

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**НАМ'ЯСЕНКО ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК: 330.131.5: 620.92: 64.01

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНОГО  
ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СІЛЬСЬКИХ ДОМОГОСПОДАРСТВ**

051 «Економіка»

05 «Соціальні та поведінкові науки»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання  
на відповідне джерело Ю. О. Нам'ясенко

Науковий керівник  
**ЖЕРЛІЦИН Дмитро Михайлович,**  
доктор економічних наук,  
професор

Київ – 2023

## АНОТАЦІЯ

**Нам'ясенко Ю.О. Економічна ефективність альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств.** Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 «Економіка» (05 «Соціальні та поведінкові науки»). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2023.

Дисертацію присвячено розробленню та обґрунтуванню теоретико-методичних положень і практичних рекомендацій щодо розвитку ринку електроенергії України шляхом державного стимулювання переходу сільських домогосподарств з категорії споживачів у категорію виробників електроенергії на базі відновлюваних джерел енергії. З даною метою було досліджень і систематизовано науково методичні засади, проведено аналіз та оцінку стану енергетичного сектору України, як з позиції традиційної так і з позиції відновлюваної енергетики.

При аналізі особливостей формування та розвитку економічних відносин в системі енергетичних ринків було розглянуто структуру ринку електроенергії в Україні. Відзначено, що на даний час ринок електроенергії являється в значній мірі монополізований державою, зокрема половина всіх генеруючих потужностей, а також система передачі електроенергії належать державі – всі інші виробники електроенергії підпадають під суттєве державне регулювання. Аналіз ринку природного газу показав повну державну монополію на ньому. Враховуючи колосальний негативний вплив повномасштабної війни РФ проти України було концептуально розглянуто процес адаптації енергетичного ринку до скорочення постачання енергії.

Враховуючи відсутність визначення поняття «сільське домогосподарство» в законодавстві України було надано власне визначення даного поняття

базуючись, як на законодавстві інших країн світу, так і структурі енергетичного споживання серед населення України.

Активний розвиток відновлюваної енергетики у світі протягом останнього десятиліття значно вплинув на енергетичні ринки, зокрема в дисертаційній роботі показано, що за умови існування абсолютного конкретного ринку електроенергії – вихід на нього відновлюваної енергетики безпосередньо впливає на зменшення рівня ринкової ціни. Крім цього, аналіз структури приведеної вартості виробництва електроенергії з різних типів генерації, як традиційна так і відновлювана енергетика, доводить, що за активне збільшення відновлюваної енергетики на ринку призводить до підвищення ефективності виробників традиційної енергетики. В дисертаційній роботі доведено, що при збільшенні постачання енергії з відновлюваної енергетики на ринок електроенергії відбувається збільшення загального соціального доброту відповідно до позитивного ефекту зменшення рівня клірингової ціни на електроенергію.

Окрему увагу було приділено питанню ставлення сільських домогосподарств до відновлюваної енергетики з позиції кривої байдужості споживання традиційної та відновлюваної енергії. Показано, що для сільських домогосподарств з високим рівнем доходу гранична норма заміщення традиційних джерел енергії на відновлювану дорівнює одиниці, тобто корисність одної кіловат-години енергії з традиційних джерел енергії рівноцінна одній кіловат-годині енергії з відновлюваних джерел. Сільські домогосподарства з середнім або низьким рівнем доходу та при відсутності можливості отримати кредитну лінію мають граничну норму заміщення традиційних джерел енергії на відновлювану відмінну від одиниці, тобто корисність одної кіловат-години енергії з відновлюваних джерел більша ніж з традиційних джерел.

Аналіз сучасного стану енергетичного сектору України проводився в розрізі оцінку ядерної генерації електроенергії, оцінки генерації електроенергії за допомогою тепло електростанцій, оцінки рівня енергоефективності національної

економіки та оцінки газопостачання в Україну, зокрема ймовірність виникнення дефіциту постачання природного газу в Україну. Відповідно до міжнародних стандартів з безпеки використання ядерних реакторів – максимально допустимий період використання ядерного реактору складає 30 років, дозволяється проводити дві модернізації, кожна з яких збільшує термін експлуатації ядерного реактору ще на 10 років. Таким чином максимально можливий термін експлуатації ядерного реактору, без підвищення ризику створення значної техногенної катастрофи, складає 50 років. Базуючись на даних стандартах уже до 2035 загальна потужність ядерної енергетики України скоротиться вдвічі.

На момент початку повно масштабної збройної агресії РФ проти України з діючих 15 ТЕС – 14 мали термін експлуатації, що перевищує 40 років, а у абсолютної більшості термін експлуатації перевищує уже 50 років, тоді як плановий термін експлуатації основного елементу ТЕС котлів не повинен перевищувати 40 років. Для України кількість основних викидів від тепло електроенергетики в рази перевищує норми допустимі в ЄС і суттєво перевищують найгірші показники за викидами для найбільш бідніших країн.

Можна стверджувати, що до початку повномасштабної війни традиційна енергетика в Україні уже перебувала у стадії рецесії та потребувала значних обсягів інвестування для модернізації.

Масовані обстріли РФ енергетичного сектору України кардинального погіршили його стан, створивши колосальну ймовірність виникнення дефіциту постачання електроенергії в короткостроковій перспективі. В умовах фізичного дефіциту постачання електроенергії - в Україні ціни на електроенергію будуть значно збільшуватись (уже зараз США пропонує уряду України переглянути ціни на електроенергію). Додатковим фактором збільшення ціни на електроенергію буде відновлення зруйнованої енергетичної інфраструктури за рахунок коштів бюджету.

Значну увагу в дисертаційній роботі було приділено аналізу розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Було підтверджено, що запровадження механізму гарантованого покупця та зеленого тарифу позитивно вплинуло на розвитку сонячної та вітрової енергетики серед юридичних та фізичних осіб України. Однак, при цьому також доводиться те, що з точки зору юридичних та фізичних осіб зелений тариф в Україні існував, як альтернатива інвестуванню в інші сфери економіки, але при цьому не мав маржинального впливу на темпи розвитку сонячної енергетики. Було доведено, що основними факторами, які визначали розвиток відновлюваної енергетики в Україні являлось збільшення ефективності генеруючих установок відновлюваної енергетики, а також колосальне зменшення приведеної вартості генерації електроенергії відповідними технологіями.

Розроблено оптимізаційну модель інвестиційної привабливості відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств. Цільова функція даної моделі полягає у максимізації дисконтного прибутку сільського домогосподарства за увесь період використання домашнього сонячної електростанції та систем збереження енергії. Розрахунку на базі побудованої оптимізаційної моделі та ринкових даних показують, що максимізація прибутку сільського домогосподарства досягається за умови зменшення власного споживання електроенергії та встановлення сонячної електростанцій значної потужності (10 кВт і більше).

Також було проведено моделювання показника приведеної вартості збереження енергії. Розрахунки демонструють спадний експоненційний характер зміни ціни збереження енергії в результаті зміни частоти використання системи збереження енергії протягом року. Таким чином використання систем збереження енергії являється оптимальним у поєднанні з використання домашніх сонячних електростанцій, коли системи збереження енергії компенсують фактор відсутності генерації електроенергії протягом темної пори доби.

В дисертаційній роботі було представлено ряд пропозицій з позиції розвитку ринку електроенергії на загально національному рівні, виконання яких дозволить забезпечити більший рівень конкуренції на ринку електроенергії, забезпечити максимальну диверсифікації виробництва електроенергії в Україні (тим самим підвищити рівень енергетичної безпеки країни), заощадити бюджетні кошти в контексті відновлення та розвитку енергетичного сектору України, шляхом залучення власних заощаджень сільських домогосподарств у розвиток відновлюваної енергетики країни.

**Ключові слова:** сільські домогосподарства, енергетичний сектор, енергетичні ринки, традиційна енергетика, відновлювана енергетика, приведена вартість генерації електроенергії, приведена вартість збереження енергії, енергетична ефективність.

#### ANNOTATION

**Namiasenko Y.O. Economic efficiency of alternative energy supply of rural households.** The qualification scientific work on the rights of manuscript.

The thesis for the degree of a Doctor of Philosophy of the specialty 051 «Economics» (05 «Social and Behavioral Studies»). National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2023.

The thesis is devoted to the development and substantiation of theoretical and methodological provisions and practical recommendations regarding the development of the electricity market of Ukraine through state stimulation of the transition of rural households from the category of consumers to the category of producers of electricity based on renewable energy sources. For this purpose, research was carried out and scientifically methodical principles were systematized, analysis and assessment of the state of the energy sector of Ukraine was carried out, both from the standpoint of traditional and renewable energy.

The structure of the electricity market in Ukraine was considered during the analysis of the features of the foreclosure and development of economic relations in the

system of energy markets. It is noted that currently the electricity market is largely monopolized by the state, in particular, half of its generating capacity, as well as the electricity transmission system, belong to the state - all other electricity producers are subject to substantial state regulation. An analysis of the natural gas market showed a complete state monopoly on it. Taking into account the colossal negative impact of the full-scale war of the Russian Federation against Ukraine, the process of adapting the energy market to the reduction of energy supply was conceptually considered.

Given the absence of a definition of the concept of "rural household" in the legislation of Ukraine, a proper definition of this concept was provided, based both on the legislation of other countries of the world and the structure of energy consumption among the population of Ukraine.

The active development of renewable energy in the world during the last decade has had a significant impact on energy markets, in particular, it has been shown in dissertations that under the condition of the existence of an absolutely competitive electricity market, the entry of renewable energy into it directly affects the reduction of the market price. In addition, the analysis of the structure of the present value of electricity production from different types of generation, both traditional and renewable energy, proves that the active increase of renewable energy on the market leads to an increase in the efficiency of producers of traditional energy. In the dissertation, it is proved that with an increase in the supply of energy from renewable energy to the electricity market, there is an increase in general social welfare in accordance with the positive effect of a decrease in the level of the clearing price for electricity.

Particular attention was paid to the question of the attitude of rural households to renewable energy from the point of view of the consumption indifference curve of the consumption of traditional and renewable energy. It is shown that for rural households with a high level of income, the marginal rate of replacing traditional energy sources with renewable energy is equal to one, that is, the utility of one kilowatt-hour of energy from traditional energy sources is equivalent to one kilowatt-hour of energy from

renewable sources. Rural households with an average or low level of income and in the absence of an opportunity to obtain a credit line have a marginal rate of replacement of traditional energy sources with renewable energy from one unit, that is, the utility of one kilowatt-hour of energy from renewable sources is greater than from traditional sources.

The analysis of the current state of the energy sector of Ukraine was carried out in terms of the assessment of nuclear electricity generation, the assessment of electricity generation using thermal power plants, the assessment of the level of energy efficiency of the national economy and the assessment of gas supply to Ukraine, in particular the probability of a shortage of natural gas supply to Ukraine. According to international standards for the safety of the use of nuclear reactors - the maximum permissible period of use of a nuclear reactor is 30 years, it is allowed to carry out two modernizations, each of which increases the life of the nuclear reactor by another 10 years. Thus, the maximum possible period of operation of a nuclear reactor, without increasing the risk of creating a significant man-made disaster, is 50 years. Based on these standards, by 2035 the total capacity of Ukraine's nuclear power industry will be halved.

At the time of the beginning of the full-scale armed aggression of the Russian Federation against Ukraine, of the 15 TPPs in operation, 14 had an operating life of more than 40 years, and in the absolute majority the operating life already exceeds 50 years, while the planned operating life of the main element of the TPP boilers should not exceed 40 years. For Ukraine, the number of main emissions from the heat and power industry is many times higher than the standards allowed in the EU and significantly exceeds the worst emission indicators for the poorest countries.

It can be argued that before the start of a full-scale war, the traditional energy sector in Ukraine was already in recession and required significant investment for modernization.

The Russian Federation's massive shelling of Ukraine's energy sector has drastically worsened its condition, creating a colossal probability of a shortage of



electricity supply in the short term. In the conditions of a physical shortage of electricity supply - in Ukraine, electricity prices will increase significantly (the US is already proposing to the Ukrainian government to review electricity prices). An additional factor in the increase in the price of electricity will be the restoration of the destroyed energy infrastructure at the expense of budget funds.

Considerable attention was paid in the dissertation work to the analysis of the development of renewable energy in Ukraine. It was confirmed that the introduction of the mechanism of the guaranteed buyer and the green tariff had a positive effect on the development of solar and wind energy among legal entities and individuals of Ukraine. However, it also proves that from the point of view of legal entities and individuals, the green tariff in Ukraine existed as an alternative to investing in other areas of the economy, but it did not have a marginal impact on the pace of development of solar energy. It was proven that the main factors that determined the development of renewable energy in Ukraine were the increase in the efficiency of generating plants of renewable energy, as well as a colossal decrease in the present value of electricity generation by the corresponding technologies.

An optimization model of the investment attractiveness of renewable energy among rural households has been developed. The objective function of this model is to maximize the discount income of the rural household for every period of use of the home solar power plant and energy conservation systems. The calculation based on the constructed optimization model and market data show that the maximization of the income of the rural household is achieved under the condition of reducing own electricity consumption and installing solar power plants of significant capacity (10 kW or more).

Modeling of the indicator of the present value of energy conservation was also carried out. Calculations demonstrate the downward exponential nature of the change in the price of energy conservation as a result of the change in the frequency of use of the energy conservation system during the year. Thus, the use of energy conservation

systems is optimal in combination with the use of home solar power plants, when energy conservation systems compensate for the lack of electricity generation during the dark hours of the day.

In the dissertation, a number of propositions were presented from the standpoint of the development of the electricity market at the national level, the implementation of which will allow to ensure a higher level of competition in the electricity market, to ensure the maximum diversification of electricity production in Ukraine (thereby increasing the level of energy security of the country), to save budget funds in the context recovery and development of the energy sector of Ukraine, by attracting rural households' own savings to the development of renewable energy in the country.

**Key words:** rural households, energy sector, energy markets, traditional energy, renewable energy, present value of electricity generation, present value of energy conservation, energy efficiency.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Статті у наукових фахових виданнях України**

1. Скрипник А. В., Нам'ясенко Ю. О., Жемойда О.В. Перспективи використання систем збереження електроенергії сільськими домогосподарствами та аграрним бізнесом. Економіка АПК. 2020. № 12. С. 54-63 *(Здобувачем досліджено середній час відсутності постачання електроенергії в Україні та країнах ЄС, а також відображено розмір компенсаційних витрат з боку держави. Також здобувачем досліджено питання зменшення приведеної вартості збереження електроенергії залежно від різних факторів)*

2. Скрипник А. В., Нам'ясенко Ю. О. Оптимізація газопостачання як складова енергетичної стратегії України. Проблеми економіки. 2017. № 3. С. 87-94. *(Здобувачем Розглянуто торгівлю природним газом на чотирьох регіональних ринках, а саме: на ринку Північної Америки, ринку Центральної та Південної Америки, ринку Європи та Євразії та ринку Тихоокеанського регіону.*

*природного газу у загальних світових обсягах продажу природного газу. Побудовано дві оптимізаційні моделі)*

3. Скрипник А. В., Нам'ясенко Ю. О., Сабіщенко О. В. Енергетичний сектор України: крах чи виживання. Проблеми економіки. 2018. № 1. С. 122-134. *(Здобувачем розглянуто стан основних традиційних енергетичних галузей української економіки: гідроенергетики, ядерної, теплової, які введено в дію за часів планової економіки.)*

4. Скрипник А. В., Клименко Н. А., Нам'ясенко Ю. О. Аналіз та моделювання енергетичного потенціалу рослинних решток вітчизняного аграрного сектору. Економіка АПК. 2019. № 8. С. 17-26. *(Здобувачем проведено оцінку решток аграрного виробництва та обґрунтовано оптимальну структуру посівних площ за умови максимізації прибутковості аграрного бізнесу з урахуванням як основної, так і додаткової енергетичної продукції)*

5. Скрипник А. В., Нам'ясенко Ю. О. Оптимізація газопостачання в умовах світової експансії скрапленого природного газу. Економіка України. 2019. № 4. С. 3-17. *(Здобувачем розглянуто оптимізаційні моделі газопостачання в Україні з урахуванням процесу диверсифікації, тобто заміни постачання природного газу з РФ на інші джерела Східної та Центральної Європи. Показано, що диверсифікація газопостачання призводить до істотного зменшення витрат на транспортування.)*

6. Нам'ясенко Ю. О., Остапенко С.О.. Іноземні інвестиції, як потенційний фактор подолання пастки бідності для України. БІЗНЕСІНФОРМ. 2021. №8. С. 19-28. *(Здобувачем шляхом застосування регресійно-кореляційного апарату було визначено вплив іноземних інвестицій на темпи економічного зростання. Шляхом застосування крос-кореляційної функції був визначений лаг запізнення впливу іноземних інвестицій на економічне зростання країни)*

7. Жерліцин Д. М., Нам'ясенко Ю. О. Фінансові аспекти впровадження відновлювальної енергетики в Україні та світі. ЕКОНОМІКА І УПРАВЛІННЯ

БІЗНЕСОМ. 2022. №13(2). *(Здобувачем проведено порівняльний аналіз стану залучення інвестиційних коштів у розвиток відновлюваної енергетики в Україні та світі. Проведено аналіз темпів розвитку відновлюваної енергетики серед юридичних та фізичних осіб в Україні. Визначено основні фактори, що мають безпосередній вплив на збільшення встановлених потужностей відновлюваної енергетики в Україні)*

#### **Статті у наукових виданнях іншої держави**

8. Skrypnyk A., Klymenko N., Talavyria M., Goray A., Namiasenko Y. Bioenergetic Potential Assessment of the Agricultural Sector of the Ukrainian Economy. International Journal of Energy Sector Management. 2019. vol. 14, Issue. 2. *(Здобувачем було доведено вкрай низьку ефективність вітчизняної гідроенергетики щодо використання території в порівнянні зі світовими стандартами)*

9. Tkachuk V., Skrypnyk A., Baidala V., Klymenko N., Namiasenko Y. Optimization and diversification of natural gas supply in Ukraine. E3S Web of Conferences, 2021, 250, 02003. *(Здобувачем розроблено оптимізаційну модель диверсифікації постачання природного газу в Україну)*

10. Zherlitsyn D., Khadzhynova O., Simanaviciene Z., Mints A., Namiasenko Y. Analysis of the EU Energy Consumption Dynamics and its Impact on the Enterprise Economic Security. WSEAS Transactions on Environment and Development. 2023. *(Здобувачем досліджено динаміку енергоспоживання різними країнами ЄС в розрізі різних секторів економіки та оцінено вплив змін у структурі енергетичного сектору на економічну безпеку країни)*

11. Skrypnyk A., Namiasenko Y., Sabishchenko O. Renewable energy as an alternative of the decentralization energy supply in Ukraine. International Journal of Innovative Technologies in Economy. 2018. Vol. 1 (13). P. 121-127. *(Здобувачем розроблено оптимізаційну модель визначення дисконтованого прибутку)*

*домогосподарством від використання систем генерації альтернативної енергетики).*

### **Тези наукових доповідей**

12. Нам'ясенко Ю. О. Підвищення акцизу на дизельне паливо як шлях підвищення енергетичної безпеки. V Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток біоенергетичного потенціалу в сільському господарстві». 2.2020, Київ, Україна. *(Здобувачем досліджено залежність внутрішньо державних цін на паливо від світової ціни на нафту та курсу валюти. Дослідження щомісячних даних спостережень за обсягами продаж дизельного палива виявили наявність значної сезонної компоненти ).*

13. Нам'ясенко Ю. О. Перспективи використання систем збереження електроенергії сільськими домогосподарствами та аграрним бізнесом. VI Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток біоенергетичного потенціалу в сільському господарстві». 2.2021, Київ, Україна. *(Здобувачем досліджено питання шляхів здешевлення приведеної вартості збереження електроенергії системами збереження енергії).*

14. Нам'ясенко Ю. О. Сучасні аспекти інвестування відновлюваної енергетики в Україні та світі. VII Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток біоенергетичного потенціалу в сільському господарстві». 2.2022, Київ, Україна. *(Здобувачем досліджено питання розвитку альтернативної енергетики в Україні, зокрема розвитку сонячної енергетики серед домогосподарств України).*

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	16
<b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ</b>	24
1.1. Особливості формування та розвитку енергетичного сектору національної економіки	24
1.2. Теоретико-методичні підходи до оцінки впливу альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств	54
1.3. Концептуальні засади трансформації енергетичного забезпечення сільських домогосподарств України в сучасних умовах повномасштабної війни та розвитку відновлюваної енергетики	78
Висновки до розділу 1	89
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ</b>	91
2.1. Порівняльний аналіз сучасного стану енергетичного сектору України та світу	91
2.2. Оцінка економічної ефективності традиційної енергетики України та перспективи її розвитку в умовах війни	124
2.3. Дослідження потенціалу відновлюваної енергетики як складової енергетичної безпеки сільських домогосподарств	159
Висновки до розділу 2	193
<b>РОЗДІЛ 3. НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СІЛЬСЬКИХ ДОМОГОСПОДАРСТВ</b>	195

3.1. Обґрунтування економічної доцільності інвестування у відновлювану енергетику сільськими домогосподарствами України	195
3.2. Перспективи використання систем збереження енергії сільськими домогосподарствами України	211
3.3. Шляхи державного стимулювання розвитку альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств України	228
Висновки до розділу 3	239
<b>ВИСНОВКИ</b>	241
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	247
<b>ДОДАТКИ</b>	266

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Забезпечення енергетичної безпеки та розвитку енергетичного сектору являється одним з основних пріоритетів діяльності уряду будь-якої держави. Із світового досвіду відомо, що кризові явища, які виникають на енергетичних ринках можуть призводити до зменшення темпів економічного розвитку всієї держави, зокрема зменшення темпів росту валового внутрішнього продукту. Дефіцит енергетичного постачання (залежно від свого розміру) може призводити до значної економічної рецесії, а в деяких випадках до гуманітарної катастрофи. Для прикладу, терористичні ракетні обстріли РФ об'єктів критичної інфраструктури України, а саме об'єктів енергетики (таких, як теплоелектростанції, міжрегіональні мережі електропередачі, трансформаторні підстанції) в холодну пору 2022 року (осінь, зима) мали на меті створити масштабний дефіцит постачання теплової та електроенергії, що в умовах від'ємної температури навколишнього середовища могло призвести до гуманітарної катастрофи національного масштабу.

Слід підкреслити, що в умовах ведення війни, коли РФ намагається вивести з ладу якомога більшу частку енергетичного комплексу України утворюється дефіцит енергетичного постачання, що вимагає від уряду визначення пріоритетних споживачів електроенергії, до яких в першу чергу належать критично важливі для держави підприємства, сектор охорони здоров'я, сектор телекомунікацій та банківський сектор. Таким чином, в даному списку, приватний сектор, а саме енергетичні потреби населення, зокрема сільських домогосподарств входить не в першу п'ятірку пріоритетних енергетичних споживачів на національному рівні [182,183].

В умовах значного енергетичного дефіциту, задоволення енергетичних потреб населення відбувається на мінімальному рівні шляхом запровадження системного графіку відключень подачі електроенергії. Не можливість населення



повноцінно задовольнити власні енергетичні потреби, що значно змінює стиль та спосіб життя, призводить до пошуків альтернативних джерел енергетичного постачання. Враховуючи, що значна частка населення України представлена безпосередньо сільськими домогосподарствами, оцінка економічної ефективності альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств являється дуже актуальним.

Підвищення актуальності питання оцінки економічної ефективності альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств до якісно нового рівня відбувається при аналізі поточного стану традиційної енергетики в Україні. Ще до початку повномасштабної війни РФ проти України, такі енергетичні сектори, як ядерна енергетика, тепла енергетика та гідро енергетика перебували в максимально амортизованому стані. Перебування цих секторів енергетики в списку основних цілей терористичних ракетних ударів РФ, зниження міжнародними рейтинговими агентствами кредитного рейтингу України до рівня, який передуює дефолту означає мінімальну ймовірність як зовнішніх так і внутрішніх інвестицій у побудову нових генеруючих об'єктів традиційної енергетики. Таким чином відновлення та розвиток традиційної енергетики в Україні буде відбуватись виключно за рахунок бюджетних коштів, що неминуче призведе до підвищення тарифів на енергетичні послуги для населення.

В порівнянні відновлюваної енергетики із традиційною енергетикою в контексті задоволення енергетичних потреб сільських домогосподарств можна говорити про дві основні переваги відновлюваної енергетики: максимальна диверсифікація енергетичного виробництва та суттєво нижча середня вартість одиниці виробленої електроенергії протягом всього періоду використання відновлюваної генеруючої установки. Крім цього на відміну від традиційної енергетики, інвестором у відновлювану енергетику можуть стати безпосередньо самі сільські домогосподарства за рахунок власних валютних заощаджень.

Враховуючи, вказані переваги відновлюваної енергетики над традиційної, а також те, що сільські домогосподарства складають значну частину населення України питання розвитку відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств являється дуже актуальним.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка та обґрунтування теоретико-методичних положень та практичних рекомендацій щодо підвищення економічної ефективності переходу сільських домогосподарств з традиційного до альтернативного енергозабезпечення та використання систем збереження енергії. Задля досягнення поставленої мети було визначено та вирішено наступні завдання:

- систематизувати особливості формування та розвитку енергетичного сектору національної економіки України;
- узагальнити теоретичні підходи до оцінки економічної ефективності альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств;
- визначити концептуальні засади трансформації системи енергозабезпечення сільських домогосподарств України;
- провести порівняльний аналіз ефективності сучасних систем енергозабезпечення в Україні та світі;
- здійснити оцінку економічної ефективності традиційної енергетики України та визначення перспектив подолання наслідків війни серед вітчизняного енергетичного сектору;
- визначити потенціал відновлювальної енергетики у системі альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств;
- обґрунтувати економічну доцільність інвестування у відновлювальні системи енергозабезпечення для сільських домогосподарств;
- визначити перспективи використання систем збереження енергії сільськими домогосподарствами;

– розробити рекомендації щодо державного стимулювання розвитку альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств.

*Об'єкт дослідження* є процес переходу до ефективного альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств.

*Предмет дослідження* є теоретико-методичні, організаційні та практичні засади підвищення економічної ефективності альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств.

**Методи дослідження.** Теоретичною та методологічною базою для дослідження являються наукові розробки зарубіжних та вітчизняних науковців щодо питань розвитку традиційної та відновлюваної енергетики. В процесі обґрунтування практичних і теоретичних питань дослідження були використані наукові методи: метод синтезу та аналізу, метод моделювання і формалізації – в процесі дослідження теоретичних засад функціонування енергетичних ринків та енергетичного сектору загалом; методів регресійного аналізу при дослідженні стану та трендів розвитку традиційної та відновлюваної енергетики; методів оптимізаційного моделювання при визначенні інвестиційної привабливості інвестування у відновлюваної енергетику для сільських домогосподарств.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в обґрунтуванні теоретико-методичних, організаційних та практичних засад підвищення економічної ефективності альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств та розробці практичних пропозицій щодо підвищення економічної ефективності альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств.

*Вперше:*

– обґрунтовано підходи до оцінки економічної ефективності інвестування в альтернативну енергетику сільськими домогосподарствами України, які, на відміну від існуючих, передбачають визначення величини дисконтованого прибутку сільського домогосподарства від використання сонячної електростанції

у поєднанні з системами збереження енергії при ринковій реалізації залишків виробленої електроенергії, що дозволить зменшити залежність національної економіки від імпорту енергоносіїв, збільшити енергетичну безпеку шляхом диверсифікації генерації електроенергії, зменшити обсяги забруднюючих викидів, а також сприятиме підвищенню якості життя сільських домогосподарств;

– на основі розробленої автором методики, що використовує оптимізаційне моделювання, запропоновано визначення впливу таких факторів, як вартість електроенергії та величина капітальних інвестицій у систему збереження енергії, а також кількість циклів використання відповідних систем, на вартість збереження електроенергії, що дозволяє мінімізувати витрати, пов'язані зі зберіганням електроенергії сільськими домогосподарствами, що в свою чергу, веде до збільшення їх добробуту.

*удосконалено:*

– визначення поняття «сільське домогосподарство» в авторському тлумаченні, яке на відміну від існуючих підходів, враховує поведінку сільського домогосподарства в процесі прийняття стратегічного рішення переходу на альтернативне енергозабезпечення з позиції максимізації рівня корисності від використання як традиційних, так і альтернативних джерел енергопостачання;

– методичний підхід щодо економічної оцінки впливу розвитку альтернативної енергетики на ринкову ціну електроенергії на основі аналізу світового та вітчизняного досвіду, що полегшує визначення основних напрямів розвитку енергетичного сектору України в післявоєнний період шляхом державного стимулювання переходу на альтернативне енергозабезпечення сільських домогосподарств;

– визначення показників економічної ефективності ринку електроенергії, які засновано на вивченні структури ринку електроенергії України, що включає в себе як фізичне виробництво, постачання і споживання енергії, так і фінансові

потоки, та в підсумку дало підстави для обґрунтування необхідності підвищення рівня конкуренції між альтернативним та традиційним енергозабезпеченням, та відповідає принципу максимізації суспільної корисності, що дає змогу забезпечити поточний рівень постачання електроенергії при зменшенні її справедливої ринкової вартості.

*набули подальшого розвитку:*

– концептуальні засади формування економічних відносин на енергетичному ринку та підвищення ефективності його функціонування, на основі аналізу поточного стану традиційного енергозабезпечення України, що на відміну від існуючих, диференціюють енергоринок з позиції споживання енергії сільськими домогосподарствами, що, в свою чергу, надає змогу комплексно визначити економічний ефект на ринках електроенергії та природного газу країни;

– теоретичний підхід до визначення показників розвитку традиційних систем енергозабезпечення України, що на відміну від існуючих, комплексно враховує вплив максимально дозволеного терміну експлуатації об'єктів ядерної енергетики з позиції безпеки їх функціонування та об'єктів теплоенергетики з огляду на дотримання норм ефективності використання палива, на обсяги загальної генерації електроенергії. У результаті визначено основні шляхи диверсифікації імпорту природного газу з країн ЄС, які мінімізують обсяги газопостачання в Україну;

– оцінка взаємозв'язків між показниками розвитку відновлюваної енергетики в світі та рівнем розвитку сонячної енергетики серед юридичних осіб та сільських домогосподарств в Україні, на основі результатів аналізу показників ефективності світових та вітчизняних виробників електричної енергії, що, на відміну від існуючих підходів, надало змогу визначити шляхи державного стимулювання розвитку відновлюваної енергетики за допомогою «зеленого»

тарифу як додаткового, а не основного фактору розвитку сонячної енергетики в Україні.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у розробці засад та підходів до підвищення економічної ефективності розвитку альтернативної енергетики серед сільських домогосподарств України з позиції використання систем альтернативного енергозабезпечення, які в комплексі ведуть до зменшення залежності національної економіки від імпорту енергоносіїв, підвищують енергетичну безпеку держави, а також ведуть до покращення якості життя сільських домогосподарств.

Зокрема, розроблено практичні пропозиції та рекомендації щодо скасування податків та мит на імпорт складових для домашніх сонячних електростанцій та систем збереження енергії, запровадження механізму державних гарантій банкам, що проводять кредитування сільських домогосподарств під придбання домашніх сонячних електростанцій та систем збереження енергії, запровадження прямих державних компенсацій домогосподарствам, які придбавають відповідне обладнання за рахунок власних валютних заощаджень. Вказані пропозиції та рекомендації можуть бути впроваджені на рівні центральних органів державного управління.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота являється завершеним самостійним науковим дослідженням. Наукові розробки, які представлені в дисертаційній роботі та виносяться на захист являються результатом власних досліджень та авторських здобутків.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні науково-теоретичні та практичні результати дисертації доповідались і обговорювались на V Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток біоенергетичного потенціалу в сільському господарстві» (м. Київ, лютий 2020 року); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток біоенергетичного потенціалу в сільському господарстві» (м. Київ, лютий 2021 року); VII

Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток біоенергетичного потенціалу в сільському господарстві» (м. Київ, лютий 2022 року);

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи у 14 наукових працях, з яких 7 статті у наукових фахових виданнях України, 4 статті в наукових виданнях іншої держави, 3 тези наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 282 сторінки. Дисертація містить 18 таблиць, 80 рисунків та 12 додатків. Список використаних джерел налічує 184 найменувань.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

#### 1.1. Особливості формування та розвитку енергетичного сектору національної економіки

Стратегічний вектор розвитку енергетичного сектору України регламентується відповідно до енергетичної стратегії України, в якій особлива увага приділяється економічному розвитку України, який буде безпосередньо визначати енергетичні цілі та шляхи їх досягнення. До основних завдань розвитку енергетичного сектору України з позиції енергетичної стратегії відноситься підвищення рівня енергоефективності всіх учасників енергетичного сектору, як виробників так і споживачів енергії. Крім цього, важлива увага приділяється питанню підвищення рівня енергетичної незалежності України, зокрема від РФ, та створення сприятливих умов для міжнародних компаній щодо їхньої інвестиційної діяльності в Україні.

Звичайно, політика держави щодо розвитку енергетичного сектору України відбувалась з врахуванням першого етапу збройної агресії РФ в 2014 році, але не була розрахована на початок повномасштабної війни РФ проти України. Не дивлячись на колосальний збиток, який РФ наносить українській енергетичній системі, зокрема виробництву та постачанню електроенергії в довгостроковій перспективі можна очікувати на досягнення поставлених цілей енергетичної стратегії України, що стає можливим за рахунок фінансової підтримки України країнами ЄС та G7.

Крім збільшення фінансової підтримки країнами-партнерами України війна РФ проти України зумовлює кардинальні зміни в поведінці внутрішніх



виробників та споживачів енергії. Так, в питанні підвищенні загального рівня енергоефективності України серед виробників енергії (як на державному так і на муніципальному рівні) відбувається вдосконалення енергетичного менеджменту. Серед кінцевих споживачів енергії формується мислення енергозбереження, чому безпосередньо сприяє аварійні та планові відключення електроенергії, а також перспектива виникнення перебоїв інших джерел енергії у зв'язку з постійними ракетними обстрілами РФ критичної енергоструктури.

В після воєнний період очікується підвищення енергоефективності енергетичного сектору за рахунок адресної монетизації субсидій споживачам, зниження рівня енергетичних витрат передачі та розподілі енергії, створення прозорого обліку всієї енергії та енергетичних ресурсів, контроль енергетичного балансу України з позиції дотримання норм ефективності та загальне зниження енергоємності валового внутрішнього продукту України.

Повномасштабна війна з РФ, як ніколи, породжує все більше нагальних задач із забезпечення енергетичної незалежності України, які концептуально виражаються у забезпеченні повної енергетичної незалежності від РФ в короткостроковій перспективі з подальшим збереженням цього статусу та забезпечення диверсифікації енергопостачання з інших країн світу. Для пришвидшеного досягнення енергетичної незалежності планується нарощування видобутку первинної енергії та збільшення власної ресурсної бази, створення диверсифікованої системи з переробки енергоресурсів та формування їх резервів. До початку повномасштабної війни прогнозувалось, що з одного джерела постачання Україна повинна отримувати не більше ніж 30% всіх первинних енергоресурсів, однак поточні бойові дії стимулюють до стратегічної переорієнтації імпорту з країн ЄС або інших країн морським шляхом.

Зменшення енергетичної залежності від інших країн, окрім підвищення рівня енергоефективності, додатково планується здійснювати за рахунок збільшення видобутку власних вуглеводів та їх ефективному використанню,

оптимізації енергетичного балансу та розвитку відновлюваної енергетики. Збільшення видобутку власних вуглеводів планується за рахунок проведення масштабної розвідки та розробки нових місць залягання енергоресурсів, зокрема значна увага приділяється перспективі нарощування видобутку вуглеводневих ресурсів на базі континентального шельфу, що пролягає в межах моської економічної зони України. Безпосередню розробку планується проводити за рахунок, як вітчизняних так і іноземних компаній.

Окрему увагу хочеться приділити питанню терористичних обстрілів вітчизняної критичної інфраструктури з боку РФ. У енергетичній стратегії України, ще до початку повномасштабної війни зазначались задачі з вдосконалення систем захисту критичної інфраструктури керуючись практиками країн ЄС та НАТО з паралельним створенням кризового управління у енергетичному комплексі. В теперішніх умовах можна константувати, що реальні пошкодження, які наносяться на енергетичній інфраструктурі перевершили всі очікування і в поточних умовах забезпечення функціонування енергетичної інфраструктури здійснюється в надскладних умовах, зокрема найбільших руйнувань зазнала галузь виробництва, постачання та розподілу електроенергії, що виявлялось у неодноразових «блекаутах» по всіх території України. Поряд з тим ведення повномасштабної війни РФ проти України стимулювало прискорення інтеграції ОЕС України в енергосистему синхронної зони континентальної Європи, а також інтеграцію газового ринку та відповідних транспортної системи, а також нафто-транспортну систему в енергетичний простір ЄС.

З початком повномасштабної війни задачі з розвитку ринків енергоресурсів в Україні стали займати не пріоритетне місце, оскільки головною задачею уряду країни стало забезпечення доступу населення до різноманітних енергоресурсів для багатьох з яких було зафіксовано максимально можливий рівень цін: ціни на природний газ для населення та ціни на електроенергію.

До основних аспектів розвитку ринків енергоресурсів в після воєнний період можна віднести завершення формування економічних, регуляторних і правових умов для існування конкурентних ринків електроенергії, природного газу, теплової енергії, а також нафти і нафтопродуктів; перехід до стимулюючого регулювання тарифів; з урахуванням негативного досвіду залежності від концентрації виробництва вторинної енергії всіляко сприяти розвитку місцевих енергетичних підприємств малого та середнього рівня, що дозволить диверсифікувати виробництво та постачання енергії враховуючи регіональні особливості; запровадження механізмів прозорого використання власних енергоресурсів відповідно до міжнародної ініціативи. Крім цього, вимоги до вступу в ЄС також позитивно вплинуть на розвитку енергетичних ринків в Україні за рахунок забезпечення незалежного функціонування антимонопольного комітету від різного роду впливу за рахунок розбудови їх фінансової незалежності, а також удосконалення правового забезпечення та інституцій.

Одним з джерел відновлення частини енергетичного сектору, що була фізично зруйнована в після воєнний період буде безумовно залучення міжнародних інвестицій та підвищення загального рівня інвестиційної привабливості за рахунок підтримки конкурентного середовища; проведення прогнозованої і стабільної політики в сфері залучення інвестицій, здійснення різного роду комунікації для заохочення входу до ринку міжнародних фінансових інвестицій.

Питанню розвитку відновлюваної енергетики та модернізації енергетичного сектору України на базі неї придалась увагу в енергетичній стратегії України велика увага ще до початку повномасштабної війни з РФ [54]. Після початку нанесення терористичних атак на об'єкти критичної інфраструктури України з боку РФ, зокрема на об'єкти генерації, транспортування та розподілу електроенергії питання розвитку відновлюваної

енергетики стало ще більш актуальним, оскільки саме відновлювана енергія потребує значних площ для генерації необхідного обсягу енергії для споживання енергетичних потреб населення, що наділяє її надзвичайно цінною особливістю – можливістю максимальної диверсифікації джерел генерації енергії. Прогнозується, що в подальшому до існуючого тренду основні засоби генерації відновлюваної енергії продовжать свої здешевлення відповідно до чого, їх економічних потенціал буде збільшуватись. Розширення генерації відновлюваної енергії безпосередньо на рівні споживача не піддається під існуючі обмеження енергетичної системи та формує значні перспективи стрімкого розвитку відновлюваної енергетики на місцевому рівні. Таким чином можна стверджувати, що політика держави повинна бути орієнтована до стимулювання ініціативи приватного бізнесу на енергетичному ринку. До основних стратегічних дій з боку держави, що зможе створити повноцінні умови функціонування та розвитку відновлюваної енергетики, відповідно до енергетичної стратегії України, відноситься: проведення прогнозованої і стабільної політики стимулювання будівництва вітроелектростанцій та сонячних електростанцій, які вважаються найбільш перспективними з позиції всіх існуючих типів відновлюваної енергетики; залучення міжнародних фінансових інвестицій до розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Звичайно, в Україні досить потужно розвинений сільськогосподарський комплекс, який займає 4 місце в структурі ВВП України. Таким чином, можна говорити, що побічний продуктом діяльності сільськогосподарського комплексу у вигляді біомаси також може розглядатись, як один із перспективних видів відновлюваної енергетики. Відповідно до енергетичної стратегії України на державному рівні існують задачі із збільшення використання біомаси в генерації теплоенергії та електроенергії, зокрема за рахунок: сприяння до створення ринків біомаси; стимулювання до розвитку технологій опалення на базі використання біомаси, як палива в індивідуальному теплопостачанні [37].

Розвиток відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств існує в межах існуючого енергетично ринку. За визначенням, енергетичний ринок, в своєму базовому варіанті – це процес ринкової взаємної між виробниками та споживачами енергії. В загальному до енергетичного ринку відноситься, будь-який, тип первинної та вторинної енергії, залежно від яких енергетичний ринок може бути представлений окремими суб'єктами, які відповідають за транспортування або передавання енергії та суб'єктами, що виступають посередником який відповідає за укладання та дотримання договору щодо енергетичного постачання виробником енергії кінцевому споживачу. Енергетичні ринки являються невідомою складовою економіки в цілому, а процеси, що відбуваються на енергетичних ринках мають значний вплив на інфляційні процеси та темпи зростання економіки [95].

Окрім різних видів енергетичного ринку залежно від типу енергетичного ресурсу, енергетичні ринки поділяються на національні та транснаціональні. На національному рівні регулювання енергетичного ринку відбувається урядом країни, що створює та реалізує свою енергетичну політику з позиції розвитку енергетичної галузі на конкурентно спроможній основі. Регулювання транснаціональних енергетичних ринків відбувається на базі міжнародних норм та законів. При цьому слід зазначити, що уряди деяких країн проводять активну політику лібералізації національних енергетичних ринків зменшуючи кількість внутрішніх регуляторів та законів при цьому регулюються міжнародними законами з метою уникнення олігополій та покращення прав споживачів. До основних міжнародних регуляторів енергетичних ринків відносяться Австралійська комісія з енергетичного ринку та енергетичне співтовариство в Європі. До головних задач регулюючих органів відноситься, перш за все, забезпечення прав споживачів шляхом перешкоджання надмірній волатильності цін на енергетичні ресурси та уникнення формування монополій серед виробників вторинної енергії і постачальників первинної енергії.

Залежно від ступеню лібералізації енергетичні ринки можна поділити на регульовані та нерегульовані. Історично більшість країн світу мали регульовані енергетичні ринки, які обмежували вибір споживачів. Лише наприкінці 70-х років минулого століття серед країн Європи та Північної Америки почали розвиватись та впроваджуватись ідеї дерегуляції енергетичного сектору економіки, що мало на меті підвищити якість споживання енергії та збільшити енергоефективність.

Найкраще зрозуміти принцип функціонування регульованого енергетичного ринку можна на прикладі ринку електроенергії. На регульованому ринку електроенергії засобами виробництва, передачі електроенергії, а також обліком її споживання на рівні кінцевого споживача повністю володіє держава через мережу комунальних підприємств. Тарифи на електроенергію існують на єдиному рівні, встановленому державною комісією з комунальних послуг. На регульованому ринку електроенергії державі відводиться роль природного монополіста, який обмежує кінцевого споживача (населення) у своєму виборі постачальника енергії. Не зважаючи на відсутність конкурентного середовища, що дуже часто негативно відображається на рівні наданих послуг на регульованих ринках електроенергії досить довго може зберігатись стабільний рівень цін, що дозволяє кінцевим споживачам краще планувати свою майбутню операційну діяльність.

На сьогоднішній час більшість високо розвинутих ринків мають нерегульовану структуру енергетичного ринку, на якому проводять свою діяльність безліч конкуруючих компаній виробників первинної та вторинної енергії. Для нерегульованого ринку електроенергії також характерно наявність конкурентних компаній, які займаються безпосереднім постачанням електроенергії від виробників до споживачів. Крім компаній виробників на нерегульованому ринку енергії існують менші компанії, так звані, компанії постачальники енергії, які не володіють виробничими потужностями, а купляють

енергію значну кількість енергії за оптовими цінами і займають її перепродажам уже кінцевим споживачам. На рівні кінцевого споживача витрати за послуги компанії постачальника енергії виокремлюються, зазвичай, окремо. Загалом нерегульований ринок електроенергії має певний рівень волатильності, який може збільшуватись у випадку різних негативних чи позитивних економічних явищ. Також за рахунок присутності на нерегульованому ринку електроенергії конкуренції відбувається підвищення рівня якості наданих послуг та визначення ціни на електроенергію виключно ринковим шляхом. Також саме нерегульований ринок електроенергії являється основним місцем розвитку відновлюваної енергетики [135,137,139,177].

