

УДК 338.33:621.311(100)

JEL Classification: Q43, L11, D40

DOI: 10.20535/2307-5651.23.2022.264627

Войтко С. В.доктор економічних наук, професор
ORCID ID: 0000-0002-2488-3210**Гайдуцький І. П.**доктор економічних наук, доцент
ORCID ID: 0000-0003-4689-1665Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Voitko Serhii, Gaidutskiy Ivan**National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ВИКОРИСТАННЯ ВИКОПНОГО ПАЛИВА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПЕРІОДІ 1985–2021 РР.

USE OF FOSSIL FUEL FOR ELECTRICITY PRODUCTION IN THE PERIOD 1985–2021

У статті здійснено аналіз сфери електроенергетики, а саме виробництва електроенергії з використанням викопного палива на періоді з 1985 по 2021 рік. Основними регіонами дослідження стали Північна Америка, Центральна та Південна Америка, Європа, Близький Схід, Африка, Азіатсько-Тихоокеанський регіон, Європейський Союз та Україна. Наголошено на необхідність дотримання Глобальних цілей сталого розвитку, а саме Ціль 7 «Відновлювана енергія» та Ціль 13 «Боротьба зі зміною клімату». Проаналізовано динаміку виробництва електроенергії для окремих регіонів світу за абсолютними значеннями (обсяги виробництва електроенергії зросли у 2,88 рази) та з врахуванням інфляції (за період, що розглядається, інфляція у світі склала 566 %). Розглянута структура виробництва та споживання електроенергії з врахуванням зміни технологічних процесів і переходу до Індустрії 4.0 (найбільші обсяги виробництва в 1985 року – Північна Америка, 2021 рік – Азіатсько-Тихоокеанський регіон). Виявлено вплив економічних криз на обсяги виробництва електроенергії з викопного палива та зазначено основні кризові роки за цим аналізом, а саме 1991, 2001, 2008, 2018 роки. Показано те, що передвісником глобальної кризи доданої вартості може бути зміна обсягів виробництва електроенергії у 2018 році. Проаналізовано динаміку споживання первинної енергії на душу населення у світі (62,3 ГДж в 1985 році та 75,6 ГДж у 2021 році), Європі, окремо в Європейському Союзі та в Україні. Досліджено статистику по Україні стосовно виробництва та споживання електроенергії на різних часових періодах розвитку економіки (споживання енергії перевищувало середнє значення по світу в 3,46 рази в 1990 році та в 1,53 рази, порівняно з Європою). Наведені висновки за результатами наукового дослідження. Виділена криза доданої вартості, яка у дослідженні відображена як зниження обсягів виробництва в Північній Америці ще в 2017 році, а пізніше для регіонів, що більшою мірою орієнтовані на технології Індустрії 4.0 (Північна Америка та Європа), а з 2020 року вже й торкнулася країн Близького Сходу та Азіатсько-Тихоокеанського регіону.

Ключові слова: викопне паливо, електроенергія, структура використання палива, енергетика, кризові явища.

The article analyzes the field of electricity, namely the production of electricity using fossil fuels for the period from 1985 to 2021. The main regions of the study were North America, Central and South America, Europe, the Middle East, Africa, the Asia-Pacific region, the European Union and Ukraine. The need to comply with the Global Sustainable Development Goals, namely Goal 7 "Renewable energy" and Goal 13 "Combating climate change" was emphasized. The dynamics of electricity production for individual regions of the world were analyzed in absolute terms (volumes of electricity production increased by 2.88 times) and taking into account inflation (inflation in the world amounted to 566% during the period under review). The structure of electricity production and consumption is considered, taking into account changes in technological processes and the transition to Industry 4.0 (the largest production volumes in 1985 - North America, in 2021 - the Asia-Pacific region). The impact of economic crises on the production of electricity from fossil fuels is revealed and the main crisis years according to this analysis are indicated, namely 1991, 2001, 2008, 2018. It is shown that a change in the volume of electricity production in 2018 can be a harbinger of the global crisis of added value. The dynamics of primary energy consumption per capita in the world (62.3 GJ in 1985 and 75.6 GJ in 2021), Europe, separately in the European Union and in Ukraine were analyzed. The statistics on the production and consumption of electricity in Ukraine at different time periods of economic development were studied (energy consumption exceeded the world average by 3.46 times in 1990 and by 1.53 times, compared to Europe). The conclusions based on the results of scientific research are given. The crisis of added value is highlighted, which is reflected in the study as a decrease in production volumes in North America as early as 2017, and later for regions that are more focused on Industry 4.0 technologies (North America and Europe), and since 2020 has already affected the countries of the Middle East and the Asia-Pacific region.

