві Світові війни та найсерйознішу економічну кризу 30-х рр. XX ст. у перші 70 років XX ст. зростання енергетичних потоків відбулося досить швидко. Подальше уповільнення було спричинено підвищенням ОПЕК цін на нафту в 5 разів з жовтня 1973 р. до березня 1974 р. Всесвітня статистика



Рис. 1. Цифровий перехід в електроенергетиці

Джерело: створено авторами на основі [3]

свідчить про експоненційне зростання виробництва викопного палива з початку масового видобутку в XIX ст.

Сукупний обсяг енергії всіх викопних джерел у XX ст. збільшився майже у 14 разів, поступове зростання продуктивності дало у 30 разів більше корисної енергії, ніж було доступно в 1900 р. Через це заможні країни, де горючі корисні копалини домінували вже у 1900 р., сьогодні отримують у 2-3 рази більше корисної енергії на одиницю постачання, ніж 100 років тому. Традиційна енергія біомаси перетворювалася непродуктивно, бідні країни, де сучасні джерела енергії почали домінували лише у другій половині XX ст., сьогодні зазвичай отримують у 5–10 разів більше корисної енергії на одиницю первинного постачання, ніж століття тому. Наростаючий знос електроенергетичної інфраструктури, залучення в оборот розподілених енергетичних ресурсів (в т. ч. відновлюваних), зміна ролі традиційних джерел енергії та енергоносіїв при одночасному зростанні попиту на електроенергію і трансформації його якісних характеристик, зміна моделі поведінки споживачів – усе це призводить до необхідності переходу до наступного енергетичного укладу.

Ключовим викликом для галузі залишається зростаюча неефективність електроенергетичного сектора, що призводить до підвищення тарифів і цін на електроенергію для промислових та комерційних споживачів. Виклик заострюється і тим, що сучасні споживачі стають усе більш вимогливими щодо доступності, надійності та якості електроенергії. У цьому контексті слід розуміти, що галузь, яка базується на традиційних технологіях, не здатна істотно підвищити свою ефективність, а також задовольнити нові вимоги споживачів без помітного зростання вартості електроенергії [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Поняття «Індустрія 4.0» вперше було сформульовано в квітні 2011 р. на Ганноверському промисловому ярмарку авторитетними особами у сфері інформаційних технологій [5, с. 96]. Також, у 2016 р. на 46-му Всесвітньому економічному форумі в Давосі тема «Індустрія 4.0» була однією з ключових [6]. Останні роки дослідження феномену Четвертої промислової революції та його впливу на розвиток людства стало предметом аналізу вчених різних наукових течій багатьох країн світу.

Т.В. Запорожець розглянула у своїй роботі етапи промислових революцій, окреслила

їх основні характеристики, узагальнила цілі й завдання держави щодо розвитку промислових революцій у провідних країнах світу. Науковиця визначила позитивні риси концепції «Індустрії 4.0» та систематизувала основні ризики Четвертої промислової революції для держав [7]. С.В. Войтко, І.П. Гайдучький, Н.В. Караєва у своїй статті провели дослідження динаміки розвитку відновлюваної енергетики в умовах необхідності досягнення глобальних цілей сталого розвитку та декарбонізації. На основі дослідження форсайту технологій за MIT Technology Review науковці визначили, що близько 15% проривних технологій належать до енергетики, зокрема відновлюваної [8].

В.Г. Панченко, Н.В. Резнікова, О.А. Іващенко у своїй статті дослідили прояв глобального технологічного та інноваційного суперництва КНР і США в цифровій сфері та у сфері «Індустрія 4.0». Встановили, що економічне суперництво визначатиметься технологічними перемогами, втім, на відміну від попередніх століть, не технологія визначить переможця, а здатність до іншої організації процесу чи моделей виробництва, а також практичне застосування технологій в інфраструктурі та в промисловості 4.0 [9]. Н.Ю. Брюховецька, О.В. Черних у своїй роботі висвітлили особливості розвитку Індустрії 4.0 та цифрової економіки в зарубіжних країнах та Україні. Науковиці розглянули поточну ситуацію, пов'язану з рухом «Індустрія 4.0 в Україні», «Національною стратегією 4.0» [10].

Метою статті є висвітлення результатів дослідження глибинних змін енергетичної промисловості: процес дизрупції, перебудова системи виробництва, споживання, транспортування і постачання енергоресурсів. А також визначення перспективних напрямків та сфер, які потребують збільшення інвестицій з урахуванням потреб підвищення конкурентоспроможності економіки, досягнення цілей сталого розвитку й зростання енергетичних інновацій як сприятливого фактору, що забезпечує становлення Індустрії 4.0.

Викладення основного матеріалу дослідження. Перша промислова революція, що відбулася наприкінці XVIII ст., бере початок із Великобританії. У цей період завдяки появі парових двигунів у країні з'явилася можливість механізувати текстильну промисловість. Уряд ставив за мету трансформувати доморобне та ремісничо-мануфактурне виробництво у фабрично-заводське. Для Великобританії, з якої почалася революція, це стало підґрунтям для створення машинобудівельної галузі [11]. Друга промислова революція відбувалася з другої половини XIX ст. до початку XX ст.

У цей період було винайдено бесемерівський спосіб плавлення сталі та створено складальну лінію – конвеєр. Ці технології швидко поширилися по всій Західній Європі, у США, Японії та ін. Таким чином, у 1860–1870-х рр. стало можливим конвеєрне масове виробництво. Завдяки науковим проривам, які включали масове використання електрики, створення телефону та електродвигуна, у США докорінно змінилася система соціальних відносин. Як зауважив Дж. Рифкін, у результаті Першої та Другої революції сформувалася горизонтальна взаємодія у сфері політичної влади, змінивши ієрархічну. Зарубіжний дослідник серед цілей цих етапів виділяє зміну акцентів впливу на управління енергетичними процесами. Зокрема, він вважає, що Перша та Друга революції створили умови, за яких люди будуть генерувати зелену енергію вдома і ділитися нею в енергетичному просторі [12]. Третя промислова революція почалася з 1970-х рр. із розповсюдження комп'ютерів. Комп'ютеризація дала змогу підприємствам використовувати ці пристрої для отримання та якісної обробки інформації, яку раніше обробляли «вручну», наприклад, у бухгалтерському обліку тощо. Цей період характеризується автоматизацією процесів виробництва [13]. Третя революція вирішила питання управління експлуатацією відновлюваних джерел енергії, можливості використання енергії водню та ін. У 1970-ті рр. інформаційні технології здавалися чимось фантастичним і створювали підґрунтя для стрибка в нову віху розвитку цивілізації. Дослідник також зазначає, щоб зрозуміти всі ті можливості, які надало державі створення інформаційних технологій, достатньо згадати, що приблизно 20 років тому керівники підприємств не могли навіть уявити собі, що автоматизація виробництва здатна суттєво збільшити загальну продуктивність їх праці.