Питання розвитку та трансформації енергетичного ринку являється дуже актуальним як з позиції забезпечення сталого розвитку економіки так і з позицій попередження економічних рецесій у випадку настання транснаціональних енергетичних криз. Багато науковців різних країн світу в своїх дослідженнях підтверджували наявність прямого зв'язку між станом розвитку енергетичного сектору, енергетичних ринків та розвитком економіки. Звичайно взаємозв'язок між енергетичним ринком та економікою носить двосторонній характер, при якому різні явища в економіці можуть впливати на стан енергетичного ринку. Так, наприклад, для країн, які переживають економічну рецесію характерне зменшення споживання первинної та вторинної енергії, що відображається на рівні їх цін та безспоредньо на обсягах їх споживання. Серед країн, що розвиваються – збільшення обсягу валового внутрішнього продукту відбувається при пропорційному нарощуванні енергетичного споживання

В країнах з розвинутою економікою відбуваються не кількісні зміни енергетичного ринку (збільшення кількості постачальників енергоресурсів, або ж збільшення споживання енергоресурсів економікою загалом), а якісні – впровадження технологій енергоефективності, що дозволяють виробникам енергоресурсів зменшити собівартість виробництва, а споживачам зменшити

обсяг споживання енергоресурсів при задоволенні своїх енергетичних потреб. Крім цього на енергетичному ринку з'являються ряд компаній та науково дослідних центрів, що безпосередньо займаються питаннями розробки і впровадження енергозберігаючих технологій.

Звичайно, вплив збільшення рівня енергоефективності економіки та ефективність діяльність політик та програм уряду країни на підвищення рівня енергоефективності економіки потребує кращого систематичного вимірювання та аналізу. До основних показників, які відображають позитивний вплив збільшення енергоефективності економіки можна віднести обсяги валового внутрішнього продукту при певному рівні енергетичного споживання, торгової баланс та рівень цін на первинну енергію. В 2018 році Європейська комісія змодельованні чотири можливі сценарії темпів розвитку валового внутрішнього продукту ЄС залежно від успішності імплементації цільових показників підвищення рівня енергоефективності в ЄС. Всі чотири сценарії показали позитивний вплив підвищення рівня енергоефективності на обсяги валового внутрішнього продукту, за найбільш песимістичним сценарієм позитивний ефект складає 0,1% зростання ВВП, тоді як в найбільш оптимістичному ВВП збільшиться на 2% [129,130,132,154].

Крім прямого впливу енергоспоживання та рівня енергоефективності на економіку існують різні варіанти опосередкованого впливу. Так, наприклад, дослідження довели, що на продуктивність співробітників значною мірою впливає їх фізичне робоче середовище, що характеризується температурою, рівнем освітлення та якістю повітря. Підвищення енергоефективності може забезпечити покращення вказаних параметрів робочого середовища при збереженні попереднього рівня енергоспоживання [164].

Відповідно до результатів своїх досліджень науковці П'єотр Разняк та Славомір Дороцький визначають, що великі транснаціональні корпорації, зокрема енергетичні корпорації починають відігравати все більшу роль у світовій



економіці. Глобальний енергетичний сектор на даний час покладається на невідновлювані джерела енергії, але при цьому проодить значну інвестиційну діяльність в сфері розробки та впровадження засобів відновлюваної енергії. Метою цього інвестування є досягнення, принаймні, часткового досягнення цілей сталого розвитку, як це відбувається країна ЄС, США та Канаді.

Наміри щодо забезпечення диверсифікації енергопостачання відображено в національній енергетичній політиці багатьох країн, особливо країн Європейського Союзу. Багато країн вводять обмеження на виробництво енергії з невідновлюваних джерел і сприяють використанню відновлюваної енергії. До прикладу, в Глазго в 2021 році розглядалась політика щодо стимулювання великих компаній шукати альтернативні напрямки розвитку власного бізнесу в контексті зменшення використання традиційної енергетики енергетики та переходу на відновлювані джерела енергії [170].

Дослідник Асгар Захід у своїх наукових роботах доводить, що рівень економічного розвитку (ВВП) країн, що розвиваються має прямий кореляційний зв'язок з різними типами енергоспоживання та енергоспоживання загалом. Так, наприклад, для Пакистану було виявлено, що загальне енергоспоживання та обсяги валового внутрішнього продукту являються коінтегрованими показниками. На практиці це означає, що постійне зростання ВВП одночасно породжує збільшення загального споживання енергії, а енергозбереження може позитивний вплив на економічне зростання. Але немає жодних доказів причинно-наслідкового зв'язку між ВВП та споживанням нафти чи природного газу. Крім того, існує односпрямований причинно-наслідковий зв'язок між валовим внутрішнім продуктом та споживанням вугілля, що означає падіння ВВП при зменшенні споживання вугілля. Споживання вторинної енергії, а саме електроенергії навпаки залежить від рівня розвитку економіки країни, при моделюванні виявляється, що існує ймовірність виникнення дефіциту

електропостачання при стрімких темпах розвитку економіки та відсутності внутрішніх і зовнішніх інвестицій у будівництво нових електростанцій.

Щодо іншої країни, яка розвивається Шрі-Ланки характерне існування односпрямованого причинно-наслідковий зв'язку між споживанням електроенергії та рівнем валового внутрішнього продукту, де ВВП визначається обсяги споживання електроенергії. На думку дослідників це вказує на незначний рівень енергетичної незеланості економіки, в результаті чого впровадження політики енергозбереження матиме незначний негативний вплив на підвищення рівня розвитку економіки [119,120]. Результати статистичного та регресійного аналізу вказують на односпрямований причинний зв'язку від ВВП до споживання електроенергії та від ВВП до загального споживання енергії. Це означає, що збільшення економічного зростання буде супроводжуватись значним нарощуванням споживання електроенергії та відповідно первинної енергії, що використовується для її генерації. Оскільки економічне зростання спричиняє розширення промислової та комерційної діяльності, а електроенергія використовується як основний ресурс, політика енергозбереження не шкодить економічному зростанню [99].

У своїх наукових працях Фелікс Дайо, Браян Фішер та Роджер Фуке обґрунтовують, що енергетика не є самоціллю, а являється необхідною умовою для економічного розвитку. Енергія має вирішальне значення для необхідного переходу людства до більш справедливого та сталого світу, де всі мають доступ до енергетичних послуг, необхідних для комфортного, безпечного та здорового існування. Попит на енергетичні послуги залежить від населення конкретної країни та рівня їх доходу, а також від технологій, які населення використовує. При цьому дослідники відзначають, що зростання середнього рівня доходу населення окрім збільшення до попиту на енергоємні послуги також може призвести до збільшення попиту на більш чисті носії енергії.

Величезне зростання населення планети супроводжувалося періодом інтенсивного технологічного розвитку, який збільшив можливості більш ефективного використання енергії. Сучасні реалії полягають в тому, що незважаючи на розвиток нових технологій – їх адаптація в економіці проводиться досить повільно за рахунок чого енергетичні потреби значної кількості населення платени досить не задоволені.

З поміж різних типів первинної та вторинної енергії саме електроенергія та рівень доступ до неї являється основним фундаментом на базі якого здійснюються сучасні технічні інновації та зростання продуктивності в економіці. Усунення проблем з глобальною електрифікацією для 1,4 мільярдів людей по всьому світу – сьогодні є важливою вимогою для усунення глобальної бідності та енергетичних загроз.

Інвестиції в науково-дослідні розробки є одним з ключових факторів вдосконалення технологій та зниження енергоємності валового внутрішнього продукту, тобто всієї економіки. Мінімально можливі інвестиції в відновлювану енергетику в промислових масштабах при якому інвестор може очікувати на отримання прибутку являються набагато більшими у порівнянні з традиційною енергетикою, що вимагає від інвестора наявність довгострокового бачення, яке повинно максимально можливо підкріплюватись підтримкою уряду країни, яка гарантує окупність даних інвестицій на рівні визначення стратегічних енергетичних політик.

Незважаючи на те, що інвестиції в системи відновлюваної енергетики за останні роки були досить значними, а обсяг їх продовжує зростати, для подальшого переходу на відновлювану енергетику їх кількість повинна бути набагато більше, у тому числі щоб уникнути ефекту блокування, який пов'язаний із процесом поступової амортизації уже встановленої енергетичної інфраструктурою.

Відповідно до прогнозів науковців для забезпечення часткового переходу на відновлювану енергетику серед розвинених країн світу знадобиться безперервний потік інвестицій на часовому горизонті в декілька десятиліть, який при цьому повинен бути максимально скоординований відповідними урядовими політиками, головна задача яких буде полягати у зменшенні різного роду існуючих обмежень щодо встановлення та використання засобів генерації відновленої енергії. При цьому крім розроблення відповідних програм та політик – необхідне пряме державне стимулювання розвитку відновлюваної енергії у вигляді програм субсидій.

Вважається, що для більшості країн світу – зміна структури енергетичного виробництва, а саме перехід на відновлювані джерела енергії не можуть відуватись ізольовано та потребують при цьому стабільної та надійної структурної державної політики та відповідної зміни інституційної інфраструктури. Відповідно до проведеного аналізу вважається, що стрімкому розвитку відновлюваної енергетики передують серйозні політичні та інституційні реформи [93].

Як не дивно, стимулом до розвитку відновлюваної енергетики та підвищення енергоефективності економіки можуть ставати різного роду глобальні енергетичні кризи або кризові явища на регіональних енергетичних ринках. У такому випадку відбувається стрімке скорочення постачання енергії на ринок виробниками, яке в короткостроковій перспективі відображається на скорочення обсягу споживання енергії споживачами та намаганням диверсифікації енергопостачання, а у довгостроковій перспективі безпосередньо впливає на розвиток нових технологій та пришвидшеного їх впровадження.

На рисинку 1.1 відображено процес зміни короткострокового та довгострокового попиту у відповідь на одномоменте збільшення ціни. До початку кризи ринок знаходиться в стані рівноваги, відображеному точкою А, при якому обсяг енергії, що реалізується на ринку знаходиться становить  $Q_A$ , а

ринкова ціна визначена на рівні  $P_A$ . В результаті настання геополітичного конфлікту, або будь-якого міжнародного явища, що спричиняє фізичне зменшення поставок енергетичних ресурсів на ринок відбувається збільшення ціни з  $P_A$  до  $P_B$ . Стрімке зростання ціни на енергетичні ресурси на короткостроковому часовому горизонті змушує споживача до фізичного скорочення споживання енергетичного ресурсу. В результаті чого формується нова ринкова рівновага в точці  $B$ , яка належить тій самій кривій попиту  $D_S$ , але новій кривій пропозиції  $S_S'$ .

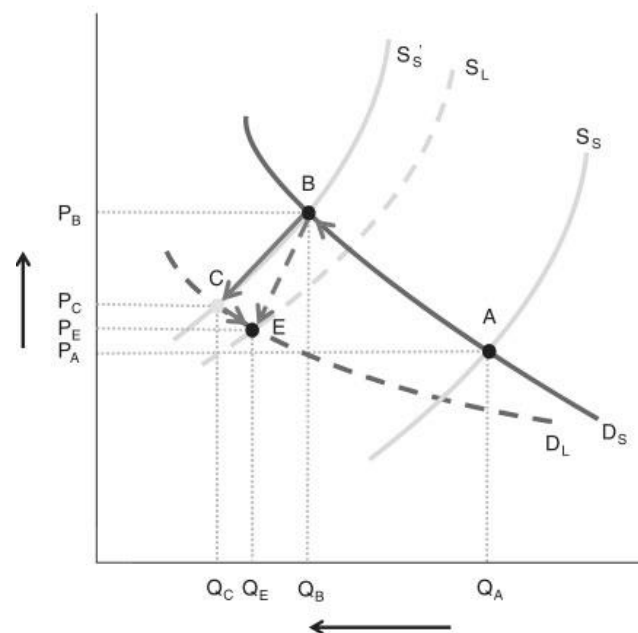


Рис. 1.1. Процес адаптації енергетичного ринку до скорочення постачання енергії в результаті енергетичної кризи\*

Примітка. \*Складено автором на основі [140,175]

Саме у зміщенні кривої пропозиції з  $S_S'$  до  $S_S$  відображається фактор фізичного скорочення постачання енергії на ринок. Зміщення обсягу споживання відбувається в межах тої самої кривої попиту  $D_S$  за рахунок фізичних обмежень існуючої енергетичної інфраструктури і не доцільності переходу на споживання інших енергетичних джерел-замінників не дочекавшись закінчення амортизаційного терміну засобів, що генерують вторинну енергію.

Не дивлячись на те, що обсяг споживання енергії зменшився до обсягу  $Q_B$  – загальні витрати споживача на споживання енергії становлять більше, аніж до початку кризи, коли обсяг споживання складав  $Q_A$ .

В довгостроковій перспективі споживач починає адаптуватись до фізичної нестачі енергетичного ресурсу та високої ціни існуючих на ринках обсягах енергії за рахунок підвищення енергофактивності основних засобів генерації вторинної енергії, збільшення обсягів виробництва продукції при використанні того самого обсягу енергії та збільшення використання нових інноваційних технологій. Відповідна адаптація споживача до нових реалій в довгостроковій перспективі призводить до зменшення обсягу попиту на енергію до рівня  $Q_C$ , що відповідає новій кривій пропозиції  $D_L$ , яка відображає підвищення ефективності технологій та інфраструктури у відповідь на збільшення ціни енергії.

Зміщення кривої пропозиції та відповідне зменшення попиту на енергію спричиняє зменшення ціни з  $P_B$  до  $P_C$  вздовж кривої пропозиції  $S_S'$ , що сформувався після фізичного скорочення постачання енергетичних ресурсів на ринок.

Тим часом, високі ціни енергетичних ресурсів стимулюють постачальників знаходити шляхи нарощування постачання енергії з метою максимізації власних прибутків, що може включати пошук нових місць залягань енергетичних ресурсів і тому подібне [174]. В результаті формується нова крива позиції  $S_L$ , яка позитивно впливає на зменшення тиску на ринкову ціну та її подальше зменшення.

Комбінація адаптації попиту та пропозиції до фізичного скорочення постачання енергії на ринок в результаті енергетичної кризи приводить ринок до нової точки рівноваги  $E$ . Загальний обсяг енергії, який тепер реалізується на ринку становить  $Q_E$  (суттєво менше докризового рівня споживання енергії  $Q_A$ ), а ринкова ціна складає  $P_E$ , що незначно вища до кривого рівня ринкової ціни  $P_A$ .

Анрі Сафа доводить, що не дивлячись на незначну частку енергетичного сектору в структурі валового внутрішнього продукту розвинених країн світу (від 2% до 7%) – використання первинної та вторинної енергії має ключову роль в діяльності всіх інших секторів економіки. На прикладі Франції показується, що від використання вторинної енергії на пряму залежить 60% всього валового внутрішнього продукту. Таким чином в умовах нерегульованого енергетичного ринку стимулювання з боку держави розвитку відновлюваної енергетики шляхом підвищення екологічних податків на споживання традиційної енергетики в короткостроковій перспективі може викликати сповільнення темпів економічного розвитку [168].

Питаннями впливу енергетичного ринку на економічний розвиток країн займалися і вітчизняні науковці [74,77,143,145]. Так, О. С. Максименко у своїй науковій роботі доводить, що залежно від ступеню економічного розвитку країни безпосередньо залежить ступінь розвитку її енергетичного сектору. Таким чином стінь економічного розвитку визначає як різний рівень розвитку енергетичного сектору в різних регіонах світу так і рівень споживання первинної та вторинної енергії ними. В продовж стрімкого економічного розвитку відбувається екстенсивний розвиток енергетичного сектору країни, а коли країна стає економічно розвинутою і темки росту її ВВП сповільнюються відбувається перехід країни до інтенсивного розвитку енергетичного сектору. Концепція розвитку енергетичного сектору країни повинна полягати в формуванні та імплементації відповідних задач, які виникають на поточному рівні економічного розвитку країни. Таким чином при дослідженні та моделюванні розвитку енергетичного сектору та ринку необхідно враховувати особливості поточного стану розвитку економіки країни [19].

Богуміла МУХА-ЛЕШКО та Магдалена Кєсколь вважають, що енергетична безпека є пріоритетною метою сталого розвитку на національному, регіональному та глобальному рівнях. Забезпечення повноцінної енергетичної

безпеки випагає впровадження нових енергетичних реформ і політик. На думку авторів в економіці країни енергетичні ресурси та їх використання повинні розглядатися, як виробничий фактор, стратегічний продукт, продукт забезпечення енергетичних потреб суб'єтів економіки (в тому числі домогосподарств), а також як фактор, що може викликати забруднення навколишнього середовища та глобальну зміну клімату (як безпосередньо – використання традиційних енергетичних ресурсів, так і опосередковано – викиди пов'язані з виробництво сонячних панелей, вітряків або систем збереження енергії) [160].

В контексті сучасної повномасштабної війни рф проти України необхідно зазначити, що важливий вплив енергетики на економіку завжди використовувався рф, як потенційна «зброя» в цілях її нових територіальних окупацій. Не дивлячись на те, що виробництво та експорт енергії відігравав величезну роль в самій російській економіці протягом багатьох років рф нарощувала постачання своїх традиційних джерел енергії в країни Європи (нафта, природний газ) тим самим займаючи все більшу частку в енергетичному споживанні цих країн. З початком повномасштабної війни рф проти України – рф намагалася використовувати енергетичний шантаж, який один з основних інструментів зупинки втручання країн ЄС та Північної Америки в цю війну.

Початок російсько-української війни спричинили зростання цін на основні енергетичні ресурси та зростання глобального рівня інфляції. Однак, енергетичний шантаж зумовив колосальне падіння рівня довіри країн Європи до рф, як до надійного постачальника в результаті чого значна частинка країн почала процес диверсифікації енергетичного імпорту з метою зменшення частки російських енергоносіїв. Навіть при скороченні імпорту енергетичних ресурсів з рф протягом 2022 року російська економіка продовжувала отримувати значні прибутки від продажу своїх енергоносіїв, але це пояснюється глобальним збільшенням їх цін і в довгостроковій перспективі, коли відбудеться адаптація



глобального ринку до даної енергетичної кризи рівень цін зменшиться, що безпосередньо відобразиться на скорочення валютних надходжень в РФ від продажу енергетичних ресурсів.

РФ до початку повномасштабної війни проти України являлась другим за значимістю експортером на світовому енергетичному ринку, а країни центральної та східної Європи були особливо залежні від імпорту енергії РФ. На РФ припадало восьма частина світового експорту нафти. В структурі експорту нафти РФ – Європа займала найбільшу частку. Не дивлячись на можливість переорієнтації імпорту на імпорт нафти танкерами з інших країн серед багатьох країн ЄС була значна залежність саме від трубопроводного імпорту нафти. Наприклад, нафтопереробні заводи, які не мають виходу до моря в Центральній Європі, розташовані вздовж трубопроводу, спеціально розробленого для російської нафти, та не мають значних можливостей до диверсифікації імпорту нафти. З початком повномасштабної війни РФ проєкти України більшість даних трубопроводних маршрутів нафти стали закриті, оскільки не можуть підтримуватися фінансово через санкції на банківський сектор РФ.

У сфері постачання природного газу європейська залежність від РФ на початок війни РФ проти України була ще більш критичнішою. Росія займала друге місце після США за видобутком природного газу та являлась найбільшим у світі експортером газу. Російський природний газ становив близько 40 відсотків імпорту у Європу та мав широкий спектр застосування: від використовується для опалення будинків до виробництва електроенергії та промисловості. Намагаючись чинити тиск на Захід, Росія в односторонньому порядку скоротила цей експорт (підбив північного газового потоку один та два), що, наприклад, змусило німецьку промисловість в короткострокові терміни шукати альтернативи постачання природного газу та приготування до режиму надзвичайної ситуації [155,169].

Загалом енергетичний ринок можна диференціювати за багатьма параметрами та ознаками, але з позиції енергоспоживання та державного регулювання, відповідно до світової практики, проводиться умовний поділ енергетичного ринку на три основні типи:

- Ринок електроенергії (який використовує в якості первинної енергії різноманітні види енергетичного палива);
- Ринок природного газу (слід зазначити, що природний газ являється основним джерелом теплової енергії для більшості домогосподарств та основним видом палива для багатьох секторів економіки, зокрема металургія та хімічна промисловість);
- Ринок нафти (сама нафта являється основним видом палива для транспортного, аграрного та хімічного секторів економіки). [97]

Електроенергія являється вторинним джерелом енергії, тобто для її виробництва використовувалась інші джерела енергії та енергетичні ресурси. На відміну від первинних джерел енергії – коефіцієнт корисної дії при споживанні електроенергії являється набагато більшим, оскільки при її використанні не відбувається енергетичних втрат у вигляді теплового розсієння, яке відбувається при споживанні, наприклад, нафти, вугілля чи природного газу. З моменту першого виробництва та використання електроенергії – сфера її використання постійно еволюціонувала, оскільки саме електроенергія являлась основним типом енергії, яку безпосередньо споживають найбільш сучасні та інноваційні технології.

Протягом 20-го сторіччя електроенергія найбільше використовувалась саме промисловим сектором економіки (робота різноманітних станків, хімічна промисловість), будівельним сектором економіки, комунальними підприємствами (наприклад, забезпечення роботи насосів, що відповідають за подачу води та її відведення) та транспортним сектором економіки регіонального та міжрегіонального значення (наприклад, рух електропоїздів, робота залізної

дороги загалом). При цьому на рівні домогосподарств електроенергія використовувалась, в основному, в цілях використання основних побутових електроприладів, варіативність яких відповідала тогочасному рівню науково технічного прогресу та економічному розвитку відповідних країн.

За останні 30 років (початок 90-х років минулого сторіччя) сфера застосувань електроенергії домогосподарствами (особливо сільськими домогосподарствами) суттєво збільшилась. Основні високотехнологічні пристрої використовують саме електроенергію, як єдину форму свого живлення (до таких приладів можна віднести мобільні телефони, ноутбуки, персональні комп'ютери, планшети, роутери, різноманітні мобільні девайси). З розпадом радянського союзу побут українських домогосподарств, крім інноваційних технологій, наситився пристороями, які були абсолютним дефіцитом при комуністичній владі: пральні машини, мікрохвильові печі, електро плити, пилососи, міксери, каво машини і т.п.

Якщо розглядати типи використання електроенергії на рівні сільського домогосподарства, то з впевненістю можна говорити про його значно більшу варіативність, яка пояснюється наявністю та необхідністю догляду за присадибними ділянками. Так, до прикладу, до основних електроприладів, які використовуються сільськими домогосподарствами можна віднести: електро тримери, електро пили, дрелі та шуруповерти, насосні станції, компресори, електро культиватори. Крім цього саме сільські домогосподарства являються першопроходцями в сфері використання електро опалення та електро нагріву води.

Таким чином за декілька останніх десятиліть електроенергія стала для домогосподарств одним з головних форм енергетичного ресурсу, конкуренцію якій становить лише природний газ та біопаливо, як форма первинної енергії для генерації теплової енергії в холодну пору доби.

На фізичному рівні ринок електроенергії представлений трьома основними компонентами: основними засобами з безпосереднього виробництва електроенергії, систем передачі електроенергії та систем розподілу електроенергії.

В економічному сенсі системи розподілу електроенергії, майже завжди, являються природними монополіями. Зазвичай, енергетичні природні монополії є мережевими системами з дуже високими початковими капітальними витратами та дуже низькими граничними витратами на обслуговування кожного додаткового клієнта. У випадку систем розподілу електроенергії природна монополія являється оптимальним рішенням для кінцевого споживача, оскільки при такого роду монополії постачальник електроенергії обслуговує клієнта за мінімально можливою ціною навіть без наявності відповідних конкурентів. До прикладу компанії, які займаються розподілом електроенергії в США повністю регулюються на державному рівні комісіями з комунальних підприємств. Даними компаніями дозволяється встановлювати такі тарифи, які дають їм змогу отримувати гарантовану норму прибутку від 8% до 12%.

Як і розподіл електроенергії, компанії з передачі електроенергії являються, певною мірою, природними монополіями, оскільки дублювання їх послуг вимагає великих капітальних затрат, які буде важко відшкодувати на конкурентному ринку. Оскільки передача електроенергії здійснюється в межах всієї держави та за її кордони – її регулювання відбувається на державному рівні.

На відміну від компаній з передачі або розподілу електроенергії, компанії, що безпосередньо займаються генерацією електроенергії генерация не є являються природними монополіями, а можуть існувати за різного рівня конкуренції, починаючи від олігополій закінчуючи абсолютною конкуренцією. Криві граничних витрат та криві пропозиції для послуг передачі та розподілу електроенергії, як правило, мають низхідний нахил тоді як крива пропозиції для

виробництва електроенергії низхідного нахилу не має і навпаки має висхідний характер [166].

Головною особливістю електроенергії, як товару, яка визначає специфіку функціонування всього ринку електроенергії являється те, що до сьогоднішнього дня не існує реальних засобів зберегіння електроенергії, що можуть використовуватись в промислових масштабах. Звичайно, за останні десятиліття системи збереження енергії сильно еволюціонували, збільшивши свою продуктивність та зменшивши вартість зберігання одиниці енергії проте обсяги електроенергії, які вони можуть залишатись в межах всієї економіки або окремих її секторів залишаються досить лімітованими.

Не можливість зберігати значні обсяги електроенергії зумовлює функціонування даного ринку в умовах, коли обсяги споживання електроенергії повинні дорівнювати обсягам її виробництва у відповідний момент. Такий режим роботи ринку пов'язаний із фізичними особливостями роботи електричної мережі, яка працює на певній частоті. Коли попит на електроенергію перевищує її пропозиції то в електричній мережі виникає її брак, задля забезпечення подальшої роботи мережі відбувається зниження частоти функціонування мережі. Однак, коли частота мережі зменшується нижче критичного рівня відбувається серія каскадних збоїв при якій значна кількість виробників електроенергії відключаються від мережі. У випадку коли, пропозиція перевищує попит на електроенергію відбувається зворотній процес – збільшення частоти мережі, який при перетині критичної межі також призводить до серії каскадних відключень виробників електроенергії від мережі.

Саме на розподільчі компанії покладається задача з попереднього планування обсягів споживання електроенергії її клієнтами з визначенням меж можливих дисбалансів між обсягами виробництва та споживання, які не будуть негативно відобразатись на загальній роботі електричної мережі. Не зважаючи на те, що компанія з розподілу електроенергії виступає виключно в ролі

посередника та збільшує вартість електроенергії для кінцевого споживача вважається, що її діяльність приносить переваги як іншим учасникам ринку. Виробнику електроенергії краще мати справу з невеликою кількістю споживачів (розподільчих компаній), не займаючись при цьому планування обсягів їх споживання. З боку домогосподарств та малих підприємств перевага функціонування розподільчих компаній полягає в тому, що ця група клієнтів немає стимулів платити змінну ціну, оскільки їх попит не еластичний, а споживання може бути повністю стохастичним впродовж всієї доби.

Планувати споживання кожного окремого споживача являється досить складним завданням тому розподільні компанії застосовують оптимізаційні моделі, які агрегують в собі у якості вхідних даних споживання всіх споживачів, в результаті розраховуються досить точне значення загального споживання дисбаланси споживання в структурі якого при цьому повністю компенсуються.

Таким чином не регульований ринок електроенергії можна поділити на два основні типи: оптовий ринок, на якому відбуваються продажі великих обсягів електроенергії за плаваючими цінами та роздрібний ринок, де споживачі купують енергію за фіксованою ціною.

Якщо розглядати оптовий ринок електроенергії не з точки зору фізичного виробництва, передачі, розподілу та споживання енергії, а з позиції фінансових потоків то список основних його суб'єктів дещо збільшується та складається з:

- Виробників електроенергії (електростанції, які працюють на ядерному палива, природному газу, вугіллі, енергії води, сонця та вітру);
- Великі споживачі: компанії, які мають великі обсяги споживання електроенергії та можуть мати гнучний графік її споживання. Таким чином дані компанії можуть брати участь у аукціонах з продажу електроенергії за плаваючою ціною;

- Розподільчі компанії: ринкові агенти, які мають портфель невеликих клієнтів і торгують електроенергією, агрегуючи споживання всіх своїх клієнтів. Ці компанії несуть відповідальність за сплату сукупного дисбалансу свого портфеля;
- Просумери: агенти ринку, які споживають та виробляють енергію. Як правило, це великі компанії, які мають власні виробничі потужності з генерації електроенергії. Ці компанії можуть продавати або купувати енергію відповідно до своїх потреб (роль споживача також визначена на роздрібному ринку для кінцевих споживачів з малими генеруючими установками).
- Оператор ринку: суб'єкт, який забезпечує майданчик для торгівлі електроенергією. Це також агент, який керує допоміжними службами, що забезпечують постійний баланс системи.
- Регулятор ринку: державна організація, яка забезпечує справедливу торгівлю електроенергією, встановлює правила діяльності ринку та розслідує ринкові зловживання.
- Оператор системи передачі електроенергії, його метою – є створення та підтримка високовольтної мережі. У багатьох випадках він також діє як оператор ринку; зокрема, він вимірює дисбаланс електроенергії в кінцевих вузлах високовольтної мережі та коригує їх;
- Оператор системи розподілу електроенергії, його метою – є відповідальність за мережу низької напруги, шляхом підтримки систем з розподілу електроенергії на місцевому рівні.

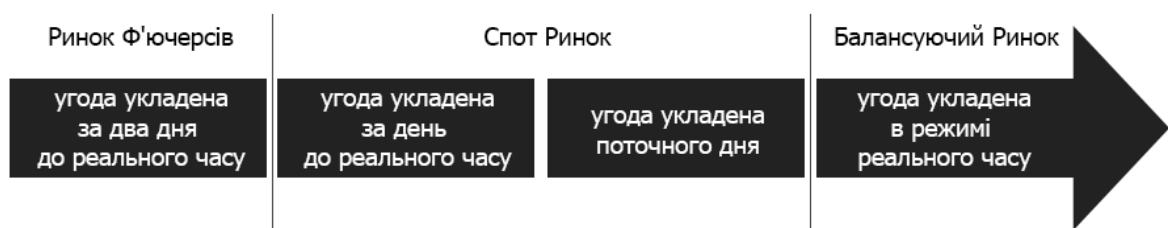


Рис. 1.2. Оптовий ринок електроенергії з позиції дати укладання угоди щодо купівлі та споживання електроенергії\*

Примітка. \*Складено автором на основі [118]

Загалом оптовий ринок являється основним механізмом забезпечення збалансованості всієї електромережі, оскільки всі його суб'єкти взаємодіють таким чином щоб споживачі та виробники могли торгувати електроенергією в результаті чого ціна електроенергії визначалась ринковим шляхом, але при цьому мали можливість скорегувати обсяги власного виробництва чи споживання в моменти, коли можуть виникати дисбаланси. Функція балансування досягається за рахунок можливості укладати угоду на електропостачання та споживання будь якою строковістю, починаючи від ф'ючерсних угод закінчуючи угодами в режимі реального часу (рис. 1.2).

За часів перебування України в складі радянського союзу ринку електроенергії, як такого не було, він був повністю під контролем держави, яка визначала обсяги виробництва електроенергії і її ціну для підприємств та домогосподарств. Після розпаду радянського союзу Україна успадкувала як виробничі потужності та систему електропостачання так і систему контролю за ринком електроенергії. Однак уже в 1996 році почалося формування оптового ринку електроенергії, де роль виробника та оператора з розподілу і передачі електроенергії відігравала не вся держава, а окремі компанії. Зокрема, у 1998 році відбулась приватизація розподільчих підприємств, так званих, облэнерго [138].

З кінця 90-х років по 2019 рік оптовий ринок електроенергії в Україні існував таким чином, що державне підприємство Енергоринок являлось оптовим трейдером та системним оператором в той самий час. Всі фінансові операції з продажу електроенергії приватизованими виробниками кінцевим споживачам здійснювались через Енергоринок. Після чого придбану електроенергію Енергоринок продавав енергопостачальним компаніям в кожній області України [116].

Державне регулювання цін на електроенергію зумовлювало низький рівень конкуренції серед виробників, що перешкоджало здійсненню необхідної



модернізації всієї електроенергетичної інфраструктури. Крім цього значна частка всієї генерації електроенергії належала державі, яка виступала на енергетичному ринку, в основному, у ролі ядерних електростанцій, які залежно від того чи іншого часового періоду генерували від 40% до 50% всієї електроенергії, що споживалась в Україні. Таким чином до 2019 року генерація електроенергії в Україні була майже порівну розподілена між державними та приватними компаніями, при чому власність приватних компаній, в основному, складала теплоелектростанції [138].

Намагання України перейняти досвід розвинутих країн світу, а також курс на інтеграцію в ЄС зумовив в 2013 році прийняття закону про лібералізацію оптового ринку електроенергії в Україні, а саме зменшення державного впливу на ринок електроенергії [175].

Незважаючи на прийнятий закон про лібералізації оптового ринку електроенергії в Україні в 2013 році не зміг бути реалізований в повній мірі у зв'язку з початком збройної агресії РФ проти в Україні в 2014 році. Таким чином прийняття закону про нову структуру оптового ринку електроенергії в Україні відбулось лише в 2017 році [176].

Відповідно до прийнятного закону на заміну діяльності державної компанії Енергоринок приходить повноцінна модель конкурентного ринку електроенергії на якій діє системний оператор, що здійснює прийом та обробку угода на продаж та купівлю електроенергії в межах ринку ф'ючерсів, спот ринку та балансуєчого ринку. Таким чином роль у формуванні ціни на електроенергію починає відігравати сам ринок, а не держава. Окрім ринкового ціноутворення, відбувається відокремлення обленерго від системних операторів розподілу електроенергії в результаті чого функції постачання та розподілу електроенергії починають виконувати різні компанії. Новий закон залишає право за Укренерго бути природною монополією з передачі електроенергії територією України та за її межі, тобто виконувати функцію оператори системи передачі електроенергії.

Таке рішення, як уже зазначалось раніше, пояснюється відсутністю доцільності з існування конкуруючих компаній, які займаються передачею електроенергії через можливе дублювання електромереж.

Таким чином до реформи 2013 року ціни на електроенергії повністю регулювались державою, а саме національною комісією з регулювання енергетики та комунальних послуг, яка встановлювала тарифи на електроенергію для населення нижче її собівартості тоді як тарифи для промислових споживачів були значно вищими. Проте після реформування ринку електроенергії в Україні держава відповідає лише за встановлення тарифів на передачу електроенергії, що зумовило збільшення цін для всіх типів юридичних осіб приблизно на 30%.

На рисунку 1.3. наведено структуру ринку електроенергії України з позиції фізичних потоків енергії. Як видно з наведеної схеми традиційні виробники електроенергії (державні та приватні), а також виробники відновлюваної енергії (виключно приватні) передають вироблену електроенергію системному оператору передачі енергії (Укренерго), який маючи природного монополію проводить транспортування електроенергії всією територією України у відповідні області. Прийомом та подальшим розподілом електроенергії в кожній області займається безпосередньо оператор розподілу енергії, який передає вироблену енергію підприємствам та домогосподарствам. Формуванням значення ринкової ціни в кожний окремий момент споживання електроенергії займається системний оператор ринку, котрий приймає заявки від виробників електроенергії щодо часу, обсягу генерації та ціни електроенергії тим самим формуючи криву пропозиції (рис. 1.4).

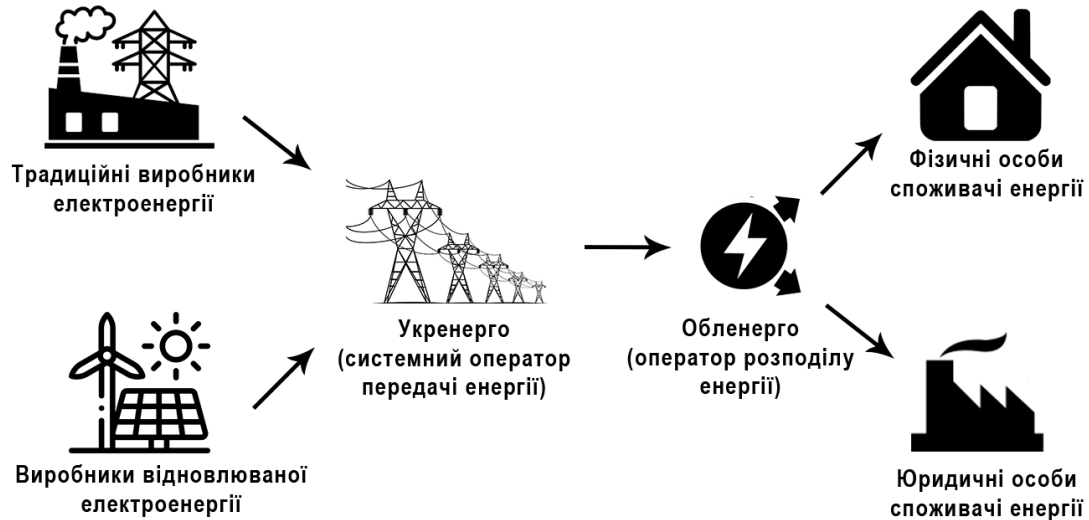


Рис. 1.3. Структура ринку електроенергії України з позиції фізичного виробництва, постачання та споживання енергії\*

Примітка. \*Складено автором на основі [15,149]

Від комерційних компаній постачальників електроенергії системний оператор ринку приймає заявки щодо часу, обсягу споживання та ціни електроенергії тим самим формуючи криву попиту. Як уже зазначалось раніше саме на комерційні компанії постачальники електроенергії припадає функція моделювання попиту на електроенергію з боку домогосподарств та малих підприємств. Маючи криву попиту та пропозицію системний оператор визначає ринку ціну електроенергії на певний момент часу та визначає які заявки на споживання і виробництво будуть задоволені, частково задоволені або відхилені.



Рис. 1.4. Структура оптового ринку електроенергії України з позиції укладання угоди на виробництво та споживання енергії\*

Примітка. \*Складено автором на основі [15,150,153]

Безпосередньо оплата за надані послуги з транспортування, розподілу та вироблену електроенергії здійснюється через комерційні компанії постачальники електроенергії, котрі формують кінцеві значення платежнів для фізичних та юридичних осіб, включаючи в них оплату власних послуг. Отриману оплату комерційні компанії постачальники електроенергії передають операторам розподілу енергії, системному оператору передачу енергії та виробникам електроенергії (рис. 1.5).

Окремо хочеться зазначити, що в рамках стимуляції виробництва відновлюваної енергії серед юридичних осіб та домогосподарств використовується механізм гарантованого покупця, яким являється сама держава. Зокрема для домогосподарств уряд України зобов'язується купляти електроенергію за зеленим тарифом, коли виконується умова того, що відповідне домогосподарство забезпечує власний попит на електроенергію виключно власними генеруючими можливостями, а надлишок свого виробництва може продати державі.

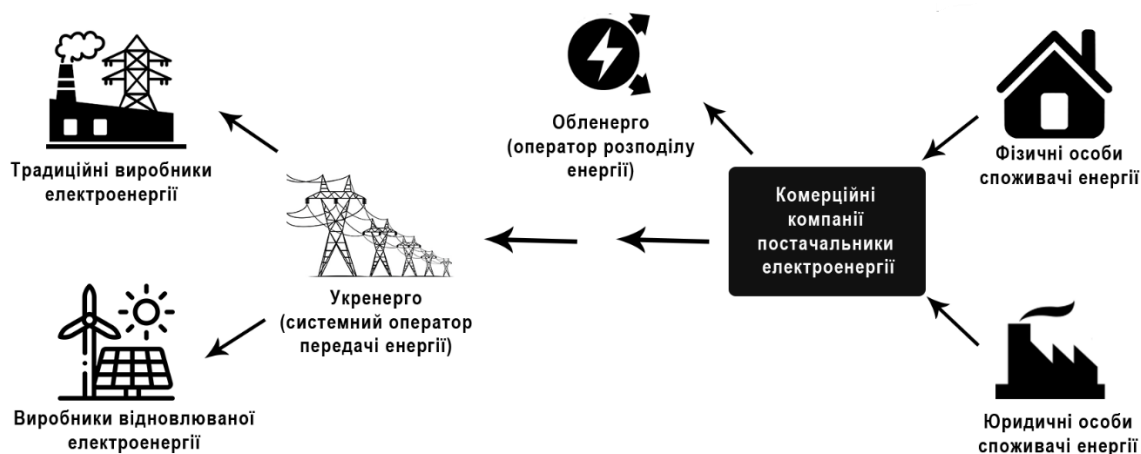


Рис. 1.5. Структура оптового ринку електроенергії України з позиції фінансових потоків\*

Примітка. \*Складено автором на основі [98]

Загалом реформування ринку електроенергії дало змогу стимулювати розвиток відновлюваної енергетики та початок модернізації традиційної енергетики. Оновлена модель ринку сприяла швидшій синхронізації української енергетичної системи із системою мереж електроенергії континентальної Європи, яка відбулась в умовах воєнного стану 16 березня 2022 [40].

В контексті структури енергетичного споживання сільських домогосподарств розглянемо структуру ринку природного газу в Україні, який беззаперечно являється одним з основних типів енергетичного ринку України і світу вцілому, а на рівні сільських домогосподарств природний газ являється основним джерелом первинної енергії для генерації теплової енергії протягом холодної пори року.

Український газовий сектор також зазнав значних трансформацій протягом останнього десятиліття, особливо після 2014 року, коли кроки до створення конкурентного ринку природного газу в Україні стали більш активі. Слід зазначити, що до початку першої збройної агресії РФ проти України в 2014 році ціни на природний газ для домогосподарств та широкого спектру промислових споживачів були нижчими за ціну імпорту природного газу в Україну. Різниця

між рівнем двох цін покривалась за рахунок механізму субсидування ціни в результаті чого держава отримувала колосальні збитки. Однак при переході від субсидування ціни до субсидування окремих споживачів та встановлення одного рівня ціни для всіх категорій споживачів збитки держави суттєво скоротились [152].

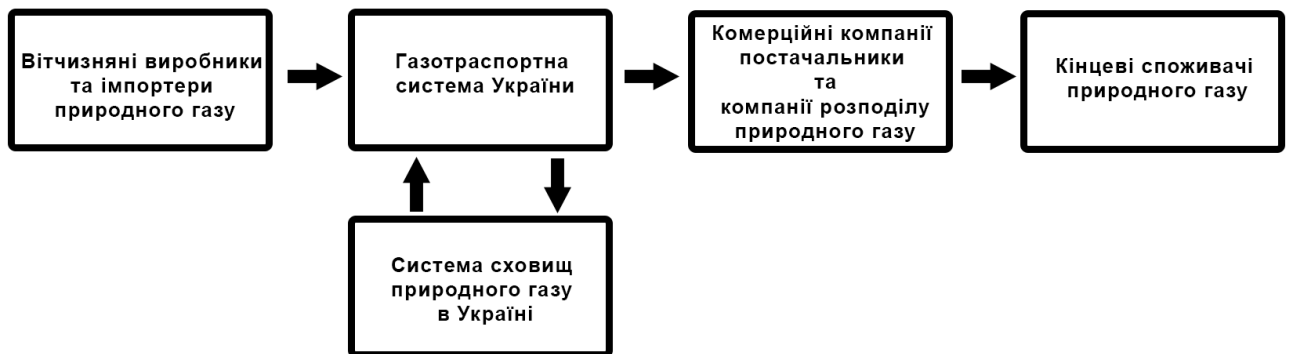


Рис. 1.6. Структура ринку природного газу України\*

Примітка. \*Складено автором на основі [98,156]

Після того, як Україна стала членом Європейського енергетичного співтовариства, вона зобов'язалась провести розділення власності газотранспортної системи на компанії, що окремо займаються передачею, розподілом та виробництвом природного газу, а також запровадити відкритого роздрібного ринку природного газу [117].

Не дивлячись на проведені реформи на даний час держава являється монополістом в сфері імпорту природного газу, його розвідки та видобування на території України, транспортування та зберігання (рис. 1.6). Певний рівень конкуренції існує серед компаній постачальників природного газу, які безпосередньо продають природний газ кінцевому споживачу і встановлюють ціни на природний газ базуючись на вартості природного газу за якому купляють його у держави. Слід зазначити, що крім визначення ціни на природний газ компанії постачальники конкурують в сфері наданого сервісу, надання різних можливих

форм оплати, підтримки веб-сайту з особистим кабінетом споживача. До основних функцій, які належать компаніями розподілу природного газу належить: утримання в робочому стані мереж постачання природного газу та їх ремонт, встановлення та перевірка лічильників, реагування на аварійні виклики, прийом та обробка показників обсягу спожитого природного газу.