Keywords: fossil fuel, electricity, structure of fuel use, energy, crisis phenomena.

Постановка проблеми. Тривалість використання електричної енергії у сучасній цивілізації є відносно короткою. Третій технологічний устрій став основою розвитку цього різновиду енергії, а це у промислових обсягах відбулося лише дещо більше одного століття тому. Другий технологічний устрій започаткував безпосереднє перетворення викопного палива на механічну енергію. Проте, можливості перетворення енергії палива в електроенергію, її відносно нескладна та незатратна передача на значні відстані та зручність у використанні вивела цей різновид енергії на чинне місце у розвитку людства.

Технології отримання електроенергії різноманітні. Вибір тієї чи іншої технології обумовлюється економічною доцільністю побудови електростанції у певному регіоні чи в країні. Вибір різновиду палива для станції зумовлюється його наявністю у регіоні чи ефективною його логістикою до електростанції. Також при прийнятті рішення про розвиток електроенергетики у регіоні враховується екологічний аспект. Спалювання викопного палива значно шкодить довкіллю. У зв'язку з цим суспільством ставиться питання про зменшення викидів шкідливих речовин. Звичайно, природа не моментально реагує на шкідливі дії Людини, проблеми накопичуються роками. У зв'язку з цим виникає проблема раціонального використання викопного палива на тривалому проміжку часу, а також виявлення впливу кризових явищ на обсяги виробництва електроенергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цій проблемі людство вже тривалий час приділяє суттєву увагу. Залишимо у дослідженні осторонь «зелену» енергетику, яка значною мірою вирішує зазначену проблему. Проте, суспільство ще досить активно використовує традиційну енергетику на викопному паливі. Тому дослідимо основні тенденції використання окремих видів цього палива для виробництва електроенергії. На світовому рівні сфера енергетики розглянута у Глобальних цілях сталого розвитку, а саме засади містяться у Цілі 7 «Відновлювана енергія» та у Цілі 13 «Боротьба зі зміною клімату» [1]. Вже тривалий час є чинною Паризька кліматична угода [2], яка базується на засадах Кіотського протоколу [3] і є його продовженням.

Аналіз наукових досліджень показує, що існує значна кількість профільних статей з цієї проблеми. Наведемо лише декілька з них, які є основою цього дослідження і видані нещодавно, у 2022 році. Проблематику витіснення викопного палива з процесів генерації електроенергії розглянули науковці з Університету Вандербільта та Університету Орегону [4]. Кількісне оцінювання вуглецевої інтенсивності електроенергії, що виробляється та використовується в Європі, здійснено у роботі [5]. Ця проблематика буде актуальною ще тривалий час і тому це дослідження є доцільним.

Формулювання цілей статті. Цілі дослідження: 1) здійснити аналіз статистики виробництва електроенергії у регіонах світу за період з 1985 по 2021 рік з такого викопного палива як нафта, природний газ, вугілля; 2) порівняти обсяги виробництва електроенергії за абсолютними значеннями та з врахуванням інфляції; 3) виявити віддзеркалення економічних криз в обсягах виробництва електроенергії за регіонами та за роками; 4) дослідити трансформацію структури

використання викопного палива на періоді часу з 1985 по 2021 року.