Розвиток світової енергетики пройшов три великих етапи розвитку (енергетичного укладу): вугільний, нафтовий і перехідний, коли природний газ стає визначальним енергоносієм.

Надзвичайно важливою відмінністю Четвертої промислової революції від попередніх має стати перехід від експлуатації людьми природних ресурсів до гармонізації відносин людини й природи на основі філософії сталого розвитку економіки за збереження цілісних екосистем. Тому, для того щоб результати Четвертої промислової революції стали позитивними для людства, воно повинно зробити якісний прорив в організації всієї своєї діяльності. Для енергетики це означатиме насамперед наголос на енергоефективне виробництво, передачу та розподіл енергії, а також потужний розвиток ВДЕ й електротранспорту із застосу-

ванням відповідних технологічних інновацій, що є характерними для Четвертої промислової революції [14].

Загалом очевидно є закономірність, що чим вищий рівень доходів населення у країні, тим, за інших рівних умов, більше в неї шансів подолати технологічні розриви і скоротити технологічне відставання. Для бідних країн вирішити ці завдання вкрай складно як через відсутність інфраструктури, потрібної для використання і подальшого просування передових технологій, так і через відсутність необхідних для роботи з ними знань та навичок у населення, а також фінансових можливостей купувати продукти, створені з використанням цих технологій. Тому для багатьох таких економік реальною опцією залишається максимально повне впровадження і використання технологій, започаткованих попередніми промисловими революціями (розвиток енергетичної системи, транспортної інфраструктури тощо) [15].

У табл. 1 наведено світовий баланс споживання первинних енергоносіїв майже за 200 років, з урахуванням прогнозу міжнародного енергетичного агентства. Абсолютні величини енергоносіїв: 1900 р. – 700 млн т.ум.п., 1950 р. – 3291 млн т.ум.п., 2001 р. – 14321 млн т.ум.п.

Дані, отримані для США, в деякій мірі можуть слугувати показниками подальших світових тенденцій. Для них у 70-ті роки всі джерела енергії стали менш доступними, у 80-ті – ситуація змінилася на протилежну. Економіка країни при цьому зберігала стійкість. Цей факт важливий для оцінки перспектив економічного розвитку. Наукового обґрунтування не отримала теза, що короткострокові коливання в доступності до енергоресурсів істотно впливають на довгострокове економічне зростання. Таким чином, необхідність комплексного вивчення потенційного впливу обмеженої доступності невідновлюваних ресурсів енергії на економічне зростання, як у світовому масштабі, так і в кожній країні, очевидна.

Ще в 1850 р. споживання енергії було значним – еквівалентно 82 млн тонн кам'яного вугілля. До 1905 р. воно досягло майже 500 млн тонн, а під час Другої світової війни рівень споживання енергії перевищив 1 млрд тонн. У табл. 2 наводяться дані щодо споживання енергії в США з 1850 по 1955 рр.

На противагу більшості провідних промислово-розвинених країн домінування вугілля в США було порівняно нетривалим – частка вугілля в паливно-енергетичному балансі перевищувала 50 % лише протягом пів століття, приблизно з 1885 по 1940 рр. Структура паливно-енергетичного балансу США двічі зазнавала значних змін, відносна питома вага основних компонентів паливного балансу змінювалася в межах від мінімуму до максимуму і навпаки. Про це свідчать дані таблиці 3.

Включення або виключення з енергетичного балансу деревного палива дає різні картини зростання споживання енергії внаслідок його вирішальної ролі аж до останньої чверті XIX століття. Протягом 1950–1955 рр. середньорічне споживання енергії в США становило 9576 тис. Ткал на рік. У той же час населення США лише трохи перевищувало 6% населення планети. Таким чином, споживання енергії на душу населення в США приблизно в 6 разів перевищувало аналогічний середній показник для всіх інших країн світу. Взаємозалежність між споживанням енергії та валовим національним продуктом з 1880 по 1955 рр. показано в табл. 4.

З таблиці бачимо, що протягом усього досліджуваного періоду споживання енергії на одиницю валового національного продукту, включаючи деревне паливо, скоротилося на третину, а якщо не враховувати деревне паливо – виросло майже на половину.

З 1880 по 1955 рр. споживання енергії на одиницю валового національного продукту збільшилося приблизно на 55%, що відповідає середньорічному приросту близько 0,6%.

Таблиця 1

Світове споживання енергоресурсів, %

Енергоресурс	Індустрія 2.0		Індустрія 3.0			Індустрія 4.0
	1850	1900	1950	2001	2010	2020
Деревина	90	20	-	-	-	-
Нафта	-	10	24	35,0	35,3	33,1
Вугілля	10	70	44,5	23,3	22,3	27
Природний газ	-	-	7,4	21,2	23,1	24,3
АЕС	-	-	-	6,9	6,2	4,3
ГЕС	-	-	3,4	2,2	2,3	6,4
ВДЕ	-	-	20,7	11,4	10,8	4,9
Світ	100	100	100	100	100	100

Джерело: створено авторами на основі [16; 17; 18]

Таблиця 2

Ретроспективний аналіз загального споживання енергії в США (1850–1955 рр.)

Рік	Млн Ткал	Млн тон уп.п	Рік	Млн Ткал	Млн тон уп.п
1850	594,0	82	1910	4174,4	573
1855	708,1	97	1915	4476,5	615
1860	796,8	110	1920	5387,3	740
1865	859,1	118	1925	5647,6	776
1870	995,9	137	1930	5974,4	821
1875	1089,1	150	1935	5154,9	709
1880	1260,3	173	1940	6359,2	874
1885	1422,5	196	1945	8240,4	1132
1890	1767,0	243	1950	8854,2	1217
1895	1930,6	265	1955	10280,6	1412
1900	2415,9	332			
1905	2239,4	457			

Джерело: створено авторами на основі [16]

Таблиця 3

Структура паливно-енергетичного балансу США

Індустрії	Індустрія 2.0	Індустрія 3.0
Період	1850–1895 рр.	1910–1970 рр.
Підвищення	Вугілля – з 9 до 65%	Нафта та газ – з 9 до 65%
Зниження	Деревне паливо з 91 до 30%	Вугілля – з 77 до 29%

Джерело: створено авторами на основі [16; 19]

Структура споживання електроенергії в 1955 р. та 1975 р. продемонстрована на рис. 2.