## **1.2. Теоретико-методичні підходи до оцінки впливу альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств**

Одним з ключових гравців на енергетичному ринку більшості країн світу являються домогосподарства. Так, наприклад, на ринку природного газу України споживання природного газу населенням складає 50% від загального обсягу споживання. Споживання електроенергії домогосподарствами в Україні складає більше 30%. Для країн Європейського Союзу характерна подібна статистика, так домогосподарства в ЄС складають 32% від загального споживання природного газу та 25% від загального споживання електроенергії. Загалом в 2020 році домогосподарства становили більше 25% кінцевого енергоспоживання в країнах ЄС. Електроенергія та природний газ є найбільш використовуваними джерелами енергії в серед домогосподарств.

Енергоресурси використовуються домогосподарствами для задоволення широкого спектру власних потреб:

- генерація теплової енергії для опалення приміщень та підігріву води;
- кондиціонування приміщень;
- освітлення;
- забезпечення роботи електроприладів;
- інші цілі, які полягають в основному з використанням енергії безпосередньо за межами будинків [97].

Існує низка факторів, які безпосередньо впливають на обсяги енергетичного споживання домогосподарствами:

- Географічне положення та клімат;
- Тип будинку, його площа та фізичні характеристики матеріалів, які були використані в його будівництві;
- Кількість, тип та ефективність енергоспоживаючих пристроїв;
- Кількість членів домогосподарства.

Потрібно підкреслити, що поняття домогосподарства має дуже схожі визначення та характеристики, як в національному законодавстві України так і серед країн ЄС та Північної Америки. Так, наприклад, відповідно до вітчизняного законодавства, домогосподарство – це певна сукупність осіб, що спільно проживають в одному житловому приміщенні чи його частині, ведуть спільне господарство, забезпечують себе всім необхідним для життя, а також повністю чи частково об'єднують власні кошти і витрачають їх [30].

Бюро перепису населення США визначає домогосподарство як усіх людей, які проживають в одній житловій одиниці. Залежно від їхніх стосунків між собою домогосподарства поділяються на два основні типи: сімейні та несімейні домогосподарства [173].

Відповідно до законодавства ЄС, домогосподарство – це соціальна одиниця, що складається з певної кількості осіб, які проживають в одному місці, мають спільні домовленості та ведуть спільне домашнє обслуговування з метою задоволення власних щоденних потреб. Домогосподарства можуть включати або одну особу, яка проживає сама, або групу людей, які проживають за однією адресою і ведуть спільне домашнє господарство [103].

Поняття сільського домогосподарства в українському законодавстві не визначено. Державна служба статистики України визначає сільське населення виключно, як населення, що проживає в селах та селищах [142].



Але при цьому існують міжнародні критерії, що визначають сільські домогосподарства на базі яких можна апроксимувати загальну кількість населення, що проживає саме в сільських домогосподарствах.

Отже, відповідно до законодавства США, сільські домогосподарства – це домогосподарства, що розташовані в громадах із населенням менше 30 тис. осіб. [151].

В законодавстві ЄС визначення домогосподарства дещо складніше. До сільських домогосподарств відносять всі домогосподарства, які проживають на сільських територіях. При цьому до сільських територій відносять всі території, що не відносяться до міських центрів або міських кластерів. Де міський центр це територія з густиною населення не менше 1500 жителів на 1 км<sup>2</sup> та кількістю населення не менше 50 тис. жителів. До міських кластерів відносяться території з густиною населення не менше 300 жителів на 1 км<sup>2</sup> та мінімальною кількістю жителів в 5 тис. осіб [38, 88, 96, 112].

Якщо розглянути гістограму розподілу населення Україна за населеними пунктами (рис. 1.6) то можна побачити, що на населені пункти з кількістю населення до 9 тис. осіб в 2021 році припадало 15,7 млн. осіб таким чином можна говорити, що як мінімум 37% всього населення України проживає саме в сільських домогосподарствах. Відповідно до розрахунків державної служби статистики України в сільських домогосподарствах в 2019 році проживало 30% всього населення України [13].

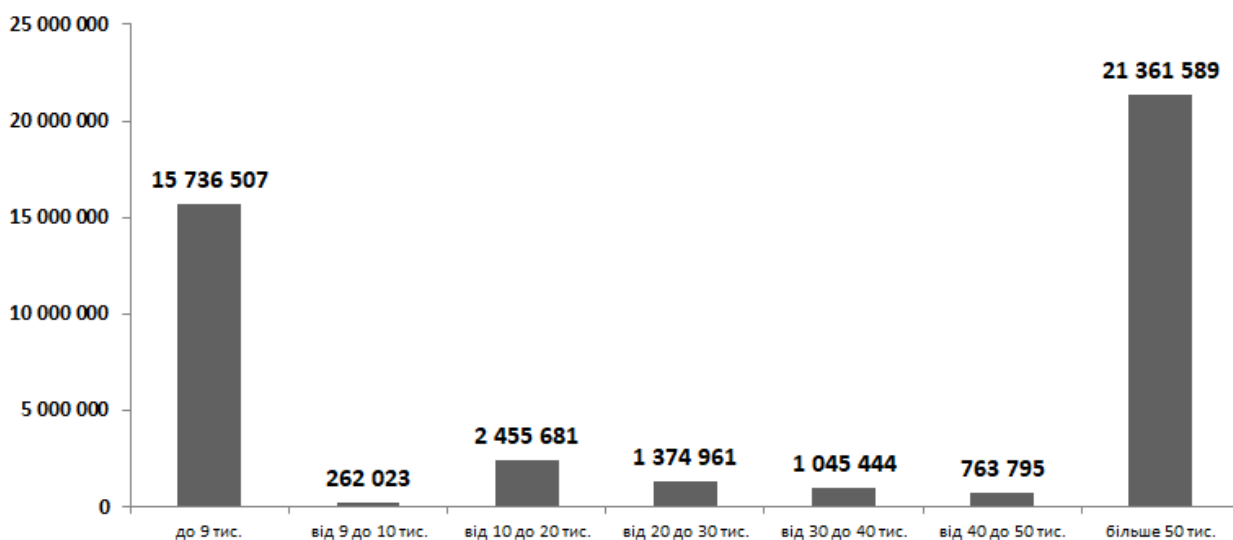


Рис. 1.6. Гістограма розподілу населення України за населеними пунктами за 2021 рік\*

Примітка. \*Складено автором на основі [144]

У випадку, якщо використовувати стандарти США то кількість населення, що проживає в сільських домогосподарствах в Україні могла б уже складати 42%. При цьому в контексті розвитку відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств можна, також, відносити ті домогосподарства, що проживають в містах, де більшість домогосподарств мають власні будинки з прибудинковими ділянками, адже саме дахи будинків та прибудинкові ділянки являються основним місцем для встановлення об'єктів генерації відновлюваної енергії (найчастіше сонячної енергії).

Гіпотезу про те, що більше 40% всього населення України проживає в сільських домогосподарствах або домогосподарствах сільського типу (наявність приватного будинку з прибудинковою ділянкою) можна підтвердити і за допомогою структури енергетичного споживання домогосподарств України за 2021 рік (рис. 1.7). Як видно з наведеної на рисунку 1.7 діаграми 14% від загального енергетичного споживання припадає на теплову енергію, яка використовується саме багатоквартирними будинками тобто домогосподарствами, що проживають у містах. При цьому слід зазначити, що

КПД генерації теплової енергії складає всього 30% не залежно від типу первинної енергії (вугілля або природний газ).

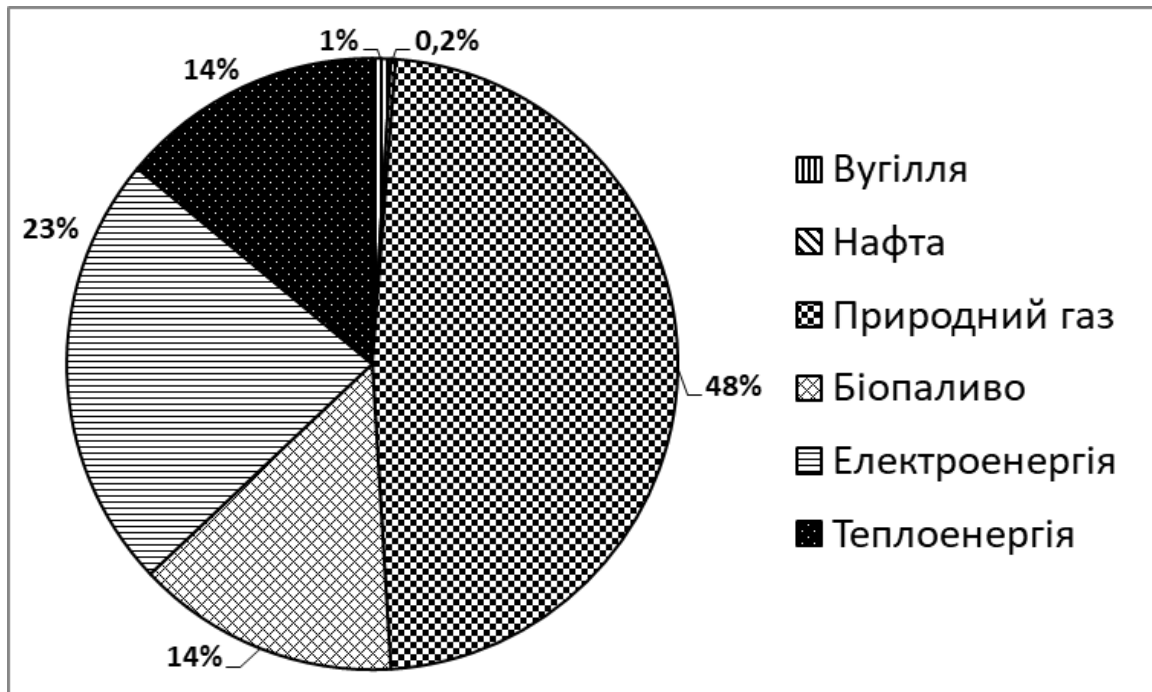


Рис. 1.7. Структура енергетичного споживання домогосподарств України за 2021 рік\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23,102,112]

Частка споживання природного газу в структурі загального енергетичного споживання складає 48%, а біопалива 14%. Слід зазначити, що природний газ та біопаливо споживається, в основному, саме домогосподарствами, що проживають у приватних, а не багатоквартирних будинках. Таким чином, якщо врахувати коефіцієнт корисної дії генерації теплової енергії в 30% можна стверджувати, що для генерації теплової енергії в Україні необхідний майже такий самий обсяг природного газу та біопалива, який використовується домогосподарствами, що проживають у приватних будинках.

Електроенергія являє собою основний тип енергії, який займає центральне місце в енергетичному споживанні домогосподарств та більшості секторів економіки. На сьогоднішній час, в умовах глобалізованої економіки, електроенергія є ключовим елементом для задоволення широкого спектру потреб

будь-якої фізичної особи. Відсутність доступу до електропостачання або ж значні перебої в її постачанні ставлять під загрозу продуктивний спосіб життя людини. Так зокрема, досвід глобальної пандемії та повномасштабна війна РФ проти України показали всьому світу кричущу необхідність мати віддалений доступ до робочого місця та можливість мати дистанційне навчання, що у свою чергу не можливо забезпечити без повноцінного доступу до електроенергії.

Моделювання ринку електроенергії можна розглядати з позицій його головних учасників: споживача та виробника. При моделюванні поведінки споживачів електроенергії відбувається оптимізація загальних витрат для придбання електроенергії. При моделюванні поведінки виробника електроенергії основним критерієм оптимізації являється максимізація прибутку виробника. При цьому до незалежних змінних даної моделі може відноситися цілий ряд факторів: попит на електроенергію, ринкова ціна електроенергії, рівень диверсифікації ринку іншими виробниками, очікування виробника щодо зміни загальної пропозиції електроенергії на ринку і т.п. Крім моделювання поведінки окремого споживача або виробника електроенергії існує спектр моделей для оптимізації ринку загалом використовуючи криві попиту та пропозиції, а також враховуючи інші фактори, які можуть вплинути на ринкову рівновагу: державне регулювання, економічні кризи і т.п.

В даній науковій роботі проводиться аналіз поведінки окремої категорії споживачів, а саме сільських домогосподарств з позиції переходу на відновлювану енергетику. При цьому моделювання відбувається з врахуванням можливості того, що відновлювані джерела енергії зможуть задовольнити не тільки потреби сільського домогосподарства в електроенергії, а й ще в тепловій енергії.

Моделювання поведінки виробників в даній роботі розглядається в контексті постачання на ринок електроенергії з відновлюваних джерел енергії.

Аналізуючи ринкову рівновагу в даній роботі показано загальний вплив на ринкову рівновагу збільшення постачання електроенергії з відновлюваних джерел енергії.

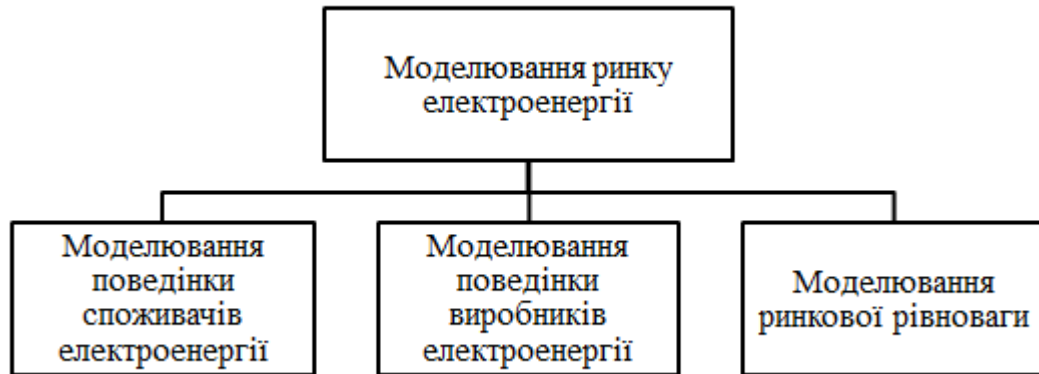


Рис. 1.8. Варіанти до моделювання ринку електроенергії з позиції його учасників\*

Примітка. \*Розроблено автором

Як відомо всі домогосподарства, з точки зору економічної теорії, піддаються різного роду класифікації та поділу. Однією з таких класифікацій виступає поділ домогосподарств за типом їхнього помешкання. Для великих міст основним типом помешкання виступають багатоквартирні будинки тоді, як для сільських територій та малих міст основним видом оселі серед домогосподарств являються приватні будинки з власними прибудинковими ділянками.

Енергетичні потреби та шляхи їх задоволення даних двох видів домогосподарств мають багато в чому подібні, але при цьому мають і деякі суттєві відмінності. Так, наприклад, з точки зору енергетичних потреб то власники квартир обмежуються використанням побутових електро приладів, готуванням їжі та підігрівом води. В той самий час, власники приватних будинків мають додаткові енергетичні потреби пов'язані з роботою на прибудинковій ділянці.

Енергопостачання багатоквартирних будинків являється мало варіативним та часто повністю монополізоване державою. В той самий час власники приватних будинків окрім доступу до загальних систем електропостачання мають повноцінний доступ до інших варіантів енергопостачання. Так, наприклад, обігрів будинки може мати комбінований характер, тобто, забезпечуватись одночасно газовим, електро та твердопаливним котлом. Електропостачання може здійснюватись як з центральних ліній електропередач так і за допомогою мобільних електрогенераторів.

Впродовж декількох останніх десятиліть відбувався стрімкий розвиток відновлюваної енергетики, крім цього на ринку з'явилися нові зразки систем збереження енергії, які на одиницю об'єму дозволяють зберігати більшу кількість електроенергії. З усіх видів систем генерації відновлюваної енергії найбільш ефективними та масовими являються сонячні електростанції, які можуть скласти повноцінну альтернативу мобільним дизельним електро генераторам. Основною перешкодою до застосування сонячних електростанцій на рівні власників квартир являється їх площа – чим більші енергетичні потреби тим більшою повинна бути площа електростанції. Так, наприклад, для забезпечення електроенергією ноутбука або мобільного телефону буде достатньо мати переносну сонячну електростанцію площею декілька квадратних метрів, яка може вміщатись в межах однієї кімнати. Однак, для роботи таких електроприладів, як: холодильники, електроплити або бойлери площа електростанції повинна складати декілька десятків квадратних метрів, що робить їх доступними тільки для сільських домогосподарств, що мають приватні будинки та присадибні ділянки.

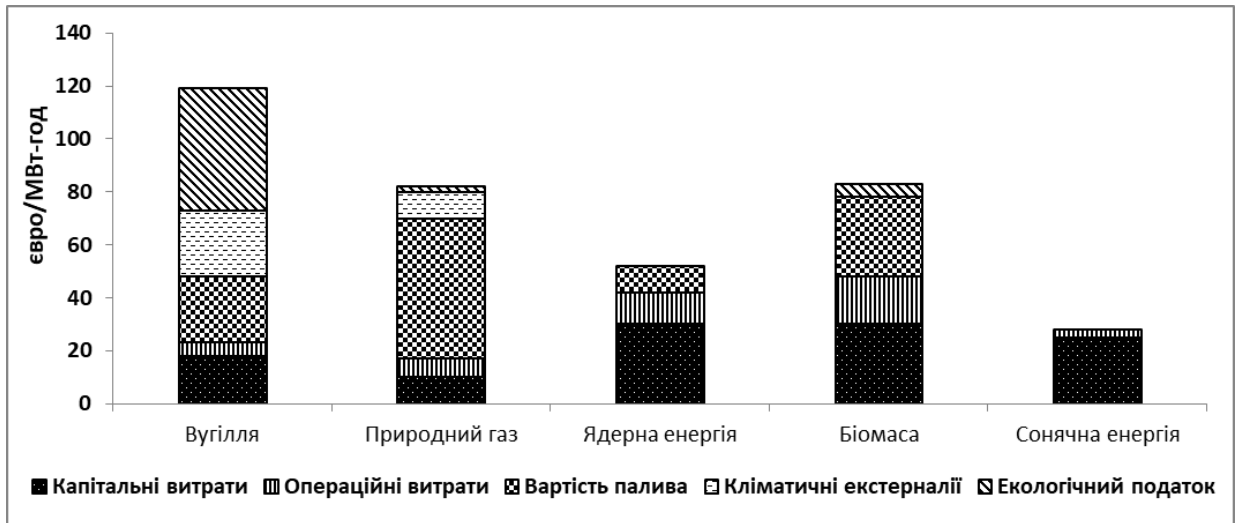


Рис. 1.9. Структура приведеної вартості виробництва електроенергії різного типу генерації\*

Примітка. \*Складено автором на основі [126]

Чисельник відображає вартість виробленої енергії на всьому часовому проміжку експлуатації генеруючої установки. Знаменник відображає загальну кількість виробленої енергії за увесь проміжок часу експлуатації генеруючої установки [126].

$$LCOE = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{q=1}^t E_q} \quad (1.1)$$

Де,  $C_i$  – сума витрат  $i$ -того типу з загальної кількості  $n$ -них витрат протягом всього періоду використання генеруючої установки.

Де,  $E_q$  – кількість виробленої енергії в  $q$ -тий рік з загальної кількості  $t$  років експлуатації генеруючої установки.

Відсутність потреби в паливі при використанні відновлюваної енергії компенсується значно більшими розмірами генеруючої установки. Крім цього, для кінцевого споживача – домогосподарства в питанні вибору переходу на відновлювану енергетику існує питання її вартості. З точки зору приведеної

вартості використання енергії відновлювана енергетика має найменшу ціну – це досягається за рахунок відсутності у структурі ціни витрат на палив, де основну частку складає вартість генеруючої установки та незначна частка на операційні витрати з її обслуговування.

Проте в цьому криється головний недолік з яким стикається споживач при бажанні перейти на відновлювану енергетику – вартість генеруючої установки традиційної енергетики в десятки разів менша. Відповідно, співвідношення затрачених коштів до кількості спожитої енергії в перші роки у відновлюваній енергетики суттєво більша ніж у традиційної енергетики.

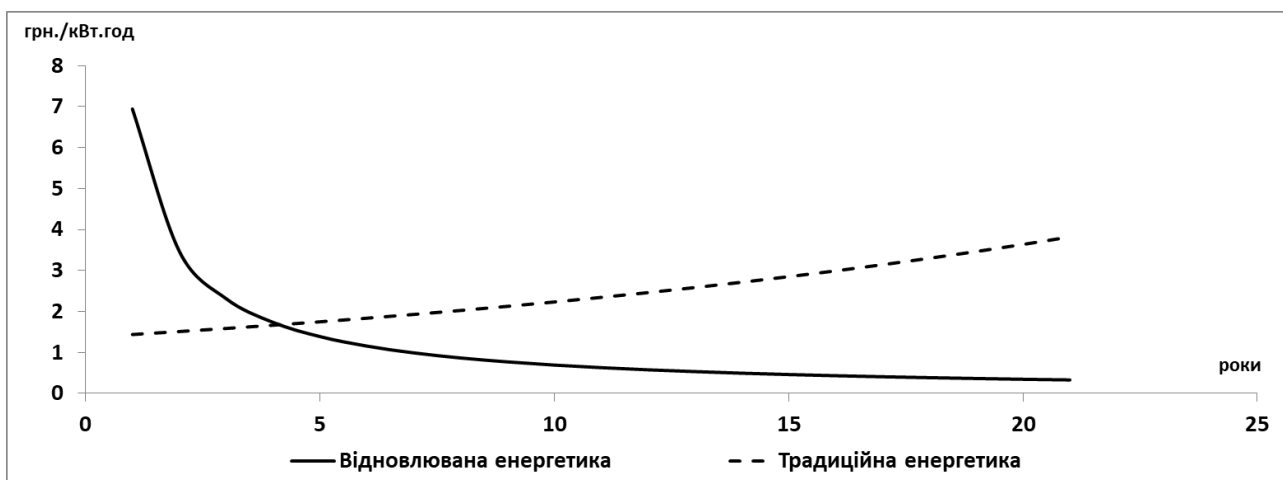


Рис. 1.10. Динаміка вартості електроенергії залежно від типу генерації\*

Примітка. \*Складено автором на основі [27, 29,158]

Таким чином, моделювати енергоспоживання сільського домогосподарства в контексті його переходу на відновлювану енергетику доцільно з позиції оцінки корисності енергоспоживання. При такому підході всі сільські домогосподарства можна поділити на дві категорії: домогосподарства із значним рівнем доходу або рівнем фінансових збережень та, відповідно, домогосподарства із середнім рівнем доходу або рівнем збережень. У першому випадку для домогосподарства гранична норма заміщення дорівнює одиниці – тобто корисність однієї кіловат-години енергії з традиційних джерел енергії рівноцінна одній кіловат-годині енергії з відновлюваних джерел. Іншими словами для домогосподарств з високим



рівнем доходів – ціна генеруючої установки відновлюваної енергії не являється фактором, що впливає на її корисність, для даного домогосподарства традиційна та відновлювана енергетика являється ідеальними замінниками і при виборі їх використання домогосподарство буде керуватись задачею диверсифікації електропостачання з позиції мінімізації витрат на загальне енергоспоживання (рис. 1.11.).

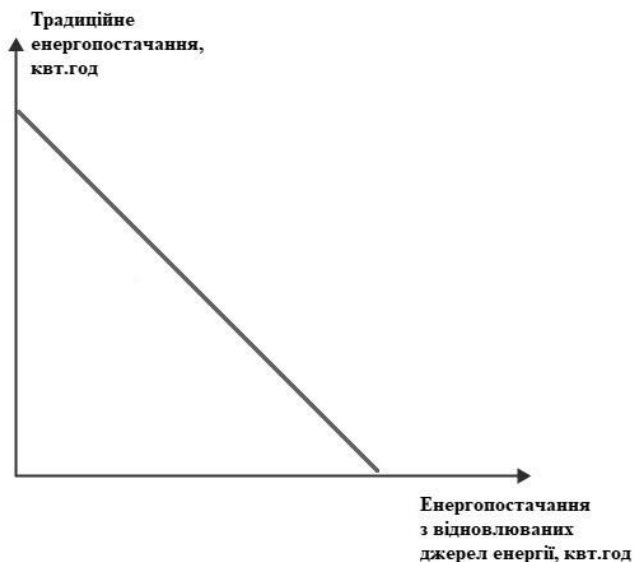


Рис. 1.11. Крива байдужості споживання традиційної та відновлюваної енергії сільського домогосподарства з високим рівнем доходу\*

Примітка. \*Розроблено автором

В той самий час сільські домогосподарства з середнім рівнем доходу або нижче середнього не можуть дозволити собі придбати потужну сонячну електростанцію, що може задовольнити всі їх енергетичні потреби (включно з опаленням будівлі), але при цьому вони проявляють зацікавленість до відновлюваної енергетики, оскільки вона сонячні електростанції з малою потужністю можуть вирішити проблеми з постійними перебоями електропостачання.

В даному випадку, можна говорити, що один і той самий обсяг електроенергії має різний рівень корисності для традиційних і відновлюваних

джерел енергії – корисність одного кіловат-години електроенергії з відновлюваних джерел енергії має більшу корисність (рис. 1.12.). Відповідно, на початкових етапах, коли домогосподарство тільки починає використовувати відновлювану енергетику – воно може економити кошти на споживанні традиційної енергії з метою подальшої інвестиції цих коштів у системи генерації відновлюваної енергії.

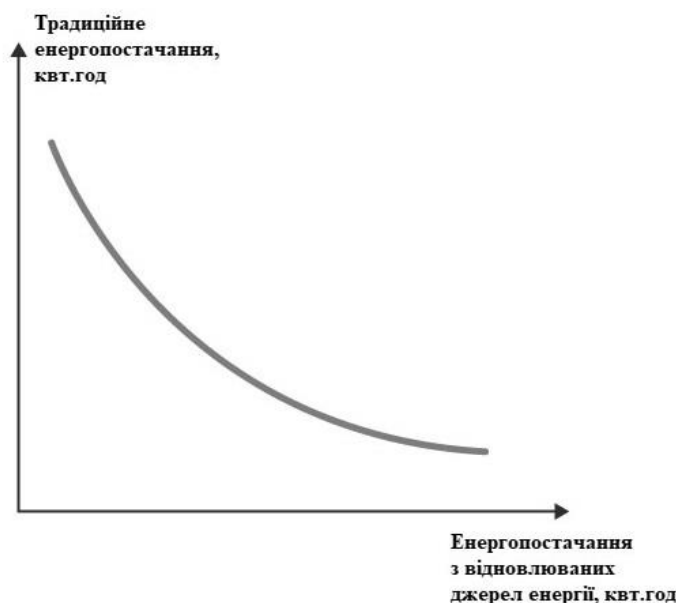


Рис. 1.12. Крива байдужості споживання традиційної та відновлюваної енергії для сільського домогосподарства з середнім рівнем доходу\*

Примітка. \*Розроблено автором

Аналізуючи різні підходи до оцінки рівня корисності традиційної енергетики з позиції сільського домогосподарства можна говорити про різні підходи до її моделювання. Так для сільських домогосподарств з високим рівнем доходу найкраще підходить звичайна оптимізаційна модель, де цільова функція виражається у мінімізації витрат на загальне енергоспоживання:

$$\sum_{i=1}^n a_n x_n \Rightarrow \min \quad (1.2)$$

де,  $a_n$  – дисконтована вартість енергоспоживання з n-го джерела енергії;

$x_n$  – обсяг енергії, спожитого з n-го джерела енергії

При цьому до основного обмеження даної моделі відноситься обмеження на загальне споживання енергії (сума постачання енергії з традиційних та відновлюваних джерел енергії не повинна бути меншою загального споживання енергії домогосподарством):

$$\sum_{i=1}^n x_n \geq Q \quad (1.3)$$

де,  $Q$  – загальне споживання енергії домогосподарством.

Поведінку сільських домогосподарств з середнім рівнем доходу найкраще моделювати з позиції максимізації корисності їх енергоспоживання при існуючих бюджетних обмеженнях.

Для визначення рівня корисності для домогосподарства від використання традиційної та відновлюваної енергії найкраще підходить модель класу Коба-Дугласа:

$$Y = A \times x_1^a \times x_2^b \quad (1.4)$$

Де,  $x_1$  – рівень споживання традиційної енергії, кВт-год.;

$x_2$  – рівень споживання відновлюваної енергії, кВт-год.;

$Y$  – умовний показник корисності при певних значеннях  $x_1$  та  $x_2$ ;

$a$  – показник еластичності функції корисності для зміни в рівні споживання традиційної енергії, відображає на скільки відсотків зміниться значення функції корисності при зміні споживання традиційної енергії на 1%;

$b$  – показник еластичності функції корисності для зміни в рівні споживання відновлюваної енергії, відображає на скільки відсотків зміниться значення функції корисності при зміні споживання відновлюваної енергії на 1%;

$A$  – загальний фактор корисності, який економічної інтерпретації немає.

Для розрахунку функції корисності, представлені через модель Коба-Дугласа необхідно сформулювати репрезентативний ряд рівня корисності для домогосподарств при різних рівнях споживання традиційної та відновлюваної енергії. В результаті чого можна перейти до оцінки значень параметрів  $A$ ,  $a$  та  $b$  шляхом логарифмування моделі Коба-Дугласа:

$$\ln(Y) = \ln(A) + a \cdot \ln(x_1) + b \cdot \ln(x_2) \quad (1.5)$$

Розв'язавши прологарифмовану модель отримуємо кількісне значення параметрів:  $A$ ,  $a$  та  $b$ . При цьому:

$$A = EXP[\ln(A)] \quad (1.6)$$

Для визначення оптимального набору споживання традиційної та відновлюваної енергії, при якому досягається максимальний рівень корисності домогосподарства також необхідно врахувати бюджетне обмеження домогосподарства:

$$p_1 x_1 + p_2 x_2 = m \quad (1.7)$$

Де,  $p_1$  – ціна одиниці традиційної енергії;

$p_2$  – ціна одиниці відновлюваної енергії;

$m$  – загальна сума коштів, яке домогосподарство готове витратити на енергопостачання;

Наступним кроком у визначенні оптимального набору енергоспоживання буде визначення граничної корисності традиційної енергії ( $MU_1$ ) та відновлюваної енергії ( $MU_2$ ), які відображають на яку величину відбудеться збільшення функції корисності при збільшенні споживання відповідного типу енергії на одиницю:

$$MU_1 = \frac{\partial Y}{\partial x_1} = Aax_1^{a-1}x_2^b \quad \text{та} \quad MU_2 = \frac{\partial Y}{\partial x_2} = Abx_1^ax_2^{b-1} \quad (1.8)$$

Маючи розраховані значення граничної корисності кожного з типів енергії можна розрахувати на рівні домогосподарства граничну норму заміщення традиційної енергетики відновлюваними джерелами енергії. Значення граничної норми заміщення відображає кількість традиційної енергії, від якої домогосподарство готове відмовитися заради збільшення споживання відновлюваної енергії на одиницю:

$$MRS = \frac{MU_1}{MU_2} = \frac{Aax_1^{a-1}x_2^b}{Abx_1^ax_2^{b-1}} = \frac{-a}{b} \times \frac{x_2}{x_1} \quad (1.9)$$

Оптимальний набір енергоспоживання досягається в точці, де гранична норма заміщення дорівнює нахилу бюджетної лінії:

$$-\frac{p_1}{p_2} = \frac{-a}{b} \times \frac{x_2}{x_1} \rightarrow x_2 = \left[ \begin{array}{c} \frac{p_1}{p_2} \\ \frac{a}{b} \end{array} \right] \times x_1 \quad (1.10)$$

Використовуючи бюджетне обмеження домогосподарства можна розрахувати оптимальний набір споживання традиційної та відновлюваної енергії при якій досягається максимальна корисність енергоспоживання домогосподарства:

$$x_1 = \frac{m}{p_1} \times \frac{a}{a+b} \quad \text{та} \quad x_2 = \frac{m}{p_2} \times \frac{b}{a+b} \quad (1.11)$$

З точки зору економіки, електроенергія являється вторинним джерелом енергії, тобто вона генерується з інших джерел енергії, які в базовому варіанті

можна поділити на дві категорії: традиційні джерела енергії та відновлювані джерела енергії. До традиційних джерел енергії відноситься газові, вугільні, ядерні електростанції, а також гідроелектростанції. До традиційних джерел енергії відноситься сонячна, вітрова, термальна або ж біоенергетика.

Сам ринок електроенергії має ряд особливостей, які відрізняють його від інших товарних ринків. Так, системи збереження електроенергії суттєвий історичний період взагалі були відсутні. Значний технологічний прогрес даних систем почався з кінця 20-го століття і на даний момент може характеризуватись експоненційними темпами росту. Але, на даний момент, темпи розвитку систем збереження електроенергії ще не дозволяють використовувати їх в промислових масштабах. Відповідно основною особливістю електроенергії, як товару, являється те, що обсяги виробництва в конкретний момент часу повинні бути рівні обсягам споживання електроенергії – в іншому випадку існує велика ймовірність пошкодження або повне виведення з ладу ліній електропередач.

Серед країн світу побутує дві моделі ринку електроенергії – модель регульованого ринку та конкурентного ринку електроенергії. На регульованому ринку електроенергії ціна визначається державою, крім цього держава зобов'язується задовольняти увесь попит на електроенергію і встановлює обсяги і графіки виробництва електроенергії для кожної електростанції.

На конкурентному ринку ціна визначається виключно ринковим шляхом на базі існуючого попиту і пропозиції електроенергії. На даному типі ринку діє аукціонна система, що базується на ставках, які робляться споживачі і виробники на наступний день.

Так з боку виробника кожна електростанція робить заявки на те, скільки на наступний день електроенергії вона хоче продати та за якою ціною. Тобто кожний виробник дає оператору системи індивідуальну криву подачі електроенергії. Системним оператором виступає некомерційна фірма, що відповідає за збір усіх пропозицій (окремих кривих пропозицій) на ринку з їх

подальшим упорядкування в порядку зростання ціни в результаті чого формується крива сукупної пропозиції електроенергії на ринку.

Аналогічним чином системний оператор проводить збір заявок всіх клієнтів з вказаним обсягом електроенергії та її ціною. Сума попиту всіх клієнтів, зазвичай, називається загальним навантаженням і варіюється залежно від пори доби. Загальне навантаження і є сукупною кривою попиту на електроенергію і графічно являє собою майже вертикальну лінію, що відображає нееластичність попиту на електроенергію тобто не змінність попиту в результаті коливання ціни. На рівні домогосподарства або ж окремого підприємства дана нееластичність пояснюється тим, що електроенергія потрібна виключно для забезпечення роботи основних електроприладів або безперервної діяльності виробничих ліній – тому при рості ціни споживач не зможе зменшити споживання електроенергії. З іншого боку при зменшенні ціни споживач не зможе збільшити споживання електроенергії понад звичайного рівня потреб, а також через відсутність повноцінної можливості зберігати електроенергію в системах збереження енергії.

Коли закінчується час прийому заявок системним оператором від споживачів та виробників проводиться розрахунок ринкової ціни (клірингової ціни) за якою будуть укладені всі заявки споживачів та виробників. У випадку, коли вартість електроенергії певного виробника більша за ринкову ціну – його заявка на продаж електроенергії не задовольняється. Аналогічна ситуація присутня з боку споживача, якщо його ціна менша за ринкову – його заявка на придбання електроенергії також не задовольняється. Таким чином одною з основних відмінностей конкурентного ринка електроенергії від регульованого виступає можливість задоволення не всього попиту, який сформувався на ринку.

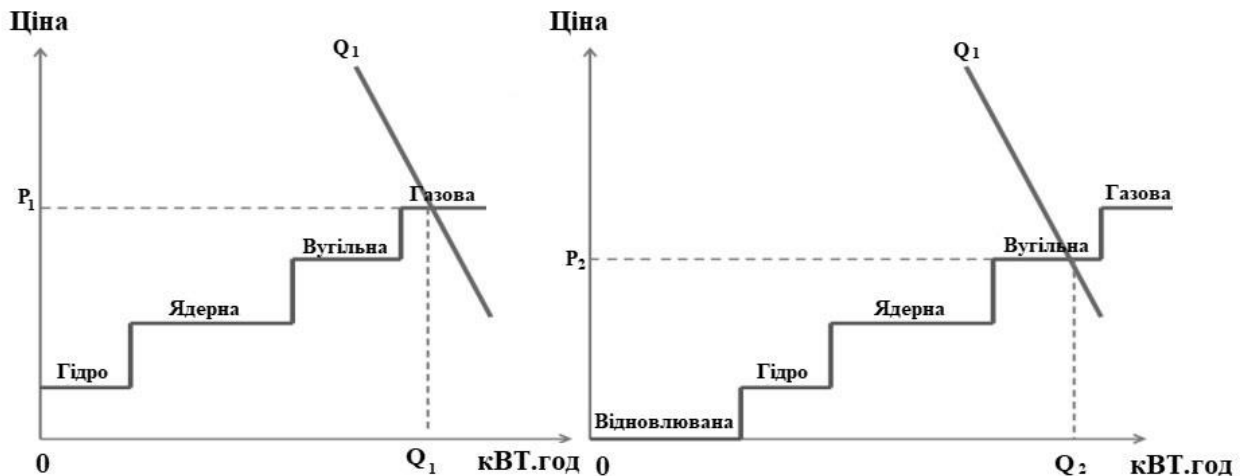


Рис. 1.13. Вплив відновлюваної енергетики на формування ринкової ціни на ринку електроенергії\*

Примітка. \*Складено автором на основі [96, 118]

На рисунку 1.13 на лівому графіку наведено конкурентний ринок електроенергії, вся пропозиції електроенергії якого складається виключно з традиційних джерел генерації електроенергії: гідроенергетика, ядерна енергетика, та тепла енергетика. Як можна побачити, на такому ринку – ринкова ціна встановлюється на рівні цін теплової енергетики, а саме електрогенерації на базі природного газу.

Однак, протягом декількох останніх десятиліть відбулось суттєве нарощування виробництва з відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової. Сучасні обсяги виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії наблизились до рівня гідроенергетики. Головною особливістю ціни електроенергії з відновлюваних джерел енергії являється те, що в її структурі закладені виключно капітальні витрати на придбання генеруючої уставки та амортизаційні виплати, при цьому витрати на паливо відсутні, що не можна сказати про традиційні варіанти виробництва електроенергії. Таким чином ціна електроенергії з відновлюваних джерел енергії являється найменшою на ринку. На правому графіку рисунку 1 можна побачити вплив відновлюваної енергетики



на криву пропозиції ринку електроенергії – вона зміщується вправо, при цьому крива попиту не змінюється, що призводить до формування нової ринкової ціни.

Такий вплив відновлюваної енергетики на криву пропозиції електроенергії називається ефектом ранжування (з англ. Merit Order Effect). Оскільки крива пропозиції формується як ранжовані ціни на електроенергію всіх виробників від меншого до більшого – при вході на ринок виробників відновлюваної енергії відбувається зміщення ранжованих цін виробників традиційної енергетики.

Особлива увага при моделюванні ринку електроенергії зазвичай надається моделюванню поведінки виробника електроенергії. Більшість існуючих моделей поведінки виробника можна охарактеризувати за допомогою двох основних показників, а саме рівня конкуренції на ринку та часового періоду для якого безпосередньо проводиться моделювання (рис. 1.14).

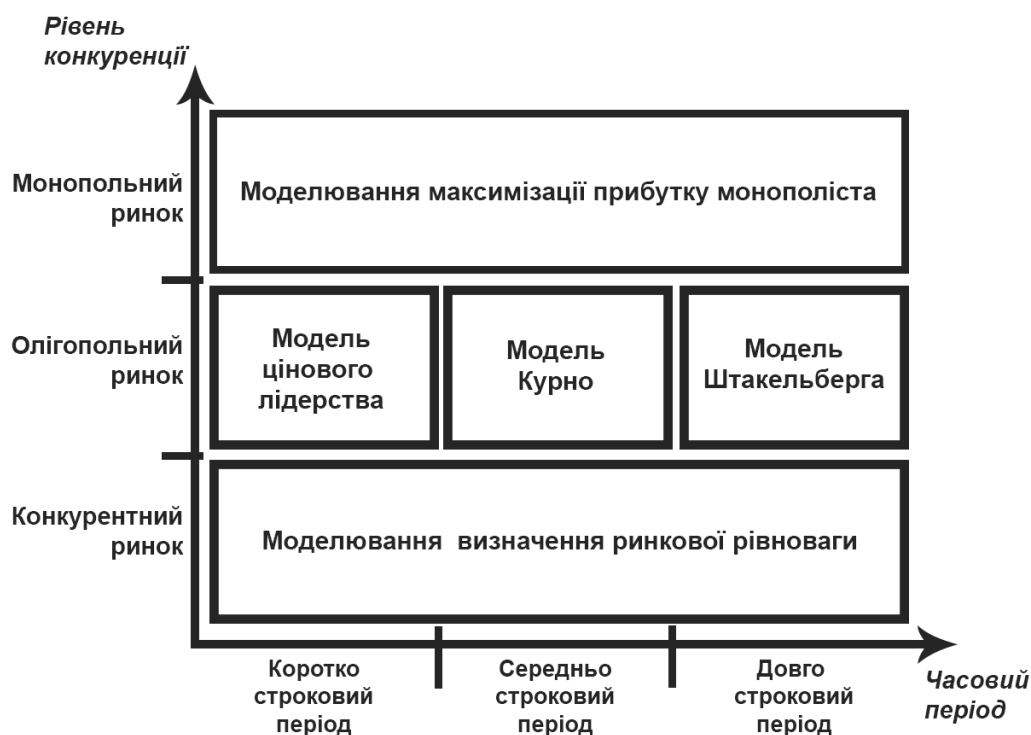


Рис. 1.14. Підходи до моделювання ринку електроенергії залежно від рівня конкуренції на ринку та часового горизонту прогнозування\*

Примітка. \*Складено автором на основі [166]

За ступенем конкуренції всі ринки електроенергії можна розділити на три великі категорії: досконала конкуренція, олігополія та монополія. Відповідно мікроекономічної теорії – ідеально конкурентний ринок можна змодельовати, як оптимізаційну задачу, цільова функції якої полягає у мінімізації загальних витрат споживачів та виробників. Крім цього, оптимізаційний підхід моделювання використовується і при визначенні максимально можливого прибутку, який може отримати монополіст. У випадку коли ринок представлений декількома великими та рівнозначними за своїм впливом виробниками, а саме випадок олігополії або не досконалої конкуренції, його моделювання відбувається таким чином, при якому постає завдання одночасної максимізації прибутку кожного з виробників електроенергії, що в свою чергу залежить від часового фактору.

Часовий фактор є основним елементом для класифікації моделей ринку електроенергії. Саме часовий фактор визначає можливу поведінку конкурентів так і підходи до її моделювання. Наприклад, при моделюванні короткострокового часового періоду максимальні потужності виробників являються фіксованими значеннями, а змінними являється час протягом якого відбувається генерація. Однак, при моделюванні довгострокового періоду параметр часу генерації електроенергії залишається фіксованим, тоді як основна увага приділяється визначенню максимальної потужності виробництва.

Найбільш поширеним варіантом моделювання поведінки виробника електроенергії є модель Курно. Цільова функція даної моделі полягає у максимізації прибутку виробника електроенергії з традиційних первинних джерел енергії:

$$B_e = [p \times q_e - C_e] \Rightarrow \max \quad (1.16)$$

Де,  $e$  – виробник;

$p$  – ціна на електроенергію;

$V_e$  – прибуток виробника;

$q_e$  – кількість виробленої енергії виробником  $e$ ;

$C_e$  – змінні витрати виробника  $e$ ;

IDF – обернена функція попиту, яка розглядає ціну товару, як функцію від кількості загальної поставленої на ринок електроенергії

$$IDF = f\left(\sum q_e\right) \quad (1.17)$$

Функція загального доходу визначається, як добуток ціни на електроенергію та кількості виробленої енергії виробником  $e$ :

$$TR_e = p \times q_e \quad (1.18)$$

Функція загальних витрат визначається, як залежна змінна від кількості виробленої енергії:

$$TC_e = f(q_e) \quad (1.19)$$

Основні положенні моделі Курно для виробників електроенергії з традиційних джерел енергії:

Рішення щодо обсягів виробництва енергії  $e$ -тою компанією немає вплив на рішення щодо обсягів виробництва іншими компаніями:

$$\frac{\partial q_{e^*}}{\partial q_e} = 0 \quad (1.20)$$

Збільшення обсягів виробництва має безпосередній вплив на ринкову ціну електроенергії в розмірі  $p^*$ :

$$\frac{\partial p}{\partial q_e} = \frac{\partial p}{\partial q} \times \frac{\partial(q_e + q_{e^*})}{\partial q_e} = p^* \quad (1.21)$$

Задля максимізації прибутку повинна виконуватись умова першого порядку. Тобто приріст цільової функції в результаті приросту обсягу виробництва повинен дорівнювати нулю:

$$\frac{\partial B_e}{\partial q_e} = 0 \quad (1.22)$$

Іншими словами максимізація прибутку досягається тільки тоді, коли компанія збільшує обсяги виробництва до тих пір, коли граничні витрати стають рівними граничному прибутку:

$$MR_e = MC_e \rightarrow \frac{\partial TR_e}{\partial q_e} = \frac{\partial TR_c}{\partial q_e} \rightarrow p + q_e \times p^* \quad (1.23)$$

В результаті отримуємо Best response function за допомогою якої визначається обсяг виробленої продукції, при якій досягається максимальний прибуток:

$$q_e = \frac{p - MC_e(q_e)}{-p^*} \quad (1.24)$$

При цьому окремо слід розглянути величину націнки вартості електроенергії, яка використовується в Best response function:

$$[p - MC_e(q_e)] \quad (1.25)$$

Величина націнки вартості електроенергії являє собою тобто різниця між ціною на одиницю товару і граничними витратами на одиницю товару. Якщо значення націнка наближається до нуля – це означає, що виробник перебуває в стані конкуренції. І, навпаки, велике значення націнки означає стратегічне поведження виробника, тобто він має суттєвий рівень незалежності.