За інформаційну базу обрано статистичні дані Світового банку [6] та статистику корпорації British Petroleum [7].

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 наведено динаміку виробництва електроенергії на відтинку часу з 1985 року по 2021 рік (використано доступні дані з джерела [7]). За цей період спостерігається поступове зростання обсягів виробництва електроенергії (окрім 2009 року, як наслідок глобальної економічної кризи в 2008 році). Так, за ці 36 років загалом для усього світу обсяги виробництва електроенергії зросли у 2,88 рази.

За цей же період обсяг світового ВВП зріз з 12,86 трлн доларів до 96,10 трлн дол. у 2021 році. Тобто у 7,47 рази в абсолютному вимірі, не враховуючи інфляційні процеси. Звичайно, за цей період інфляція значно знецінила гроші. За даними Світового банку сукупне значення інфляції за цей період склало 566% [6]. Отже, сукупне ВВП усіх країн з врахування впливу інфляційних процесів за період 1985–2021 рр. зросло з 12,86 трлн дол. до 16,98 трлн дол. (значення приведено до 1985 року). Тобто, всього в 1,32 рази. А от виробництво електроенергії зросло у 2,88 рази. Зазначимо, що за цей період кількість населення збільшилося з 4,84 млрд у 1985 році до 7,84 млрд у 2021 році, а це в 1,62 рази більше. Маємо таке: виробництво електроенергії зросло у 2,88 рази, а зростання населення лише в 1,62 рази. Основною причиною цього є суттєва зміна структури енергоспоживання, адже значна кількість промислового обладнання все більше використовує саме електроенергію. Зазначене пов'язано зі зміною засад проектування технологічних процесів з концепції Індустрії 3.0 до Індустрії 4.0.

Варто звернути увагу на динаміку зростання обсягів виробництва електроенергії за регіонами. Так, у Європейському Союзі за ці 36 років зростання обсягів виробництва склало усього 143,2%, тоді як зростання в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні сягає 811,8%. Таке низьке зростання в ЄС обумовлено суттєвим енергозбереженням, а для Азіатсько-Тихоокеанського регіону за цей період є характерним технологічний розвиток там багатьох країн. Стрімкий розвиток енергосистем за цей період спостерігався й для Близького Сходу – маємо зростання на 711,4%. Близькі значення мають такі регіони як Південна та Центральна Америка (334,7%) та Африка (346,5%).

Різниця у структурі виробництва електроенергії помітна на круговій діаграмі на рис. 2.

З метою виявлення закономірностей у виробництві електроенергії під час криз виявимо роки зниження обсягів методом диференціального аналізу.

$$\text{Приріст}_{i-\text{го року}} = \frac{\text{Обсяг поточний рік}_{(i \text{ рік})} - \text{Обсяг попередній рік}_{(i-1 \text{ рік})}}{\text{Обсяг попередній рік}_{(i-1 \text{ рік})}}$$

За період з 1985 року маємо відносно зниження обсягів виробництва електроенергії за такі роки. У 1991 році маємо зниження обсягів на Близькому Сході. Два наступні роки (1992 та 1993 рр.) спостерігалось певне зниження значень показника для Європи. У 2001 році Південна, Центральна та Північна Америки відчули зниження обсягів виробництва електроенергії, відповідно, й споживання неї. Для Північної Америки 2008 та 2009 роки також характерним