З рис. 3 видно, що ріст споживання електроенергії на 210% відбувся з 1955 по 1975 рік і перевищує зростання будь-якого виду первісних енергоджерел. Більше половини споживання електроенергії припадає на промисловість.

Промисловий сектор є найбільшим кінцевим споживачем енергії в США. Загальне споживання енергії США зросло між 1975 та 2000 рр. і з тих пір залишається відносно стабільним, лише зменшуючись за роки економічного спаду. Це можна спостерігати у 2020 р., коли наслідки карантинів пандемії коронавірусу спричинили зниження споживання енергії у всіх секторах. Падіння споживання у транспортному секторі було особливо вираженим, оскільки рейси були припинені, а багато пасажирів змушені працювати дистанційно. Цю ж тенденцію можна також визнати, якщо подивитися на споживання первинної енергії США, яке в 2020 році скоротилося до 92,97 квадрильйона британських теплових одиниць (BTU)¹ (рис. 3).

На противагу США розглянемо, що відбулося в енергетиці СРСР. У розвитку електроенергетики СРСР виділено кілька етапів: організація перших електроенергетичних систем (ЕЕС); розвиток ЕЕС і утворення територіальних об'єднаних електроенергетичних систем

(ОЕС); створення єдиної електроенергетичної системи (ЕЕС) європейської частини країни; формування ЕЕС у масштабі всієї країни (ЕЕС СРСР). Перед Першою світовою війною сумарна потужність електростанцій у дореволюційній Росії становила 1141 тис. кВт, а річне вироблення електроенергії – 2039 млн кВт-год. Найбільша теплова електростанція (ТЕС) мала потужність 58 тис. кВт, максимальна потужність агрегата була 10 тис. кВт. Сумарна потужність гідроелектростанцій (ГЕС) становила 16 тис. кВт, найбільшою була ГЕС потужністю 1350 кВт (рис. 4) [20].

Основи розвитку електроенергетики Радянського Союзу були закладені у відповідному державному плані електрифікації, в якому ставилося завдання: витіснити нафту та замінити її вугіллям, ядерним паливом, а на найближчі десятиліття природним газом. Радянські вчені в 1956 р. заявили, що досягнутий рівень розробки атомної техніки показує, що, хоча капіталовкладення на одиницю встановленої потужності атомних електростанцій приблизно в півтора рази більше відповідних капіталовкладень у вугільні електростанції, вартості кіловат-години потужної атомної та вугільної електростанцій можуть бути приблизно однаковими. Це пов'язано значною мірою з тим, що витрата палива на атомних електростан-

¹ Британська теплова одиниця (BTU) – кількість тепла, необхідна для нагрівання 1 англ. фунта води на 1°Ф. 1 BTU = 1054-1060 Дж = 252-253 кал.

Споживання енергії на одиницю ВВП (1880–1955 рр.), США

Рік	Індекс валового національного продукту (1900 р. = 100 в дол. 1929 р.)	Індекс споживання енергії на одиницю валового національного продукту (1900 р. = 100)		Приріст (+) чи зниження (-), %		Середньорічний темп приросту (+) чи зниження (-), %	
		мінеральне паливо, гідроелектроенергія і деревне паливо	мінеральне паливо, гідроелектроенергія (за виключенням деревного палива)	мінеральне паливо, гідроелектроенергія і деревне паливо	мінеральне паливо, гідроелектроенергія (за виключенням деревного палива)	мінеральне паливо, гідроелектроенергія і деревне паливо	мінеральне паливо, гідроелектроенергія (за виключенням деревного палива)
1880	50,0	104,4	56,8	1880-1885		1880-1885	
				-1,5	+20,1	-0,3	+3,7
1885	57,3	102,8	68,2	1885-1890		1885-1890	
				+3,8	+27,0	+0,8	+4,9
1890	68,6	106,6	86,6	1890-1895		1890-1895	
				-7,9	+0,3	-1,6	+0,1
1895	81,4	98,2	86,9	1895-1900		1895-1900	
				+1,8	+15,1	+0,4	+2,9
1900	100,0	100,0	100,0	1900-1905		1900-1905	
				+10,0	+19,8	+1,9	+3,7
1905	125,3	110,0	119,8	1905-1910		1905-1910	
				+6,2	+10,4	+1,2	+2,0
1910	147,9	116,8	132,2	1910-1915		1910-1915	
				+0,3	+1,5	+0,1	+0,3
1915	158,2	117,1	134,2	1915-1920		1915-1920	
				-0,8	+1,3	-0,2	+0,3
1920	191,9	116,2	136,0	1920-1925		1920-1925	
				-15,1	-14,5	-3,2	-3,1
1925	237,0	98,6	116,3	1925-1930		1925-1930	
				+0,7	+1,5	+0,2	+0,3
1930	249,1	99,3	118,0	1930-1935		1930-1935	
				-10,3	-10,8	-2,1	-2,3
1935	239,4	89,1	105,2	1935-1940		1935-1940	
				-6,7	-5,4	-1,4	-1,1
1940	316,8	83,1	99,5	1940-1945		1940-1945	
				-13,4	-11,9	-2,8	-2,5
1945	473,7	72,0	87,7	1945-1950		1945-1950	
				+3,8	+4,3	+0,7	+0,9
1950	490,6	74,7	91,5	1950-1955		1950-1955	
				-4,7	-4,0	-1,0	-0,8
1955	597,6	71,2	87,8	1880-1920		1880-1920	
				+11,3	+13,4	+0,3	-2,2
				1920-1955		1920-1955	
				-38,7	-35,4	-1,4	-1,2

Джерело: створено авторами на основі [16]