Розглянемо модель Курно для ринку електроенергії з присутністю на ньому електроенергії з відновлюваних джерела енергії та з врахуванням Merit Order Effect. Цільова функція виробника електроенергії з традиційних первинних джерел в даному випадку також полягає у максимізації прибутку:

$$\Pi_i = \left( q_i + \frac{\delta \times R}{n} \right) \times p(Q + R) - C(q_i) \Rightarrow \max \quad (1.26)$$

Де:

На ринку існує щонайменше двох виробників:

$$n \geq 2$$

Загальна кількість виробленої енергії з традиційних джерел енергії:

$$Q \equiv \sum_{i=1}^n q_i$$

R – загальна кількість енергії на ринку, виробленої з відновлюваних джерел енергії;

Частка від енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії, що припадає на традиційних виробників енергії:

$$\delta \in [0,1]$$

Усереднений показник, який відображає частку виробництва відновлюваної енергії, що припадає на виробників традиційної енергії:

$$\frac{\delta}{n}$$

Граничні витрати, що припадають на одиницю виробленої енергії з традиційних джерел:

$$C(q_i)$$

При цьому вважається, що граничні витрати для виробництва відновлюваної енергії рівні нулю.

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

- 1) Виробник традиційної енергії отримує додатковий прибуток, якщо володіє певною часткою виробництва відновлюваної енергії на ринку;
- 2) Ринкова ціна енергії зменшується при збільшенні постачання відновлюваної енергії на ринок:

$$\frac{\partial p^*}{\partial R} \leq 0$$

- 3) Чим більшу частку у постачанні на ринок відновлюваної енергії займають виробники традиційної енергії тим більше зростає ринкова ціна. Таким чином диверсифікація виробництва відновлюваної енергії серед існуючих виробників традиційної енергії нейтралізує позитивний ефект від постачання на ринок відновлюваної енергії:

$$\frac{\partial p^*}{\partial R} \leq 0$$

- 4) У випадку повної диверсифікації виробництва відновлюваної енергії серед виробників традиційної енергії – позитивний ефект зменшення ринкової ціни через збільшення відновлюваної енергії на ринку повністю нейтралізується:

$$\frac{\partial p^*}{\partial R} = 0 \text{ при } \delta = 1$$

Таким чином можна стверджувати, що поява на ринку електроенергії нових гравців, а саме виробників відновлюваної енергії, які представлені окремими юридичними особами, та не мають у своїй структурі власників традиційної енергетики збільшує ступінь конкуренції на даному ринку та призводить до зменшення ринкової ціни.

### **1.3. Концептуальні засади трансформації енергетичного забезпечення сільських домогосподарств України в сучасних умовах повномасштабної війни та розвитку відновлюваної енергетики**

З початком повномасштабної війни РФ проти України питання забезпечення енергетичної безпеки населення України стало третім за своїм значенням після питання збройного опору російським окупантам та недопущення гуманітарної катастрофи в місцях проведення бойових дій і всієї території України загалом. Аналіз та моделювання перспектив трансформації енергетичного споживання сільських домогосподарств на даний час досить серйозно ускладнено рядом факторів: масовою внутрішньою та зовнішньою міграцією населення України, терористичними обстрілами РФ об'єктів критичної інфраструктури та житлових будинків, повна відмова України та ЄС від імпорту російських енергоносіїв.

При аналізі міграційних процесів можна з великою долею ймовірності стверджувати, що значна частка населення, яка була змушена покинути власні оселі, які опинились в зоні бойових дій навряд чи повернеться знову додому. Більшість населених пунктів, які опинились під тимчасовою російською окупацією або перебувають безпосередньо на лінії фронту зазнають фатального рівня руйнувань, при якому в руїни перетворюються не тільки об'єкти енергетичної інфраструктури, а й усі можливі будівлі. Тому для таких населених

пунктів стоїть питання не модернізації енергетичного інфраструктури, а повної відбудови цілий кварталів або й всього населеного пункту.

Серйозний вплив на шляхи задоволення власних енергетичних потреб серед всіх домогосподарств України, зокрема і сільських, має безпосередньо масовані терористичні обстріли РФ енергетичної інфраструктури України в результаті чого виникають значні проблеми як з виробничими можливостями так із шляхами транспортування та розподілу електроенергії. За відсутності безперервного доступу до електроенергії сільські домогосподарства шукають можливості застосування альтернативних джерел електроенергії, зокрема використання бензинових чи дизельних електрогенераторів, використання сонячних електростанцій малої потужності, використання систем збереження енергії. Звичайно, така адаптація до дефіциту постачання електроенергії з традиційних джерел енергії має ряд недоліків, у випадку використання домашніх електро генеруючих станцій вартість електроенергії складає в десятки разів більше значення ніж до початку повномасштабної війни, а використання сонячних електростанцій малої потужності та систем збереження енергії не може повністю задовольнити енергетичні потреби домогосподарства.

В довгостроковій перспективі значного впливу в Україні зазнає і ринок природного газу, який є основним джерелом генерації теплової енергії серед сільських домогосподарств. Прагнення ЄС якнайшвидше забезпечити власну енергетичну безпеку призводить до скорочення імпорту енергоносіїв з РФ, що безумовно відображається і на збільшенні ціни енергоносіїв і на витратах пов'язаних з диверсифікацією енергопостачання. Таким чином в короткостроковій або довгостроковій перспективі Україна буде повністю інтегрована в енергетичні ринки ЄС, що зокрема відобразиться і на імпортуванні природного газу виключно з країн ЄС та відсутності транзиту природного газу з РФ.



З початком повномасштабної війни РФ проти України урядом України було зроблено ряд змін щодо регулювання ринку електроенергії. Зокрема відповідно до урядової постанови про покладення спеціальних обов'язків №483 від 5 червня 2019 року було продовжено дію фіксованих цін на електроенергії для побутових споживачів у розмірі 1,44 грн. за 1 кВт·год при споживанні в обсязі до 250 кВт·год та 1,68 грн. за 1 1 кВт·год якщо обсяг споживання складає більше 250 кВт·год. У зв'язку з воєнним станом уряд також застосував механізм покладання спеціальних обов'язків до системного оператора передачі енергії Укренерго, чим зобов'язав Укренерго забезпечити цільову фінансову поворотну допомогу державному підприємству Укрвугілля з метою здійснення даним державним підприємством закупівлі первинного енергетичного ресурсу (вугілля), що використовується теплоелектростанціями для генерації електроенергії.

Також були внесені зміни в цільове спрямування коштів, які отримує оператор системи передачі Укренерго при міждержавній передачі енергії, зокрема: основна частка коштів спрямовується на погашення заборгованості перед виробниками ядерної та відновлюваної електроенергії; аналогічна частка коштів спрямовується на погашення заборгованості перед компаніями, що володіють теплоелектростанціями при чому відповідні компанії зобов'язані на отримані кошти проводити ремонтні роботи та закупівлю палива (в даному випадку прибутковість відповідних компаній кардинально зменшується); інші 10% коштів, які отримує оператор системи передачі Укренерго направляється на технічне обслуговування ліній електро передач. Тобто, в період воєнного стану всі кошти, які отримує Укренерго від споживачів повинні використовуватись виключно в межах забезпечення безперервної діяльності генерації та передачі електроенергії.

Враховуючи стрімкий технологічний розвиток систем збереження енергії та доступність даних технологій на міжнародних ринках в Україні набув чинності закон, що регулює діяльність компаній із зберігання електроенергії.

Ліцензуванню підлягає будь-яка компанія, потужність систем збереження енергії якої складає більше 150 кВт. Таким компаніям забороняється одночасно проводити діяльність із зберігання електроенергії з та її передачею і розподілом [24].

Суттєві зміни, пов'язані з введенням військового стану, були проведені і на ринку природного газу, зокрема: було введено заборону на підвищення тарифів на розподілу природного газу, постачання теплової води та теплової енергії; також було зафіксовано ціни на природний газ (які діяли на момент початку війни) для домогосподарств та виробників теплової енергії, що використовують природний газ для генерації теплової енергії; постачальникам природного газу на період дії воєнного стану забороняється здійснення примусового стягнення заборгованості з домогосподарств за спожитий природний газ [5].

Також після початку повномасштабної війни РФ проти України з метою підвищення рівня енергетичної безпеки відбулось запровадження заборони на здійснення експорту природного газу з території України [35].

Загалом в короткостроковій перспективі можна говорити, що структура енергетичного споживання сільських домогосподарств не зміниться, її основу як і раніше буде складати електроенергія згенерована традиційною енергетикою та природний газ. За рахунок міжнародної фінансової допомоги уряд України буде в змозі забезпечити фіксацію рівня цін на основні енергетичні носії. У випадку подальших перебоїв з електроенергією її споживання буде частково компенсуватись сільськими домогосподарствами власною генерацією за допомогою мобільних бензинових чи дизельних електростанцій та розширеним використанням різноманітних систем збереження енергії. При настанні можливих перебоїв з постачанням природного газу домогосподарства зможуть використовувати в тій чи іншій мірі біопаливо (попередньо встановив в будинку твердопаливні котли) або зріджений природний газ.

Терористичні обстріли РФ критичної інфраструктури України направлені перш за все на зменшення обсягів електро генерації. Тому в довгостроковій перспективі при збереженні проблем із електропостачанням існує велика ймовірність того, що сільські домогосподарства зможуть перейти на відновлювану енергетику (зокрема на території України найперспективніший її тип – це сонячна енергетика). Перехід на використання відновлюваної енергетики дасть змогу на рівні всієї країни провести максимально можливу диверсифікацію електропостачання, яке буде достатнє для забезпечення основних енергетичних потреб сільських домогосподарств в Україні.

Якщо розглянути структуру виробництва електроенергії України, то відновлювана енергетика генерує 794 тис. тон нафтового еквіваленту електроенергії, при чому в процесі її генерації не відбуваються енергетичні втрати на відміну від традиційної енергетики (рис. 1.15). Домогосподарства загалом споживали 3143 тис. тон нафтового еквіваленту електроенергії (рис. 1.15). Якщо припустити, що сільські домогосподарства становлять від 30% до 40% всіх домогосподарств то на споживання електроенергії сільськими домогосподарствами припадає від 942 до 1257 тис. тон нафтового еквіваленту електроенергії. Тобто уже на початок 2022 року встановлені потужності відновлюваної енергетики могли забезпечити електроенергією значну кількість сільських домогосподарств.

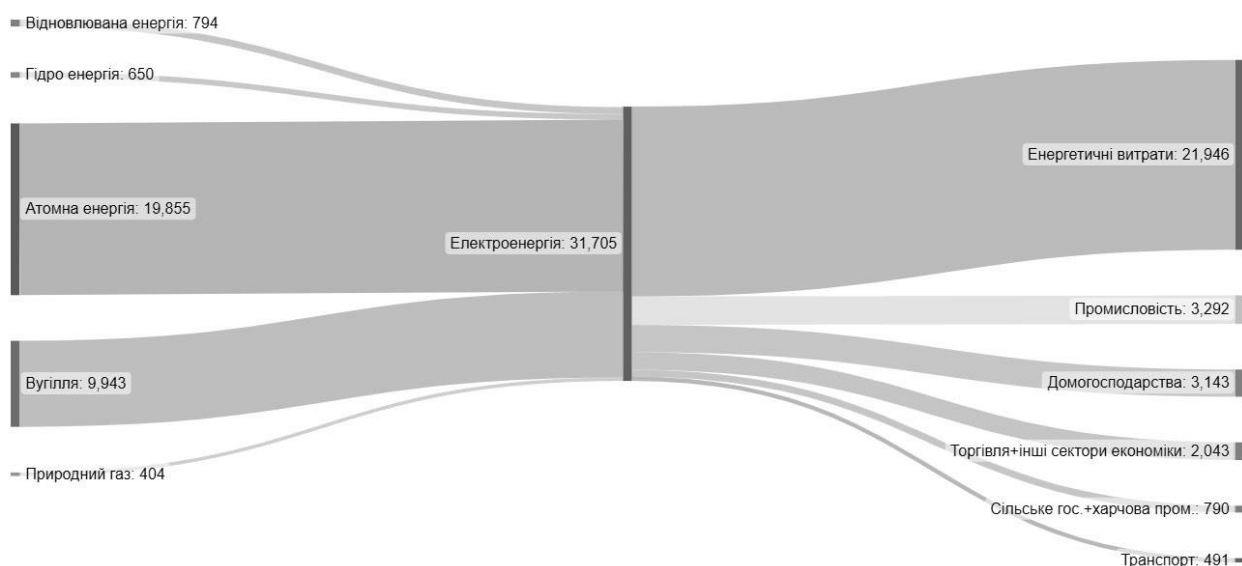
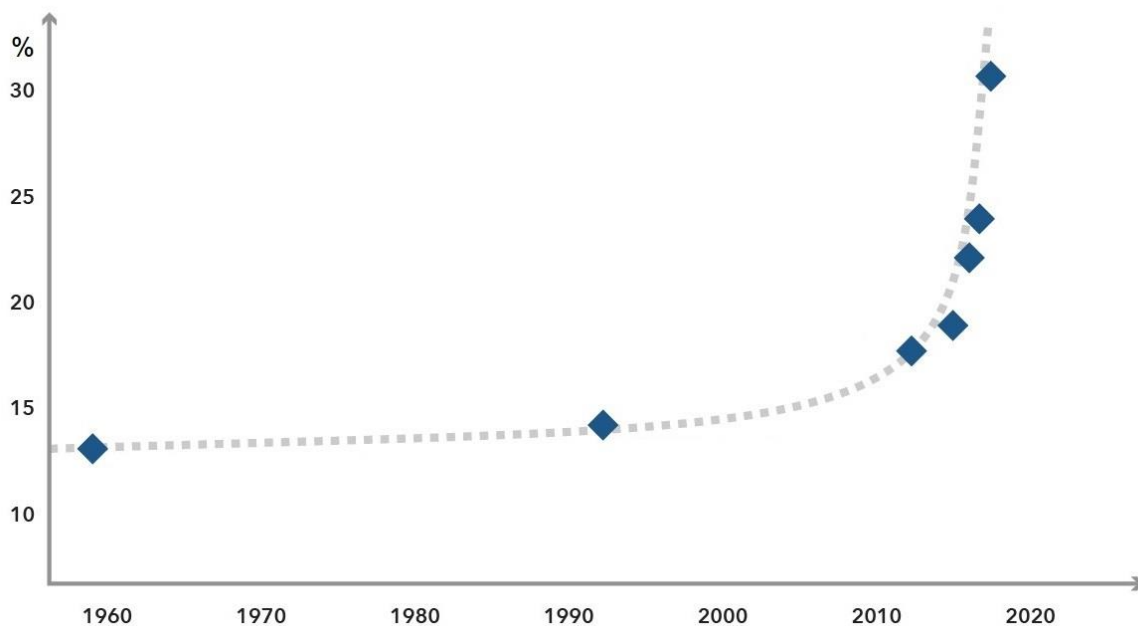


Рис. 1.15. Структура виробництва та споживання електроенергії в Україні за 2021 рік, тис. тон нафтового еквіваленту\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23]

Оптимістичні сподівання на частковий або повний перехід сільських домогосподарств з традиційну на відновлювану енергетику в Україні підкріплюються науково технічним прогресом в сфері підвищення ефективності генерації електроенергії сонячними електростанціями (рис. 1.15). Так, наприклад, тільки з 2012 по 2016 роки ефективність сонячних панелей зростає з 17% до 32%, що на практичному рівні означає необхідність меншої площі для встановлення домашніх сонячних електростанцій.

Потрібно зазначити, що до початку повномасштабної війни РФ проти України держава проводила стимулювання розвитку відновлюваної енергетики серед домогосподарств, зокрема і сільських, шляхом гарантування виплати зеленого тарифу, що реалізовувалось через механізм гарантованого покупця. Однак з початком війни механізм гарантованого покупця постав під серйозною загрозою, продовження підключень нових сільських домогосподарств за зеленим тарифом став максимально збитковим та невигідним державі, крім цього під серйозною загрозою опинилась можливість виплати зеленого тарифу уже тим домогосподарствам, які встигли заключити відповідні угоди ще до початку війни.



#### 1.16. Динаміка збільшення ефективності генеруючих фото елементів сонячної енергетики

Примітка. \*Складено автором на основі [113]

До основних причин, які викликали проблеми з можливостями фінансування розвитку відновлюваної енергетики в Україні в першу чергу відноситься наказ Міністерства енергетики України №140 відповідно до якого надходження гарантованого покупця від Укренерго розподіляються між виробниками відновлюваної енергії від 15% до 75%. Також ведення активних бойових дій, еміграція населення, зупинка підприємств спричинила зменшення споживання електроенергії внаслідок чого Укренерго було змушене обмежувати подачу виробленої відновлюваними джерелами енергії в мережу задля підтримки в штатному режимі роботу традиційних виробників енергії. В результаті цих дій виробники відновлюваної енергетики не могли реалізувати значні обсяги власної електро генерації, що відповідно до їх бізнес планів нанесло їм великі збитки, які полягали у не можливості сплатити відсотки за кредитами, що в подальшому могло призводити до реструктуризації кредиту та відповідного зменшення

кредитного рейтингу виробника. Окрім того, що виробники відновлюваної енергії були фізично обмежені у реалізації виробленої електроенергії на них також поклалась виплата компенсації небалансів передбачена укладеними договорами.

В результаті Верховною Радою України були прийнято рішення, що дозволяє виробникам відновлюваної енергії виходити з групи гарантованого покупця та реалізовувати вироблену енергію уже на конкурентному ринку. Звичайно в результаті таких дій виробники відновлюваної енергії будуть сподіватись лише на вихід в точку беззбитковості чи отримання мінімального прибутку, а також гарантії пов'язані з реалізацією електроенергії за зеленим тарифом.

Розуміючи не можливість застосувати подальшого використання зеленого тарифу, як основного інструменту стимулювання розвитку відновлюваної енергетики урядом України було прийнято рішення застосовувати альтернативні механізми, які досить добре зарекомендували себе в розвинених країнах світу, а саме механізм чистого обліку електроенергії Net Metering.

За визначенням чистий облік електроенергії являє собою механізм, який дає змогу виробникам відновлюваної енергії зберігати згенеровану електроенергію в єдиній енергетичній мережі України. На практиці це означає, що сільське домогосподарство може постачати в енергетичну мережу лишки виробленої електроенергії з відновлюваних джерел при цьому дане домогосподарство буде мати змогу споживати з традиційних джерел енергії такий самий обсяг електроенергії в ті періоди, коли буде мати дефіцит генерації з відновлюваних джерел.

На практиці це може означати, що сільське домогосподарство зможе використовувати загальну електромережу як умову систему збереження енергії, наприклад, лишки електроенергії, які були вироблені протягом світлої пори доби

використовувати ввечері або вночі, або ж лишки електроенергії, які були акумульовані протягом літнього періоду доби використовувати взимку.

Крім цього було в Україні також був прийнятий один з під різновидів чистого обліку електроенергії, а саме Net Billing, що працює аналогічним чином за виключенням того, що під час зарахування надлишків виробленої електроенергії в мережу її облік відбувається не одиницях виміру електроенергії, а в національній валюті в межах тих цін, які були встановлені на електроенергію в той момент та рівні інфляції. Таким чином зараховані на спеціальний рахунок кошти можуть бути використані сільським домогосподарством для придбання електроенергії з традиційних джерел енергії.

Таким чином успішна реалізація програми чистого обліку електроенергії дасть змогу сільським домогосподарствам заощаджувати кошти на придбанні систем збереження енергії. В довгостроковій перспективі, після закінчення воєнного стану і відповідного зняття заборони на підвищення цін на електроенергію та природний газ для населення можна прогнозувати колосальний ріст вартості енергоспоживання з традиційних джерел енергії. Уже зараз відповідно до розрахунків Національного банку України вартість електроенергії при поточній економічній ситуації повинна збільшуватись більше ніж на 20% щороку [29].

Кількісна оцінка значення ринкової ціни визначається з позиції максимізації соціального добробуту. Цільова функція в даній оптимізаційній задачі виступає як максимізація економії споживача в процесі придбання електроенергії. Іншими словами проводиться максимізація різниці того, скільки споживач готовий заплатити за електроенергію та загальним рівнем цін на електроенергію з боку виробників:

$$\sum_{i=1}^{N_D} \lambda_i^D y_i^D - \sum_{i=1}^{N_G} \lambda_i^G y_i^G \Rightarrow \max \quad (1.12)$$

де:

$\lambda_i^D$  – вектор цін споживачів;

$y_i^D$  – вектор обсягу попиту споживачів;

$\lambda_i^G$  – вектор цін виробників;

$y_i^G$  – вектор обсягу пропозиції виробників.

До основних обмежень даної оптимізаційної задачі відноситься, перш за все те, що обсяг спожитої електроенергії повинен дорівнювати обсягу проданої електроенергії:

$$\sum_{i=1}^{N_D} y_i^G - \sum_{i=1}^{N_D} y_i^D = 0 \quad (1.13)$$

Також обсяг проданої електроенергії кожним виробником та обсяг придбаної електроенергії кожним споживачем в результаті розв'язання оптимізаційної задачі не повинний перевищувати заявлені на аукціоні значення:

$$0 \leq y_i^D \leq P_i^D, i = 1, \dots, N_D \quad (1.14)$$

$$0 \leq y_i^G \leq P_i^G, i = 1, \dots, N_G \quad (1.15)$$

Відповідно до наведеного вище блоку обмежень в результаті визначення ринкової ціни – всі виробники, що мають ціну більше ринкової не зможуть реалізувати на ринку заявлені обсяги електроенергії або ж зможуть реалізувати лише незначний обсяг від попередньо вказаного. Аналогічно споживачі, які мають ціну заявки менше ринкової – не зможуть придбати наступного дня електроенергію, або ж зможуть придбати незначний обсяг від попередньо заявленого. Таким чином можна говорити про те, що постачання на ринок електроенергії енергії з відновлюваних джерел призводить до зменшення ринкової ціни (рис. 1). Крім цього відбувається задоволення більшої кількості попиту на ринку – ринкова ціна зміщується в сторону найменшої ціни з боку споживача. При цьому відбувається витіснення з ринку тих виробників



електроенергії, які мають найбільший рівень цін, що в подальшому буде змушувати їх до підвищення енергоефективності виробництва.

Тому рано чи пізно вартість відновлюваної та традиційної енергетики для сільських домогосподарств може зрівнятися, що очевидно буде додатковим позитивним фактором з позиції диверсифікації енергетичного споживання [137]. Розглянемо перспективи формування конкурентного ринку електроенергії України шляхом стимулювання державою розвитку відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств (рис. 1.15).

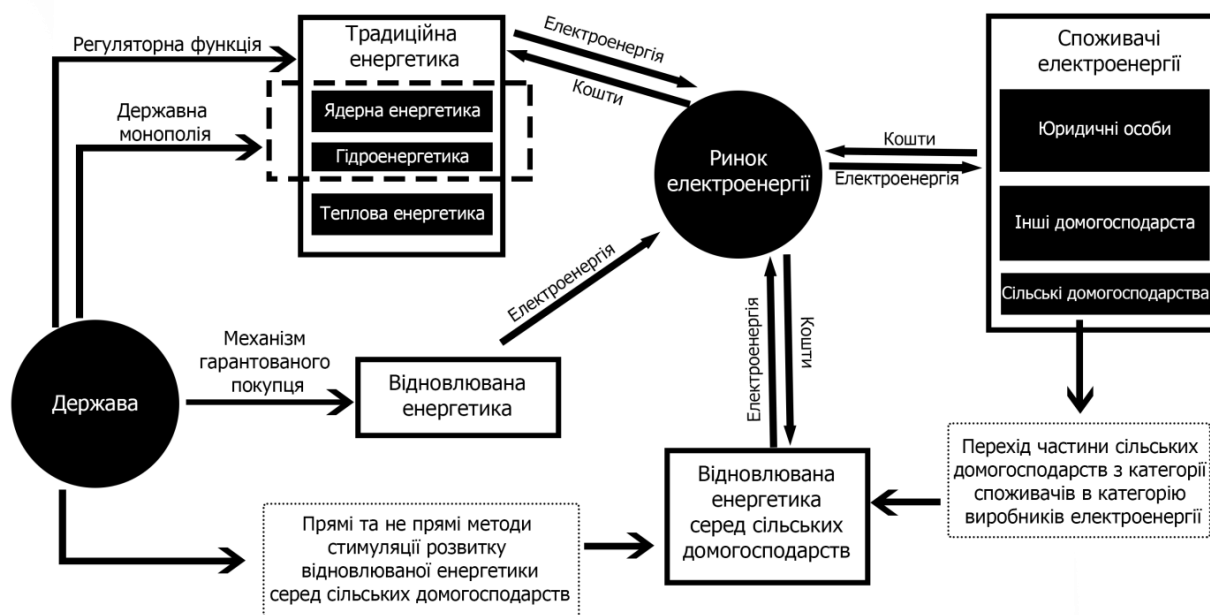


Рис. 1.17. Структурні елементи стратегії формування конкурентного ринку електроенергії України шляхом державного стимулювання розвитку відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств\*

Примітка. \*Складено автором на основі [40, 98]

Як відомо, на даний момент ринок електроенергії в Україні можна характеризувати, як олігопольний. Половина загальний виробничих потужностей перебувають у повній власності держави (ядерна та гідро енергетика), інша половина виробничих потужностей (тепла енергетика) перебувають у власності

дуже обмеженої кількості юридичних осіб, кінцевими бенефіціарними власниками яких являється ще менша кількість фізичних осіб.

Крім того, що держава володіє значними виробничими потужностями, вона здійснює функцію регулятора, під контроль якого підпадає і теплоенергетика. Відновлювана енергетика на даний момент перебуває, також, в великій залежності від держави, оскільки функціонує в межах механізму гарантованого покупця, при якому держава бере на себе обов'язок придбання надлишків виробленої електроенергії з відновлюваних джерел за зеленим тарифом.

Потенційно, держава може прямими та не прямими методами стимулювати розвиток відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств, які складають досить значну частку населення України. В результаті чого відбудеться перехід частини сільських домогосподарств з категорії споживачів в категорію виробників електроенергії, що можуть реалізовувати власний профіцит виробництва електроенергії на ринку за ринковими цінами, цим самим збільшуючи рівень конкуренції вітчизняного ринку електроенергії.

## **Висновки до розділу 1**

Було розглянуто основні складові енергетичного ринку України, який представлений, як ринками первинної енергії (ринок природного газу, ринок нафто продуктів), так і ринками вторинної енергії (ринок електроенергії, ринок теплової енергії). Головною класифікаційною ознакою, будь-якого, типу енергетичного ринку являється ступінь його лібералізації в результаті чого енергетичні ринки поділяються на регульовані та нерегульовані, при цьому економічно розвинуті країни світу мають саме нерегульовані енергетичні ринки. Ціна на таких ринках відбувається ринковим шляхом, на базі існуючого попиту та пропозиції енергії, а не шляхом встановлення єдиних тарифів з боку національної комісії. Окремо, необхідно підкреслити, що наявність повноцінних ринкових умов на енергетичних ринках розвинутих країн світу призводить до

якісних змін самої структури енергетичного ринку, за рахунок стимуляції розвитку новітніх технологій, які в подальшому призводять до підвищення рівня енергетичної ефективності.

Переваги нерегульованих енергетичних ринків над регульованими також проявляються у випадку настання негативних зовнішніх факторів, таких як енергетичні кризи, викликані значним фізичним скороченням обсягу постачання енергії на ринок. В короткостроковій перспективі це призводить до значного скорочення обсягу споживання енергії та великого росту цін, в результаті чого загальні витрати споживача на енергетичне споживання значно збільшуються, навіть не дивлячись на те, що загальне енергоспоживання зменшилось. Проте в довгостроковій перспективі споживач починає адаптуватись до фізичної нестачі енергетичного ресурсу та високої ціни існуючих на ринках обсягах енергії за рахунок підвищення енергоефективності. Тим часом, високі ціни енергетичних ресурсів стимулюють постачальників знаходити шляхи нарощування постачання енергії з метою максимізації власних прибутків, що може включати пошук нових місць залягань енергетичних ресурсів. Комбінація адаптації попиту та пропозиції до фізичного скорочення постачання енергії на ринок в результаті енергетичної кризи приводить ринок до нової точки рівноваги.

Відповідно до структури енергетичного балансу України, основними джерелами задоволення енергетичних потреб серед домогосподарств являється природний газ, електроенергія та теплоенергія, при чому серед сільських домогосподарств це тільки природний газ та електроенергія. За часів перебування України в складі радянського союзу ринку електроенергії, як такого не було, він був повністю під контролем держави, яка визначала обсяги виробництва електроенергії і її ціну для підприємств та домогосподарств. Після розпаду радянського союзу Україна успадкувала як виробничі потужності та систему електропостачання так і систему контролю за ринком електроенергії.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ

### ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ

#### **2.1. Порівняльний аналіз сучасного стану енергетичного сектору України та світу**

Летаргічний сон у якому знаходилось українське суспільство протягом значної частини часу, а саме з отримання незалежності в 1991 році - більш ніж четверть століття власної незалежності призвів до досить очікуваних наслідків. Держава опинилась в важкому економічному стані але, при цьому, найбільш критична ситуація склалась саме у енергетичному секторі. Увесь даний час відбувалась запекла боротьба між «економічно адміністративними групами» з метою повного розподілу економічних та виробничих ресурсів, що залишались в Україні з часів радянського союзу. При цьому більшість населення перебувала у полоні уявлень про те, що різного роду суспільні блага, що гарантовані ще із часів соціалізму та були збережені у діючій конституції необхідні надаватись державою. Отримавши впадок від колишнього радянського союзу економіку, яка спрямована на всебічну підтримку і розвиток оборонної галузі (металургія, енергетика та машинобудування), нові власники швидкими темпами переорієнтували металургію на постачання напівфабрикатів в вигляді експорту. Насправді, це давало достатньо тривалий поштовх вітчизняній економіці, однак такий розвиток економіки закінчився із наступом глобальної економічної кризи 2008 та 2009 років.

Відкрита і не диверсифікована економіка України показала на той час себе слабкою ланкою світової економіки, що в результаті призвело до другого за відносним значенням рівня падіння ВВП серед світових економік [57]. Цьому сприяла, безпосередньо, пануюча на той час у керівництві країни і провідних

наукових і навчальних закладах так звана концепція ендogenous розвитку, при цьому як і зазначалось держава мала досить відкриту та не диверсифіковану економіку, в значній мірі нерозвинутий фінансовий сектор та надзвичайно неефективне керівництво на всіх рівнях влади.

Після закінчення кризи, світова економіка почала розвиватися із темпами 3% та 4%, але у швидкому мінливому світі, основні джерела доходу України, які досить добре працювали в докризисні часи уже були мало ефективними. Слід зазначити, що всі періоди після кризи 2008 року були досить сприятливими для експорту вітчизняної електроенергії.

Проте наявність надлишків електроенергії свідчило не про ефективний стан вітчизняної енергетики, а більше про кризовий стан х галузей економіки України, що були основними споживача електроенергії. Загалом, вважається, що рівень розвитку енергетики в значній мірі визначає рівень розвитку національної економіки, проте відношення удільного ВВП (валовий внутрішній продукт на одну особу) і удільного енергоспоживання (на одну особу) в Україні був вдвічі менш ніж середньо світовий показник [63]. Таким чином на перший погляд здається, що наявний енергетичний комплекс має потенціал забезпечити двократне збільшення зростання валового внутрішнього продукту, а саме за рахунок збільшення енергоефективності лівової частки секторів економіки.

Останні десятиріччя енергетичні сектори економічно розвинутих країн знаходяться в періоді стрімкої трансформації, що обумовлено зміною суспільної думки про основні життєві пріоритети переважної частини суспільства. Це в першу чергу зростання рівня вимог суспільних стосовно стану довкілля [121]. В результаті цього відбувається значна перебудова глобальної енергетики на користь генерацій, яка не погіршує стан довкілля і не базується в значній мірі на використанні викопних енергоресурсів (вугілля, нафти, природного газу, урану та інших первинних викопних енергоресурсів) [69;96;101;113].

У той самий час енергетика України перебуває у стані, яким характеризується економіка Європи та Північної Америки другої половини 20 сторіччя, де значна частка споживання забезпечувалась теплоенергетикою, а поряд з цим в певних країнах досить успішно розвивалась новий тип енергетики, а саме – ядерна енергетика. Розвиток ядерної енергетики протягом того періоду часу був значно пов'язаний із існуючою на той момент напруженою в відношенні між двома країнами США та радянським союзом, що відображалось в розробці потужних ядерних озброєнь. Саме тому, світові лідери у галузі ядерного озброєння США та СРСР були лідерами у розвитку ядерної енергетики, що крім виробництва електроенергії являлось основним виробником сировини для подальшого виробництва ядерної зброї. В результаті недосконалості обладнання протягом 20 сторіччя відбувалась значна кількість аварій на об'єктах ядерної енергетики, проте значні катастрофи відбулись під кінець 20 сторіччя [178]. З часом технології та обладнання на об'єктах ядерної енергетики поступово покращувалися, а відповідно показник кількості аварій зменшувався, однак в силу зростання ступеня зносу обладнання реакторів, які постійно перебувають в стадії експлуатування - ризики їх подальшого використання постійно зростають [127].

Суттєва зміна відношення щодо потенційних перспектив ядерної енергетики у економічно розвинутих країнах світу [127;113] і суттєве зменшення ядерних програм країнами, які економічно розвиваються повинно беззаперечно вплинути на перегляд перспектив ядерної енергетики в Україні. Ці питання детально описані у Енергетичній стратегії України до 2035 року [21]. Крім ядерної енергетики у Енергетичній стратегії України до 2035 року великі надії покладались на біоенергетику, яка в теорії повинна забезпечити генерування енергії у розмірі 11 млн. т. нафтового еквіваленту, у той самий час коли сонячна та вітрова енергетика разом в розмірі 10 млн. т. [22]. Головним важелем, який повинен був сприяти реалізації даних значних планів, до початку повномасштабної

війни, на думку розробників програми повинен був стати «Зелений тариф», структура якого і механізм дії якого значно відрізняється від аналогічних тарифів країн ЄС [59;69].

Слід зазначити, що окрім Енергетичної стратегії 2035 наявний також й варіант розвитку національної енергетики, що був створений Інститутом загальної енергетики НАН України, у якому вважається розвиток відновлюваної енергетики взагалі не доцільним (прогнозувалось, що внесок відновлюваної енергетики у енергетичний баланс до 2035 році повинен існувати рівні декількох відсотків [32]). В будь-якому випадку, недоліком цих двох національних програм являється відсутність обґрунтованих значень оцінок інвестицій, які необхідні для досягнення запланованого рівня розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Також являється не достатньо обґрунтованим питання взаємозалежності темпів економічного розвитку та енергетичного сектору [11]. Також у програмі інституту загальної енергетики відступні будь-які оцінки екстернальних ефектів, що створює енергетичний сектор як для суспільства так й для інших галузей економіки. Жодна із представлених національних програм не аналізує питання реального стану трьох основних енергетичних секторів вітчизняної енергетики, а саме: ядерної енергетики, теплоенергетики і гідроенергетики. У випадку не проведення аналізу та оцінки їх технологічного стану відбувається винесення з поля зору можливості виникнення стохастичних екстерналій – тобто різноманітних техногенних катастроф, які відповідно до існуючої світової статистики повинні розглядатись при експлуатації об'єктів ядерної енергетики [178].

Стан головних складових енергетичного сектору вітчизняної економіки почнемо із аналізу найменш значимого - гідроенергетики. Відповідно до вітчизняної статистики гідроенергетика відноситься до самої старшої галузі з усіх наявних енергетичних галузей в Україні. В певних випадках деякі науковці відносять гідроенергетику до категорії відновлювальної енергетики. Якщо

застосовувати цей принцип для економіки України то така статистична класифікації гідроенергетики значно збільшує частку відновлювальної енергетики у загальному енергоспоживанні держави. Для України використання такого підходу повністю неприпустимо, у першу чергу, тому що безпосередньо створення вітчизняної гідроенергетики уже завдало суттєво екологічної, соціальної, економічної, а також історичної та культурологічної шкоди, що як наслідок значно мінливих зовнішніх факторів (клімат, торгівельна діяльність, та різного роду зовнішні загрози) зростає із кожним роком [60]. Для кращої ілюстрації даного твердження розглянемо кількісні значення оцінки площ, які використовуються в процесі виробництва електроенергії у обсязі 1 Твт. год. на рік (1 млрд. Квт.год на рік). Значення середнього світового показника складає 54 квадратних кілометри на одну вироблену 1 Твт. год. на рік електроенергії (рис. 2.1) проте для України даний показник в 17 разів більший. При цьому слід зазначити, що це відбувається за рахунок родючої землі, що може використовуватися для виробництва аграрної продукції вартістю, яка значно перевищує вартість генерованої електроенергії, яка виробляється на ГЕС.

Слід підкреслити, що з точки зору використання земельних площ - найменш ефективною являється біоенергетика, проте в реаліях рівня ефективності використання гідроенергетики України за допомогою використання біоенергетики з площ водосховищ можна виробити на 66% більше електроенергії аніж генерують вітчизняні ГЕС. Крім цього, використання каскаду дніпровських водосховищ генерує інші економічні збитки, тобто не тільки збитки від не ефективного використання затоплених площ, але й збитки від, майже, повного не використання річного судноплавства.

Враховуючи той факт, що аграрний сектор України має значну експортну спрямованість і в значній мірі весь шлях доставки вітчизняної аграрної продукції до кінцевого споживача має форму морського шляху, в той самий час транспортування до українських чорноморських портів відбувається залізничним



чи автомобільним транспортом. Подібна ситуація виникає в результаті існуючих непомірних тарифів, які встановлені керівництвом гідроелектростанцій на проходження шлюзів гребель існуючих водосховищ. Проведемо оцінку щорічних суспільних втрат, в результаті невикористання Дніпра як одної з основних транспортних артерії.

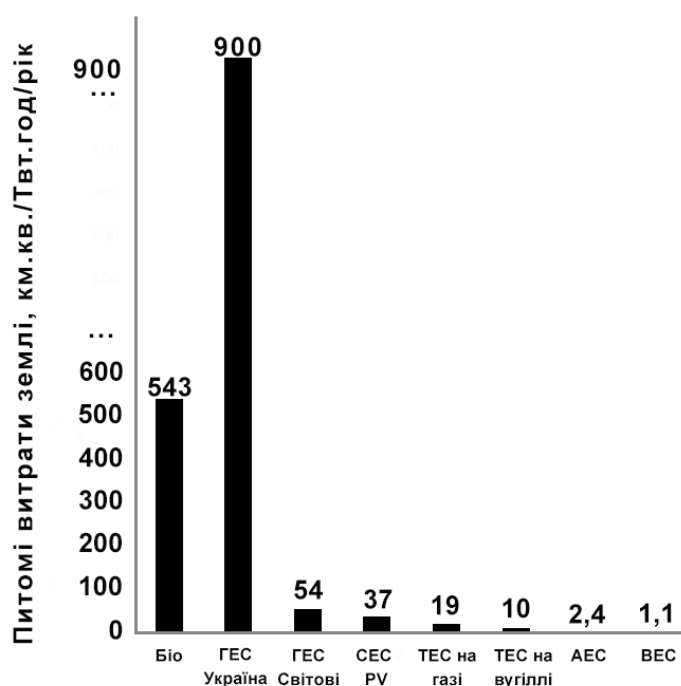


Рис. 2.1. Площа, яка використовується для генерації 1Твт.год/рік електроенергії різними видами генерації\*

Примітка. \* Джерело: [56, 57, 60, 91]

Задля визначення втрат використаємо модель наближення центру тяжіння, яка використовується в класичній фізиці. Для цього розрахуємо центр тяжіння виробництва продукції рослинництва, а саме зернових на базі даних 2018 року. Частка виробництва у кожній із областей являється аналогом ваги, у якості координати приймається саме координата обласного центру. Координати центру ваги з виробництва зернових являються зваженими відносно ваг обласного виробництва, а саме координат обласних центрів.

У результаті отримаємо оцінку координат центру виробництва зернових культур в Україні: широта становить  $\varphi = 49^{\circ}12'$  пн.ш. та довгота  $\theta = 31^{\circ}36'$  сх.д., таким чином можна говорити, що центр виробництва зернових в Україні розташовано на відстані в 40 км в південно-східному напрямку від Черкас. При цьому Одесу із координатами  $\varphi = 46^{\circ}28'$ ;  $\theta = 30^{\circ}44'$  можна вважати кінцевим пунктом призначення, відстань до якого становить 311 км. Також потрібно враховувати, що річковий маршрут зернових Дніпром на 50% довше ніж автомобільний, а середній обсяг експорту зернових за 2017-2018 роки складав близько 41 млн. т.. Також врахуємо оцінку вартості перевезення однієї тони вантажу на відстань в 100 км: річним транспортном – це \$4,5; залізничним транспортом – це \$7,8; автомобільним транспортом – це \$11,2 [61]. Враховуючи при цьому, що аграрна продукція кожного року перевозиться автомобільним та залізничним транспортом, щорічні збитки можуть існувати на рівні:

$$\Delta C = 41 * 10^6 * 3,11 * (11,2 - 1,5 * 4,5) \approx 550 * 10^6 USD \quad (2.1)$$

Звичайно, така оцінка не являється точною: якщо при цьому вважати, що обсяг експорту, показник тривалості маршруту і оцінка витрат на один кілометр мають десяти відсоткову відносну похибку. При добутку даних величин, їх похибки додаються, в результаті відносна похибка втрат складає 30% або ж 165 млн. доларів США. Але, навіть, з врахуванням похибки розрахунку економічні збитки від не використання судноплавства річкою Дніпро в цілях транспортування зернових від місця їх виробництва до портів Чорного моря щороку можуть складати від 400 до 700 млн. доларів США.

Окрім вказаних економічних збитків каскад Дніпровських ГЕС генерує додаткові ризики виникнення значних техногенних катастроф, зокрема штучного цунамі, що може виникнути в разі порушення греблі. Якщо використовувати світову статистику, при якій ймовірність порушення гребель водосховища складає 0,01% протягом одного року для будь-якої греблі – отримаємо очікувані

річні збитки для міста Київ на п'яти відсотковому рівні значимості в розмірі 51 млн. доларів США. Проте якщо врахувати сучасний стан національної безпеки, коли держава перебуває в стані повномасштабної війни з РФ – дана ймовірність являється суттєво більшою.

Якщо розглядати гідроелектростанції на річці Дніпро з позиції згладжування нерівномірності енергоспоживання то можна говорити, що в будь-якому випадку перспективи переходу на відновлювану енергетику потребують вирішення даного питання на принципово новому та якісному рівні. Саме розвиток відновлювальної енергетики являється одним з основних факторів еволюції технологій збереження енергії, які довели свою ефективність у південній Австралії (вітрова ферма загальною потужністю в 325 МВт була збудована уже з акумуляторами, що можуть вміщувати до 100 МВт.год енергії [92]).

Не можна оминути і вплив кліматичних змін та їх впливу на гідроенергетику в Україні, так за рахунок глобального потепління відбувається значне погіршення якості води в річці Дніпро, цвітіння якої протягом останніх років починається суттєво раніше ніж у минулі історичні періоди, тим самим спростовується одна із другорядних причин створення ГЕС, а саме існування значних резервуарів води для різних типів споживання. Стосовно екологічних втрат, то це у першу чергу додаткові втрати для очищення води і її споживання мешканцями прибережних регіонів і суттєві втрати рекреаційного потенціалу узбережжя Дніпра внаслідок його цвітіння.