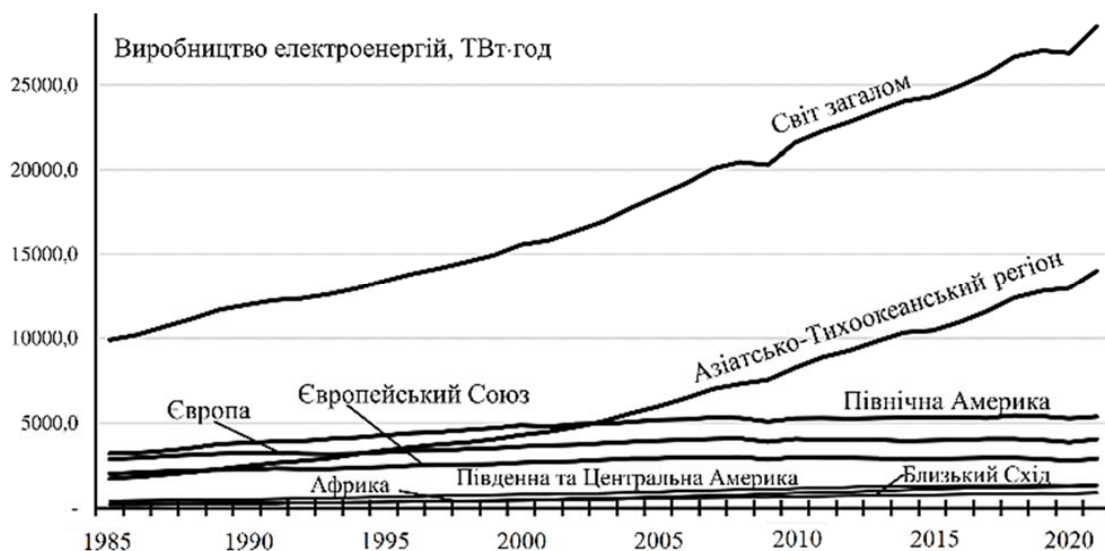


Рис. 1. Динаміка виробництва електроенергії за регіонами світу з 1985 по 2021 рр.

Джерело: розроблено авторами з використанням даних [7]

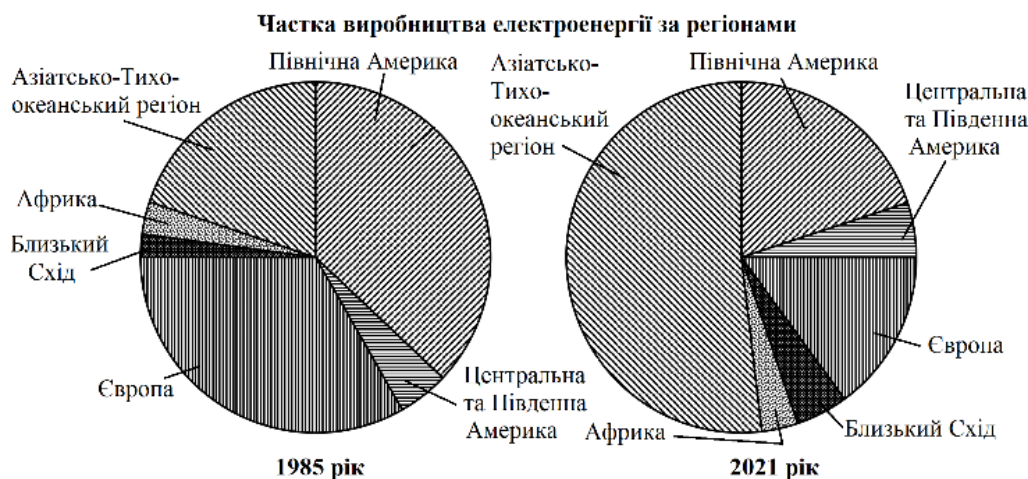


Рис. 2. Кругові діаграми часток виробництва електроенергії за регіонами світу у 1985 та в 2021 роках

Джерело: розроблено авторами з використанням даних [7]