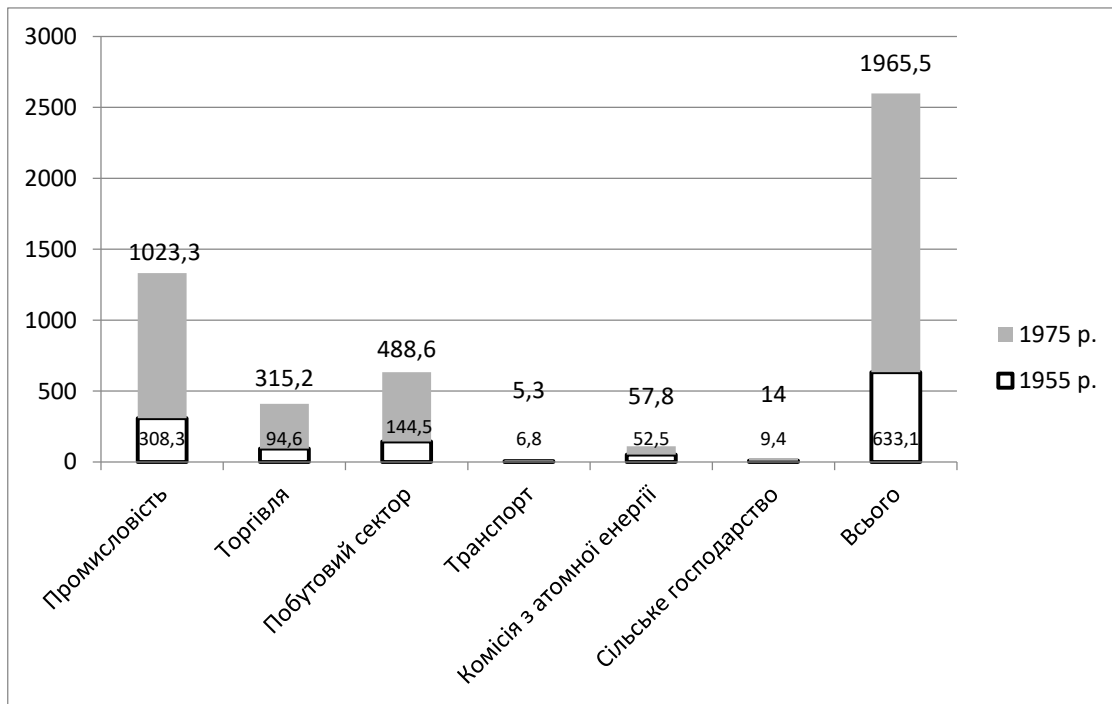


Рис. 2. Споживання електроенергії за секторами у США, млрд кВт/год

Джерело: створено авторами на основі [16]

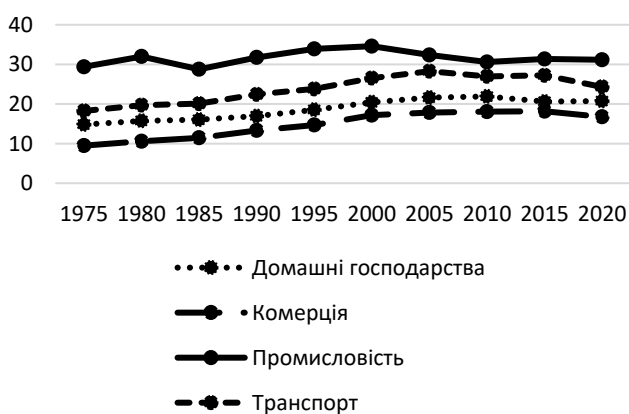


Рис. 3. Загальне споживання енергії в США з 1975 по 2020 рр. за секторами, у ВТУ

Джерело: створено авторами на основі [16–19]

ціях мізерно мала. У той час, як для вугільної станції потужністю 500 тис. кВт потрібно за рік не менше 100 тис. вагонів вугілля, для атомної електростанції такої ж потужності достатньо в рік лише декількох вагонів урану.

Через початок Другої світової війни інтенсивний плановий розвиток електроенергетики був перерваний. У 1946 р. сумарна потужність електростанцій СРСР вже досягла довоєнного рівня. У той період дійшли висновку, що доцільно насамперед будувати атомні електростанції в районах з далекопривізним паливом. На території росії планувалося побудувати дві атомні електростанції загальною потужністю

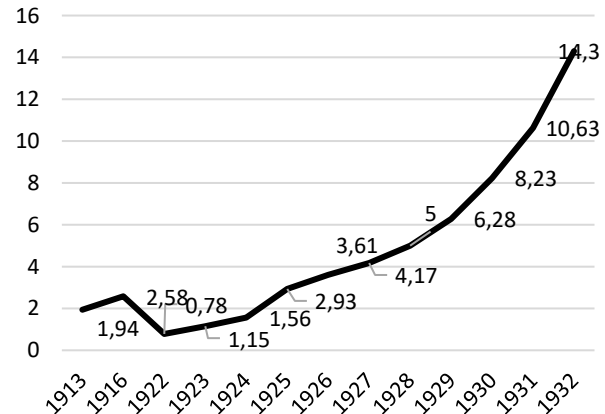


Рис. 4. Виробництво електроенергії в СРСР, млрд кВт/год, 1913-1932 рр. (Індустрія 3.0)

Джерело: створено авторами на основі [16; 20]

1 млн кВт та одну атомну станцію потужністю 400 тис кВт. Потужність електростанцій СРСР з 1960 року зображено на рис. 5.

В Україні протягом 1971–1975 рр. була споруджена магістраль 750 кВт Донбас-Дніпро-Вінниця-Західна Україна. Від Радянського Союзу Україні перейшли у спадок вугільна та ядерна енергетика, проте вони все більше асоціювалися з минулим та накопиченими проблемами. Після набуття Україною незалежності електроенергетика мала повільний розвиток без нового довготермінового бачення майбутнього галузі й без урахування пріоритетів сталого розвитку. Інерція була настільки силь-

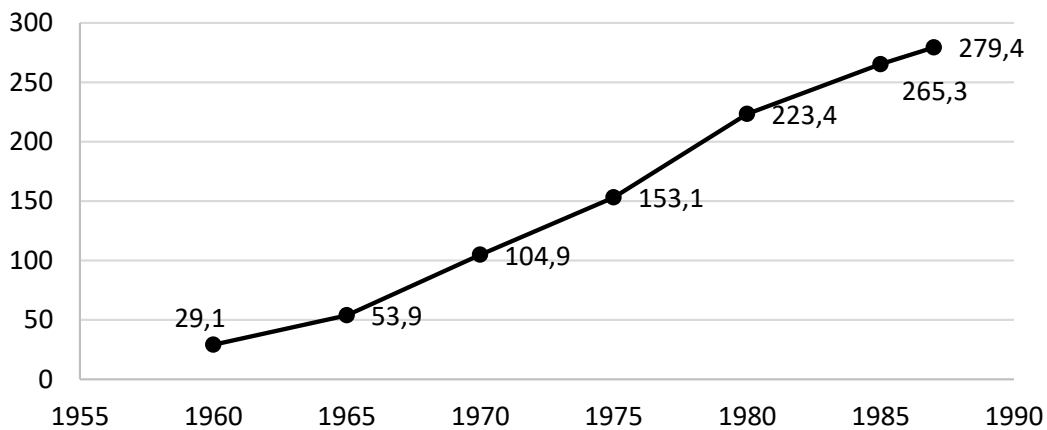


Рис. 5. Встановлена потужність електростанцій у СРСР, млн кВт/год, 1960–1987 рр. (Індустрія 3.0)

Джерело: створено авторами на основі [20]

ною, що уряд довгий час покладався на технології минулого століття. Приклад – прагнення добудувати третій та четвертий енергоблоки на Хмельницькій АЕС на старих конструкціях. Наразі ця тенденція набула відчутних позитивних змін, враховуючи останнє рішення Уряду щодо будівництва двох енергоблоків AP1000 за технологією американської компанії. Країна занадто довго трималася за радянську енергетичну спадщину, намагаючись відкласти впровадження екологічних нормативів ЄС для старих вугільних електростанцій, повна модернізація яких не має економічного сенсу [21].