При аналізі питання потенційного демонтажу каскаду дніпровських ГЕС перш за все потрібно розглядати фінансові можливості держави. Звичайно, дефіцит в державному бюджеті не може профінансувати такий значний проект. Проте можна висунути гіпотезу, що після повноцінної реалізації ринку землі Україна отримає необхідні фінансові засоби, що необхідні для початку реалізації даного проекту. До прикладу, площа київського водосховища становить 880

квадратних кілометрів (88 тис. га). При ціні в 1 000 доларів США за один гектар можна отримати фінансовий ресурс в розмірі 88 млн. доларів США.

Одним з ключових енергетичних ринків України являється ринок електроенергії, одну з головних ролей на якому відіграє ядерна енергетика. Загальна номінальна потужність працюючих 15 реакторів становить 13 ГВт ( $1\text{Гвт} = 10^9\text{Вт}$ ). Всіма ядерними електростанціями в Україні керує державна компанія Енергоатом. Стосовно типів реакторів то, як відомо, всі вони були вироблені в радянському союзі, що досить довгий час створювало суттєві складнощі в отриманні повноцінної енергетичної і економічної незалежності відповідно до цілей, які були проголошених у Енергетичній стратегії. Європейський банк реконструкції та розвитку та ЄС уже профінансували на мільярди доларів США програми із підвищення рівня безпеки вітчизняної ядерної енергетики, особливо реакторів найстаршого зразку VVER-440/V, що уже досить давно були виведені із експлуатації в країнах Східної Європи. На даний час в Україні уже зупинені реактори RBMK, які використовувались на Чорнобильській АЕС. Усі реактори даноготипу, які діяли на території ЄС були, також, зупинені. Проте вони продовжують далі працювати в рф біля державних кордонів України (4 реактори RBMK-1000 в курській області рф, та ще 4 реактори RBMK-1000 в смоленській області рф).

Стосовно реального генерації електроенергії ядерною енергетикою в Україні то вона не така стабільна, як номінальні потужності реакторів після 2005 року (рис. 2.2). Зокрема, електроенергія, яка вироблена українською ядерною енергетикою в 2015 році складала 87 ТВт.год. (як відомо  $1\text{Твт.год} = 1\text{млрд. кВт.год}$ ), це відповідає реальній потужності у 10 ГВт. Таким чином для ядерної енергетика України її коефіцієнт використання проектної потужності складає всього 76%. Для прикладу гідроенергетика у тому ж році згенерувала лише 7 ТВт.год. що відповідає реальній потужності в 0,8 Гвт. Цікаво підкреслити, що номінальна потужність каскаду Дніпровських ГЕС складає загалом близько 4

ГВт. Таким чином об'єкти генерації енергії на річці Дніпро працюють лише на 20% від встановленої номінальної потужності [59].

Крім цього значну увагу привертає час, протягом якого експлуатувались ядерні реактори в Україні - абсолютна більшість ядерних реакторів відпрацювала більше ніж 25 років (табл. 2.1) – звідси можна стверджувати, що ймовірність незапланованих їх зупинок зростає, а коефіцієнт використання проектної потужності зменшується. Окремо потрібно зазначити, що з початком повномасштабної війни РФ проти України, одну з найбільших ядерних електростанцій в Європі, а саме запорізьку АЕС було тимчасово окуповано окупаційними військами РФ, що значно збільшує ризик повторення чорнобильського сценарію, але потенційно в більших масштабах.

На наведеному нижче графіку приведено прогнозну динаміку кількості працюючих ядерних реакторів в Україні при відсутності введення у використання нових реакторів.

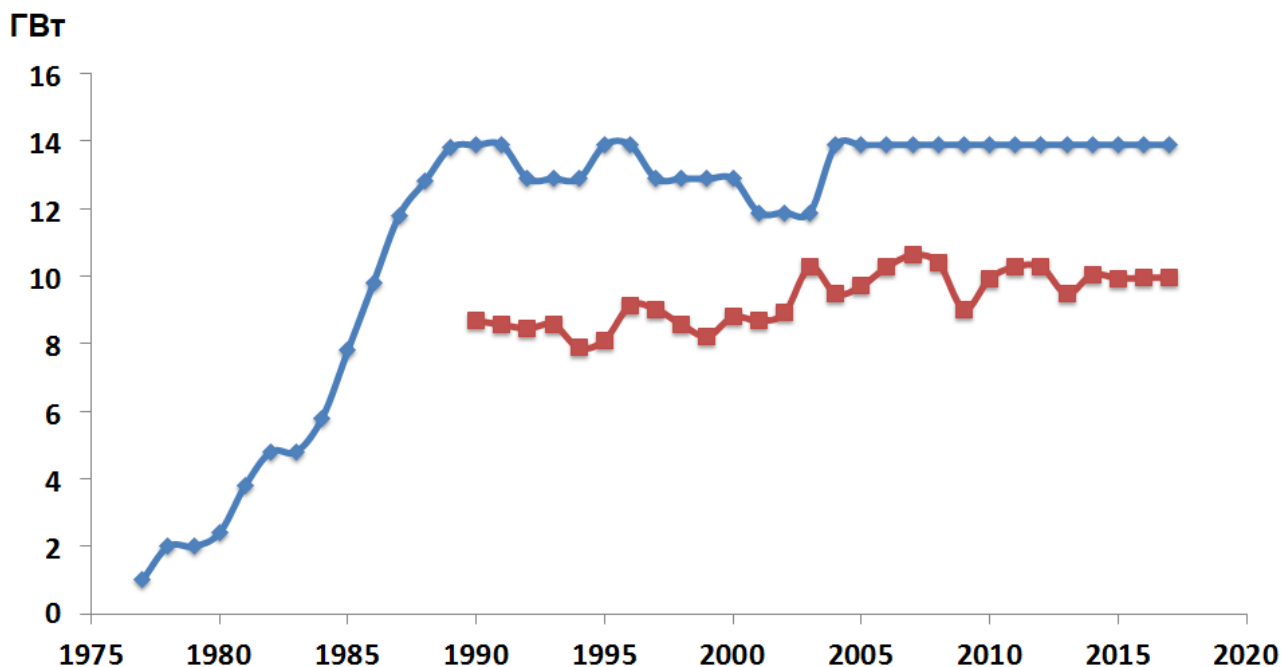


Рис. 2.2. Динаміка проектної (верхня крива) та фактичної потужностей (нижня крива) ядерної енергетики в Україні\*

Примітка. \*Складено автором на основі [59]

Також підкреслити, що ядерна енергетика як стратегічна галузь вітчизняної економіки цілком перебуває під контролем держави, тому будівництво та введення в експлуатацію нових ядерних реакторів може фінансуватись лише за рахунок бюджетних коштів.

*Таблиця 2.1*

**Розподіл експлуатаційного часу ядерних реакторів  
в Україні станом на 2020 рік \***

Вік електростанції, роки	0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40
Кількість реакторів	0	0	2	0	1	4	6	2

Примітка. \*Складено автором на основі [59]

Термін планового використання реакторів типу ВВЕР-1000 становить 30 років. Допускається можливе продовження його використання до 50 років при умові проведення відповідних модернізацій [126]. На приведеному нижче графіку наведено поступове зменшення діючих ядерних реакторів та їх сумарної потужності в Україні.

Ставлення всієї світової спільноти до, так званого, «мирного атому» істотно змінилась протягом останніх десятиліть [3;7]. Треба зазначити, що поняття мирного атому не являється повністю коректним, оскільки використане паливо для ядерної енергетики в подальшому може також використовуватись для виробництва ядерної зброї. Саме цим фактом можна пояснити стурбованість світової спільноти стадією розробки ядерної енергетики у таких країнах, як: Північна Корея або Іран. Одним з перших сигналів відносно суттєвої зміни відношення до ядерної енергетики подала Німеччина, вона задекларувала курс на повну відмову від ядерної енергетики [114]. Аналогічні рішення оголосила і Швейцарія. Плани щодо поступового скорочення власних програми розвитку

ядерної енергетики оголосили в КНР і Франції. Можна висунути гіпотезу, що подібні дії пов'язані із переосмисленням всіх ризиків, які приховує в собі ядерна енергетика. Офіційна оцінка ймовірності розгерметизації реактору, яка використовувалася у ядерній енергетиці колишнього радянського союзу вважалась, майже, нульовою. Але існуюча на даний момент інформація відносно числа діючих реакторів і терміну їх експлуатації дає змогу зробити оцінку такої ймовірності на базі існуючих даних.

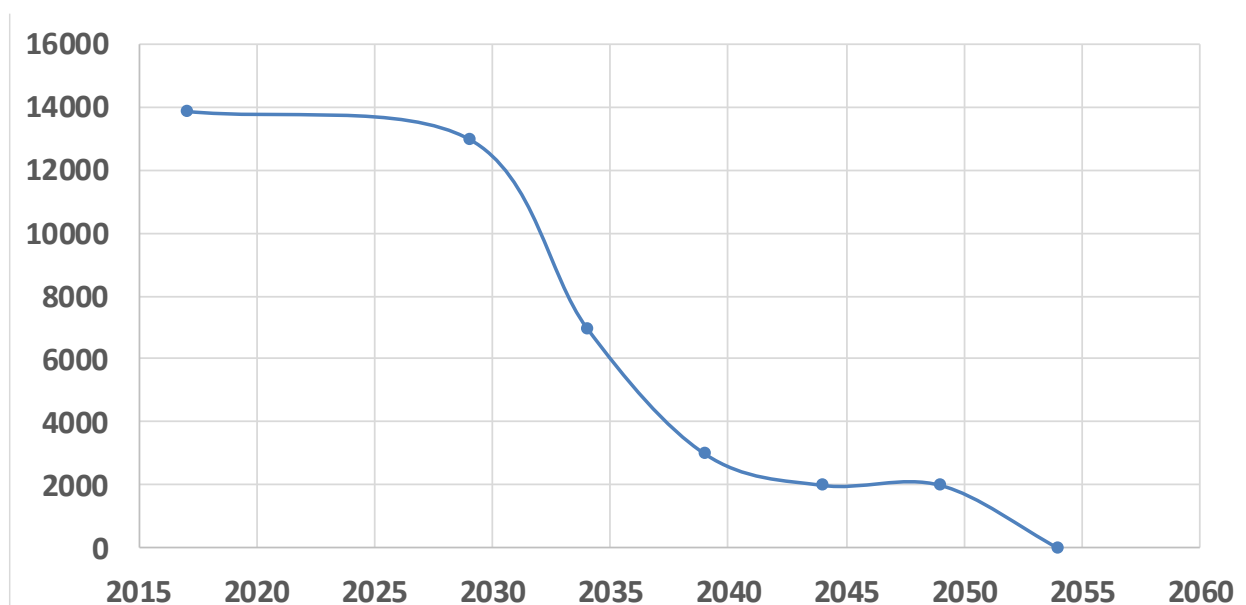


Рис. 2.3. Сумарна потужність ядерних реакторів в Україні (ГВт) за умови 50 річного терміну їх експлуатації\*

Примітка. \*Складено автором на основі [59]

З самого початку використання першої ядерної електростанції загальна кількість працюючих реакторів змінювалась кожного року, якщо підбити підсумок кількості діючих реакторів, що зважені за роками їх експлуатації [127] то маємо кількість рівну, приблизно, 16 000. Таким чином можна оцінити ймовірність масштабної техногенної катастрофи на будь-якому ядерному реакторі за наступною формулою:

$$p = \frac{2}{16000} \approx 0,00012 \quad (2.2)$$

Загальна кількість ядерних реакторів в Україні становить 15 одиниць (без врахування енергоблоків Чорнобильської АЕС, але з врахуванням Запорізької АЕС). Звідси ймовірність виникнення значної техногенної катастрофи для України становить  $p = 5 \cdot 0,00012 = 0,0018$ , а це уже ймовірність події, яка може реалізуватись, і якщо врахувати, що із зносом обладнання подальша ймовірність інцидентів зростає (рис. 2.4) то дана ймовірність повинна бути ще більшою, особливо приймаючи до уваги проведення активних бойових дій поблизу найбільшої в Європі ядерної електростанції.

Таблиця 2.2.

### Найбільші катастрофи в світовій ядерній енергетиці \*

Дата	Місце розташування	Втрати, млн. USD	INES (показник впливу)	NAMS (ступені радіоактивного забруднення)
2011.03.11	Fukushima Prefecture, Japan	166 088	7	7.5
1986.04.26	Chernobyl, Ukraine	32 078	7	8.0
1995.12.08	Tsuruga, Japan	15 500	-	-
1957.09.11	Rocky Flats, USA	8 189	5	5.2
1955.03.25	Sellafield, UK	4 400	4	4.3
1977.01.01	Beloyarsk, USSR	3 500	5	-
1955.07.14	Sellafield, UK	2 900	3	-2.4
1979.03.28	Three Mile Island, Pennsylvania, USA	2 773	5	7.9
1969.10.12	Sellafield, UK	2 500	4	2.3
1957.09.29	Kyshtym, Chelyabinsk, Soviet Union	2 351	6	7.3
1985.03.09	Athens, Alabama, USA	2 114	-	-
1977.02.22	Jaslovske Bohunice, Czechoslovakia	1 964	4	-
1968.05.01	Sellafield, UK	1 900	4	4.0
1955.11.29	Idaho Falls, Idaho, United States	1 500	4	-
1971.03.19	Sellafield, UK	1 330	3	3.2

Примітка. \*Складено автором на основі [58,178]

На даний час ситуація у ядерній енергетиці привертає до себе пильну увагу різних вчених. Багато науковців в своїх працях проаналізували послідовність аварій, які відбуваються у ядерній енергетиці (табл. 2.2).

Використовуються три можливі шкали, а саме: міжнародна шкала ядерних подій (або ж так званий інтегрований показник впливу INES), магнітудна шкала



рівня ядерного інциденту, яка базується на ступені радіоактивного забруднення (NUMS) і, також, доларова шкала оцінка економічних втрат в якій розглядаються випадки втрат, які перевищують значення в 20 млн. доларів США [178].

Після проведеного детального аналізу багато вчених прийшли до висновку, що катастрофа, яка трапилась на Фукусімі може трапитись із ймовірністю більш ніж 50% у найближчі 50 років, а катастрофа подібна Чорнобильській з такою ж ймовірністю у найближчі 27 років [178].

Більша частота катастроф, які подібні Чорнобильській пояснюються тим, що у наведених оцінках збитки для Чорнобильської катастрофи менші, ніж для Фукусіми тоді як магнітудна шкала оцінювання (тобто радіоактивне забруднення) надає інший результат. Пояснення даного факту надзвичайно просте, так наприклад, біля Фукусіми були зосереджені набагато більші матеріальні цінності аніж серед околиць Чорнобиля. Потрібно підкреслити, що за рівнем радіоактивного забруднення (NUMS) Чорнобильська катастрофа значно перевершила катастрофу Фукусіми.

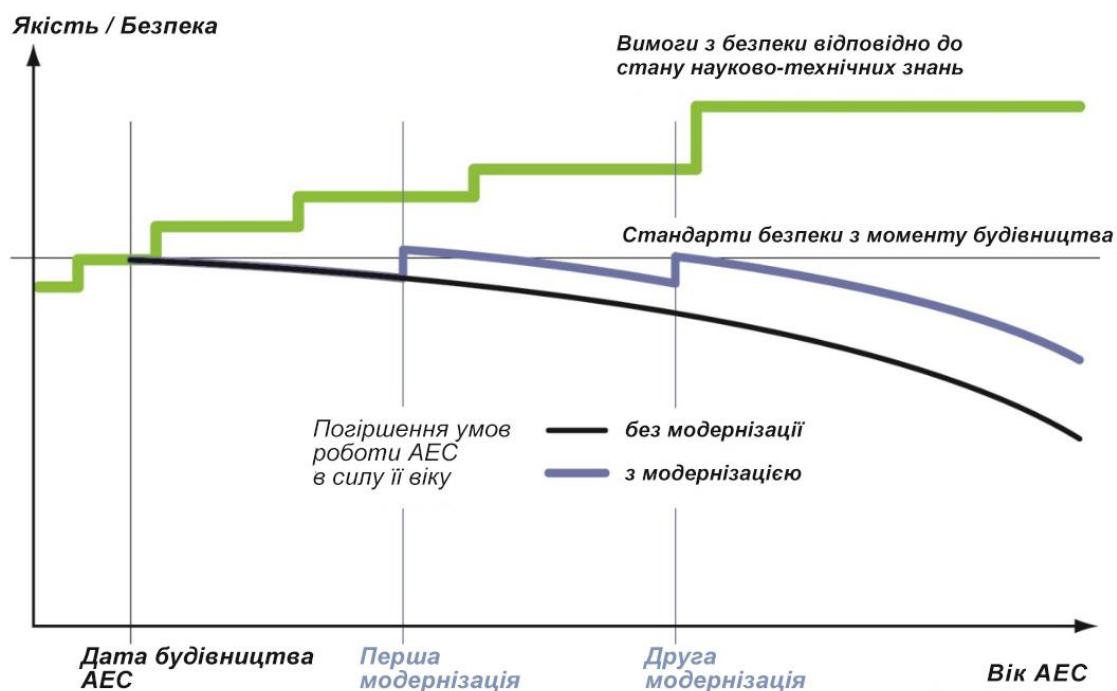


Рис. 2.4. Ризики старіння АЕС\*

Примітка. \*Джерело: [127]

Модернізація обладнання ядерної енергетики в Україні, що відбувається в основному за рахунок фінансування ЄС в процесі свого старіння впливає позитивно на ступінь ризику використання ядерної енергетики (зменшує ймовірність техногенної катастрофи), проте зростання ризиків в процесі старіння ядерних електростанцій в Україні неминуче. Крива повторюваності аварій на об'єктах світової ядерної енергетики представлено на наступному рисунку.

Для моделювання статистичних даних використовувався відомий розподіл Парето, крім цього для його застосування попередньо довелось весь ряд спостережень розбити на два інтервали: часовий ряд до Чорнобильської ядерної катастрофи та часовий ряд після Чорнобильської катастрофи.

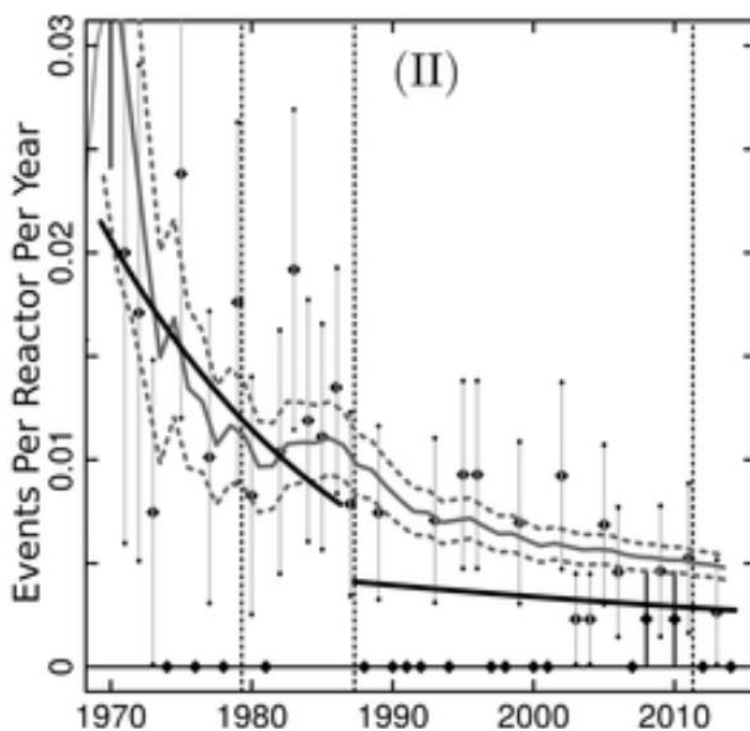


Рис. 2.5. Крива повторюваності інцидентів серед ядерних об'єктах світу з 1970 до 2014 року

Примітка. \*Джерело: [178, 41]

Стосовно ядерної енергетики в Україні то потрібно, також, враховувати наступні положення:

1) Підтримка в безпечному і діючому стані обсяги генерації електроенергії на рівні в 9-10 ГВт можливо, в основному, за рахунок фінансової та технічної допомоги Європейського союзу. Саме для ЄС це певного роду страховий внесок для мінімізації ймовірності повторення техногенної катастрофи, яка подібна Чорнобильській.

2) Існування ядерної енергетики, як одної з ключових енергетичних галузей економіки України за рахунок підтримки з боку іноземних економічних партнерів суперечить основним положенням енергетичної незалежності України. Навіть не дивлячись на те, що після початку повномасштабної війни РФ проти України - Європейський Союз для забезпечення власної енергетичної безпеки та мінімізації наслідків енергетичної кризи був змушений частково рухатись вектором нарощування використання ядерних електростанцій існує велика ймовірність, що після адаптації енергетичного ринку ЄС знову повернеться на курс мінімізації використання ядерної енергетики на своїй території. Такий розвиток подій може безпосередньо вплинути на обсяги фінансової та технічної допомоги з боку ЄС Україні в сфері ядерної енергетики, що змусить Україну або продовжити фінансування модернізації ядерної енергетики повністю за власний рахунок або взяти курс на поступове відмовлення від ядерної енергетики по мірі того, як кожний наявних реакторів буде досягати максимально допустимого терміну власного використання.

3) При оцінці ризиків використання в подальшому ядерної енергетики також повинні враховуватись стохастичні екстерналії, які виникають при її використанні. Також, не слід вважати Чорнобильську катастрофу або інші катастрофи подіями, що мають мінімальну ймовірність виникнення в майбутньому. Дослідження показали, що ймовірність реалізації таких подій достатньо значна та перевищує значні оптимістичні оцінки періоду впровадження в промислове використання ядерної енергетики.

Окрему значну роль в енергетичному секторі України відіграла теплоенергетика, яка до початку повномасштабної війни РФ проти України генерувала до 50% всієї електроенергії, що споживалась в Україні. Із 15 ТЕС – абсолютна більшість (14 ТЕС) мають термін експлуатації, який перевищує позначку в 40 років. При чому в деяких ТЕС термін експлуатації перевищує навіть 50 років, тоді як, за стандартами економічно розвинтих країн, плановий термін експлуатації основного елементу теплоелектростанцій (котлів) не повинен перевищувати 40 років [39,71]. Звичайно, при рівні амортизації обладнання, що перевищує усі допустимі межі складно очікувати високих показників ефективності і задовільного рівня викидів у зовнішнє середовище.

На даний час сучасні ТЕС, які використовують вугілля мають показник вхідної та вихідної ефективності на рівні від 32% до 42%. Слід підкреслити, що ТЕС, які використовують газ мають відповідний показник на рівні від 50% до 60% [181]. Окрім ефективності, суттєве значення для стану навколишнього середовища становить кількість викидів, що продукує ТЕС (рис. 2.7). Для України обсяги основних викидів від енергетичного комплексу ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  та зола) у разі перевищує допустимі норми ЄС та значно перевищують найгірші показники за обсягами викидів для найбідніших країн ЄС за рівнем економічного розвитку (Болгарія, Румунія). Таким чином можна говорити про те, що з моменту отримання незалежності в 1991 року і до початку повномасштабної війни в Україні діяли надзвичайно низькі за розміром екологічне оподаткування, яке дозволяло власникам ТЕС отримувати додатковий прибуток за рахунок не використання новітніх систем очищення, що відповідно безпосередньо породжувало проблеми з рівнем забрудження навколишнього середовища.

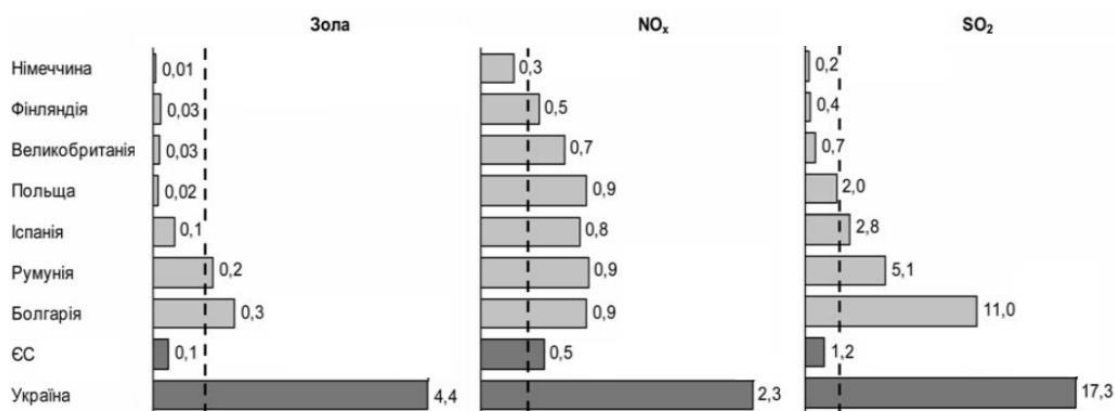


Рис. 2.7. Рівень викидів забруднюючих речовин ТЕС в Україні та деяких країнах Європи (грам на 1 кВт.год згенерованої електроенергії)\*

Примітка. \*Джерело: [8,70]

Для прикладу податкові ставки за викид однієї тони CO<sub>2</sub> складала лише 0,4 грн. [44], в той самий час, коли відповідно до статистики ЄС вважається, що викиди однієї тони CO<sub>2</sub> в середньому приносять суспільні збитки в розмірі 20 євро, при чому до 2035 року дана величина суспільних збитків збільшиться до 30 євро [91]. Загалом теплоенергетика в структурі енергетичного сектору України відрізняється від ядерної енергетики структурою власності – а саме приватною власністю окремих фізичних або юридичних осіб, що робить її інвестиційно привабливою як для внутрішніх так і зовнішніх інвесторів. До початку повномасштабної війни РФ проти України суттєве підвищення ставок на викиди шкідливих речовин могло зменшити конкурентну спроможність вже морально і технічно застарілих ТЕС та збільшити інвестиційну привабливість високоефективної, сучасної теплової енергетики в Україні за зразком країн ЄС [24]. Однак в умовах, коли міжнародні рейтингові агенства знизили кредитний рейтинг України до рівня «перед дефолтного», а країна-агресор РФ проводить терористичні ракетні обстріли об'єктів критичної інфраструктури ймовірність залучення зовнішніх інвестицій в реалізацію таких потужних проектів, як побудова новітньої теплоелектростанції існує на мінімальному рівні.

З 2012 року в Україні було обрано курс на стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, основним важелем якого обрала впровадження зеленого тарифу на купівлю надлишків виробленої енергії юридичними та фізичними особами до національної енергетичної мережі.

Існують певні відмінності в розмірах тарифів ЄС, що стимулюють розвиток вітрової енергетики, яка використовує в найменшій мірі земельний ресурс та має найбільшу ефективність використання на узбережжях. Порівнюючи зелений тариф на вітрову та сонячну енергетику стає очевидним, що вітрова енергетика має суттєво більший рівень зеленого тарифу. Можна говорити про те, що населення та уряд України робив ставку, скоріш за все, на сонячну енергетику [46].

Головна різниця, яка відрізняє Україну від ЄС в сфері стимулювання розвитку відновлюваної енергетики полягає в тому, що зелений тариф в Україні значно більший вартості електроенергії як для населення так і для юридичних осіб, в той самий час, коли розвинуті країнах ЄС мають в рази більші тарифи для населення в порівнянні з Україною. Таким чином збільшення обсягів генерації електроенергії з відновлюваних джерел буде в подальшому призводити до принципово різних наслідків в Україні і Європі. Зокрема в Україні по мірі того, як буде збільшуватись частка відновлюваної енергетики - тарифи для населення будуть зростати, при цьому в Європі буде присутній тренд до зменшення вартості електроенергії. На цей момент існують дві основні характеристики, що визначають інвестиційну привабливість проекту відновлюваної енергетики. В першу чергу це вартість потужності, що встановлюється та визначається в доларах США на один КВт та дисконтна вартість 1 КВт.год за увесь термін експлуатації (табл. 2.4).

Таблиця 2.3.

**Тарифи на споживання та зелений тариф на електроенергію  
євроцентів/кВт.год станом на початок 2019 року\***

	Населення	Промисловість	Зелений тариф		
			Сонячна енергія	Вітрова енергія	Енергія біомас
ЕС(28)	25	14	12	19	14
Данія	35	11			
Німеччина	34	18			
Болгарія	8	9			
Україна	6	8	20	13	14

Примітка. \*Складено автором на основі [96]

Розглянемо дані, які наведені в табл. 2.4, яка побудована на базі світової енергетичної статистики. Особливу увагу привертає значна різниця у оцінках встановлення потужності для традиційної енергетики та відновлювальної енергетики. Для відновлювальної енергетики встановлення потужності у 1 кВт коштує в рази менше ніж для традиційної енергетики, проте ніякої різниці на користь саме відновлювальній у вартості одної кВт.год електроенергії на інтервалі амортизації немає.

Також, необхідно враховувати, що відновлювальна енергетика на відміну від традиційної енергетики не потребує придбання первинного палива для генерації електроенергії. Причина полягає у тому, що встановлена потужність відновлюваної енергетики не відповідає усередненому на тривалому часовому інтервалі рівню потужності. Наприклад, сонячна енергія надходить тільки протягом світлої пори доби, а проміжки коли вітрова енергеія не досягає нижньої межі, яка потрібна для генерації можуть також бути значно тривалими, саме тому для вітрової енергії із 8.76 тис. річних годин на суші можна вважати діючими тільки 2 тис. годин. При цьому для узбережжя моря дана величина дещо більша

– тому не зважаючи на дещо більші витрати із встановлення, узбережжя морів загалом вважаються більш привабливими для вітрової генерації [91].

Таблиця 2.4.

**Показники ефективності використання відновлюваних джерел енергії \***

	Рік	Біоенергетика	Вітрова		Сонячна	Концентрована сонячна енергія	Ядерна та тепла енергетика
			На узбережжі	На суші			
Витрати на встановлення потужності, тис USD/кВт	2017	1,1-5,0	4,0-5,0	1,5-1,9	1,4-4,4	4,0-7,0	6,1-6,9
Ціна Електроенергії (собівартість) центів/кВт.год	2017	0,05-0,16	0,10-0,23	0,04-0,20	0,03-0,19	0,20-0,27	0,05-0,12
	2020	0,05-0,16	0,05-0,08	0,02-0,10	0,02-0,12	0,07-0,10	0,05-0,12
Генерація/Запланована генерація ТВт.год, (млн. т. н.е.)	2020	47	9				-
	2035	128	25				-
Фактичні та планові обсяги інвестувань млрд.. USD	2020	14,5	9,0				-
	2035	39,5	25,0				-

Примітка. \*Складено автором на основі [96, 126]

Таким чином можна зробити висновок, що для забезпечення, наприклад, середньої генерації протягом одного року на рівні в 1 кВт.год. – встановлені потужності відновлюваної енергетики повинні бути не менші ніж 4 кВт. Звідси, можна висунути гіпотезу, що обмеження встановленої потужності у 30 кВт для домогосподарств може значно занижувати темпи розвитку відновлювальної енергетики в Україні.

Стосовно біоенергетики то тут не потрібно вважати, що її основний енергетичний ресурс безкоштовний. Уже зрозуміло, що ресурси, які продукує аграрний сектор і які можуть використовуватись для потреб біоенергетики



недостатні для вирішення всієї сировинної проблеми біоенергетики. На даний час головним ресурсом біоенергетики вважається побічні продукти лісного господарства. До прикладу в ЄС, для їх безперебійного отримання, окремо розробляється стратегія, яка включає будівництво доріг, підготовку кваліфікованого персоналу та закупівлю спеціалізованої техніки. Таким чином, оцінки масштабів інвестувань у інфраструктуру біоенергетики Європейського союзу вимірюються в десятки мільярдів євро [59].

Окремо потрібно підкреслити, що в Україні потенційними інвесторами відновлюваної енергетики на цей час, окрім юридичних осіб, активно стають домогосподарства, які мають значний валютний інвестиційний потенціал.

Звичайно, нульову гіпотезу зростання частки відновлюваної енергетики в загальній структурі енергетичної генерації в Україні можна відхилити на досить малому рівні значимості ДОДАТОК В, проте середнє значення темпів зростання відновлюваної енергетики (0,05% на рік) дещо відставали від європейських аналогічних показників.

Таким чином можна говорити, що ще до початку повномасштабної війни РФ проти України традиційна енергетика України перебувала в досить тяжкому стані тому для збереження поточного рівня енергоспоживання в майбутньому, окрема увага уряду України повинна бути сконцентрована на створенні умов швидкого розвитку відновлюваної енергетики, як серед юридичних осіб так і серед домогосподарств, що дозволить отримати максимально диверсифіковане енергетичне виробництво і дозволить перемістити енергетичний сектор України на більш якісний та інноваційний шлях розвитку.

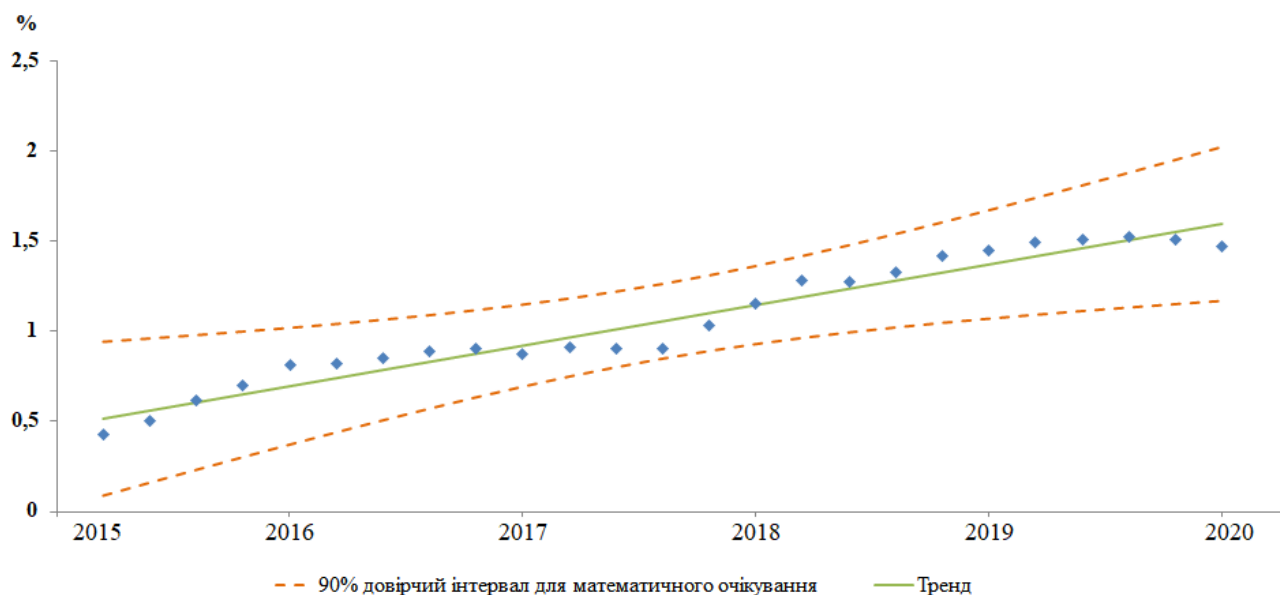


Рис. 2.8. Динаміка частки відновлюваної енергетики в структурі загального енергетичного сектору України за 2015-2020 роки\*

Примітка. \*Складено автором на основі [15]

Якщо розглядати плани, наведені в енергетичні стратегії України до 2035 року, навіть не враховуючи колосальний негативний вплив війни на економіку та енергетичний сектор України, то до 2035 року прогнозується, що всі діючі ядерні реактори будуть зупинені. При цьому теплоенергетика, ні за показником вихідної ефективності, ні за показником рівня забруднення на одиницю знегерованої енергії на даний час не відповідає ні європейським або загально світовим стандартам та потребує залучення колосальних інвестицій до приведення її до світових стандартів дотримання рівня екологічності та ефективності роботи.

Як уже зазначалось, негативний вплив гідроенергетики (затоплення родючих земель, які можуть використовуватися для виробництва аграрної продукції, незадовільний стан ререаційних зон, неможливість повноцінного використання русла річки Дніпро, як потужної транспортної артерії всієї держави) на стан української економіки має набагато більший ефект, аніж її позитивний вплив (використання водосховищ, як систем збереження згенерованої електроенергії ядерними електростанціями).

В умовах повномасштабної війни РФ проти України ймовірність залучення іноземних або внутрішніх інвестицій в українську ядерну енергетику та теплоенергетику надзвичайно мала. Проте, після закінчення війни теплоенергетика України в довготерміновій перспективі має всі шанси для залучення таких інвестицій, зокрема в рамках екологічного вектору розвитку енергетичного сектору ЄС одним з перспективних варіантів видів палива для теплової енергетики в Україні буде виступати природний газ та газ, який можна виробляти з не утилізованої частки побутових відходів.

В умовах повномасштабної війни РФ проти України досить важко робити прогноз розвиток вектору розвитку енергетичного сектору України на тривалий проміжок часу (зокрема, до 2035 року). Надзвичайно складна ситуація в енергетичному секторі, в умовах коли цільова функція уряду полягає не в збалансованому та інноваційному розвитку енергетики, а в забезпеченні рівня споживання енергетичного споживання будь-якими шляхами підводить до висновку про необхідність прийняття ряду невідкладних рішень, що у змозі, як мінімум, загальмувати негативні тенденції розвитку традиційної енергетики в Україні, а як максимум ініціювати розвиток відновлювальної енергетики. Було проаналізовано можливі варіанти прийняття рішень в сфері національної енергетики ДОДАТОК А.

Усі три галузі традиційної енергетики України, які створені були створені в часи планової економіки (ядерна, тепла та гідро енергетика) ще до початку повномасштабної війни не відповідали світовим критеріям рівня енергонезалежності, енергоефективності, нормам викидів забруднюючих докілья речовин та ймовірності техногенних катастроф.

В результаті значного відставання від проміжних цілей, заявлених в Енергетичній стратегії України, стає зрозумілим її неспроможність і декларативність відносно забезпечення темпів розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Також в діючій енергетичній стратегії, на момент її

складання, не враховувався фактичний стан традиційної енергетики України, що було додатково ускладнено повномасштабною війною РФ проти України.

Одним з варіантів покращення стану енергетичного сектору України є створення сприятливих умов для залучення інвестицій з боку домогосподарств юридичних осіб резидентів, що у випадку успішного реалізування зможе додатково залучити іноземні інвестиції. Стосовно окремих аспектів розвитку відновлюваної енергетики в Україні потрібно зазначити про необхідність відміни верхньої межі встановленої потужності для домогосподарств. В сфері теплоенергетики необхідно, в після воєнний період, значно збільшити рівень екологічного оподаткування. Також, необхідно прояснити ситуацію із ПДВ для різних типів імпортного обладнання для ТЕС, які використовують як основний тип палива природний газ, оскільки сучасні та енергоефективні ТЕС мають значні екологічні переваги в порівнянні з Українськими аналогами.

В умовах низького рівня вартості електроенергії в Україні (в порівнянні з країнами ЄС) зелений тариф, як основний стимул розвитку відновлюваної енергетики серед домогосподарств, повинен бути збережений, як обіцяно у Енергетичній стратегії України до 2035 року або повинен бути запроваджений альтернативний варіант стимулюючої розвитку відновлюваної енергетики у формі netbilling або netmetering, який дозволяє юридичним та фізичним особам продавати на ринку електроенергії надлишки згенерованої електроенергії в весняний, літній та осінній період для компенсації нестачі генерації електроенергії в зимній період.

Крім цього, слід зазначити, що в після воєнний період, величина тарифу за електроенергію буде поступово збільшуватись, як результат відновлення зруйнованих об'єктів інфраструктури після терористичних ракетних ударів РФ, що в подальшому зможе виступити окремим стимулом до значного використання відновлюваної енергетики як серед юридичних осіб так і серед домогосподарств (в основному сільських).

В період з першої збройної агресії РФ проти України в 2014 року до початку повномасштабної війни РФ проти України в 2022 році погляди різних науковців стовно забезпечення Україною повної енергетичної незалежності від імпорту ядерного палива та природного газу з РФ значно відрізнялись. Так, наприклад, науковці РФ, а також певна кількість українських вчених підтримували концепцію, що обґрунтовувала домінування російського природного газу на ринках ЄС і ядерного палива серед країн східної Європи, що використовують ядерні електростанції радянського зразка. В цей же період побутувала думка про неможливість існування глобального ринку природного газу (головним засобом транспортування природного газу на якому виступають морські танкери з транспортування природного газу в зрідженій формі), що в подальшому означало велику ймовірність залежності України від імпорту природного газу із РФ.

Однак в той самий час ряд іноземних науковців наполягали на існуванні стійкої тенденції створення світового ринку природного газу, що відбувалось за рахунок розвитку інноваційних технологій його транспортування і видобування загалом.

Той факт, що розвиток, будь-якої, національної економіки базується саме на розвитку енергетичного сектору (зокрема підвищення енергоефективності енергетичного сектору) являється досить зрозумілим фактом. За рахунок того, що кількість населення нашої планети постійно зростає – це в результаті призводить до зростання енергоспоживання. Таким чином для кращого аналізу тенденцій підвищення рівня енергоефективності доцільно використовувати поняття удільного енергоспоживання протягом одного року на одну людину (кВт.год енергії на одну людину протягом року). Відповідно до існуючих даних, в світі існує тенденція до збільшення удільного енергоспоживання (рис. 2.9).

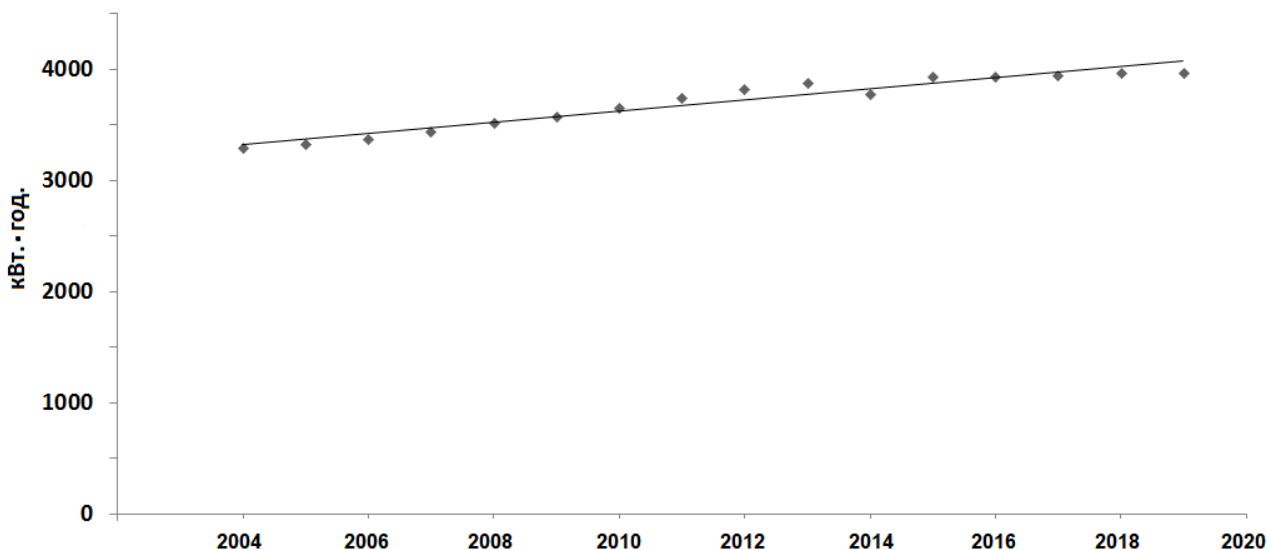


Рис.2.9. Тренд удільного споживання електроенергії на одну особу у світі\*

Примітка. \*Складено автором на основі [179]

Нульова гіпотеза стосовно щорічного показника збільшення удільного споживання електроенергії на одну особу, який складає 50 кВт.год. відхиляється на досить малому рівні значимості, а саме менше 0,001 (табл. 2.7). У 2018 році глобальний показник удільного енергоспоживання на одну особу досягнув величини у 4 тис. кВт.год. електроенергії. Розглянемо розподіл країн за рівнем удільного споживанням електроенергії на одну особу в 2019 році (рис. 2.10).

За показником удільного споживання електроенергії Україну випереджує велика кількість інших країн (Україна займає 78 позицію серед розглянутих 180 країн світу). При цьому, слід зазначити, що показник споживання електроенергії все ще не являється показником загального енергоспоживання в країні, хоча і займає суттєву частку. Середній показник відсотку споживання електроенергії у загальному споживанні енергії для країн світу складав більше 50%, тоді як для України він складає приблизно 22%.