було зниження обсягів, а от Європа відчула наслідки глобальної економічної кризи у 2009 та 2010 роках, завершивши падінням ще у 2014 році. До речі, варто зазначити про те, що зниження обсягів для Північної Америки спостерігалось ще у 2012 році, а 2011 рік мав незначне зростання, всього на 0,3%, що можна вважати як відносна стабілізація. Заслужує на увагу зниження обсягів виробництва в Північній Америці в 2017 році. Зазначимо, що це було передвісником глобальної кризи доданої вартості, яка у явному вигляді проявила себе у 2018 році, і є наслідком розвитку технологій Індустрії 4.0 [8]. Вже у 2019 році ця криза зумовила падіння обсягів виробництва електроенергії у більш орієнтованих на Індустрії 4.0 країнах, таких регіонів як Північна Америка та Європа. От 2020 рік вже відзначився зниженням обсягів для багатьох регіонів окрім Близького Сходу та Азіатсько-Тихоокеанського регіону. Більшою мірою це зумовлено карантинними обмеженнями.

Як підсумок, за аналізом динаміки обсягів виробництва електроенергії виявляються кризові стани. Маємо кризовий стан на Західній півкулі у 2001 році (яскраво це показується на кризі «доткомів» /com/). Глобальна економічна криза у 2008 році торкнулася регіонів з більш розвиненими країнами. Глобальна криза, що обумовлена зниження доданої вартості на одного працюючого, була прикрита карантинними обмеженнями, які не дали змогу розвиватися вуличним протестам, які мають місце під час криз.

Повернемося до зростання обсягів виробництва електроенергії та до кількості населення. Ці два показники мали зростання за період, який досліджуємо. На рис. 3 наведено динаміку споживання первинної енергії у перерахунку на одного жителя.

Для Європи та для ЄС спостерігається незначне зниження споживання жителями енергії за цей період. Для Європейського Союзу зниження склало 9,5% (з 149,1 гігаджолів до 135,0 ГДж), а для Європи загалом

лом на 13,9%. От споживання первинної енергії на душу населення у перерахунок на усіх жителів планети Земля значно нижче: 62,3 ГДж в 1985 році та 75,6 ГДж у 2021 році. Зростання для усього світу за цей 36-річний період склало 21,3% саме за рахунок країн, які стрімко розвивалися, на періоді часу, що розглядається.

Окрему увагу приділимо Україні. Зниження обсягів споживання для технологічно розвинутої України після періоду 1985–1992 рр. зумовлено суттєвою трансформацією економіки після відродження незалежності. До речі, споживання енергії перевищувало середнє значення по світу в 3,46 рази в 1990 році та в 1,53 рази, порівняно з Європою у тому ж році. Отже, економіка нашої країни була досить енергомісткою.

Розглянемо вплив кризових явищ на обсяги споживання первинної енергії. Явно виражені кризи

2008 і 2018 років. Для України трансформація економіки в 90-их роках суттєво вплинула на енергоспоживання. З 1990 до 1995 року знижився цей показник у 1,71 рази. До речі, маємо суттєве зниження й в 2009 році, а саме на 16,8% порівняно з 2008 роком. Також російсько-українська війна з 2014 року суттєво знизила споживання первинної енергії, особливо промисловістю. Маємо перевищення від 1,45 разів у 2013 році до 1,06 у 2021 році порівняно з середнім по світу та відносно Європи маємо менше, ніж в Європі на 17,1% у 2013 році та на 34,0 % у 2021 році.

Дослідження здійснюється на значному відтинку часу, тож доцільно проаналізувати структуру джерел, з яких здійснюється виробництво електроенергії та вплив кризових явищ на вибір більш доцільного джерела первинної енергії. Динаміка структури наведена на рис. 4.