Важливо зазначити, що вимагає розгляду проблема довгострокової забезпеченості світової економіки та окремих країн природною енергетичною сировиною, насамперед через витратний механізм його видобування і подальшої переробки, а також динаміку попиту.

Питання антропогенного впливу на навколишнє середовище в XXI ст. буде визначальним при виборі шляхів розвитку енергетики як світу, так і окремих країн. Завдання полягає в тому, щоб знизити навантаження на планету, спричинене діяльністю людини, на шляху до сталого розвитку.

Перша разюча зміна в людському способі життя – перехід від збирання до землеробства – відбулася близько 10000 років тому, коли люди приручили і одомашнили тварин. Як наслідок, аграрна революція уможливила виробництво, перевезення і транспортне сполучення. Поступово зростала ефективність виробництва продовольчих ресурсів, завдяки чому збільшилася кількість людей і, відповідно, поселень. Із часом це привело до процесу урбанізації та розквіту міст.

Перша промислова революція тривала з 1760-го до 1840 р. викликана появою залізнич-

них шляхів і винаходом парового двигуна, вона поклала початок механічному виробництву. Друга промислова революція, яка почалася наприкінці XIX і тривала до початку XX століття, завдяки появі електрики та конвеєрів уможливила масове виробництво. Третя промислова революція бере витоки з 1960-х рр. Зазвичай її називають «комп'ютерною» або «цифровою».

Сьогодні ми спостерігаємо глибинні зміни у всіх промислових галузях: з'являються дисрупції, нові бізнес-моделі, руйнуються та перебудовуються усталені системи виробництва, споживання, транспортування і постачання.

Технологічні зміни є настільки потужними, що роблять нашу добу і найбільш перспективною, і водночас сповненою найсильніших потенційних загроз в історії людства. Однак побоювання пов'язані передусім із тим, що люди, наділені повноваженнями ухвалювати рішення, часто опиняються в пастці лінійного, не спрямованого в майбутнє мислення. Вони надто поглинуті злободенними проблемами, тому не здатні до стратегічного осмислення революційних сил та інноваційних рішень, які формують наше майбутнє.

Основними інноваціями Першої індустріальної революції були: водяні і парові двигуни, розвиток металургії, товарний, ткацький, фрезерний та інші верстати. Розглянемо позитивні наслідки в економічній сфері. По-перше, підвищилася якість, збільшився обсяг і знизилася собівартість продукції, так як машини працюють точніше людини, не допускаючи будь-яких помилок. По-друге, знизилася ціна на товари народного споживання. Унаслідок різкого підвищення продуктивності праці та падіння цін на товари масового споживання рівень життя населення істотно зріс. Поліпшення якості харчування, санітарних умов, якості та доступ-

ності медичного обслуговування призвело до значного зростання тривалості життя і падіння смертності. Паралельно відбувалися й негативні наслідки Першої індустріальної революції: з'явилися промислові кризи (кризи надвиробництва); погіршилося становище робітничого класу; загострилася соціальна конфліктність; підвищився травматизм робітників на підприємствах; використовувалася дитяча праця; виникли екологічні проблеми.

Друга індустріальна революція завершила процес формування індустріального суспільства і принесла людству електроенергію, телефон, телеграф, металорізальні верстати. До позитивних наслідків в економічній сфері можна віднести впровадження електрики в різні галузі господарства та побуту, розвиток військової справи, падіння цін на товари масового споживання, масове будівництво залізниць. Саме поліпшення транспорту та прискорення товарообігу запобігало голоду в разі неврожаю в окремих регіонах. Розглянемо мінуси. Одночасно через заміщення робочих машинами зросло безробіття і посилилося соціальне розшарування. Техніка морально застаріла і втратила цінність за короткий період часу, що спричинило розорення їх власників. Так як парові машини ставали все більш ефективними й економічними, їх кількість в економіці продовжувала зростати, що спричинило збільшення споживання вугілля, а воно використовувалося як джерело енергії (це справляло негативний вплив на навколишнє середовище).

Основними інноваціями Третьої індустріальної революції в другій половині ХХ ст. стали: персональний комп'ютер, інтернет, портативний комп'ютер. Ці зміни призвели до автоматизації всіх сфер людської діяльності. Відбувалася глобалізація економічних процесів, формувалися транснаціональні корпорації, застосовувалися інформаційно-комунікаційні технології у виробництві. З головних мінусів можна зазначити: поширення нерівності серед населення, масове безробіття.

Четверта промислова революція проявляється в таких інноваціях, як: 3D-принтер, безпілотні апарати, віртуальна і доповнена реальність, нейромережі, штучний інтелект. В економічній сфері: відбувається перехід на поновлювані джерела енергії, застосування Інтернету речей, економіки спільного використання, мережевого колективного доступу та споживання. З'являється кардинально новий підхід до управління системами, зменшується значущість виробничого персоналу, активно використовуються соціальні мережі та медіа-простір, вільно передається інформація.

Четверта індустріальна революція унікальна за темпами та системністю трансформацій. Зміни відбуваються у всіх напрямках, і швидкість їх постійно зростає. Двигуном змін стали діджиталізація і створення мереж. Вони зробили можливим з'єднання реального й віртуального світів. У результаті потенційно стало можливим усе, що не суперечить законам природи.

Основні прориви відбудуться за трьома напрямками, один з яких – зміни фізичного світу. Безпілотні транспортні засоби на суші, в повітрі й воді зроблять переміщення людей і вантажів більш ефективним. 3D-друк дозволить створювати будь-які об'єкти аж до органів людини. Нові матеріали вирішать проблему утилізації. Взаємодія людини з роботом стане повсякденною.

Існує три ознаки, які свідчать саме про Четверту революцію:

1. Стрімкість. На відміну від попередніх промислових революцій, ця розвивається в геометричному, а не лінійному темпі. Це наслідок багатогранності й тісної взаємопов'язаності сучасного світу, а також того, що одні технології породжують нові, ще могутніші.