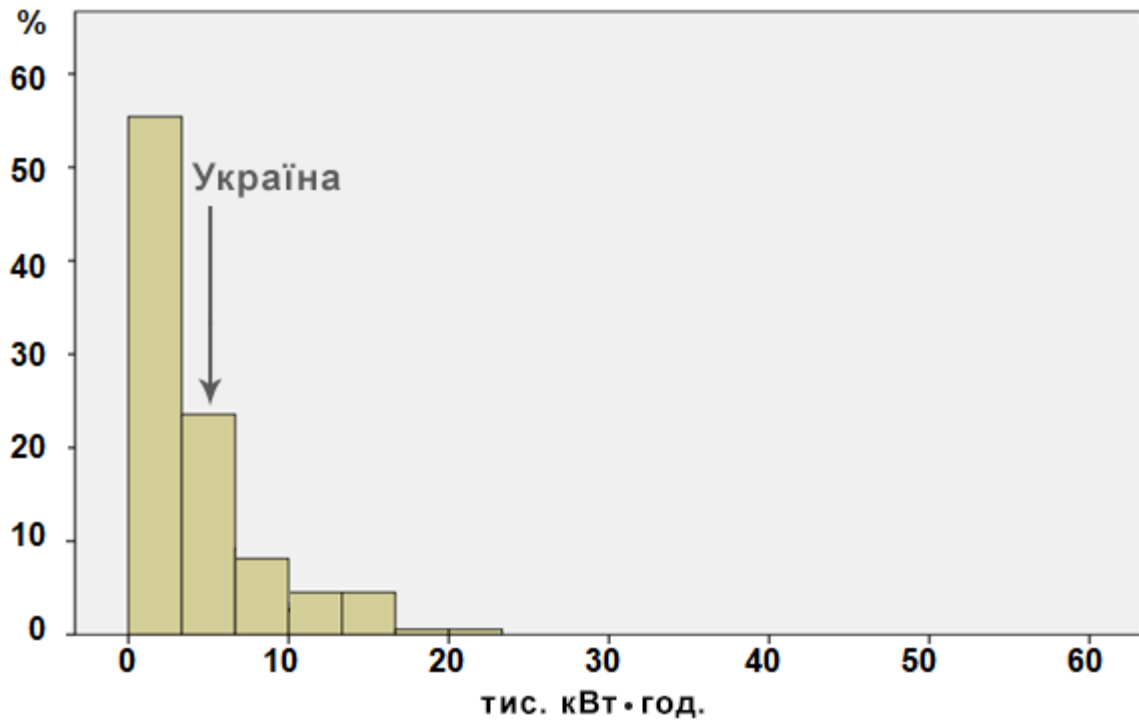


Рис. 2.10. Гістограма удільного споживання електроенергії на одну особу серед 180 країн світу \*

Примітка. \*Складено автором на основі [179]

Крім загального рівня енергетичного споживання, існують також інші фактори, що визначають рівень та темпи економічного розвитку економіки країни, зокрема, динаміку валового внутрішнього продукту. Велике значення для розвитку економіки має також фактор рівня енергоефективності споживання. Для підтвердження даної гіпотези розглянемо аналіз впливу рівня енергоспоживання на валовий внутрішній продукт. На наведеному нижче рисунку наведено гістограму розподілу 180 країн світу за рівнем валового внутрішнього продукту на одиницю населення.

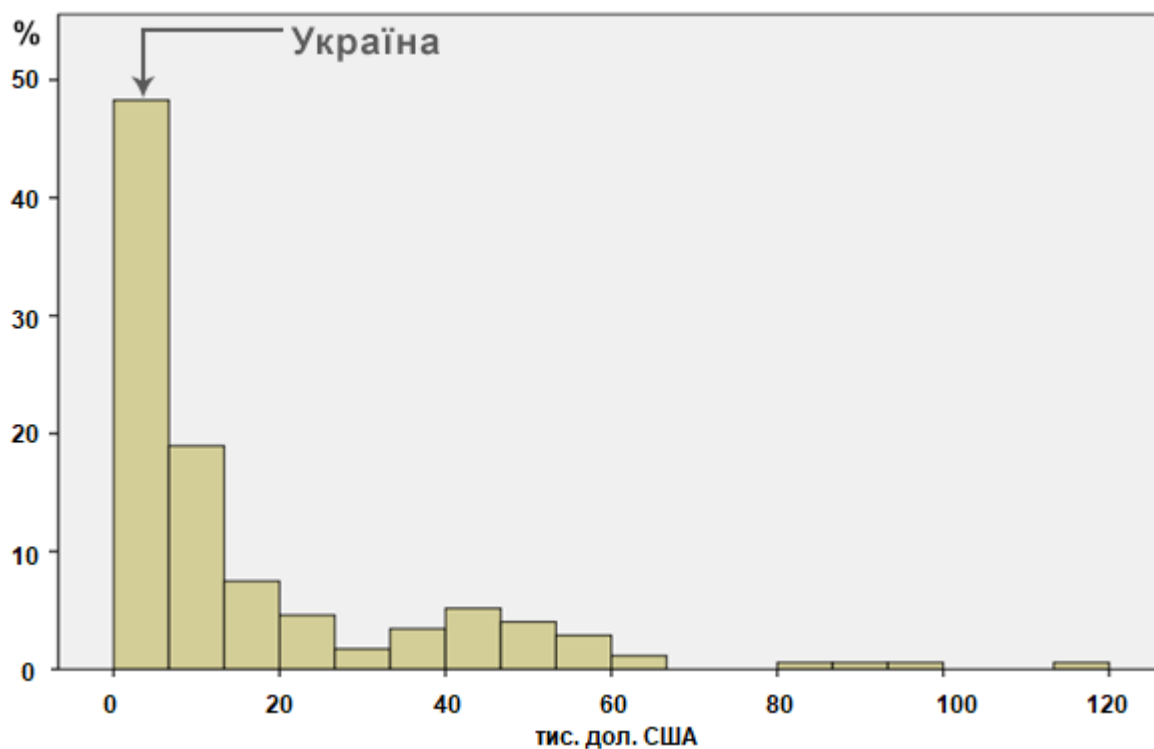


Рис. 2.11. Гістограма розподілу доходів на особу населення серед 180 країн світу\*

Примітка. \*Складено автором на основі [180]

Відповідно до валового внутрішнього продукту на особу населення, як загальновизнаного показника рівня економічного розвитку країни, Україна на момент початку повномасштабної війни РФ проти України перебувала в останньому квантилі. Окремо, потрібно підкреслити, що Україна або не змінювала свої позиції або їх поступово втрачала, що частково можна пояснити значною схильністю вітчизняної економіки до впливу негативних зовнішніх факторів, таких як світова економічна криза 2008 року, збройна агресія РФ 2014 року, глобальна ковід пандемія 2020 року і звичайно повномасштабна війна РФ проти України 2022 року.

Ще до початку повномасштабної війни РФ проти України 2022 року питання диверсифікації загального енергопостачання являлось одним з перших кроків для здобуття повноцінної незалежності нашої держави [64]. Для більш



детального аналізу взаємозалежності економічного розвитку і загально та удільного енергоспоживання розглянемо діаграму розсіювання валового внутрішнього продукту та удільного енергоспоживання серед 180 країн за 2020 рік.

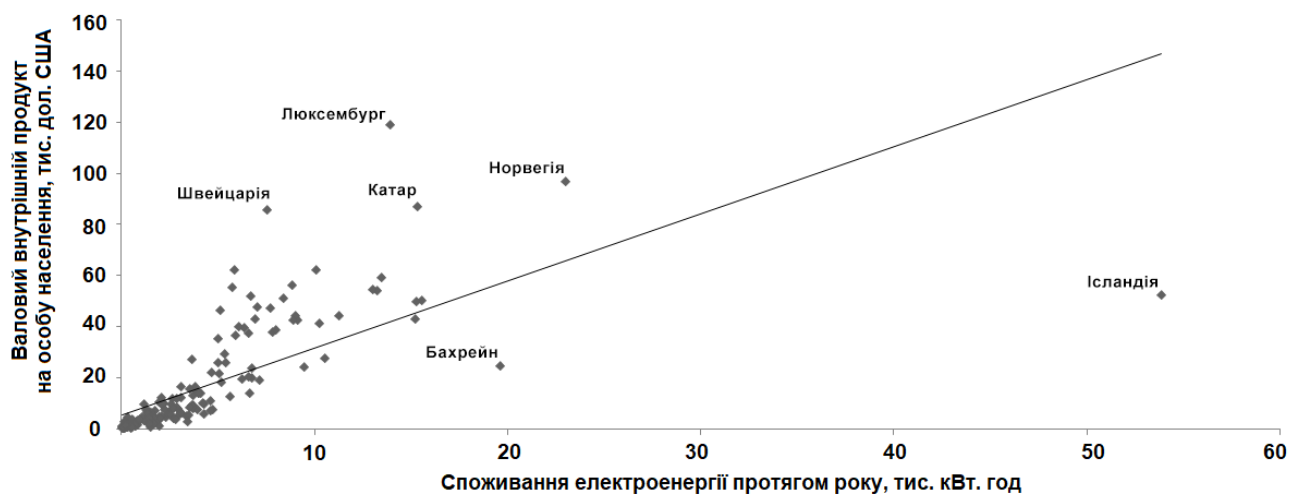


Рис. 2.13. Залежність ВВП на особу населення від удільного енергоспоживання\*

Примітка. \*Складено автором на основі [179, 180]

Показники адекватності регресійно моделі залежності валового внутрішнього продукту на особу населення від удільного енергоспоживання наведено в ДОДАТОК Б. Відповідно до наведених даних 49% волатильності валового внутрішнього продукту серед всіх країн світу пояснюється саме розбіжністю в рівні удільного енергоспоживання. Зокрема, при зростанні енергоспоживання на 1 тис. кВт.год. відбувається зростання валового внутрішнього продукту на особу на 2 тис. дол. США. Нульова гіпотеза стосовно значення регресійного коефіцієнту при факторі енергоспоживання відхиляється на рівні значимості меншому 0,001, таким чином немає сумнів, що збільшення енергоспоживання має позитивний вплив на збільшення валового внутрішнього продукту на особу населення.

Окремим недоліком моделі є значна величина нульового члена в 5.5 тис. дол. США для якого нульова гіпотеза також відхиляється на малому рівні

значимості в 95%, тобто такий валового внутрішнього продукту на особу населення (більше аніж в Україні на момент початку повномасштабної війни в 2022 році) очікується уже при нульовому рівні енергоспоживанні. Очевидно, що це пояснюється впливом країн, що значно виходяться за межі загальних тенденцій (тобто мають значні відхилення від оціненої регресійної залежності).

До таких країн відносяться саме країни із надзвичайно розвинутими фінансовим сектором (наприклад, Люксембург та Швейцарія) або ж країни, які являються експортерами енергоносіїв (наприклад, Норвегія, Катар та Бахрейн). Також, в результаті впливу природних умов, із загальної тенденції також випадає і Ісландія.

Якщо видалити з аналізу дані країни то параметри адекватності регресійної моделі значно покращуються. Модель із цензурованими даними може уже пояснити до 77% волатильності валового внутрішнього продукту на особу населення, а нульову гіпотезу стосовно нульового члена регресійної моделі можна прийняти на рівні значимості в 95%. В даному випадку збільшення рівня енергоспоживання на 1 кВт. год. призводить до збільшення валового внутрішнього продукту на особу населення на 4,3 USD, таким чином ефективність енергоспоживання відносно валового внутрішнього продукту на особу населення зросла вдвічі.

Якщо проаналізувати довоєнні (до 2022 року) показники для України, то вона значно відрізняється від існуючої середньо світової тенденції. Із удільним рівнем енергоспоживання в 3,4 тис. кВт. год. Україна повинна мати валовий внутрішній продукт на особу населення в розмірі 15 тис. дол. США, але при цьому демонструє значення в 3 тис. дол. США (що в 5 разів менше світової тенденції).

Для пояснення відставання фактичного (довоєнного) рівня еконкомічного розвитку України в залежності до існуючого рівня енергетичного споживання від змодельованого рівня (на базі регресійної моделі) можна висунути дві основні

гіпотези, перша з яких полягає в надзвичайно низькій енергоефективності, як комунальних господарства так й більшості секторів економіки, а також існуванням тіньової економіки в масштабах, які можна порівняти з офіційною економікою.

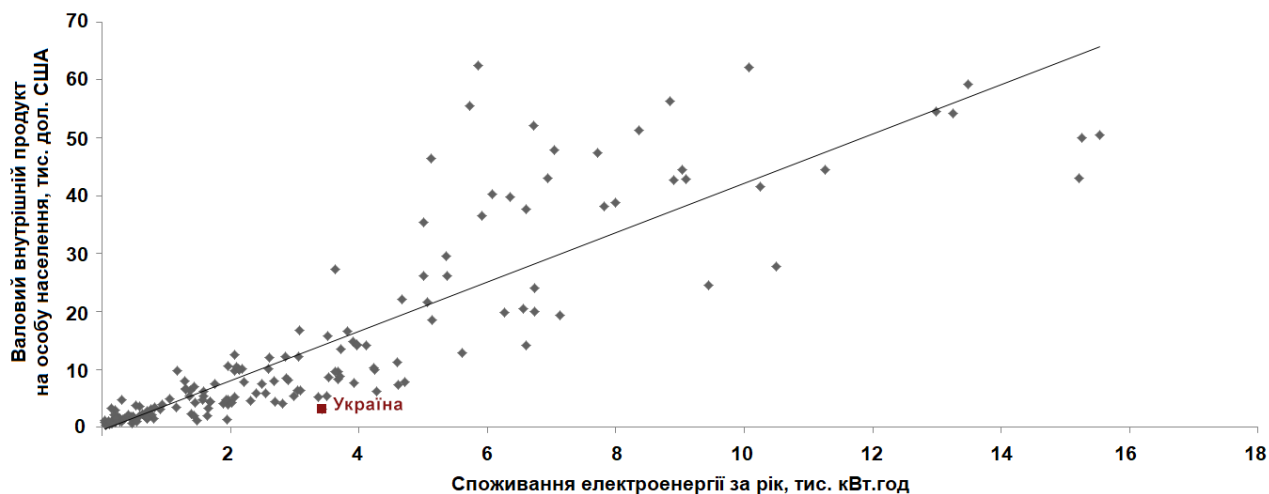


Рис. 2.14. Цenzуровано модель залежності валового внутрішнього продукту на особу населення від удільного енергоспоживання\*

Примітка. \*Складено автором на основі [179, 180]

Окремо, більш детально, проведено аналіз енергоефективності України та світу. Традиційно енергоефективність оцінюється як обсяг валового внутрішнього продукту на який припадають енергетичні витрати, що еквівалентні теплоті згорання 1 кілограма нафти (44 тис. кДж). На нижче наведеному рисунку подано динаміку середньо світового і вітчизняного валового внутрішнього продукту, які припадають на витрати енергії у розмірі 1 кілограм нафтового еквіваленту.

Як у випадку рівня енергоефективності світу так і України присутня позитивна динаміка, проте динаміка світового рівня енергоефективності на всьому часовому інтервалі значно перевищує показники України. Наприклад, якщо у 1995 році показник світової енергоефективності був більший за показник України на 4 дол. США, то уже в 2019 році дана різниця

досягла 5 дол. США. Таким чином на базисному інтервалі показник збільшення енергоефективності (відповідно до лінійної регресійної моделі) в Україні складає 0,07 дол. США на рік, для світу маржинальний приріст складає 0,1 дол. США на рік. Тобто показник щорічного збільшення енергоефективності України на 30% менший ніж відповідний показник для світу.

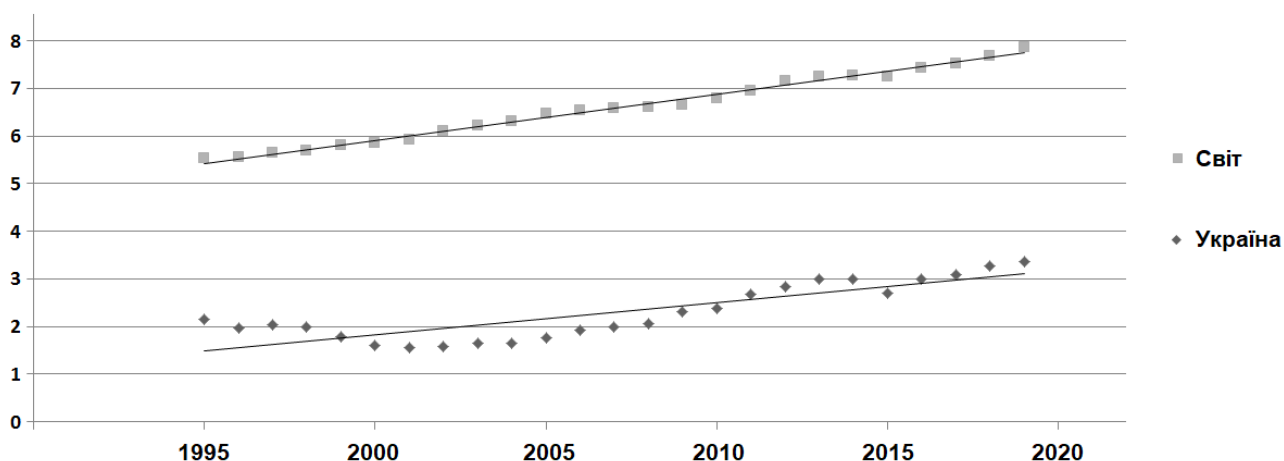


Рис.2.15. Динаміка рівня енергоефективності для світу та України, ВВП (дол. США) на одиницю спожитої енергії (1 кг. нафт. еквіваленту)\*

Примітка. \*Складено автором на основі [180]

$$\widehat{E}_y(t) = 1 + 0,07(t - 1995) \quad (2.3)$$

$$\widehat{E}_c(t) = 6 + 0,10(t - 1995) \quad (2.4)$$

При аналізі енергетичного сектору України, виявляється не тільки вплив рівня енергетичного споживання на темпи збільшення валового внутрішнього продукту, як в номінальній величині, так і в перерахунку на особу населення, але ще і присутній зворотній вплив економічного розвитку на енергетичний сектор та шлях його інноваційного, диверсифікованого і екологічного розвитку.

## **2.2. Оцінка економічної ефективності традиційної енергетики України та перспективи її розвитку в умовах війни**

При оцінці потенційних шляхів розвитку традиційного енергетичного сектору України потрібно враховувати, що такі види енергетичних галузей, як ядерна енергетика, теплоелектроенергетика являються основним об'єктом терористичних ракетних ударів РФ. В умовах, коли міжнародні рейтингові агентства визначили кредитний рейтинг України на перед дефолтному рівні, а країна терорист РФ намагається здійснювати масовані ракетні удари по критичній енергетичній інфраструктурі України питання про розвиток традиційної енергетики навіть не піднімається. Перспектива залучення, як іноземних так і внутрішніх інвестицій в будівництво об'єктів енергетики в умовах повномасштабної війни практично дорівнюють нулю. Єдиним варіантом підтримання в робочому стані існуючі системи генерації вторинної енергії та мережі їх передачі є використання виключно бюджетних коштів, або залучення урядом коштів шляхом випуску воєнних облігацій внутрішньої державної позики.

Єдиним сектором традиційної енергетики, яку можна досить адекватно проаналізувати та змодельовати являється ринок природного газу, як України і Європи, так і сформований загально світовий. Як відомо, одним з маніпуляційних засобів впливу РФ щодо країн ЄС так і України протягом значного періоду часу залишились погрози з боку РФ фізично зупинити постачання природного газу. З початком повномасштабної збройної агресії РФ проти України, розуміючи всю потенційну енергетичну вразливість в сфері імпорту природного газу, Європейський союз почав діяти на випередження. Завдяки цьому, до моменту диверсії РФ на північному потоку 1 та північному потоку 2, значна кількість країн ЄС, зокрема Німеччина, змогли оптимізувати енергетичне споживання та виробництво, як природного газу так і інших джерел енергії. Однак, імпорт природного газу з РФ, з транзитом через Україну та

території білорусі досі продовжується, що викликає значні ризики та вимагає прийняття рішень, щодо розробки сценаріїв імпорту Україною природного газу виключно з країн ЄС, які можуть проводити реекспорт зрідженого природного газу.

Серед західних країн, особливо, серед країн ЄС відбувається активний процес розвитку та застосування відновлюваної енергетики, який має на меті зменшити використання традиційної енергетики, що в подальшому допоможе отримати вищий рівень енергетичної незалежності та зменшити рівень екологічного навантаження для довкілля. Однак, на даний час, навіть, серед виокорозвинених країн світу частка відновлюваної енергетики в загальній структурі енергетичного виробництва не перевищує 30%. При цьому, для України частка відновлюваної енергетики в загальному енергетичному споживанні на довоєнний період не перевищувала 5% [52].

Аналізуючи поточні темпи розвитку відновлюваної енергетики серед розвинених країн можна говорити, що суттєвий перехід з традиційної енергетики до відновлюваної енергетики відбувається досить повільно [48]. Саме тому до початку повномасштабної війни РФ проти України серед країн ЄС вважалось, що природний газ в найближчі роки стане альтернативою або так ж проміжним етапом переходу від традиційної енергетики до відновлюваної. Це пояснюється тим, що при використанні природного газу, як палива для генерації вторинної енергії відбувається суттєво менша кількість забруднюючих викидів (в тому числі парникових газів) на одиницю згенерованої вторинної енергії у порівнянні з іншими видами первинної енергії (такі, як вугілля або деревина). Також, значення капітальних інвестицій у будівництво електростанції, яка працює на природному газі значно менша аніж в порівнянні з теплоелектростанціями, які працюють на вугіллі [76].

Таким чином, у ієрархії первинних енергетичних джерел, які повинні поступово бути змінені відновлюваної енергетикою серед країн Європейського

союзу природний газ займає останнє місце [136]. З початком повномасштабної війни РФ проти України, фізичним обмеженням імпорту природного газу Європейським союзом з РФ, – питання диверсифікації постачання природного газу стало надзвичайно актуальним.

Як відомо, світового ринку природного газу, як сукупності окремих ринків, ціна природного газу на яких коливається в межах одного і того самого діапазону, на даний час ще не існує. Проте, існує ряд регіональних ринків природного газу, серед яких із появою нових технологій транспортування і видобутку природного газу спостерігається поступовий процес конвергенції цінних показників. Різні регіони, залежно від їх структури економіки і кількості населення, споживають природний газ в різних об'ємах тому це, також, повинно враховуватися при визначенні основних джерел газопостачання. При оптимізації процесу імпорту природного газу, повинно прийматись до уваги не тільки вартість одиниці природного газу експортера, але й витрати на його подальше транспортування.

Питанням утворення світового ринку природного газу займалась значна кількість науковців, погляди яких суттєво відрізнялись. Зокрема, західні іноземні науковці наполягали на існуванні тенденції до створення світового ринку природного газу, що пояснюється розвитком нових інноваційних технологій видобутку і транспортування природного газу. До початку повномасштабної війни, певна кількість вітчизняних науковців, та майже всі науковці країни агресора РФ наполягали на тому, що транспортування природного газу в зрідженому вигляді за допомогою танкерів не може конкурувати з трубопровідним транспортуванням. Саме ці науковці висували гіпотезу про неможливість створення глобального ринку природного газу, а також суттєву залежність значної кількості країн ЄС та України від імпорту природного газу з РФ [28;33;34].

До основних регіональних ринків природного газу відноситься: європейський (Average german), азіатський ринок (Japan), північний ринок (Canada albeta) і південні ринки природного газу американського континенту, (US Henry Hab).

Після періоду дивергенції цін серед регіональних ринків природного газу (в період з 2008 до 2014 року) настав період конвергенції, який пов'язаний із покращенням технологій транспортування природного газу (а саме транспортування природного газу такнерами в зрідженому вигляді). При цьому відбувається зберігання рангових позицій регіональними ринки стосовно співвідношення цін. Найбільший рівень цін спостерігаються серед азіатського ринку (JAPAN\_CIF), а найменший рівень цін спостерігається для американських ринків природного газу (Canada, Henry\_hub). Різниця цін між даними ринках протягом періоду дивергенції досягала до 500 USD за 1 тис. куб м.

Для кількісного аналізу тенденцій було умовно введено ціну світового ринку природного газу  $-p_w(t)$ , що являє собою зважені за обсягами продажів ціни на регіональних ринках:

$$p_w(t) = \sum_1^k p_j(t)d_j(t), d_j(t) = (V_j)/(\sum_1^k V_j); \sum_1^k d_j(t) = 1; t = 1, 2, \dots, T \quad (2.5)$$

Також, було розраховано дисперсію регіональних цін  $-D_p(t)$ :

$$D_p(t) = \sum_1^k p_j(t)d_j^2(t) - p_w^2(t) \quad (2.6)$$

де  $p_j(t)$  – ціна природного газу серед  $j$  ринку протягом часу  $t$ ;  $d_j(t)$  – частка  $j$  ринка в загальному обсязі здійснених продажів протягом часу  $t$ ;  $V_j(t)$  – обсяг продажу серед  $j$  регіонального ринку протягом часу  $t$ ;  $k$  – загальна кількість регіональних ринків;  $T$  – інтервал дослідження.

Оскільки обсяги здійснених операцій з продажу природного газу на європейському ринку досить значні – він має найбільший ваговий коефіцієнт,



що зумовлює його найбільшу щільність лінійного взаємозв'язку із умовною ціною світового ринку природного газу.

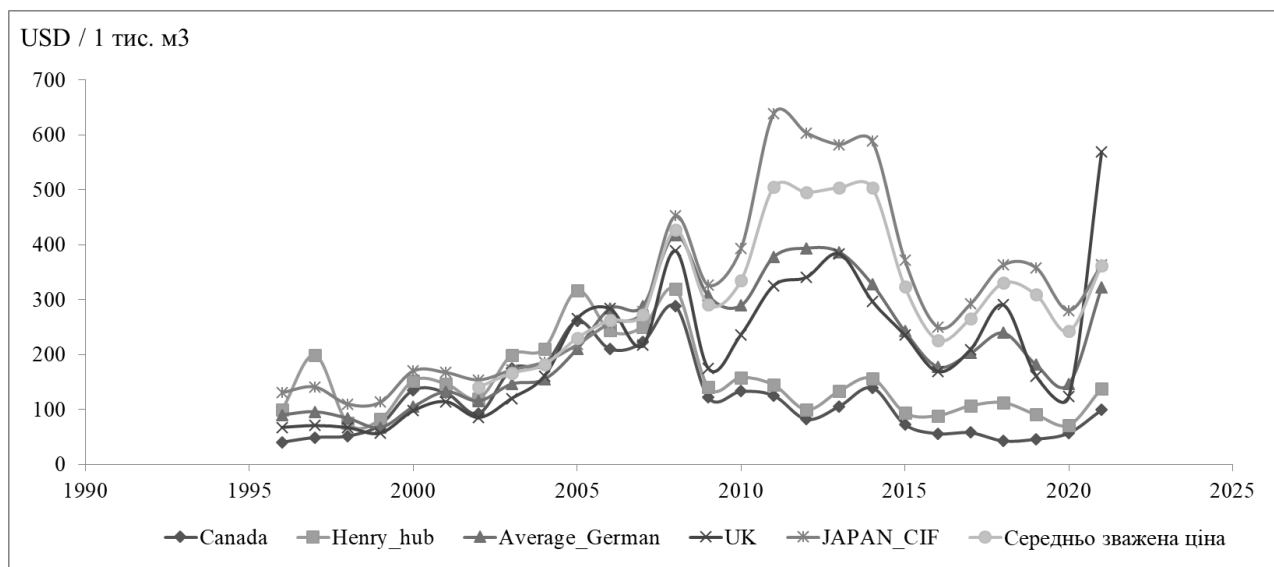


Рис. 2.30. Динаміка цін на природний газ серед регіональних ринків світу\*

Примітка. \*Складено автором на основі [72,83]

Окремої уваги заслуговує кореляційний аналіз регіональних ринків природного газу. Найбільш щільний кореляційний взаємозв'язок спостерігається між ринками північної та південної Америки. Крім цього, щільний кореляційний взаємозв'язок спостерігається на азіатському та європейському азіатському ринках. Кореляційний взаємозв'язок американського ринку природного газу із іншими ринками (такі, як азіатський чи європейським) практично відсутній, зокрема з початку 2008 року почав відбуватись процес зменшення рівня цін, який спостерігався серед всіх ринків природного газу та продовжувався на американському континенті, в той самий час як серед європейського та азіатського ринку природного газу ще спостерігалось зростання цін.

Таблиця 2.5.

**Кореляційна матриця цін на газ окремих регіональних ринків\***

	<i>US</i>		<i>Japan</i>		
	<i>Canada, Alberta</i>	<i>Henry Hub</i>	<i>Average German</i>	<i>cif (LNG)</i>	<i>умовна ціна</i>
Canada, Alberta	1,000				
US Henry Hub	0,995*	1,000			
Average German	0,007	-0,039	1,000		
Japan cif (LNG)	-0,337	-0,374	0,874*	1,000	
умовна ціна	0,195	0,151	0,966*	0,840	1,000

\*10% рівень значимості лінійного взаємозв'язку

Примітка. \*Розроблено автором

Стосовно процесів дивергенції і конвергенції цін ринків природного газу то найкраще вони відображаються на базі динаміки дисперсії цін окремих регіональних ринків природного газу. Аналіз зміни дисперсії цін на природний газ показав, що дивергенція окремих ринків співпав із початком експансії газпрому рф 2007 року, проте в 2012 році змінився на процес конвергенції.

При аналізі цінових показників серед регіональних ринків природного газу можна побачити, що до початку експансії рф на європейському ринку природного газу – рівень цін серед регіональних ринків був надзвичайно близький до 2008 року, що відображає динаміка дисперсії умовної світової ціни природного газу. Після початку експансії газпрому рф на європейському ринку природного газу – умовна світова ціна збільшилась, майже, на порядок. Зменшення рівня ціна серед американських регіональних ринках природного газу в період з 2008 до 2016 року досить добре пояснюється застосуванням нових технологій видобування сланцевого природного газу, що дозволило значно збільшити загальні обсяги видобування природного газу [62]. Протягом того самого періоду на азіатському ринку природного газу (головний спосіб

транспортування природного газу на якому відбувався за рахунок технологій зрідження газу і використання танкерів) спостерігався значний ріст цін за рахунок відсутності достатнього рівня розвитку технологій та збільшення попиту на природний газ серед Китаю та Японії.

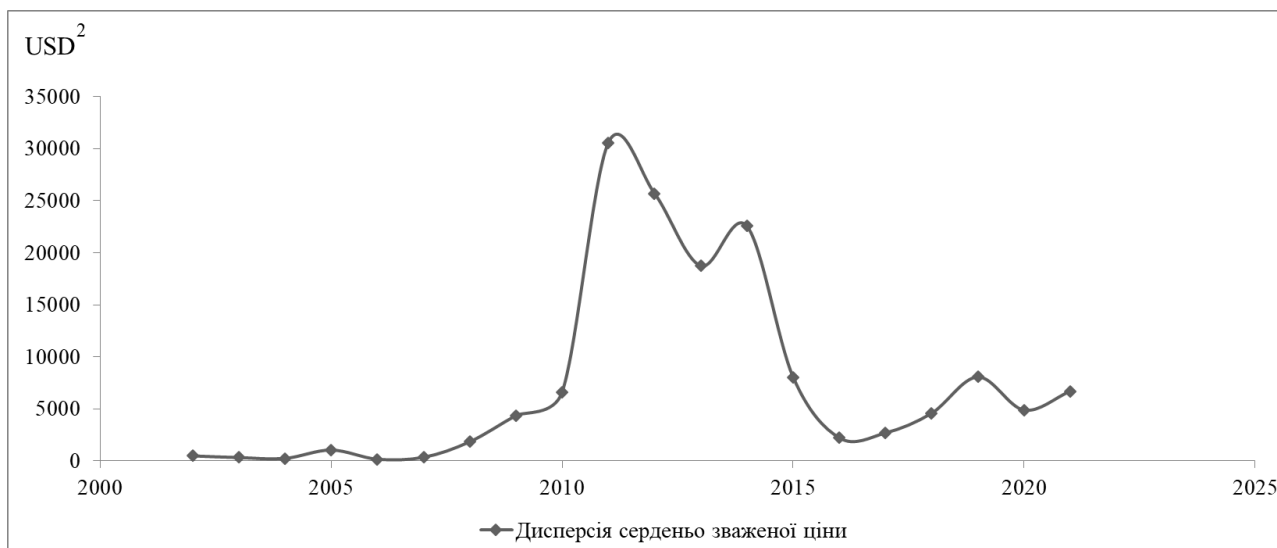


Рис. 2.31. Дисперсія цін серед регіональних ринків природного газу\*

Примітка. \*Складено автором на основі [108,159]

Проте, на початок 2018 року ціна зрідженого природного газу уже знаходилась в діапазоні 2009 року, що пов'язано із зменшенням транспортних витрат (морським сполученням). Процес конвергенції цін обумовлено, головним чином, появою можливостей транспортування суттєвих об'ємів зрідженого природного газу із найменш можливими витрати, що не значно перевищують вартість самого природного газу.

На представленому нижче рисунку наведено тенденцію збільшення частки зрідженого природного газу в глобальній торгівлі. Частка сумарних обсягів зрідженого природного газу, який був реалізований серед регіональних ринків мав зростаючу тенденцію та може бути апроксимованим експоненціальним трендом:

$$y = 25,1e^{0,021(x-2002)} \quad (2.7)$$

де  $x$  – календарний рік,  $y$  – частка продажів зрідженого природного газу серед регіональних ринків. Коефіцієнт детермінації даного експоненційного тренду складає, майже, 90%, що є вагомою причиною вважати її адекватною та придатною для екстраполювання. При збільшенні частки зрідженого природного газу в 2,1% на рік, можна спрогнозувати, що до 2025 року обсяги продажу зрідженого природного газу в світі будуть складати 40%.

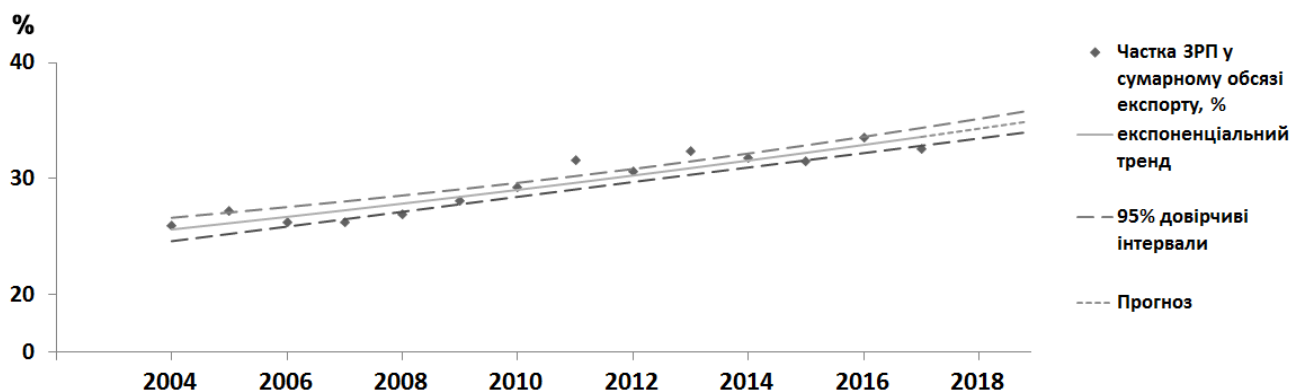


Рис. 2.27. Частка зрідженого природного газу в загальних об'єктах світової торгівлі природним газом

Примітка. \*Складено автором на основі [159]

Отже, головним фактором, утворення світового ринку природного газу являється удосконалення технологій транспортування природного газу в зрідженій формі. Не зважаючи на збільшення рівня волатильності цін на природний газ, що було викликано війною РФ проти України, можна стверджувати, що в подальшому буде відбуватись процес конвергенції цін серед регіональних ринків природного газу.

При оцінці перспектив європейського ринку природного газу – можна висунути гіпотезу, що з часом роль РФ на ньому буде поступово розмиватись і частка природного газу з РФ у європейському споживанні природного газу буде ще більше зменшуватись. Для України перспектива імпорту зрідженого природного газу, як напряму через розбудову відповідного терміналу на побережжі Чорного моря, або у вигляді реекспорту з Польщі, може мати

максимально позитивний ефект у забезпеченні повноцінної диверсифікації постачання природного газу і, відповідно, посилення енергетичної безпеки.

З наведеної нижче таблиці можна побачити, що до початку повномасштабної збройної агресії РФ проти України на європейському ринку природного газу серйозну конкуренцію РФ склали лише Норвегія, проте з обмеженням на фізичні поставки природного газу з РФ та орієнтацією на постачання природного газу в зрідженій формі частка РФ серед європейського ринку природного газу може значно зменшитись.

Таблиця 2.6.

**Експорт природного газу серед  
різних країн Євразії в 2019 році, млрд. куб. метрів\***

<b>Країна</b>	<b>Обсяг та (%)</b>
Росія	193 (46,7)
Норвегія	110 (26,5)
Нідерланди	41 (9,8)
Туркменістан	38 (9,3)
Велика Британія	13 (3,2)
Казахстан	11 (2,7)
Азербайджан	8 (1,8)
Загалом	414 (100)

Примітка. \*Складено автором на основі [159]

До відсутності єдиної ціни на природний газ, що б була подібна серед цін на іншу сировину (нафта, метали та інше) призвела цілеспрямована політика газпрому РФ. Цінову монополізацію ринку природного газу газпром РФ досягнув завдяки реалізації стратегії, так званої, країни-світового енергетичного постачальника, яка почала ним реалізовуватись з 2000 року [50]. Крім того РФ, використовуючи своє монопольне положення серед ринку природного газу

східної частини Європи запровадив власний алгоритм розрахунку цін, що дозволяло їх отримувати над прибутки.

Орієнтація на єдиного енергетичного постачальника, яка існувала в Україні до 2014 року, керуючись не економічними, а політичними чинниками викликало значні ризики, реалізація яких призвела до додаткової негативної дії тих економічних кризи, які Україна проходила в 2008 та 2014 році. Проте, уже в період з 2014 до 2017 року Україна змогла суттєво диверсифікувати імпорт природного газу (табл.2.13). В період початку збройної агресії РФ проти України 2014 року, що призвело до тимчасової окупації Криму, частини Донецької та Луганської областей, загальне постачання природного газу в Україну зменшилось з 48 млрд. м. куб. в 2013 році до 36 млрд. м. куб. в 2015 році. При оцінці зменшення споживання природного газу в областях, які не зазнали російської агресії, то оцінка знаходиться, практично, на тому самому рівні. Тобто зменшення споживання природного газу відбулося не тільки із причини тимчасової окупації територій України, а ще й економічної кризою, яка розпочалась в цей період.

Таблиця 2.7.

### Джерела постачання природного газу в Україну, (млрд. куб. м.)\*

Рік	Україна (власне виробництво)	Європа	Росія	Разом
2013	21	2	25	48
2014	21	5	15	41
2015	20	10	6	36
2017	20	11	0	31

Примітка. \*Складено автором на основі [66]

Тривалий період часу, з моменту отримання незалежності в 1991 році, енергетичне споживання України сильно залежало від традиційних взаємовідносин з РФ. Фактично, такого роду взаємодія була обміном реальної

економічної і політичної незалежності на енергоносії за низькі ціни. Вихід на ринок природного газу Європи в 2013 році дозволив значно диверсифікувати газопостачання.

Розглянемо оптимізаційну задачу імпорту природного газу з країн східної Європи при якій, кожний з регіонів має можливість вибору власного постачальника, кожний з яких має власні ціни на природний газ та вартість транспортування.

В оптимізаційній задачі існують наступні позначення:  $j$  - номер постачальника природного газу, загальна кількість яких дорівнює  $m$ , значення  $j$  у діапазоні  $[1;K]$  відповідає вітчизняному виробнику. Значення  $j$  в межах від  $K+1$  до  $m$  позначає закордонних виробників;  $i$  - позначає номер споживача природного газу (окремий регіон в Україні), загальна кількість яких дорівнює  $n$ ;  $d_{ij}$  - позначає відстань від  $j$ -го постачальника до  $i$ -го споживача, км.;  $\rho_{ij}$  - позначає обсяги поставок природного газу від  $j$ -го постачальника до  $i$ -го споживача, млрд. куб. м.;  $p_0$  - позначає ціну транспортування природного газу від  $j$ -го постачальника до  $i$ -го споживача, дол. США за 1 тис. куб. м. на 100 км;  $D_i$  - позначає обсяги спожитого природного газу в  $i$ -тому регіоні України.

Цільовою функцією оптимізаційної моделі є мінімізація загальних витрат на придбання та транспортування природного газу в Україну з країн східної Європи:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n p_j \rho_{ij} + p_0 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \rho_{ij} d_{ij} \Rightarrow \min \quad (2.8)$$

До основних обмежень оптимізаційної моделі належить:

1) Задоволення всього попиту кожного із споживачів природного газу:

$$\sum_{j=1}^m \rho_{ij} \geq D_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.9)$$

2) Враховуючи, що країни ЄС постачають Україні залишки природного газу або ж можуть займатись реекспортом природного газу – вводиться обмеження на обсяги закупівель для кожного із входів:

$$\sum_{i=1}^n \rho_{ij} \leq V_j, j = K + 1, \dots, m \quad (2.10)$$

де,  $V_j$  – максимально можливі обсяги поставок природного газу із відповідної країни. Для розв’язання даної оптимізаційної задачі для будь-якого входу максимально можливий обсяг пропуску природного газу складає 10 млрд. куб. м.

3) Останнє обмеження оптимізаційної моделі пов’язано із наданням абсолютного пріоритету вітчизняному виробнику природного газу. Обмеження полягає в тому, щоб в будь-якому випадку були спожиті всі обсяги видобутого природного газу в Україні.

$$\sum_{i=1}^n \rho_{ij} = S_j, j = 1, 2, \dots, K \quad (2.11)$$

В даній моделі на імпорт природного газу з рф припадає лише одна точка входу. Варіат імпорту зрідженого природного газу через потенційний хаб прийому зрідженого природного газу в Одесі в даній оптимізаційній задачі не розглядався.

В наведеній нижче таблиці ДОДАТОК Г приведено ціни на природний газ для кожного з постачальників, які використовувались в оптимізаційній моделі. В якості ціни кожної з точок імпорту природного газу було вибрано середньозважену ціну на природний газ, що розраховується на базі цін та обсягів імпорту від кожного з постачальників через відповідну точну входу.

У відповідності до поставленої цільової функції та обмежень було знайдено оптимальний план придбання природного газу, який мінімізує витрати на газопостачання в загально національному ДОДАТОК Г. Цільова функція (загальні витрати на придбання природного газу) набула свого мінімального значення та складає 11 млрд. дол. США. При аналізі матриці поставок



природного газу, можна побачити, що природний газ вироблений в Чернівцях і Харкові буде споживатись в тих самих регіонах, а Полтава з можливих вироблених 8 млрд. куб. м. зможе постачати лише 6,1 млрд. куб. м. в інший регіон споживач. Відповідний варіант поставок природного газу сформувався в результаті великої собівартості серед вітчизняних виробників, тому при додаванні транспортних витрат його загальна вартість для кінцевого споживача стає не рентабельною.

При розв'язанні даної оптимізаційної моделі в умовах досконалого ринку, коли ціна на природний газ існує на однаковому рівні (220 дол. США за 1 тис. куб. м.) отримує оптимальний варіант поставок природного газу, коли вітчизняні виробники повністю реалізують обсяги власного виробництва, а імпорт з РФ складає лише 3 млрд. куб. м., при цьому значення цільової функції зменшується з 11 млрд. дол. США до, майже, 9 млрд. дол. США. Даний приклад наявно демонструє, що при формуванні світового ринку природного газу відбувається позитивний вплив вартість постачання природного газу в Україну, крім цього при цьому відбувається максимальна диверсифікація постачальників енергоносія, що максимально позитивно впливає на рівень енергетичної безпеки та енергетичної незалежності України.

В результаті аналізу попередньо наведеної моделі оптимізації постачання природного газу в Україну стає зрозуміло, що питання диверсифікації імпорту природного газу являється дуже актуальним, адже дозволяє зменшити загальні витрати на придбання природного газу та підвищити рівень енергетичної безпеки. На момент початку повномасштабної війни РФ проти України національне (внутрішнє) виробництво задовольняло більше 60% від загального споживання природного газу (більше 32 млрд. куб. м), в той час як на імпорт припадало, в середньому, 40% від загального споживання природного газу.

З початку 2017 року увесь імпорт природного газу в Україну формувався, виключно, за рахунок країн ЄС, причому суттєвим постачальником являлась

Німеччина, щорічний обсяг імпорту з якої складав, приблизно, 4 млрд. куб. м.. На даний момент питання енергетичних взаємовідносин із рф перебуває під серйозним питанням, імпорт ядерного палива був повністю зупинений, вітчизняна ядерна енергетика перейшла на використання ядерного палива США. Юридично, Україна не імпортує природний газ з рф, однак фізично здійснює транзит природного газу в країни східної Європи.