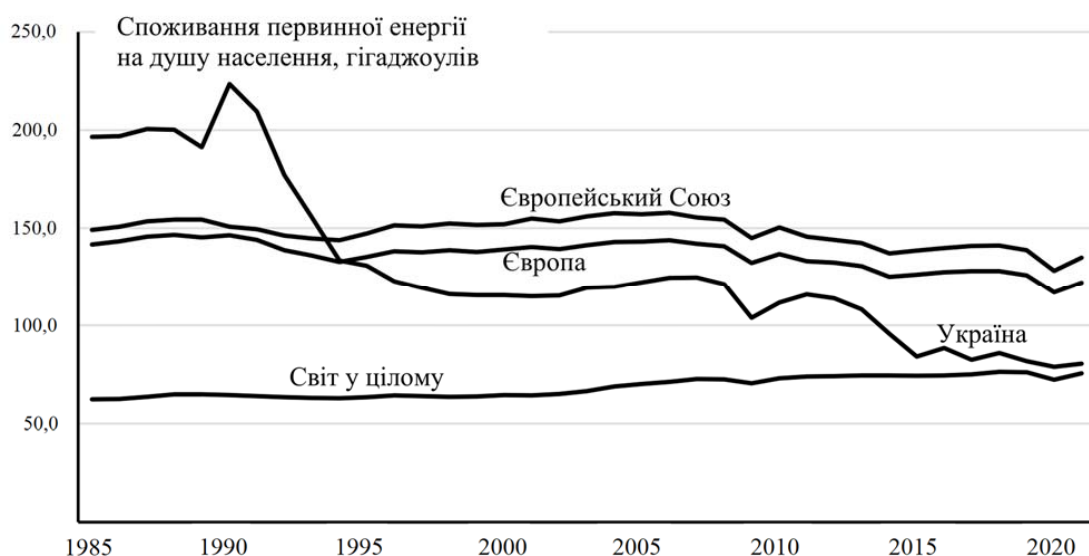


Рис. 3. Динаміка споживання первинної енергії на душу населення у світі, Європі, окремо в Європейському Союзі та в Україні за період з 1985 по 2021 рік

Джерело: розроблено авторами з використанням даних [7]

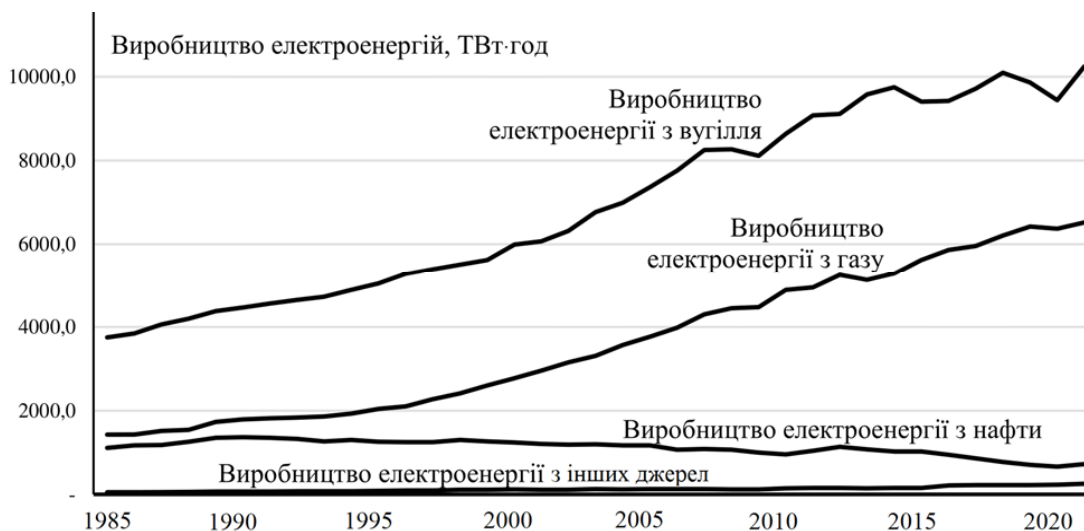


Рис. 4. Динаміка використання джерел первинної енергії для виробництва електроенергії у світі на період з 1985 по 2021 рік

Джерело: розроблено авторами з використанням даних [7]