2. Ширина і глибина. Цей фактор ґрунтується на цифровій революції й численних технологіях, що призводять до нечуваних потужних змін парадигм в економіці, бізнесі, суспільстві та кожній людині. Йдеться не лише про те, «що» і «як» ми робимо, але й те, «ким» ми є.

3. Довготривалий вплив на системи. Він передбачає цілісні трансформації різних систем як на світовому рівні, так і всередині країн, а також перетворення у компаніях, різних галузях виробництва та суспільстві загалом.

В основі Першої та Другої промислових революцій були зміни в енергетичному секторі. Спершу це був перехід до використання енергії пари, а потім – до електроенергії. Нині ж, на початку Четвертої промислової революції, енергетичний сектор став на порозі нового історичного переходу, коли викопні види палива поступаються відновлювальним джерелам енергії. З лабораторій на заводи й ринки виходять технології чистої енергетики та вдосконалені можливості накопичення енергії. Враховуючи те, що широка коаліція країн інвестує в потенційні прориви історичного значення на кшталт ядерного синтезу, на горизонті, можливо, вже з'явилося нове енергетичне майбутнє.

Глобальна доступність чистої недорогої енергії принесла б користь доквіллю, а також мешканцям країн, що розвиваються, де енергопостачання є ненадійним чи й узагалі відсутнє. Крім того, стійкі енергетичні технології можуть

зменшити витрати для компаній та споживачів, а також допоможуть скоротити кількість промислових викидів. Однак, щоб перехід відбувся успішно, потрібні міжнародна співпраця, довгострокове бачення й багатосторонній діалог про необхідність інвестицій у технології та інфраструктуру.

Успіхи в галузі енергетики, виробництва та розподілу, досягнуті за часів Першої промислової революції, дали людям доступ до великих запасів енергії. Людське тіло може виробляти в середньому близько 100 Ватт. Цього вистачить для живлення лампи розжарювання старого зразка. Атлети можуть виробляти у три, а то й чотири рази більше енергії. Але пересічний громадянин будь-якої країни світу сьогодні має доступ до понад 8000 Вт, тоді як у деяких розвинених країнах частка енергії на душу населення сягає понад 35000 Вт. Проблема полягає у впливі спалення викопних видів палива для виробництва цієї енергії на екологію планети. За оцінками Управління з енергетичної інформації США, до 2040 р. світовий попит на електроенергію майже подвоїться до 39 трлн кіловат-годин за рік, здебільшого надходячи з країн, що розвиваються, адже вони мають недосконалу інфраструктуру. Занепокоєння щодо кліматичних змін призвело до збільшення інвестицій у впровадження технологій відновлювальних джерел енергії (рис. 6).

Поточний обсяг інвестицій у науково-дослідні розробки відновлювальних джерел енергії перебуває на рівні 8–9 млрд дол., що становить приблизно 1/27 від обсягів усіх інвестиційних витрат у 2017 році.

2035 рік є орієнтиром, до якого, за сподіваннями 35 країн, технології досягнуть операційного успіху в запущеному у Франції проєкті ITER, котрий є найкращим проєктом ядерного синтезу з усіх існуючих. Окрім інвестицій, диверсифікація потрібна для сталого розвитку, до того часу поки у Франції проєкт ITER досягне пікової потужності, відновлювальні джерела енергії зможуть вийти на рівень 50% виробництва енергії.

За прогнозами ООН, населення планети до 2100 року перевищить 11 млрд, виробництво та розподіл чистої (відновлювальної) енергетики будуть життєвонеобхідними, особливо ця проблема стосуватиметься країн з високими темпами зростання. Бачимо, що необхідна довгострокова багатостороння перспектива, щоб ухвалити обґрунтовані рішення з побудови фізичної інфраструктури.

У науковій літературі досліджується вплив споживання енергії на ВВП багатьох країн з використанням різних інструментів та методологій. Результати цих досліджень показують, що різні методології призводять до заплутаних і суперечливих висновків про цей зв'язок.

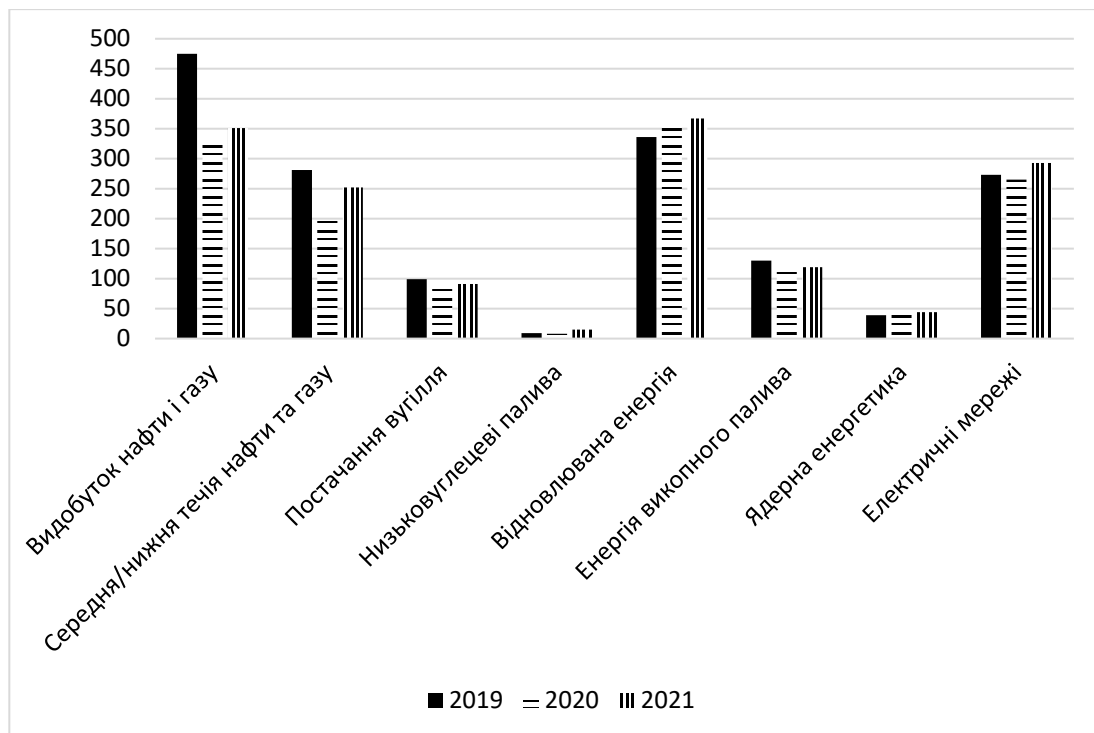


Рис. 6. Глобальні інвестиції в енергопостачання за секторами, 2019–2021 рр.
Джерело: створено авторами на основі [17; 18; 22]

З рис. 7 видно, що споживання енергії на душу населення зростає пропорційно до ВВП на душу населення, тому країни з розвинутою економікою зазвичай витрачають більше енергії, ніж інші країни.