Однак, у той же самий час до Європейський союз активно збільшує обсяги власного виробництва природного газу та нарощує постачання зрідженого природного газу (зокрема, за рахунок будівництва нових терміналів з прийому зрідженого природного газу). В даних умовах, а також в умовах діючих санкцій ЄС проти енергетичних компаній рф, відбувається значне погіршення позицій рф на ринку природного газу Європейського союзу, що відкриває значні позитивні перспективи подальшого процесу диверсифікації постачання природного газу в Україну. На жаль, в умовах повномасштабної війни рф проти України, а також юридичних аспектів щодо дозволу Туреччини на транзит зрідженого природного газу в Чорне море шляхом через Босфор. Питання щодо побудови Україною власного терміналу з прийому зрідженого природного газу відкладається на невизначений проміжок часу. Окремо розглядається питання, щодо імпорту зрідженого природного газу із США транзитом через Польщу.

В Україні природний газ завжди являвся одним із головних джерел споживання енергії. На даний час природний газ займає друге місце в структурі енергетичного споживання, після електроенергії, що виробляється ядерними електростанціями. Після першої збройної агресії рф 2014 року та економічної кризи, яка була нею спровокована, в Україні почався процес підвищення рівня енергетичної ефективності, який з 2014 до 2022 року відбувався досить повільно, але при цьому відбулось помітне зменшення споживання енергетичних ресурсів при збереженні тенденції до економічно росту. На жаль, виділити ефект зростання енергоефективності та вплив інших факторів, таких як глобальна економічна

криза або збройна агресія РФ проти України на динаміку споживання природного газу являється надзвичайно важко.

При цьому слід зазначити, що у динаміці споживання природного газу, що складається із двох основних компонент: споживання промисловістю та населенням під час світової економічної кризи 2008 року відбулось зміна рангів: споживання природного газу промисловістю стало менше ніж споживання природного газу населенням.

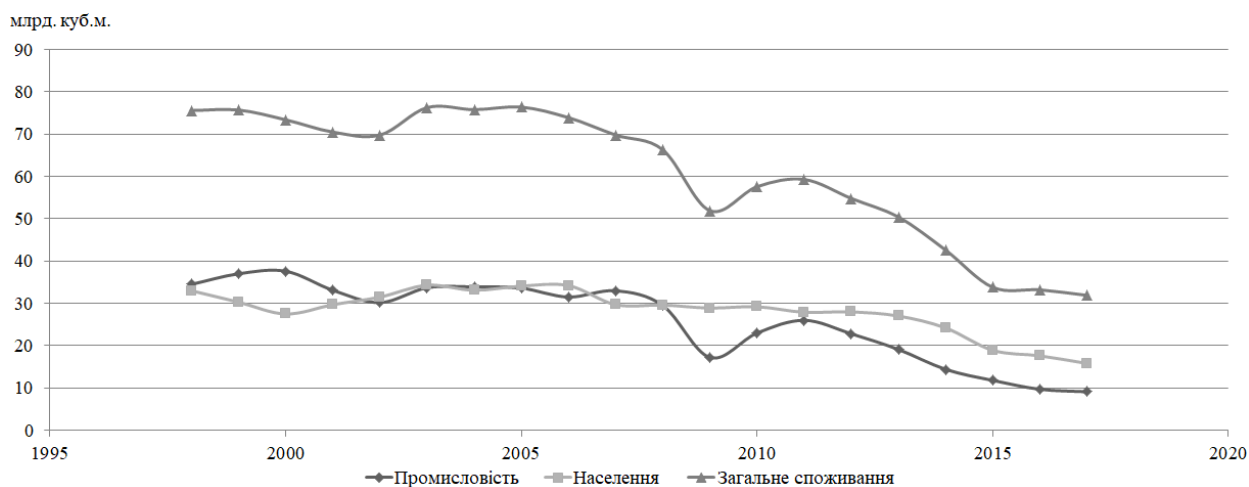


Рис. 2. 28. Динаміка споживання природного газу в Україні\*

Примітка. \*Складено автором на основі [12]

Як відомо, Україна має значну кількість газосховищ (сумарний об'єм природного газу, що може зберігатись в них являється одним з найбільших в Європі). Крім цього слід зазначити, що загальний об'єм вітчизняних газосховищ, ще до початку повномасштабної війни, практично дорівнював обсягам загального споживання природного газу в Україні. Також при аналізі георгафічного розташування вітчизняних газосховищ можна побачити, що основна їх кількість розташовується в центральній та західній частині України. Таким чином питання щодо включення в оптимізаційну модель газопостачання України компоненти газосховищ являється дуже актуальним, адже це може суттєво зменшити загальні витрати на імпорт природного газу в Україну, за

рахунок придбання природного газу протягом літнього періоду часу та його подальшого використання в зимній період часу.

Позитивний ефект від використання сховищ природного газу обумовлений наявною різницею ф'ючерсних і спотових цін протягом зимнього та літнього періоду. Вплив сезонності і мінливості сезонної волатильності було оцінено на базі двофакторної моделі за даними щотижневих спостережень цін ф'ючерсних контрактів на ринку природного газу Henry Hub [184]

Апроксимуючи інформацію щодо сезонної мінливості цін серед ринку Henry Hub можна оцінити варіативність цін у абсолютному виразі, що приведений до стандартних одиниць виміру у країнах Східної Європи – 1 тис. куб. м. (саме з країн Східної Європи відбувається імпорт природного газу в Україну). Якщо вважати, що натуральний логарифм від ціни за 1 MMBtu протягом літнього періоду складає 1,57 дол. США, а від ціни зимнього періоду 1,68 дол. США то можна говорити, що ціна для літнього періоду за 1 MMBtu дорівнює 4,8 дол. США для ринку Henry Hub, а ціна зимнього періоду дорівнює 5,4 дол. США. В перерахунку на 1 тис. куб. м. ці для відповідних сезонів року складуть 174 дол. США і 194 дол. США. Таким чином, середня сезонна різниця цін протягом дослідженого інтервалу для ринку Henry Hub може досягати 20 дол. США, що в свою чергу означає – до кінця опалювального сезону ціна на природний газ зменшується на 10%, а протягом осіннього періоду збільшується на 12% [167,171,184].

Проаналізуємо, більш детально, географічне розміщення газосховищ на території України. Для спрощення розрахунків проведемо групування усіх наявних газосховищ (загальним обсягом 31 млрд. куб. метрів) за територіальною ознакою. Таким чином маємо газосховища: західного регіону (загальний обсяг 20,9 млрд. куб. метрів), південно-західного регіону (4,5 млрд. куб. метрів), північного регіону (3,1 млрд. куб. метрів) та східного регіону (2,5 млрд. куб. метрів). При подальших розрахунках загальні обсяги газосховищ кожної із

частин території України будуть відноситись до регіону споживача природного газу, зокрема: Західне (м. Львів 25,4 млрд. куб. м.), Північне (м. Київ 3,1 млрд. куб. м.) і Східне (м. Харків 2,5 млрд. куб. м.).

При постановці та розрахунку оптимізаційної моделі потрібно також мати інформацію стосовно вартості зберігання природного газу у газосховищах. Дана вартість складається з трьох основних компонентів: вартість закачування природного газу до газосховища (70 грн. за 1 тис. куб. метрів), вартість відбору природного газу (72 грн. за 1 тис. куб. метрів) та вартість зберігання природного газу (0,2 грн. за 1 тис. куб. метрів протягом однієї доби) [21]. Таким чином загальна вартість зберігання 1 тис. куб. метрів природного газу протягом шести місяців складає 148 грн..

Перейдемо до розгляду оптимізаційної моделі газопостачання, що враховує компоненту наявних газосховищ і різницю цін на газ протягом літнього та зимнього сезону.

Введемо наступні позначення:  $j$  – індекс джерела природного газу, змінюється від 1 до  $m$  (цей індекс враховує, як зовнішні так і внутрішні джерела);  $i$  – індекс споживача природного газу, що змінюється від 1 до  $n$ ;  $d_{ij}$  - відстань від  $j$ -го постачальника до  $i$ -го споживача в 100 км.;  $D_i$  – об'єм природного газу, який споживається в  $i$ -тому регіоні ( $D = \sum_{i=1}^n D_i$  - загальний об'єм споживання);  $p_0$  – вартість транспортування природного газу в дол. США за 1 тис. куб. метрів на 100 км;  $\rho_{ji}; \mu_{ji}$  – матриці поставок природного газу від  $j$ -го постачальника до  $i$ -го споживача протягом сезону закачування та опалювального сезону в 1 тис. куб. м.;  $Pr$  – вартість природного газу в доларах США за 1 тис. куб. метрів протягом літнього сезону;  $f*Pr$  – вартість природного газу протягом опалювального сезону ( $f>1$ );  $S_l$  - обсяг природного газу, який може зберігативсь в  $l$ -ному газосховищі ( $l= 1,2,..k$ );  $v_j$  – максимальний обсяг природного газу, що можна отримати з  $j$ -того

джерела;  $\Delta$ -вартість закачування, відбору та зберігання 1 тис. куб. метрів природного газу протягом шести місяців (в подальшому - вартість зберігання).

Крім цього, слід зазначити, що газосховища протягом літнього періоду часу в даній оптимізаційній моделі вважаються споживачами та додаються до регіонів споживачів. Протягом зимнього (опалювального) сезону газосховища вважаються джерелами та додаються до інших джерел. Постачання природного газу протягом літнього та зимнього сезону задаються окремо.

Цільова функція даної оптимізаційної моделі полягає у мінімізації загальних витрат на придбання, транспортування та зберігання природного газу:

$$W(\rho, \mu) = C_d(\rho, \mu) + C_T(\rho, \mu) \Rightarrow \min \quad (2.12)$$

Вартість придбання та зберігання природного газу визначається за наведеною нижче формулою. В даному рівнянні визначається вартість природного газу, який постачається споживачам протягом літнього та зимнього періоду (два перших доданки) і вартість природного газу, який півроку зберігається у газосховищах (ціна така сама, як і влітку, але з урахуванням вартості зберігання):

$$C_d(\rho, \mu) = \text{Pr} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \rho_{ji} + f \cdot \text{Pr} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mu_{ji} + (\text{Pr} + \Delta) \sum_{j=m+1}^{m+k} \sum_{j=1}^m \mu_{ji} \quad (2.13)$$

Вартість транспортування визначається за наведеною нижче формулою. Перший доданок позначає вартість транспортування природного газу протягом літнього періоду часу споживачам (включно з можливістю постачання з газосховищ). Другий доданок даного рівняння позначає вартість транспортування природного газу в зимній період із джерел постачання природного газу і газосховищ. Таким чином газосховища в першому доданку даного рівняння виступають в ролі споживачів, а в другому доданку в ролі джерел.

$$C_T(\rho, \mu) = p_0 \sum_{i=1}^{n+k} \sum_{j=1}^m \rho_{ji} \cdot d_{ji} + p_0 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m+k} \mu_{ji} d_{ji} \quad (2.14)$$

До основних обмежень оптимізаційної моделі відносяться обмеження на задоволення необхідних регіональних обсягів споживання природного газу, а також на максимально можливі обсяги зберігання природного газу у газосховищах:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m (\rho_{ji} + \mu_{ji}) + \sum_{j=m+1}^{m+k} \mu_{ji} &\geq D_i; i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^m \rho_{j,m+l} &\leq S_l; l = 1, 2, \dots, k \\ \sum_{i=1}^n \mu_{li} &\leq \sum_{j=1}^m \rho_{jl}; l = 1, 2, \dots, k \\ \sum_{i=1}^{n+k} \rho_{ji} + \sum_{i=1}^n \mu_{ji} &\leq V_j; j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (2.15 - 2.18)$$

Перше обмеження позначає, що постачання із первинних джерел та газосховищ необхідно надходити в обсягах не менших аніж обсяг споживання кожного із регіону. Друге обмеження позначає – що у газосховищах не може зберігатись обсяг природного газу більший за їх загальну ємність. Третє обмеження позначає, що газопостачання із газосховищ не повинно бути більше аніж обсяг закачаного природного газу. Четверте обмеження позначає максимальний обсяг природного газу, який може бути поставлений із кожного джерела. Крім цього в оптимізаційні моделі вводиться співвідношення споживання природного газу протягом літнього та зимнього періоду (вважається, що протягом літнього періоду часу споживається 40%, а протягом зимнього періоду часу 60% від загального споживання природного газу в Україні).

Спочатку розглянемо, виключно, ефект географічної диверсифікації постачання природного газу на обсяги загальних витрат (зادля виключення цінового ефекту було встановлено єдину ціну серед всіх постачальників природного газу). Для цього до оптимізаційної моделі було додано координати

входу двох газопроводів на східному кордоні із рф. В результаті було отримано два варіанти розв'язку:

- 1) Монопольне постачання природного газу із рф, ціна 220 дол. США за 1 тис. куб. метрів. Цільова функція складає 15,8 млрд. дол. США, вартість придбання складає 8,47 млрд. дол. США, вартість транспортування = 6,3 млрд. дол. США.
- 2) Постачання з різних джерел із Східної Європи, ціна 220 USD за 1 тис. куб. метрів, цільова функція = 8,1 млрд. дол. США, вартість придбання = 5,3 млрд. дол. США, вартість транспортування = 2,8 млрд. дол. США.

Даний приклад свідчить про позитивний ефект факту диверсифікації на постачання природного газу за рахунок зменшення транспортних витрат. Варіант оптимізації постачання природного газу із врахуванням газосховищ представлено в наведеній нижче таблиці. Верхня частина таблиці відображає газопостачання протягом літнього періоду часу, а нижня частина таблиці газопостачання протягом зимнього періоду часу (*відображено жирним накресленням*).

При врахуванні до оптимізаційної задачі фактор газосховищ цільова функція складає 8,7 млрд. дол. США, вартість придбання складає 6 млрд. дол. США, вартість транспортування складає 2,7 млрд. дол. США. До газосховищ, відповідно до оптимізаційної моделі, повинно бути загалом закачано 14,9 млрд. куб. метрів природного газу, зокрема в західне газосховище 9,26 млрд. куб. метрів; в північне газосховище 4,11 млрд. куб. метрів; в східне газосховище 1,52 млрд. куб. метрів. Також необхідно підкреслити, що протягом опалювального сезону газопостачання, відповідно до отриманого розв'язку, здійснюється тільки із газосховищ, окрім, харківського району, де газопостачання здійснюється із місцевих родовищ природного газу ДОДАТОК Д.

Окремо розглянемо варіант розв'язання оптимізаційної моделі в якій не враховується фактор використання газосхови. В даній моделі ціни на природний



газ протягом літнього періоду часу дорівнюють аналогічним цінам в моделі з використанням газосховищ.

Цільова функція, даної оптимізаційної моделі, становить 11,71 млрд. дол. США; вартість придбання складає 9,54 млрд. дол. США; вартість транспортування складає 2,17 млрд. дол. США.

Порівняння значення цільових функцій двох варіантів оптимізаційної моделі (з врахуванням фактору газосховищ та без газосховищ) свідчить про суттєву перевагу варіанту постачання природного газу з використанням наявних газосховищ ДОДАТОК Е.

Аналогічне порівняння було здійснено для довоєнного щорічного постачання природного газу. Оскільки середньо зважена ціна 2020 року була суттєво менша за ціну 2019 року ( $\overline{Pr}_{2019} = 270USD/1000m^3$ ;  $\overline{Pr}_{2020} = 200USD/1000m^3$ ), то подібні цільові функції у 2020 році в обох випадках менші ніж у 2019 році.

Варіант із використанням газосховищ аналогічно до попереднього випадку має суттєві переваги. Значення цільової функції при врахуванні фактору газосховищ суттєво менше ніж при відсутності даного фактору. Головний фактор, який визначає різницю є загальні витрати на постачання природного газу, які у випадку використанні газосховищ менші на 1,5 млрд. дол. США, тоді як витрати на транспортування природного газу менші при відсутності фактору газосховищ на 0,5 млрд. дол. США. Виникає закономірне питання наскільки довоєнні обсяги закупівлі природного газу відрізняються від розрахованих оптимізаційних рішень.

Обсяги наявного природного газу в газосховищах на початок та кінець опалювального сезону надають змогу оцінити величину відбору природного газу із газосховищ України.

Таблиця 2.8.

**Обсяги та ціни щорічного імпорту  
та виробництва природного газу із різних джерел\***

Країна	Обсяг імпорту, куб. метрів	Вартість імпорту, дол. США	Ціна дол. США / 1 тис. куб. метрів
Німеччина	3,7 млрд.	847,8 млн.	229,1
Польща	1,5 млрд.	343,2 млн.	228,8
Франція	1,02 млрд.	237,9 млн.	233,2
Великобританія	0,542 млрд.	127,3 млн.	234,9
Угорщина	0,7682 млрд.	178,9 млн.	232,9
Чехія	0,252 млрд.	55,6 млн.	220,6
Словаччина	0,222 млрд.	55,3 млн.	249,1
Люксембург	0,179 млрд.	40,7 млн.	227,4
Італія	0,067 млрд.	15,9 млн.	237,3
Австрія	0,048 млрд.	11,2 млн.	233,3
Вітчизняний виробник	20,5 млрд.	-	179,6

Примітка. \*Складено автором на основі [82]

Стосовно витрат протягом опалювального сезону то їх середнє значення складає 13 млрд. куб. метрів, максимальнє значення на часовому період з 2006 до 2020 року дорівнює 17,6 млрд. куб. метрів, мінімальнє значення становить 8,5 млрд. куб. метрів. Протягом літнього періоду часу обсяг наявного природного газу в газосховищах складає, в середньому, 10 млрд. куб. метрів, проте протягом останніх роки дана величина зменшилась уже до 6 млрд. куб. метрів, що складає, при поточних вимогах до споживання, приблизно двомісячний запас природного газу.

Наявність великих залишків природного газу у газосховищах зменшує ефективність їх використання, проте при недостачі природного газу протягом опалювального сезону потенційні втрати будуть значно більшими. Можливість

реалізації такого сценарію продемонстрував опалювальний сезон 2017 та 2018 років, коли значне зменшення запасів природного газу спонукало до введення мір щодо обмеження його споживання.

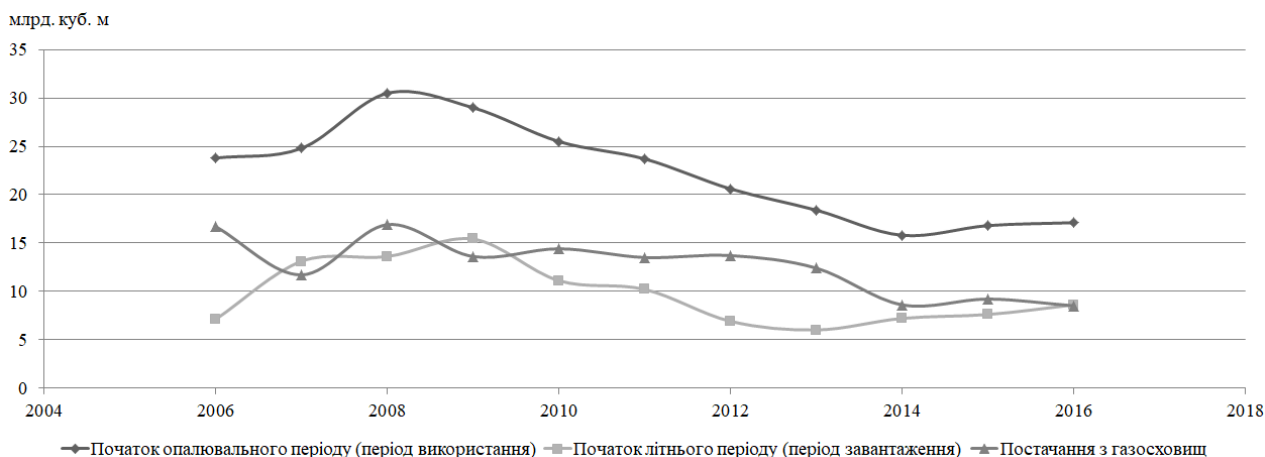


Рис.2.29. Динаміка наповненості газосховищ протягом 2000 та 2017 років\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23;50;51;115]

Двократне зменшення обсягів наповненості газосховищ в Україні, що відбулося протягом останніх років, свідчить про не максимальне використання потенціалу існуючих можливостей щодо отримання дивідендів від існування наявних газосховищ.

Також, слід враховувати, що витрати природного газу із газосховищ протягом опалювального сезону (близько 15 млрд. куб. метрів), які розраховані в оптимізаційній моделі наближується до середнього показника постачання природного газу із газосховищ протягом опалювального сезону (13 млрд. куб. метрів), які спостерігаються на часовому інтервалі протягом 2006 та 2016 років. Модельні оптимальне споживання природного газу було отримано при використанні припущення, що витрати природного газу протягом опалювального сезону складають 60% від загальних річних витрат, а збільшення ціни складає 14%.

При цьому слід враховувати, що можуть зустрічатися, також, інші співвідношення витрат на постачання природного газу протягом опалювального періоду, а також цін, що призведуть до інших оптимальних обсягів природного газу у газосховищах.

Врахування компоненти газосховищ в оптимізаційну модель постачання природного газу значно впливає на зменшення цільової функції (загальних витрат на газопостачання). Використання газосховищ нівелює вплив збільшення цін на природний газ протягом опалювального сезону. Проте, слід підкреслити, що навіть у випадку 20% збільшення цін та 75% споживання протягом опалювального періоду – максимальне завантаження газосховищ складає в середньому 18 млрд. куб. метрів, що не перевищує 60% від їх повної потужності. По суті, наявність газосховищ являється демпфером щодо надмірної мінливості основних фінансових складових, такі як: вартість транспортування та вартість придбання природного газу ДОДАТОК Є.

Для підтвердження гіпотези того, що процес використання газосховищ являється демпфером щодо надмірної мінливості основних фінансових складових проаналізуємо оцінки дисперсії та коефіцієнтів варіації загальної вартості постачання природного газу, а також вартості придбання природного газу і обсягів споживання природного газу із газосховищ для різних можливих варіантів підвищення цін та витрат природного газу протягом опалювального сезону.

З даних потрібно підкреслити, що найбільша волатильність спостерігається серед оптимальних обсягів завантаження газосховищ природним газом. Інші характеристики, майже, не змінюються для вартості закупівлі природного газу та цільової функції. Максимальне значення коефіцієнту варіації вартості придбання природного газу складає 1,3%, тоді як для оптимальних обсягів природного газу в газосховищах коефіцієнт варіації складає 13%.

Додатково розглянемо оцінку цінової еластичності споживання природного газу населенням України, яка виконувалась на базі регресійного аналізу. Перша модель – це модель лінійної регресії із одним входом (середньо річна ціна), друга модель – це модель сталої еластичності (в якості входу приймається логарифм ціни, а виходу логарифм споживання природного газу населенням). В даному випадку коефіцієнт при логарифму ціни відповідає коефіцієнту еластичності. Для однофакторної лінійної регресії варіація цін складала 74% від дисперсії споживання природного газу населенням, а для логарифмічної моделі 61%.

Таблиця 2.9.

**Описова статистика варіантів оптимальних рішень  
із врахуванням компоненти газосховищ\***

Показник	Цільова функція	Вартість закупівлі природного газу	Об'єм закачування природного газу в газосховища
Середнє значення	7,610 млрд. дол. США	5,016 млрд. дол. США	15,110 млрд. куб. метрів
Дисперсія	0,004	0,004	3,866
Середньо квадратичне відхилення	0,060 млрд. дол. США	0,066 млрд. дол. США	1,966 млрд. куб. метрів
Коефіцієнт варіації, %	0,78	1,33	13,01

Примітка. \*Розроблено автором

Таким чином для оцінки еластичності використовуємо лінійну залежність споживання природного газу населенням від його ціни:

$$D_p(t) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Pr}(t) + \varepsilon \quad (2.19)$$

Коефіцієнт еластичності за ціною, на базі регресійних оцінок, визначається, як:

$$E_{pr} = \hat{\beta}_1 \frac{\overline{\text{Pr}}}{\overline{D_p}} \quad (2.20)$$

Розрахована лінійна залежність дає можливість зробити певні висновки, зокрема максимальне споживання природного газу населенням України за мінімальних цін на природний газ складає 35 млрд. куб. метрів протягом всього року. Збільшення ціни на природний газ на 100 USD за 1 тис. куб. метрів зменшує обсяги споживання природного газу на 4,9 млрд. куб. метрів.

Коефіцієнт еластичності споживання природного газу населенням за ціною у відповідно до розрахованої лінійної моделі складе -0,24, а логарифмічної моделі -0,25. Це означає, що при збільшенні ціни на природний газ на 23% призводить до зменшення споживання природного газу на 5,8%.

Таблиця 2.10.

### Оцінка параметрів залежності попиту на природний газ від його ціни\*

Модель	Регресійні коефіцієнти		Довірчі інтервали		Параметри		
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\overline{\text{Pr}}$	$\overline{D_p}$	$-E_{pr}$
Лінійна	34,8	-0,049	[32,5;37,1]	[-0,063;-0,035]	133,6	28,2	[0,17;0,3]
Логарифмічна	4,47	-0,25	[4;4,9]	[-0,34;0,15]			[0,15;0,34]

Примітка. \*Розроблено автором

Розглянемо ситуацію із постачанням природного газу, яка склалась у країнах Східної Європи. Окрім Румунії, яка на 88% забезпечує власне споживання природного газу власним виробництвом, усі інші країни (на момент

початку повномасштабної війни рф проти України) імпортували з рф від 60% до 99% природного газу, який вони споживали. Причому з 2014 року із всіх країн Східної Європи лише Польща робила найбільші кроки щодо відмовлення від серйозної енергетичної залежності від рф. Задля цього Польща почала орієнтуватись на імпорт зрідженого природного газу, що постачається морським шляхом із Катару.

Для Польщі, шлях морського імпорту зрідженого природного газу, міг би стати значно меншим якби використовувався маршрут через Туреччину. При цьому незадіяні потужності газосховищ в Україні могли б використовуватися в якості транзитних резервуарів для інших країн Східної Європи. Слід підкреслити, що серед всіх варіантів розрахунків оптимізаційної моделі незадіяними залишаються до 50% від загальної потужності всіх газосховищ. Такий обсяг природного газу складає до 25% споживання серед всіх країн Східної Європи.

*Таблиця 2.11.*

### **Споживання природного газу серед країн Східної Європи\***

Країна	Внутрішнє виробництво, млрд. куб. метрів	Імпорту з рф, млрд. куб. метрів	Імпорт із інших країн, млрд. куб. метрів
Чехія	0,2	8,1	0
Польща	6,1	14,7	2,6 (Катар)
Словаччина	0,1	7,8	0
Угорщина	1,7	8,6	0
Румунія	11,2	1,5	0
Болгарія	0,1	3,18	0
Словенія	0,004	0,6	0,2

Примітка. \*Складено автором на основі [82]

Використання потужностей вітчизняних газових сховищ країнами Східної Європи могло б значно зміцнити енергетичну безпеку цих країн, а також суттєво зменшити вплив рф на ринок природного газу Європи [18]. Як уже зазначалось раніше, української дипломатії в після воєнний період потрібно сконцентрувати

свої зусилля щодо отримання дозволу від Туреччина на транзит зрідженого природного газу через Босфор. Приведемо варіант газопостачання при умові наявності доступу до імпорту катарського зрідженого природного газу. В даній оптимізаційній моделі вважаємо, що він надходить до України через Туреччину та приймається одеським портом за середньою ціною відповідно зрідженого природного газу ДОДАТОК Ж. Ціна за 1 тис. куб. метрів природного газу з Катару становить 220 дол. США. Вартість постачання природного газу береться аналогічною до попередньо розглянутих моделей.

У випадку постачання до Одеси зрідженого природного газу значення цільової функції складає 5,8 млрд. дол. США, тоді як без Одеси вона складає 7,6 млрд. USD. Зменшення цільової функції на 1,8 млрд. дол. США (на 24%), відбулось за рахунок зменшення транспортних витрат в результаті зручного розташування джерела.

Протягом літнього періоду спочатку заповнюються західне та північне газосховище. В майбутньому, в опалювальний сезон відбувається постачання природного газу в інші регіони України. Стосовно обсягів зберігання – то у випадку відсутності можливості постачання природного газу з Одеси вони складають 14,9 млрд. куб. метрів, тоді як у випадку можливості постачання природного газу із Одеси 15,1 млрд. куб. метрів. ДОДАТОК З.

Звичайно постачання природного газу до України, яке здійснюється національною компанією Нафтогаз знаходиться надзвичайно далеко від стандартів серед економічно розвинених країн.

Рівень концентрації ринку природного газу для України, який розраховується за допомогою індексу ННІ досягає свого максимально можливого значення, а саме -10 000 (тобто монопольний ринок), тоді як серед більшості країн ЄС значення даного індексу належить проміжку від 2000 до 5000, що означає наявність в даних країнах від 3 до 5 постачальників природного газу.



Протягом останніх років (до початку повномасштабної війни РФ проти України) спостерігалась тенденція до зменшення різниці цін на різних регіональних ринках природного газу. Якщо вважати дисперсію цін на природний газ головним критерієм утворення світового ринку природного газу, то дисперсія з 2014 до 2022 значно зменшилась, що створює умови для диверсифікації газопостачання.

Кількісні експерименти, а саме розв'язання оптимізаційних задач з газопостачання для України при умові одного і того самого рівня цін серед всіх постачальників підтвердили гіпотезу щодо ефективності процесу диверсифікації газопостачання. Було виявлено значний вплив наявності газосховищ на мінімізацію витрат з придбання природного газу. За рахунок збільшення обсягів закачування до газосховищ можна в умовах значного збільшення обсягів споживання і цін протягом опалювального сезону зберегти, майже, стабільний загальний рівень витрат на постачання природного газу.

З початком повномасштабного воєнного вторгнення РФ в Україну питання розвитку енергетичного сектору України змінилось на нагальну потребу оптимізації його структури з метою збереження енергетичної безпеки в умовах війни. Однозначно можна сказати, що з кожним днем ведення бойових дій змінюється як структура споживання так і структура виробництва енергії. В частині споживання енергії однозначно можна говорити про колосальне зменшення в силу вимушеної міграції значної частки населення закордон (станом на серпень 2022 у вимушеній еміграції перебуває більше 7 млн. людей), зупинка державних і приватних підприємств, а також безпосередньо тимчасова окупація частини територій. Енергопостачання через власне виробництво або через імпорт буде суттєво скорочене в силу наступних факторів:

- Знищення об'єктів генерації під час проведення бойових дій;
- Взяття окупантами під тимчасовий контроль об'єктів генерації на окупованих територіях (зокрема Запорізьку ядерну електростанцію);

- Можливе знищення об'єктів генерації балістичними або крилатими ракетами в майбутніх періодах і т.п.;

Крім виведення з ладу або повного знищення об'єктів генерації енергії уже на даний момент існують великі проблеми із виробництвом та імпортом палива. Так, видобуток власного вугілля в Україні буде максимально ускладнений проведенням бойових дій, його імпорт також буде максимально ускладнений блокадою рф акваторії Чорного моря.

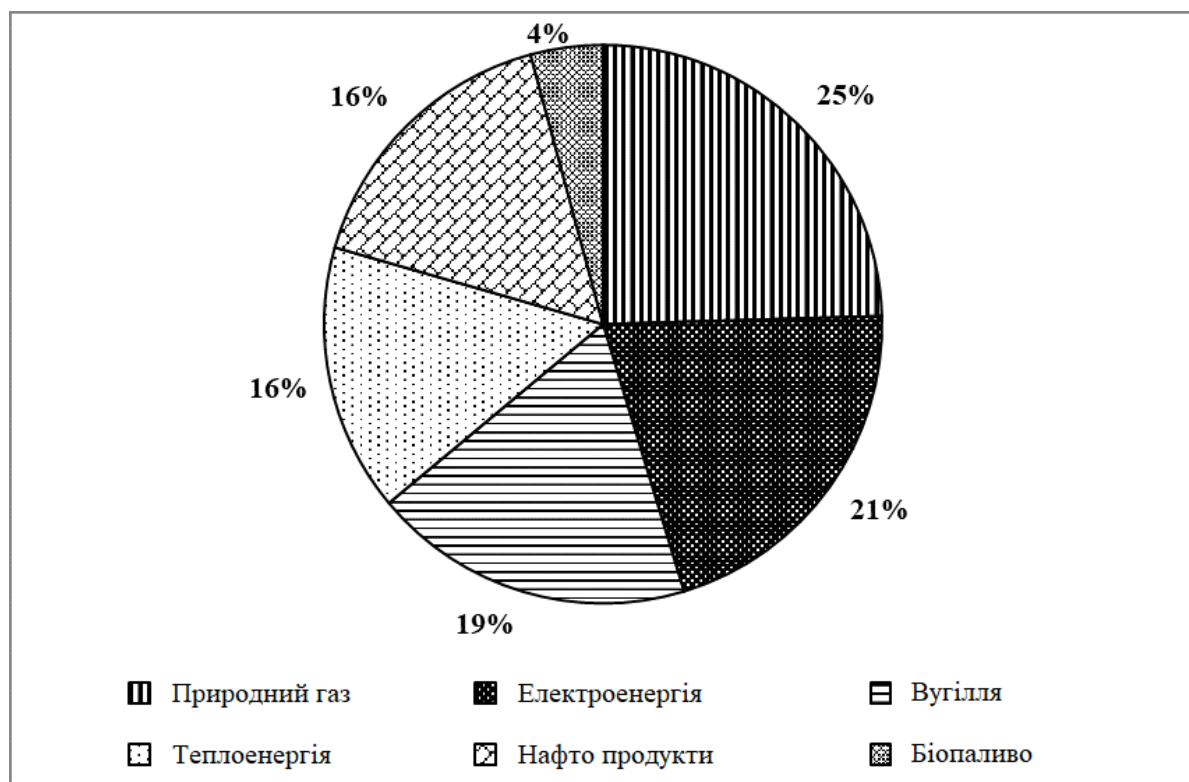


Рис. 2.41. Структура кінцевого споживання енергії в Україні на 2021 рік\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23]

Враховуючи здатність рф до енергетичного шантажу цілком ймовірно зупинка експорту природного газу в країни Європи протягом зимового періоду в результаті чого Україна буде змушена користуватись лише власним виробництвом та запасами природного газу.

Для кількісної оцінки впливу війни на енергетичний сектор України спочатку розглянемо структуру енергетичного споживання в Україні станом на

2021 рік. Як видно з рис. 10 найбільшу частку займав природний газ (25%) та електроенергія (21%). Крім цього на значному рівні споживалось вугілля (19%); теплоенергія (16%) та нафтопродукти (16%).

Виробництво електроенергії (рис. 11) в Україні на 63% складалось із роботи ядерних електростанцій та 31% з вугільних електростанцій. Відновлювані джерела енергії склали 3% від всього виробництва енергії, а на всі інші припадало 4% (гідроенергетика, біопаливо і т.п.). Відповідно до прогнозів очікується, що ядерні електростанції будуть безперебійно працювати в силу поточних запасів ядерного палива та можливого нарощування поставок ядерного палива з США.

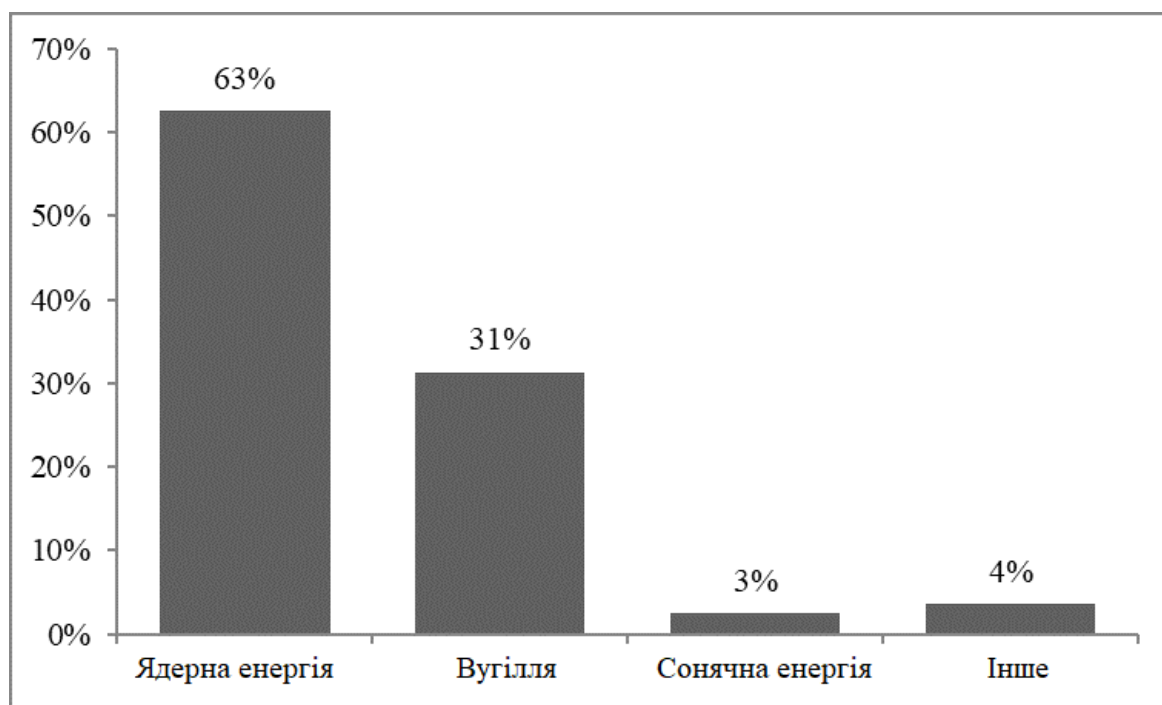


Рис. 2.42. Структура виробництва електроенергії в Україні на 2021 рік\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23,80]

Проте з виробництвом електроенергії вугільними електростанціями можливі значимі перепади, оскільки через проведення активних бойових дій безпосередньо в місцях видобутку вугілля, а також блокадою Чорного моря залишається можливість його імпорту через країни Європи автомобільним або

залізничним транспортом. Але враховуючи той факт, що більшість країн Європи самі будуть нарощувати споживання вугілля протягом найближчих років існує велика ймовірність фізичної нестачі вугілля в Україні.

В структурі виробництва теплоенергії найбільша частка припадає на природний газ (68%), вважаючи на найбільші газові сховища природного газу в Європі (більше 30 млрд. куб. м.) можна припустити, що в зимній період, навіть у випадку зупинки експорту з бору рф, Україна зможе забезпечити свої енергетичні потреби в даному виді палива. На вугілля припадає лише 17%.

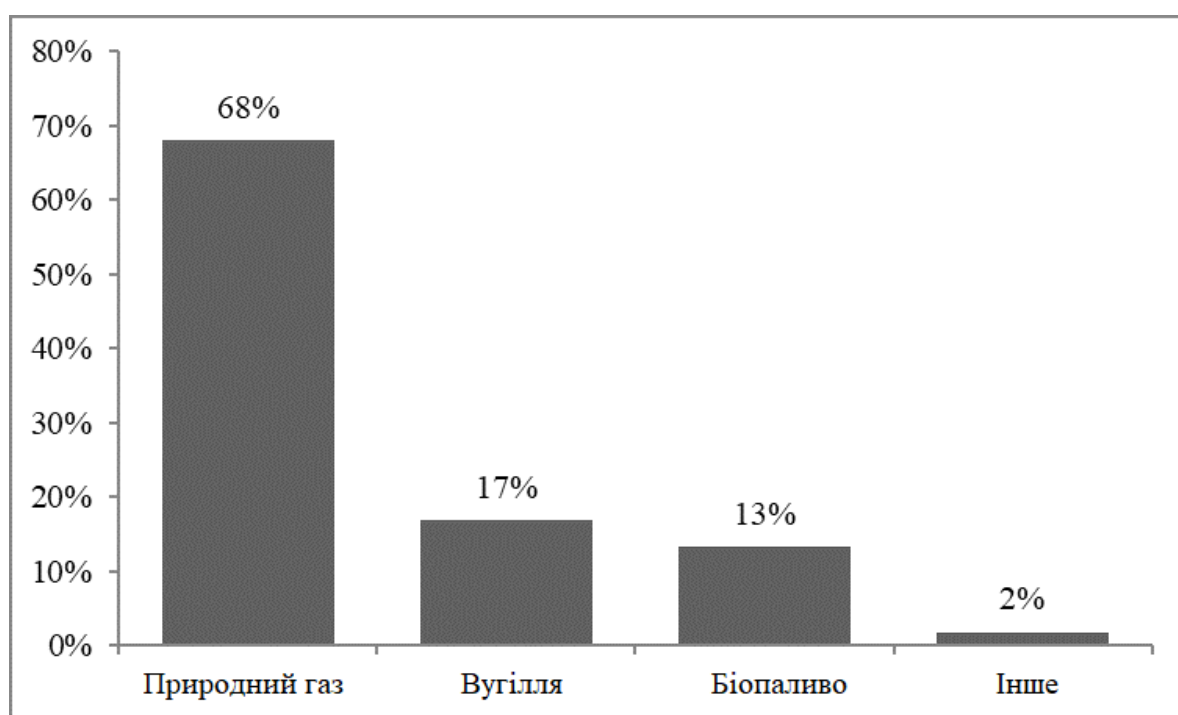


Рис. 2.43. Структура виробництва теплоенергії в Україні на 2021 рік\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23]

В поточних умовах змодельювати всі можливі сценарії зміни структури енергетичного балансу України не можливо. Досить важко оцінити можливі проблеми з постачанням первинної енергії в Україну враховуючи стохастичну складову майбутньої ситуації на глобальному енергетичному ринку та перебігом бойових дій. Однак, на даний момент, найбільш реалістичним сценарієм виступає саме проблеми з виробництвом та імпортом вугілля.

Розглянемо сценарій, при якому загальна кількість виробленого та імпортованого вугілля в Україну зменшиться на 80%. В даному випадку зменшиться не тільки пряме споживання вугілля різними секторами економіки, а ще й зменшиться обсяг виробленої електроенергії та теплоенергії. При незмінному обсягу споживання енергії, скорочення постачання вугілля на 80% викликало б дефіцит в енергоспоживанні на рівні 15%. При цьому споживання електроенергії скоротилось би з 21% до 19%, а теплоенергії з 16% до 15%. Пряме споживання вугілля скоротилось би з 19% до 6%.

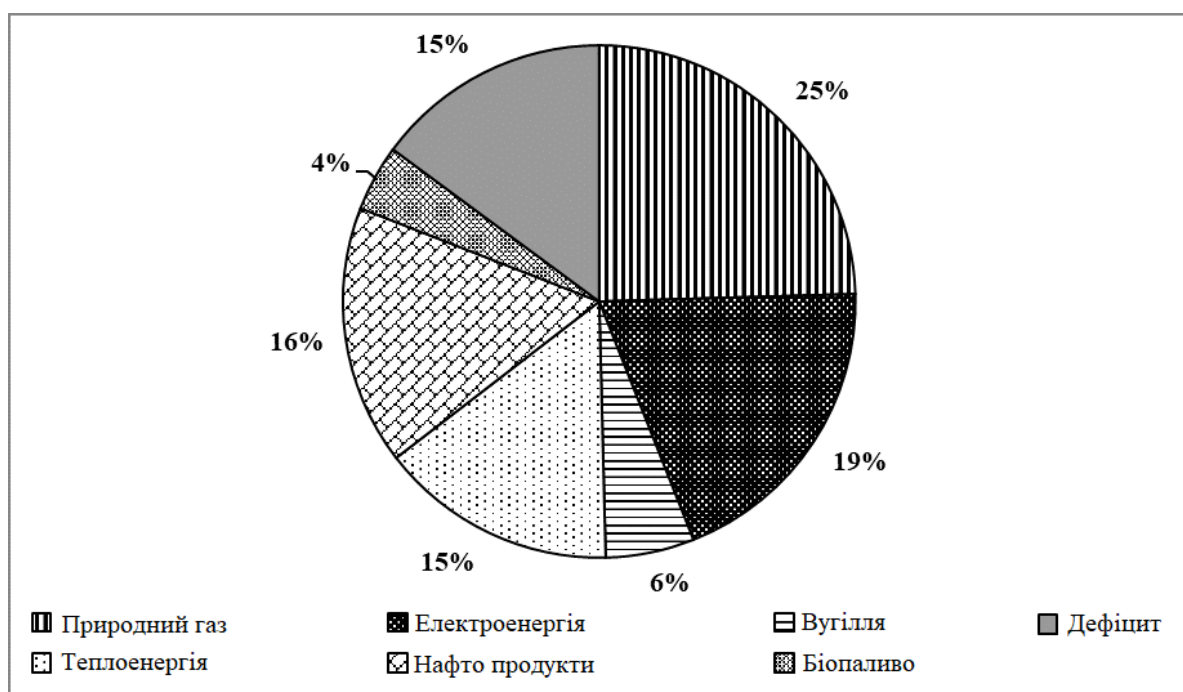


Рис. 2.44. Модельована структура кінцевого споживання енергії в Україні у випадку скорочення постачання вугілля на 80%\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23]

Проте дефіцит в 15% формується у випадку, коли споживання залишається на «довоєнному» рівні. Задля оцінки потенційного рівня скорочення споживання енергії в Україні розглянемо структуру споживання вугілля за секторами економіки. З рис. 11. видно, що найбільшими споживачами вугілля в Україні виступає чорна металургія, коксові підприємства та підприємства з виробництва брикетів.