Загалом маємо тенденцію до значного виробництва електроенергії з такого викопного палива як вугілля. У 1985 році з вугілля вироблялося 59,2% електроенергії, а в 2021 році – 57,7%. Співвідношення суттєво не змінилося за 36 років. Проте, зазначене паливо має тенденцію до зростання при виході з кризового стану, що явно спостерігається у 2010 та 2021 році: у 2010 році +6,0% та 7,8% у 2021 році. Дещо інша ситуація з іншими видами палива. Так, виробництво електроенергії з нафти упало з 17,5% до 4,0% за період з 1985 року по 2021 рік. Використання природного газу зросло з 22,5% до 36,7% за цей же відтинок часу. Інші джерела, переважно це джерела відновлюваної енергетики, у світі зросли з 0,8% до 1,4%. Зазначимо, що вищезазначене стосується лише виробництва електроенергії із зазначених різновидів палива.

На рис. 5 наведено зміну в обсягах використання різних видів палива для виробництва електроенергії в Україні світі на відтинку часу 1985–2021 рр. Досить цікавою є зміна обсягів і співвідношення використання палива для країни, адже за цей досить тривалий період відбулися значні трансформаційні перетворення.

Так, відновлення незалежності країни та трансформаційні процеси знизили обсяги виробництва на початку 90-их років. Варто зазначити те, що до 90-их років в Україні були близькі значення використання природного газу та нафти у виробництві електроенергії. У подальшому тенденції використання нафти для виробництва електроенергії в Україні збігаються із загальносвітовими. Суттєве економічне зростання країни розпочалося на початку 2000-их років і тоді суттєво зросли обсяги виробництва електроенергії з вугілля, запаси якого в Україні є досить значні. До речі, із зазначених джерел енергії за період, який розглядається, виробництво електроенергії знизилось у 4,34 рази. Це досить суттєво. Звичайно, Україна має значні потужності атомної енергетики та гідроелектростанцій. Загалом, трансформація економіки з 1992 року досить суттєва, тому ми маємо такі значні зміни обсягів, що візуально помітно на графіку.

Висновки. Основними регіонами дослідження стали Північна Америка, Центральна та Південна Америка, Європа, Близький Схід, Африка, Азіатсько-Тихоокеанський регіон, Європейський Союз та Україна. На підставі результатів аналізування статистики виробництва електроенергії цих регіонів за період з 1985 по 2021 рік з таких джерел як нафта, природний газ, вугілля та інших зроблені такі висновки:

1) За 36 років для усього світу обсяги виробництва електроенергії зросли у 2,88 рази при зростанні обсягу світового ВВП у 7,47 рази в абсолютному вимірі (1,32 рази з врахуванням інфляції) та збільшенні кількості населення в 1,62 рази.

2) Зростання обсягів виробництва електроенергії за регіонами у цьому періоді для Європейському Союзі склало 143,2%, для Азіатсько-Тихоокеанському регіоні – 811,8%, для Близького Сходу – 711,4%, для Південної та Центральної Америки – 334,7%, для Африки – 346,5%, для України – зниження обсягів і склало 57,1% від 1985 року.

3) Кризові явища в економіках світу відображаються й в обсягах виробництва електроенергії. Це такі роки як 1991 р. на Близькому Сході, 1992 та 1993 рр. для Європи, 2001 р. для Південної, Центральної та Північної Америк. Глобальна економічна криза відобразилася у показниках, що досліджуються, для Північної Америки та Європи. Криза доданої вартості найшла відображення у зниженні обсягів виробництва в Північній Америці ще в 2017 році, а пізніше для регіонів, що більшою мірою орієнтовані на технології Індустрії 4.0 (Північна Америка та Європа), а з 2020 року вже й торкнулася країн Близького Сходу та Азіатсько-Тихоокеанського регіону.