Окрім потенційних впливів на економічну нерівність, технології Четвертої промислової революції можуть мати негативний вплив: технології Четвертої промислової революції можуть спростити створення зброї масового ураження – наприклад, біологічної, що виготовляється з використанням біотехнологій; нанотехнології можуть мати вплив на довкілля чи здоров'я людей; прориви в галузі чистої енергетики можуть дестабілізувати геополітику, підриваючи стабільність країн-виробників викопних видів палива; спроби взятися за кліматичні зміни шляхом геоінженерії можуть мати непередбачувані наслідки, що завдадуть незворотної шкоди екосистемам; покращення в галузі квантових обчислень можуть зробити сучасні онлайн-протоколи безпеки непридатними; значне поширення штучного інтелекту за принципом «чорної скриньки» може зробити економічні системи більш слабкими й вразливими та приховати механізми прозорості під час ухвалення рішень; покращення нейротехнологій може піддати ризику свободу вибору й відкрити нові механізми маніпуляції людьми.

Висновки з проведеного дослідження.

У даній статті ми простежили парадигму розвитку економіки у процесі чотирьох промислових революцій. Перша промислова революція унаслідок різкого підвищення продуктивності праці та падіння цін на товари масового споживання підвищила рівень життя населення. Друга – стала індустріальною революцією

й принесла людству електроенергію. Третя індустріальна революція призвела до автоматизації всіх сфер людської діяльності. А вже в умовах Індустрії 4.0, де ключову роль відіграють ІТ-технології та управління знаннями, відбулося досягнення ідентифікованих цілей механізму розвитку енергетичної сфери через призму реалізації таких його базових функцій, як: 1) мобілізаційна; 2) трансформаційна; 3) комунікаційна; 4) безпекова; 5) мультиплікаційна; 6) екологічна; 7) динамічна.

Паливна промисловість та енергетика – це найважливіші галузі народного господарства, які значною мірою визначають рівень розвитку економіки. У будь-якій галузі сучасної промисловості обсяг виробництва і вартість продукції залежить від рівня розвитку паливно-енергетичного комплексу. Тому для визначення правильних пропорцій розвитку енергетики та інших галузей народного господарства, з урахуванням зростання чисельності населення, національного доходу і змін структури споживання енергії мають економічні дослідження й аналіз динаміки розвитку паливно-енергетичної промисловості. Починаючи з 60-х рр. ХХ ст., спостерігається кореляція між темпами економічного зростання і темпами енергоспоживання, а саме збільшення ВВП супроводжувалося приростом споживання ПЕР.

Як висновок, Четверта промислова революція може позбавити світ залежності від викопних видів палива та енерговиробництва, що викидає парникові гази. Питання стає дедалі більш нагальним у процесі того, як населення світу зростає, економіки індустріалізуються, ефекти кліматичних змін загострюються, а попит на енергію має подвоїтися до 2040 року. Вважаємо, що необхідно збільшити

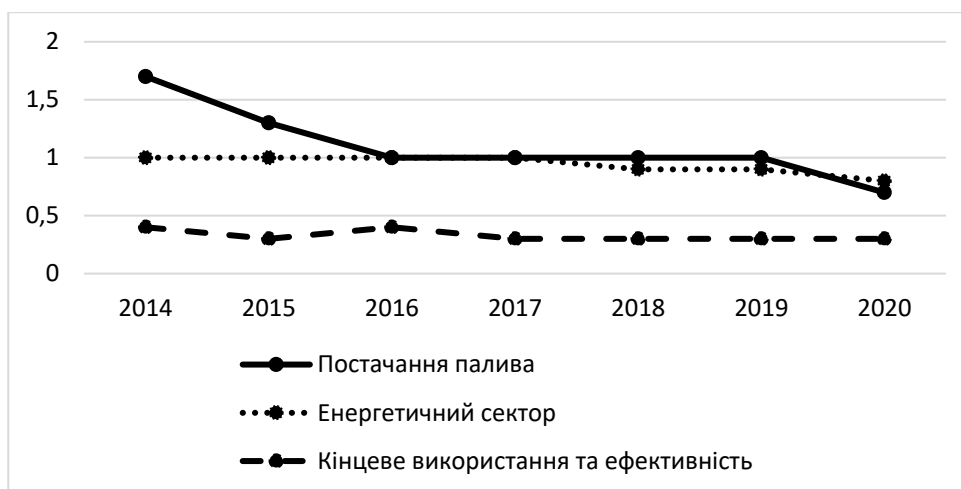


Рис. 7. Інвестиції в енергетику за секторами як частка світового ВВП, 2014–2020 рр., %

Джерело: створено авторами на основі [17–19; 22]

інвестиції в наукові дослідження відновлювальних джерел енергії, порівнюючи з витратами на впровадження, що дозволить досягти цілей енерговиробництва для задоволення попиту. Масовий перехід на відновлювальні джерела енергії поставить під загрозу галузь

видобування викопних видів палива, поряд із безпекою його багаторічних геополітичних структур, тому вважаємо, що надзвичайно важлива багатостороння співпраця щодо соціальних та політичних наслідків такого переходу.

Список використаних джерел:

1. Schwab K. The fourth industrial revolution. Publisher: Currency. 2017. 192 p.
2. Soddy F. Wealth, Virtual Wealth and Debt: The Solution of the Economic Paradox. E. P. Dutton, 1933. 320 p.
3. Четверта промислова революція: зміна напрямів міжнародних інвестиційних потоків / за наук. ред. Крисоватого А.І., Сохацької О.М. Тернопіль : Осадца Ю.В., 2018. 478 с.
4. Розвиток промисловості для забезпечення зростання та оновлення української економіки : науково-аналітична доповідь / за ред. Дейнеко Л.В. Київ : ДУ «Ін-т екон. та прогнозів. НАН України», 2018. 158 с.
5. Ozaslan M., Junejo Y. Current Studies in Basic Sciences, Engineering and Technology 2021. URL: https://www.isres.org/books/Current%20Studies%20in%20Basic%20Sciences,%20Engineering%20and%20Technology%202021_sm_04-01-2022.pdf.
6. World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2016/05/industry-4-0/> (дата звернення: 24.02.2023).
7. Запорожець Т.В. Індустрія 4.0: генезис цілей і завдань держави від першої промислової революції. *Державне управління: теорія та практика*. 2019. № 1. С. 21–32.
8. Войтко С.В., Гайдуцький І.П., Караєва Н.В. Динаміка розвитку відновлюваної енергетики на початку третього десятиліття XXI століття. *Ефективна економіка*. 2021. № 4. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.11>.
9. Панченко В.Г., Резнікова Н.В., Іващенко О.А. Розвиток Industry 4.0 й цифрової економіки у фокусі глобального технологічного та інноваційного суперництва КНР і США. *Економіка та держава*. 2021. № 2. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.2.4>.
10. Брюховецька Н.Ю., Черних О.В. Індустрія 4.0 та цифровізація економіки: можливості використання зарубіжного досвіду на промислових підприємствах України. *Економіка промисловості*. 2020. № 2 (90). С. 116–132.
11. Опанасюк В.В. Індустрія 4.0: місце України в міждержавній кооперації і спеціалізації. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка»*. 2017. № 4 (32). С. 67–71.
12. Rifkin J. The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World. 2013. 304 p.
13. Вишневецький В.П., Князев С.І. Як підвищити готовність промисловості України до смарттрансформацій. *Наука та інновації*. 2018. Т. 14. № 4. С. 55–69. DOI: <https://doi.org/10.15407/scin14.04.055>.
14. Роль і місце української енергетики у світових енергетичних процесах. URL: https://razumkov.org.ua/uploads/article/2018_ENERGY_PRINT.pdf (дата звернення: 25.02.2023).
15. Князев С.І. Становлення смарт-промисловості в Україні в умовах четвертої промислової революції. URL: https://iie.org.ua/wp-content/uploads/2020/10/dysertatsiia_kniaziev-s.i._compressed.pdf.
16. Sher S., Netchert B. Energy in the US economy 1850–1975. Economic study of the history of energy use in the past and forecast for the future. Publisher: Johns Hopkins, 1963. 325 p.
17. World Energy Investment 2021. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5e6b3821-bb8f-4df4-a88b-e891cd8251e3/WorldEnergyInvestment2021.pdf>.
18. Global energy transformation: The REmap transition pathway. URL: <https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition>.
19. Fostering Effective Energy Transition 2021 edition. Insight report April 2021. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2021.pdf.
20. Розвиток енергетики в Радянському Союзі з 1917-1950 рр. URL: <https://www.encyclopedie-energie.org>.
21. СРСР 2.0, або Чому українська енергетика застрягла в минулому столітті. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/07/17/638752>.
22. Sharma N., Smeets B., Tryggstad C. The decoupling of GDP and energy growth: A CEO guide. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-decoupling-of-gdp-and-energy-growth-a-ceo-guide>.

References:

1. Schwab K. (2017) The fourth industrial revolution. Publisher: Currency. [in English].

2. Soddy F. (1933) *Wealth, Virtual Wealth and Debt: The Solution of the Economic Paradox*. E.P. Dutton. [in English].
3. Krysovaty A.I., & Sokhatskyi O.M. ed. (2018) *The fourth industrial revolution: changing the direction of international investment flows*. Ternopil: Osadtsa Yu.V.
4. Deineko L.V. ed. (2018) *Development of industry to ensure the growth and renewal of the Ukrainian economy*. Kyiv: State Organization «Institute of the Economy and Forecasting of the NAS of Ukraine».
5. Ozaslan M. & Junejo Y. *Current Studies in Basic Sciences, Engineering and Technology 2021*. Available at: https://www.isres.org/books/Current%20Studies%20in%20Basic%20Sciences,%20Engineering%20and%20Technology%202021_sm_04-01-2022.pdf [in English].
6. World Economic Forum. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2016/05/industry-4-0/> (accessed: 24.02.2023) [in English].
7. Zaporozhets T.V. (2019) Industry 4.0: the genesis of the goals and objectives of the state from the first industrial revolution. *Public administration: theory and practice*. No. 1. P. 21–32.
8. Voitko S.V., Gaydusky I.P. & Karayeva N.V. (2021) Development dynamics of renewable energy at the beginning of the third decade of the 21st century. *Efficient economy*. 4. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.11>.
9. Panchenko V.G., Reznikova N.V. Ivashenko O.A. (2021) The development of Industry 4.0 and the digital economy in the focus of the global technological and innovation rivalry of the People's Republic of China and the United States. *Economy and the state*. 2. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.2.4>.
10. Bryukhovetska N.Yu., Chernykh O. V. (2020) Industry 4.0 and digitalization of the economy: possibilities of using foreign experience at industrial enterprises of Ukraine. *Economy of industry*. No. 2 (90), p. 116–132.
11. Opanasyuk V.V. (2017) Industry 4.0: Ukraine's place in interstate cooperation and specialization *Scientific notes of the National University «Ostroh Academy»*. Series «Economy». No. 4 (32), pp. 67–71.
12. Rifkin J. (2013) *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. St. Martin's Griffin [in English].
13. Vyshnevskiy V.P., Knyazev S.I. (2018) How to increase readiness of Ukrainian industry for smart transformations. *Science and innovation*. 14. 4. 55–69. DOI: <https://doi.org/10.15407/scin14.04.055>.
14. The role and place of Ukrainian energy industry in global energy processes. Available at: https://razumkov.org.ua/uploads/article/2018_ENERGY_PRINT.pdf
15. Knyazev S.I. The formation of smart industry in Ukraine in the conditions of the fourth industrial revolution. Available at: https://iie.org.ua/wp-content/uploads/2020/10/dysertatsiia_kniaziev-s.i._compressed.pdf
16. Sher S., Netchert B. (1963) *Energy in the US economy 1850–1975. Economic study of the history of energy use in the past and forecast for the future*. Publisher: Johns Hopkins [in English].
17. World Energy Investment 2021. Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5e6b3821-bb8f-4df4-a88b-e891cd8251e3/WorldEnergyInvestment2021.pdf> [in English].
18. Global energy transformation: The REmap transition pathway. Available at: <https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition> [in English].
19. Fostering Effective Energy Transition 2021 edition. Insight report April 2021. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2021.pdf [in English].
20. Development of energy in the Soviet Union from 1917–1950. Available at: <https://www.encyclopedie-energie.org>.
21. USSR 2.0, or Why Ukrainian energy is stuck in the last century. Available at: <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/07/17/638752>.
22. Sharma N., Smeets B., Tryggestad C. The decoupling of GDP and energy growth: A CEO guide. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-decoupling-of-gdp-and-energy-growth-a-ceo-guide> [in English].