4) Аналіз проблематики з врахуванням приведення обсягів виробництва електроенергії на одну особу надав змогу стверджувати таке: для Європи та для ЄС спостерігається незначне зниження споживання жителями енергії за цей період (9,5%), для Європи – 13,9%, а для світу у цілому склало – 21,3%. Для України споживання енергії перевищувало середнє значення по



Рис. 5. Динаміка використання джерел первинної енергії для виробництва електроенергії в Україні на періоді з 1985 по 2021 рік

Джерело: розроблено авторами з використанням даних [7]

світу в 3,46 рази в 1990 році та в 1,53 рази порівняно з Європою.

5) Розгляд структури використання зазначених вище різновидів палива надає можливість стверджувати про таке: у 1985 році з вугілля вироблялося 59,2% електроенергії, в 2021 році – 57,7%; виробництво електроенергії з нафти знизлося з 17,5% до 4,0% за період з 1985 року по 2021 рік; для природного газу зросло з 22,5% до 36,7%; для інших джерел – зростання з 0,8% до 1,4%.

6) Для України характерним на цьому проміжку часу у сфері виробництва електроенергії було таке:

суттєво знизлися обсяги виробництва на початку 90-их років; до 1992 року країна мала близькі значення використання природного газу та нафти у виробництві електроенергії; із зазначених джерел енергії за період 1985–2021 рр. виробництво електроенергії знизлося у 4,34 рази.

7) Основою таких трансформаційних змін є нерівномірне підвищення вартості викопних джерел енергії, екологізація промислових виробництв, об'єктивні зміни технологічних процесів із засад Індустрії 3.0 на Індустрію 4.0, вплив циклічних процесів, а особливо кризових явищ у них.

Література:

1. Sustainable Development Goals United Nations Development Programme. URL: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html> (дата звернення: 20.04.2021).
2. The Paris Agreement. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (дата звернення: 20.04.2021).
3. Kyoto Protocol. (Last modified on: 14 January 2009). URL: https://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf (assessed 20 April 2021).
4. Greiner P. T. When are fossil fuels displaced? An exploratory inquiry into the role of nuclear electricity production in the displacement of fossil fuels / P. T. Greiner, R. York, J. A. McGee // *Heliyon*. 2022. Vol. 8. Issue 1. P. 1–9.
5. Scarlat N. Quantification of the carbon intensity of electricity produced and used in Europe / N. Scarlat, M. Prussi, M. Padella. *Applied Energy*. 2022. Vol. 305. P. 1–15.
6. The World Bank Data and Research (2021), World Bank Statistics Database. URL: <http://data.worldbank.org>.
7. Statistical Review of World Energy British Petroleum Corp. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>.
8. Войтко С. В. Розвиток економік країн в умовах Next Normality та Industry 4.0. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. Київ, 2020. № 17. С. 93–104.

References:

1. Sustainable Development Goals United Nations Development Programme. Available. Available at: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html> (assessed July 20, 2022).
2. The Paris Agreement. Available at: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (assessed July 20, 2022).
3. Kyoto Protocol (Last modified on: 14 January 2009). Available at: https://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf (assessed July 20, 2022).
4. Greiner P. T., York R., McGee J. A. (2022) When are fossil fuels displaced? An exploratory inquiry into the role of nuclear electricity production in the displacement of fossil fuels. *Heliyon*, vol. 8, issue 1, pp. 1–9.
5. Scarlat N., Prussi M., Padella M. (2022) Quantification of the carbon intensity of electricity produced and used in Europe. *Applied Energy*, vol. 305, pp. 1–15.
6. The World Bank Data and Research (2021), World Bank Statistics Database. Available at: <http://data.worldbank.org> (assessed July 20, 2022).
7. Statistical Review of World Energy British Petroleum Corp. Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html> (assessed July 20, 2022).
8. Voitko S. V. (2020) Rozvytok ekonomik krain v umovakh Next Normality ta Industry 4.0 [The development of the economies of countries in the conditions of Next Normality and Industry 4.0]. *Economic bulletin of NTUU "KPI"*, no. 17, pp. 93–104. (in Ukrainian)