В структурі споживання електроенергії найбільша частка припадала на приватний сектор, торгівлю та надання послуг, чорну металургію, гірничодобувний сектор.

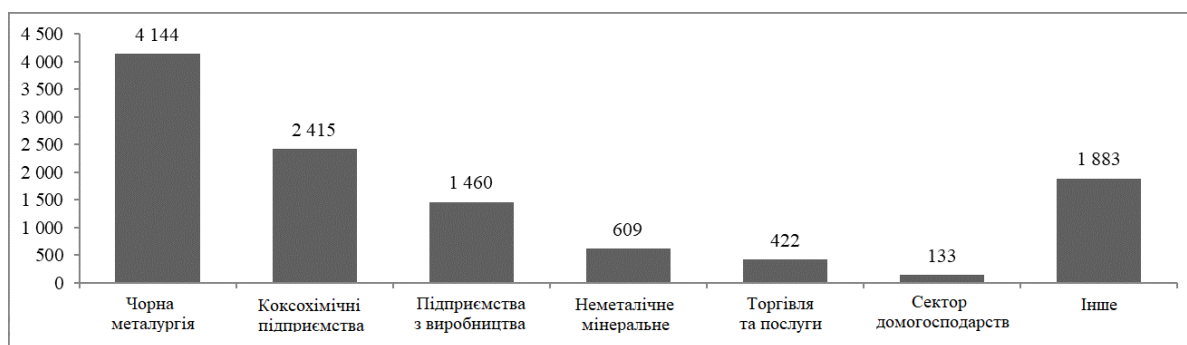


Рис. 2.45. Структура споживання вугілля за секторами економіки України на 2021 рік.\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23]

Звичайно, споживання приватним сектором електроенергії не скоротиться, навіть, в умовах вимушеної міграції мільйонів громадян закордон, оскільки можливі проблеми з постачання теплоенергії будуть компенсуватись нарощуванням використання електричного опалення.

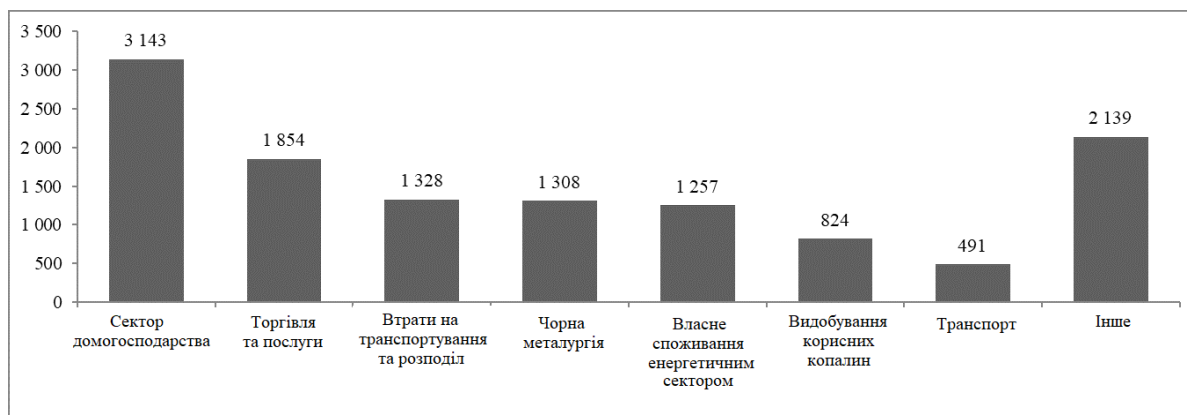


Рис. 2.46. Структура споживання електроенергії за секторами економіки України на 2021 рік.\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23]

При цьому, відповідно до вище вказаних факторів, можливе скорочення споживання електроенергії мелатургійним сектором та гірничодобувним сектором (щонайменше на 50%).

В структурі споживання теплоенергії значне місце займає приватний сектор, торгівля та послуги і знову ж таки чорна металургія. З метою оптимізації використання природного газу уряд України прогнозує зменшення мінімально допустимої температури в багатоквартирних будинках, що напряду зменшить споживання теплоенергії приватним сектором, також в сучасних умовах війни та рецесії економіки буде відбуватись зменшення використання теплоенергії сектором торгівлі та чорної металургії.

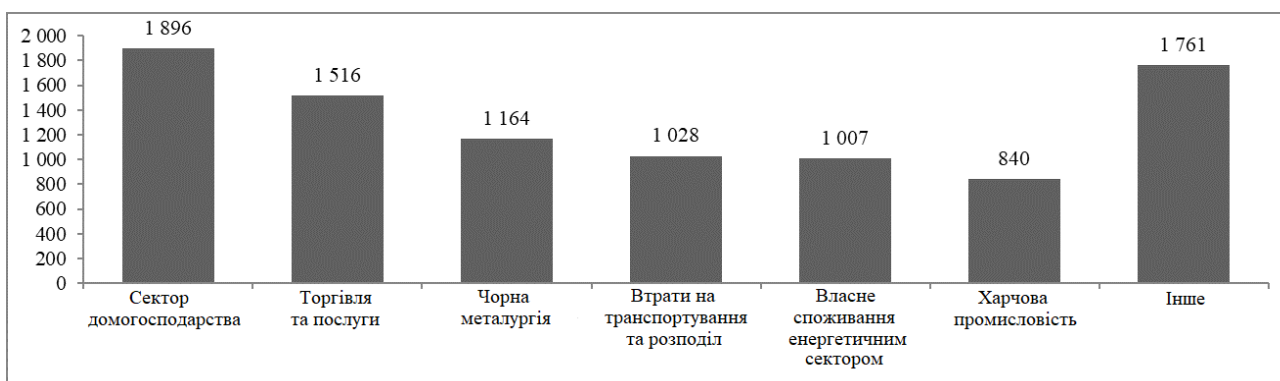


Рис. 2.47. Структура споживання теплоенергії за секторами економіки України на 2021 рік.\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23]

Таким чином, дефіцит в постачанні енергії буде «зменшений» до 3% в результаті призупинення або повного зупинення одних з найбільших секторів економіки та вимушеної міграції мільйонів громадян за межі України.

Модельована структура кінцевого споживання енергії в Україні у випадку скорочення постачання вугілля на 80% та рецесії економіки в результаті війни наведена на рис. 2.48.

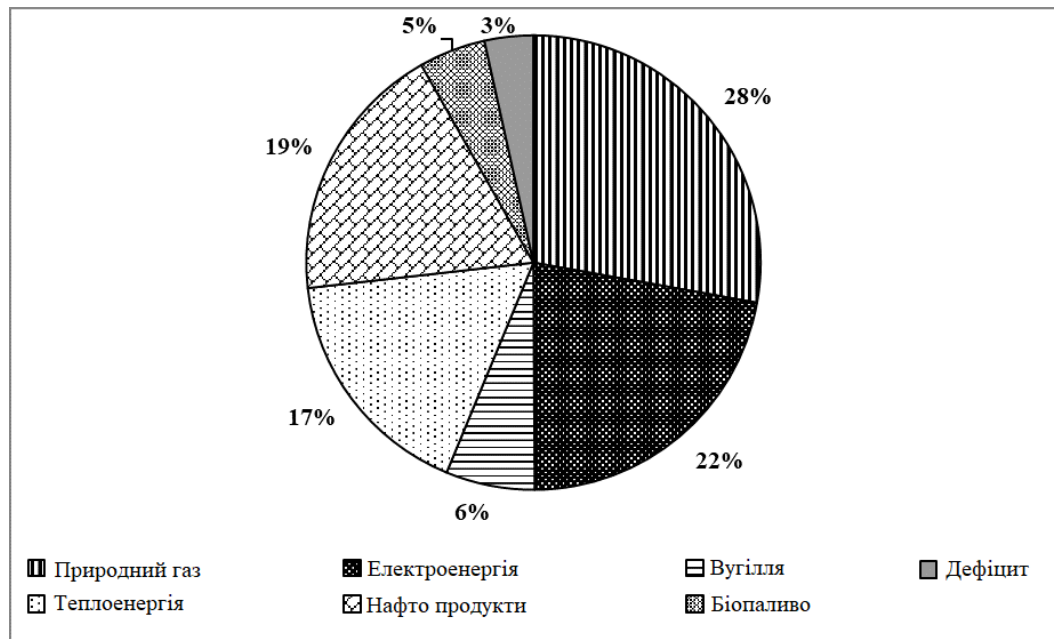


Рис. 2. 48. Модельована структура кінцевого споживання енергії в Україні у випадку скорочення постачання вугілля на 80% та рецесії економіки в результаті війни\*

Примітка. \*Складено автором на основі [23]

Зважаючи на тимчасову окупацію територій, де розміщуються одні з найбільших металургійних комплексів або ж їх максимальну наближеність до місця проведення активних бойових дій можна висунути гіпотезу, що ці сектори економіки скоротять споживання вугілля не менше ніж на 50% в силу зупинення або призупинення виробництва.

### 2.3. Дослідження потенціалу відновлюваної енергетики як складової енергетичної безпеки сільських домогосподарств

Світ в процесі свого еволюційного розвитку та проходячи через складні, інколи, не прогнозовані виклики з кожним роком все більше трансформується. Грандіозні ідеї науковців та передові технології в різних секторах економіки, які двадцять або тридцять років тому були доступні лише великому бізнесу або



великим урядовим програмам за цей час серйозно трансформувались та адаптувались під потреби звичайних споживачів. Ще тільки 15 років тому електромобілі були великою новинкою на автомобільному ринку, випуском яких займались поодинокі компанії в якості більше експериментальних зразків, аніж серійних автомобілів. Сьогодні ж на дорогах звичайних міст по всьому світу все частіше можна побачити електромобілі, а багато автовиробників в США, Європі та Азії заявляють про відмову використання дизельних двигунів, та прогнозують поступовий перехід на електродвигуни.

Якщо у випадку поступового переходу на електродвигуни більшу роль відіграло бажання зменшити викиди вуглекислого газу в атмосферу та уникнути ефекту глобального потепління, то глобальна пандемія викликана корона вірусом в 2019 році буквально за декілька місяців трансформувала звичний стиль життя майже всього населення планети. Завдяки комп'ютерним технологіям та доступу до швидкісного інтернету стало можливим проводити дистанційне навчання та роботу, неабиякого розвитку набула інтернет торгівля.

Всі ці явища й події, неабияк, знаходять своє відображення на глобальному енергетичному ринку. Запровадження політики декарбонізації серед країн Європи та США відобразилось на поступовому зменшенні використання вугілля, що було компенсовано нарощуванням використання природного газу, який являється більш екологічним. Світова пандемія, викликана корона вірусом відобразилась на скороченні споживання нафти та нафтопродуктів в 2020 та 2021 роках. Досвід використання ядерної енергетики тепер відображається у помірному її використанні протягом останніх десятиліть та відсутності будь-якого тренду до нарощування потужностей ядерних електростанцій.

Бажання отримати екологічно чисте, безпечне у використанні джерело енергії уже не одне десятиліття мотивувало науково дослідні центри та приватні компанії до розробки та впровадження нових технологій відновлюваної енергетики, основний акцент з яких припадав на сонячну та вітрову енергетику.

Так тільки за останні 11 років, а саме з 2009 по 2020 рік загальний приріст потужностей об'єктів відновлюваної енергетики склав 453%, а сам тренд виробництва та споживання даного типу енергії носить експоненційний характер.

В контексті здешевлення виробництва новітніх технологій та їх все більшого використання, основним драйвером розвитку декарбонізованої глобальної економіки буде виступами саме відновлювана енергетики, яка в подальшому має всі шанси повністю трансформувати глобальний енергетичний ринок. Перевага використання відновлюваної енергетики над викопними джерелами енергії являється її ступінь диверсифікованості. Відновлювана енергетика не потребує значних капіталовкладень на рівні окремого суб'єкта її генерації, а отже не передбачає існування тільки великих енергетичних концернів. Так, наприклад, уже сьогодні мільйони людей по всьому світі можуть дозволити собі домашні сонячні електростанції, які надають їм можливість повністю задовольняти власні енергетичні потреби: опалення приміщень, використання електроприладів та генерація електроенергії для живлення електромобілів. Тому питання про структуру фінансування відновлюваної енергетики сьогодні та в майбутньому являється дуже актуальним і має велике значення.

За темпами розвитку відновлюваної енергетики Україна не поступається світовим показникам. А враховуючи, що існуючі об'єкти енергетики, такі як ядерні та теплові електростанції майже повністю амортизовані досить ймовірно, що саме на відновлювану енергетику покладеться завдання оновлення українського енергетичного сектору.

Питаннями розвитку відновлюваної енергетики та її потенціалу активно займалися науковці уже на початку 21 століття. Так, для прикладу, Азіатсько-Тихоокеанське економічне товариство ще в 1997 році поклало великі надії на відновлювану енергетику, як головний інструмент задоволення енергетичних потреб населення, яке має обмежений доступ до ліній електропередач або часті

перебої з постачанням електроенергії, зокрема це стосувалось жителів сільських територій. На той час вважалось, що головними умовами, за яких відновлювані технології зможуть забезпечити електроенергією більшість сільських територій являється лібералізація енергетичних ринків та мобілізація приватного капіталу [78].

В 2000 році Норберт Вольгемут та Джіоті Пейнлі в своєму дослідженні говорили, що технології відновлюваної енергетики розгортаються недостатньо швидко. На той момент існувала велика невідповідність між їхнім потенціалом для досягнення цілей сталого розвитку та фінансовими ресурсами, які вони залучають. Відновлювані джерела енергії, на той час, були набагато дорожчі, ніж звичайні види палива, а низькі ціни на викопні джерела енергії тільки посилювали проблему переходу на відновлювану енергетику. Дослідники вважали, що скасування субсидій, які надавались традиційним енергетичним секторам економіки та впровадження жорсткої політики інтернаціоналізації соціальних витрат на викиди вуглецю повинні допомогти у вирішенні даної проблеми. На думку науковців основна роль у переході на відновлювані джерела енергії повинна покладатись на створення організаційних, інституційних та фінансових умов, за яких може розвиватися комерційний ринок цих технологій, особливо в країнах, які розвиваються [146].

В 2005 році німецький банк розвитку Entwicklungsbank опублікував огляд процесу фінансування відновлюваної енергетики в світі. Дослідники говорили про те, що проекти фінансування відновлюваної енергетики відрізняються від інших інвестиційних проектів значними вкладеннями капіталу на початку проекту з подальшими низькими операційними витратами. Оскільки фінансування відновлюваної енергетики є дуже капіталомістким, воно автоматично стає дуже чутливим до структури та умов фінансування капітальних витрат. На той час німецькі дослідники вважали, що процес електрифікації сільських територій як розвинутих країн так і країн, що розвиваються за

допомогою технологій відновлюваної енергетики не є комерційно рентабельним, а тому воно повністю залежить від урядових субсидій [107].

За останні 20 років відновлювана енергетика в усьому світі сильно трансформувалась та еволюціонувала. Багато з тих гіпотез, які висували науковці ще на початку 2000-х років підтвердились. Нещодавні дослідження британських науковців показали, що фінансування відновлюваної енергетики у світі, зокрема і в країнах, які розвиваються відбуваються значними темпами, що в першу чергу пояснюються глобальними ініціативами щодо пом'якшення наслідків зміни клімату. Цілі щодо розвитку відновлюваної енергетики були реалізовані щонайменше у 164 країнах. Розвинені країни закріпили довіру інвесторів, створивши ефективну систему цілей розвитку відновлюваної енергетики, яка забезпечує адекватний аналіз та достовірний прогноз фінансових інструментів для майбутнього розвитку відновлюваної енергетики. Подальший розвиток відновлюваної енергетики повинен базуватись на запровадженні спеціальних політик та окремих правил правової бази з боку держави [106].

На першому етапі більшість енергетичних проектів, зокрема відновлюваної енергетики, фінансується безпосередньо за рахунок самих власників та кінцевих споживачів, однак даного ресурсу майже не вистачає для завершення всього проекту, що несе загрози для оптимального використання власного капіталу. У зв'язку з цим широко використовується практика залучення вторинних джерел фінансування з комерційних або державних банків та різноманітних ринків капіталу. Крім цього ряд підприємств з обмеженим власним капіталом отримують доступ до кредитного ресурсу через фінансових посередників, що створює ряд проблем: банкам доводиться боротися з обмеженнями кредитування, а ринки акціонерного та позикового капіталу залишаються недостатньо розвиненими [105].

Політику декарбонізації економіки за рахунок розвитку відновлюваної енергетики на даний час починає активно підтримувати великий бізнес, так

багато великих корпорацій світу, такі як Apple, Microsoft або Facebook заключають договори на купівлю електроенергії з відновлюваних джерел енергії [111].

Інвестиції у відновлювану енергетику надходять від широкого кола приватних і державних суб'єктів, що зазвичай мають різні ролі та підходи у фінансуванні відновлюваної енергії. Наприклад, приватний сектор, що забезпечує найбільшу частку фінансування відновлюваної енергетики в світі, більше зосереджується на регіонах і технологіях із сприятливим інвестиційним середовищем. Державне фінансування, навпаки, зосереджується на сферах, які все ще вимагають більше роботи для зниження вартості капіталу [109,53].

Питанням розвитку та фінансування відновлюваної енергетики в світі та Україні займались багато вітчизняних дослідників. Так українська неприбуткова громадська організація – центр екологічних ініціатив "Екодія" нещодавно опублікувала звіт про нові механізми розвитку відновлюваної енергетики, зокрема вона розглядає питання зниження строку окупності комерційних СЕС, вплив зеленого тарифу на розвиток відновлюваної енергетики, аукціони підтримки відновлюваних джерел енергії та прямі договори купівлі продажу енергії [71].

Ю. Гернего та О. Ляхова у своїй науковій статті стверджують, що з метою посилення ролі альтернативної енергетики в Україні державі необхідно зосередити увагу на зростанні попиту на «екологічні» технології генерування енергії та потребі значних обсягах її фінансування. Також необхідно збільшити частку боргового фінансування розвитку та забезпечити дольовий характер фінансування [9].

З розглянутих вище наукових робіт можна з впевненістю говорити, що питання розвитку відновлюваної енергетики в світі залишається актуальним щонайменше 25 років.

За цей час технології генерації відновлюваної енергії досить сильно еволюціонували та змогли задовольнити енергетичні потреби тих домогосподарств та підприємств, що мали складності з доступом до традиційних джерел енергії.

Головним інвестиційним ресурсом у відновлювану енергетику все частіше стають залучені кредитні кошти, а не власний капітал.

Хоча при цьому спостеігається тенденція до інвестування у відновлювану енергетику найбільших інтернаціональних корпорацій, які власним прикладом показують важливість переходу на відновлювані джерела енергії.

Розвиток та потенціал відновлюваної енергетики не можливо розглядати окремо від сучасного стану традиційної енергетики [124]. Саме бажання розвинутих країн світу в довгостроковій перспективі повністю забезпечити свої енергетичні потреби чистими та відновлюваними джерелами енергії являється основним стимулом до скорочення використання таких енергоресурсів як вугілля або ядерну енергію.

Для оцінки розвитку відновлюваної енергетики розглянемо її в контексті порівняння з іншими джерелами первинної енергії, на рис. 2.32 представлено динаміку споживання всіх типів енергоресурсів з 2009 по 2020 рік у світі. Найбільшими джерелами енергії традиційно виступають викопні корисні копалини, а саме: нафта, природний газ і вугілля, загальний еквівалент споживання яких в 2020 році становив більше 11 млрд. тонн нафтового еквіваленту.

При цьому хотілось би зазначити, що нафта використовується як для транспортного так і хімічного секторів економіки, аналогічно до нафти природний газ часткового використовується в хімічному секторів економіки проте так само, як і вугілля природний газ в основному використовується для цілей теплової енергетики (опалення будівель та генерація електроенергії).

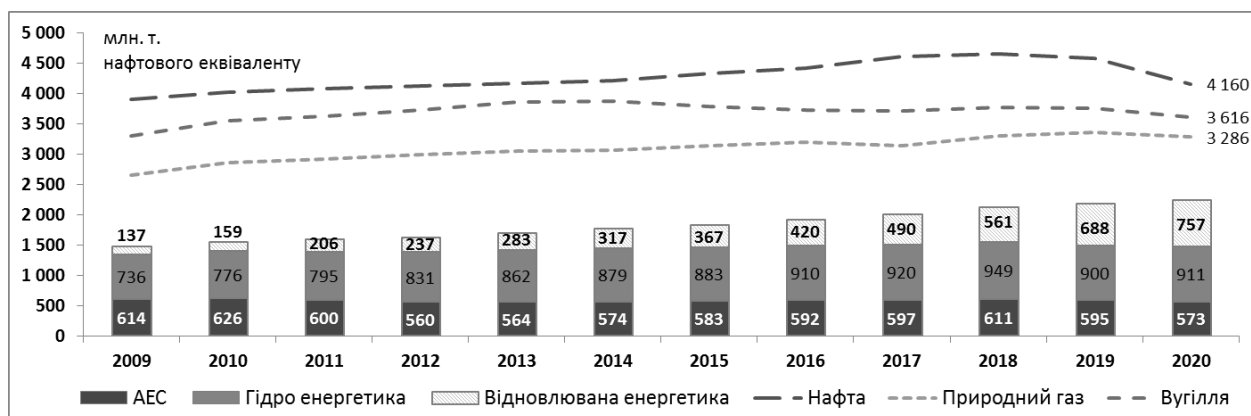


Рис. 2.32. Динаміка споживання первинної енергії в світі\*

Примітка. \*Складено автором на основі [159]

На аналізованому часовому горизонті спостерігається поступове зменшення вугілля починаючи з 2013 року, та нарощування використання природного газу, що може бути пояснене запровадженням політики декарбонізації в багатьох розвинутих країнах світу. Серед інших викопних енергоресурсів спостерігається зменшення показника споживання нафти у 2020 році, що було спричинено світовою пандемією.

Крім викопних енергоресурсів у світі для генерації електроенергії використовується гідроенергетика, ядерна енергетика та відновлювана енергетика, що разом в 2020 році згенерували 2,2 млрд. тонн нафтового еквіваленту енергії. На представленому часовому горизонті середній показник споживання ядерної електроенергії складає 590 млн. т. нафтового еквіваленту, при чому варіація споживання незначна. Це пояснюється перш за все тим, що ядерні електростанції мають досить тривалий період будівництва та фінального запуску в експлуатацію (для США приблизно 10 років, для країн ЄС 5-7 років), а сам термін експлуатації складає 50 років та додаткові 20 років у випадку модернізації реакторів.

Враховуючи, що політика багатьох держав націлена на мінімізацію використання ядерної енергетики в силу її значних ризиків використання темпи

будівництва нових заводів суттєво менші ніж в 20 столітті, і сьогоднішні обсяги виробництва ядерної електроенергії забезпечено уже існуючи об'єктами.

Привертає до себе увагу гідроенергетика, споживання енергії якої має стійкий тренд до збільшення, так на початку другого десятиліття 21 століття середній показник споживання даного типу енергетики складав 770 млн. т. нафтового еквіваленту, тоді як на початок 2021 року цей показник становить 920 млн. т. нафтового еквіваленту.

Найбільше звертає на себе увагу відновлювана енергетика. Так в 2009 році вона виробляла всього 137 млн. тонн нафтового еквіваленту, що являлось абсолютно мінімальним значенням серед всіх можливих джерел енергії. Однак протягом останнього десятиліття вона демонструвала, майже, експоненційний показник росту, що складає 15,4% в рік. За 2020 рік споживання електроенергії відновлюваної енергетики склало 757 млн. тонн нафтового еквіваленту, що перевищує, як середній так і фактичні показники для ядерної енергетики і стрімко наближується до гідроенергетики.

Причиною стрімкого росту споживання відновлюваної енергії є стрімкий розвиток цієї галузі, що забезпечений значними інвестиціями. На рис. 3.33 зображено динаміку світових інвестиції за основними типами. Найбільші інвестиції відбуваються за рахунок залучених кредитних коштів, які інвестор отримує в комерційних та державних банків під заставу всього об'єкта інвестування. Загалом даний тип інвестування на початку 21 століття мав в собі суттєві ризики, зокрема ризик інвестування в абсолютно новітні технології, ефективність яких ще не була підтверджена часом, враховуючи ця виникав значний ризик втрати кредитного рейтингу або суттєве його зменшення у випадку не повернення залучених кредитних коштів, таким чином компанії які проводили фінансування цих об'єктів могли не тільки не отримати прибуток, а й ще ставили під загрозу поточну операційну діяльність. Однак, з 2004 по 2008 роки обсяг даного типу інвестувань збільшився з 34 до 133 млрд. дол. США.



Світова економічна криза 2008 року, дещо зменшила показник інвестицій, що можна побачити на показнику 2009 року, проте з 2010 року відбувався стійкий ріст даного типу інвестицій і в 2019 році він склав 230 млрд. дол. США.

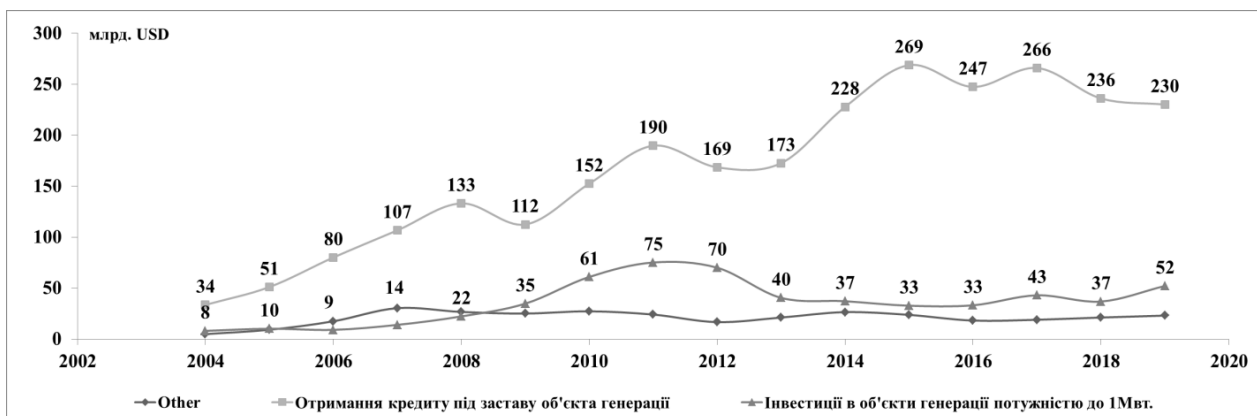


Рис. 2.33. Динаміка світових інвестицій у відновлювану енергетику за типом свого походження\*

Примітка. \*Складено автором на основі [111]

Значно меншим типом інвестицій являються інвестиції в об'єкти генерації потужністю до 1 Мвт. Даний тип інвестицій характерний, як фізичним так і юридичним особам, що інвестують власні кошти у відносно малі об'єкти генерації відновлюваної енергетики. На відміну від інвестування залучених кредитних коштів, інвестиції власних коштів не мали такого значного росту протягом останнього десятиліття. При рівні інвестицій у 8 млрд. дол. США в 2004 році на початок 2020 року вони склали всього 52 млрд. дол. США, піком їхнього росту виступав 2011 рік, коли показник інвестувань досягав 75 млрд. дол. США.

Розглянемо структуру світових інвестицій у відновлювану енергетику за типом свого походження за 2019 рік. З рис. 3.34 видно, що 75% припадає на уже розглянуті інвестиції за рахунок отримання кредитних коштів від комерційних та не комерційних банків. Інвестиції за рахунок власного капіталу в об'єкти потужністю до 1 Мвт. складають 17%.

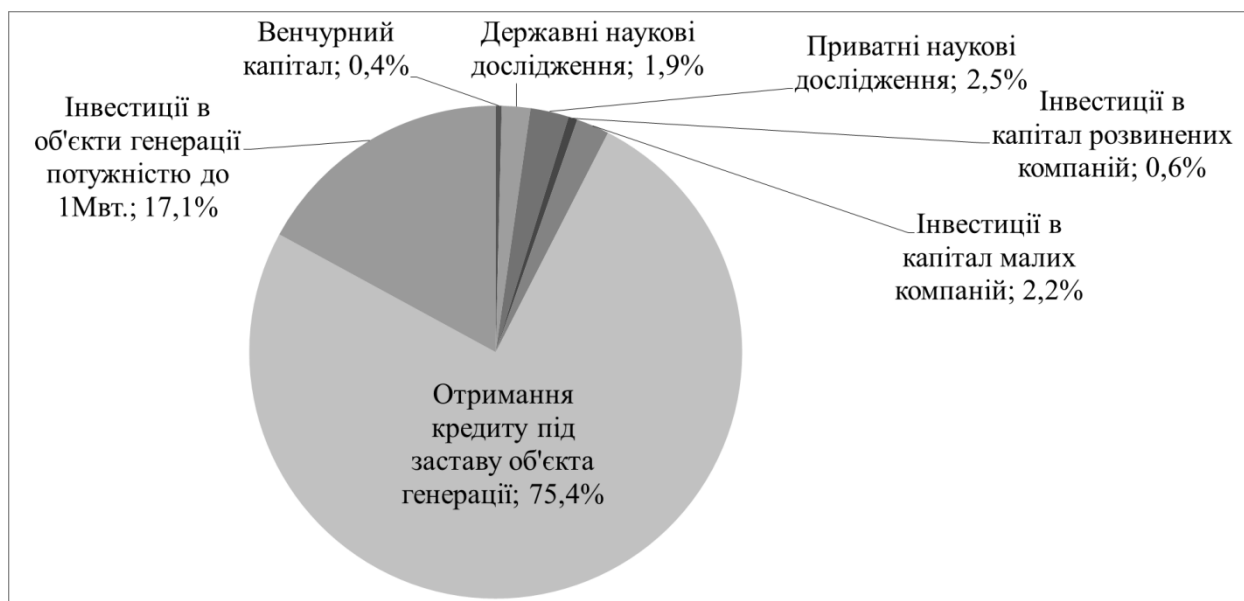


Рис. 2.34. Структура світових інвестицій у відновлювану енергетику за типом свого походження за 2019 рік\*

Примітка. \*Складено автором на основі [110]

На всі інші інвестиції припадає всього 7,6%, з яких хотілось би виокремити інвестиції приватного сектору у наукові дослідження та розробки (2,5%), державні наукові дослідження та розробки (1,9%). Не дивлячись на незначну частку інвестицій у наукові дослідження та розробки як державним так і приватним сектором, саме ці інвестиції дозволяють технологіям кожного року підвищувати показники власної ефективності та зменшення собівартості. Також деякі інвестори показують зацікавленість в купівлі акції уже існуючих компаній, що показують прибуткову діяльність, однак частка таких інвестицій не перевищує 2,8% від загальних світових.

З розглянутого вище матеріалу можна побачити, що саме відновлювана енергетика являється найбільш перспективним сектором світової енергетики, що підтверджується як зростаючими обсягами споживання даного типу енергії, так і обсягами залучених інвестицій, річні обсяги яких збільшились в 6 разів: з 50 млрд. дол. США в 2004 року до 300 млрд. дол. США в 2019 році.

Не менш вражаючі показники розвитку відновлюваної енергетики спостерігаються і в Україні (рис. 2.35). На відміну від економічно розвинених країн світу, де розвиток зеленої енергетики почався ще на початку 21 століття, в Україні до 2012 року загальна потужність об'єктів відновлюваної енергетики не перевищувала 29 МВт, при чому вона складалась в основному з об'єктів біоенергетики.

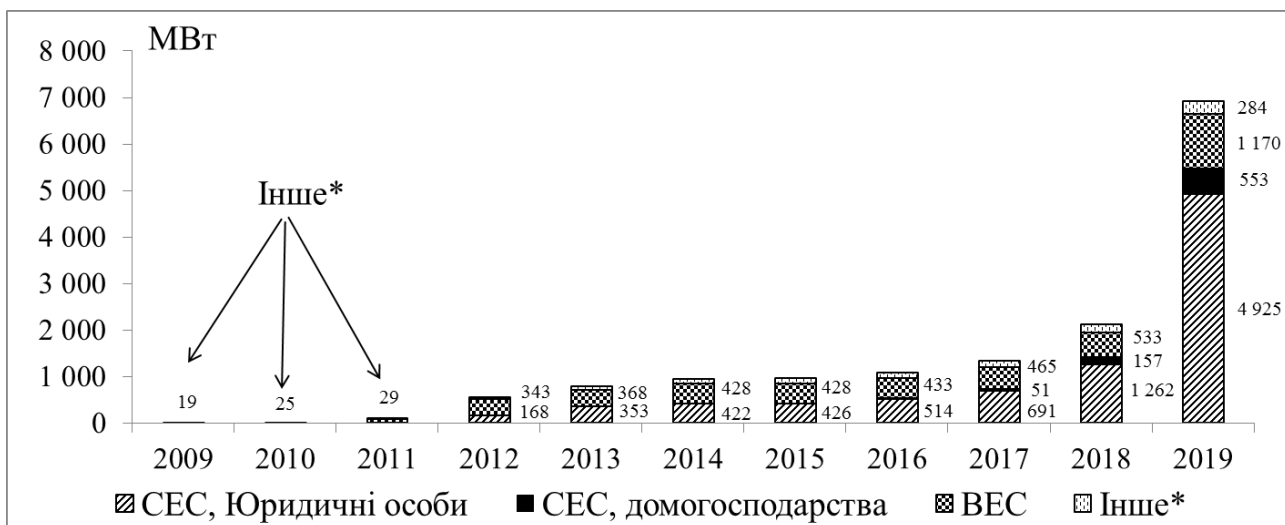


Рис. 2.35. Розвиток відновлюваної енергетики в Україні

Примітка. \*Складено автором на основі [148, 15]

\*До категорії «інше» відноситься біоенергетика та мала гідроенергетика

Однак, з 2012 року Україна почала стимулювати розвиток відновлюваної енергетики шляхом урядових програм, а саме запровадженням зеленого тарифу. Основними об'єктами інвестиції з 2012 по 2015 роки були вітрові електростанції, однак з 2016 року лідируючі позиції зайняла сонячна енергетика. Цікаво відзначити, що тільки за два роки з 2017 по 2019 загальна потужність сонячних електростанцій в Україні збільшилась майже в 10 разів, з 742 МВт. до 5478 МВт., тоді як в 2019 році потужність вітрової енергетики складала лише 1170 МВт.

Такий розвиток сонячної енергетики в Україні перш за все можна пояснити вищим рівнем зеленого тарифу в порівнянні з вітровою енергетикою, а також простотою встановлення даних сонячних панелей з додатковим обладнанням та

їх підключенням до центральної електромережі. В підтвердження даної гіпотези можна навести динаміку встановлених потужностей сонячної енергетики домогосподарствами, яка з 2017 по 2019 роки збільшилась в 10 разів з 51 МВт до 553МВт.



Рис. 2.36. Динаміка розвитку сонячної енергетики серед домогосподарств України\*

Примітка. \*Складено автором на основі [15]

Для кращого аналізу динаміки розвитку сонячної енергетики серед домогосподарств розглянемо поквартальні дані з 2015 по 2021 роки (рис. 2.36). За шість з половиною років встановлена потужність домашніх СЕС збільшилась з 2 до 933 МВт. та апроксимується експоненційним трендом росту з коефіцієнтом детермінації в 97%. Відповідно до даного тренду квартальний приріст встановлених потужностей складає 28%, що суттєво перевищує світові показники.

Крім встановленої потужності, хочеться відзначити ріст середнього значення встановленої потужності на 1 домогосподарство. Перші домогосподарства, що встановлювали сонячні електростанції протягом першого кварталу 2016 року надавали перевагу значним потужностям (22 кВт), однак коли до ринку почали долучатись нові гравці, то показник середньої потужності знизився до 13 кВт, що говорить про небажання фізичних осіб на той час брати на себе значні ризики. З кожним наступним кварталом домогосподарства

поступово нарощували свій ризик апетит та встановлювати все потужніші СЕС і уже до початку 3 кварталу 2019 року середня потужність домашньої СЕС становила 28 КВт, що всього менше на 2 КВт за максимально дозволена величину відповідно до закону про зелений тариф в Україні. Протягом 2019 та 2021 років середня потужність встановлюваних нових СЕС коливались від 27 до 29 КВт з медіанним значенням 28 КВт.

Окремо зупинимось на аналізі зеленого тарифу в Україні. В табл.2.25. наведено показник зеленого тарифу для домашніх СЕС, приватних СЕС, а також ВЕС. Ці показники були вибрані з тих міркувань, що саме на ці типи відновлюваної енергетики припадає лєвова частка всією відновлюваної енергетики в Україні за останні роки.

З 2013 року зелений тариф неодноразово переглядався, так для домашніх СЕС кількість переглядань становила 5 разів, причому значення показника зменшилось з 1131 копійок в 2013 році до 513 копійок на сьогоднішній момент. Для приватних компаній уряд розділив зелений тариф для СЕС на основних типи: для СЕС з потужністю до 1 МВт та СЕС з потужністю більше 1 МВт, при чому СЕС з потужністю до 1 МВт в більшості аналізованих періодів мали більше значення зеленого тарифу. Як і для домашніх СЕС, зелений тариф для приватних СЕС переглядався досить часто: 4 рази за аналізований період. Найменшу кількість переглядів мав зелений тариф для вітрової енергетики, всього 1 раз. За своєю величиною для всіх аналізованих періодів найбільшим являється зелений тариф для домашніх СЕС та дещо меншим для приватних СЕС з потужністю до 1 МВт., що говорить про стимулювання з боку держави саме малих виробників.

Така політика може пояснюватись намаганням держави диверсифікувати виробничі потужності на ринку відновлюваної енергетики та не допустити його монополізації великими компаніями та корпораціями.

Таблиця 2.9.

**Динаміка показника зеленого тарифу  
для домогосподарств та юридичних осіб в Україні\***

Період	Середній курс євро за період	Домогосподарства коп/кВт·год (номінальні значення)	Домогосподарства, євро центів/кВт·год	СЕС: компанії з потужністю до 1 МВт., євро центів/кВт·год	СЕС: компанії з потужністю більше 1 МВт., євро центів/кВт·год	ВЕС
2013-2014 роки	13	1131	86,3	15,7	14,4	9,4
перше півріччя 2015 року	24	1018	42,7	15,7	14,4	9,4
друге півріччя 2015 року	25	632	25,7	15,7	14,4	9,4
2016 рік	28	600	21,2	14,8	13,6	9,4
2017-2019 роки	30	571	18,8	13,9	12,8	9,4
січень-жотень 2020 року	30	513	17,0	11,0	11,0	8,8
листопад-грудень 2020 року	34	513	15,1	11,0	11,0	8,8
2021 рік	32	513	15,9	10,6	4,4	8,8
2022 рік	32	513	15,9	10,2	4,2	8,8

Примітка. \*Складено автором на основі [45, 104]

Іншим важливим аспектом, який необхідно підкреслити являється поступове зменшення зеленого тарифу пропорційно до росту встановлюваних потужностей в країні. Так, при стрімкому рості встановлюваних потужностей СЕС серед домогосподарств зелений тариф для даної групи виробників

переглядався найбільшу кількість разів, при чому в гривневому еквіваленті він зменшився в 2 рази, тоді як в реальному значенні, вираженому в євроцентах він зменшився з 86 до 16 євроцентів або ж в 5,4 рази.

Така сама ситуація спостерігається і для великих виробників, для яких зелений тариф зменшився в реальних значення більше ніж в 3 рази. Також гіпотезу зменшення зеленого тарифу пропорційного росту встановлюваних потужностей підтверджує зелений тариф, який переглядався лише 1 раз для вітрової енергетики, що мала суттєво менші темпи розвитку у порівнянні з сонячною енергетикою.

Як відомо перегляд зеленого тарифу не застосовується для тих юридичних осіб, які заключили договір на постачання відновлюваної енергетики до моменту перегляду тарифу. З рис. 2.38 можна побачити, що станом на початок 2022 року в Україні діє 1385 СЕС, власниками яких являються юридичні особи. При чому більше ніж 500 СЕС постачають електроенергію за зеленим тарифом більше 14 євроцентів, що свідчить про початок функціонування даних СЕС до 2013 року, коли держава тільки запроваджувала стимулювання розвитку відновлюваної енергетики значним розміром зеленого тарифу.

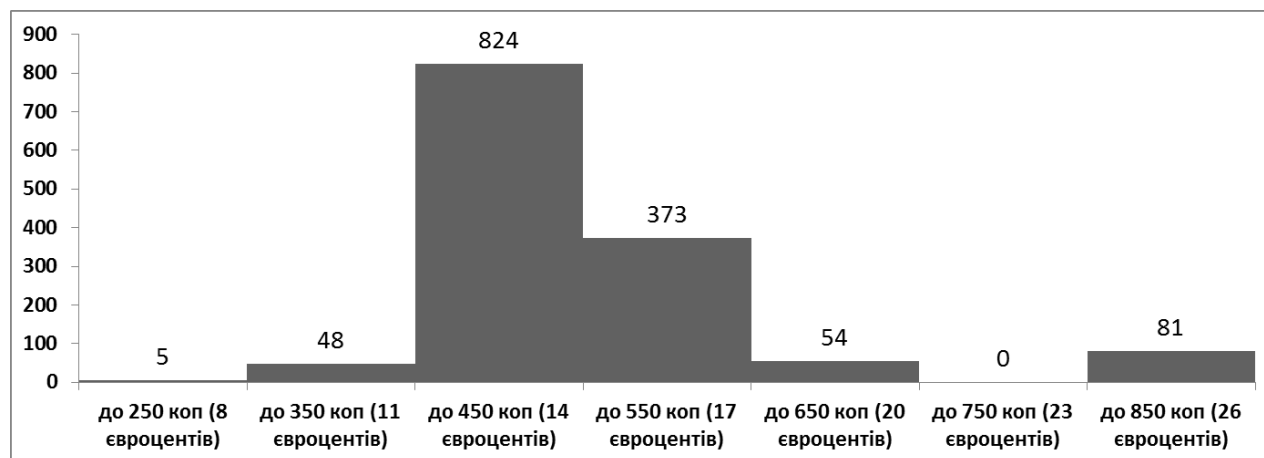


Рис. 2.37. Гістограма розподілу сонячних електростанцій в Україні відносно їх зеленого тарифу\*

Примітка. \*Складено автором на основі [26]

На даний момент переважна більшість всіх приватних СЕС (63%) функціонує за зеленим тарифом, що не перевищує 14 євроцентів. Також слід підкреслити, що кожна юридична особа отримує свій унікальний розмір зеленого тарифу в межах максимально дозволеного, що свідчить про наявність факторів, які впливають на визначення даного тарифу кожному окремому суб'єкту господарювання.

Зелений тариф, як інструмент стимулювання розвитку відновлюваної енергетики не сильно популярний для високо розвинутих країни світу [2]. Так США та Великобританія має встановлений зелений тариф для сонячної енергетики максимально наближений до нуля. Багато країн Європи взагалі скасувало даний тариф. До країн, які мають найбільші значення встановленого зеленого тарифу для сонячної енергетики на даний момент відносяться, такі країни як Естонія, Нідерланди, Швейцарія та Туреччина. Хочеться підкреслити, що на початок 2020 року величина зеленого тарифу для сонячних СЕС в цих країнах була дуже подібна, приблизно на такому самому рівні на той момент перебував і зелений тариф встановлений в Україні. Таким чином можна говорити, що Україна відноситься до країн світу, які активно стимулюють розвиток відновлюваної енергетики.

Більшість європейських країн, які стимулювали розвиток відновлюваної енергетики за допомогою зеленого тарифу так само як і Україна мали найбільші значення зеленого тарифу на початку 2010-2013 років. Активний розвиток відновлюваної енергетики, зокрема сонячної, в розвинутих країнах світу пояснюється більше намаганням приватного сектору отримати джерело енергії, яка не залежить від зовнішніх та внутрішніх ринків енергоносіїв і подальшому може гарантувати енергетичну незалежність, що безумовно буде мати прямий позитивний ефект на показниках економічної ефективності та прибутковості.



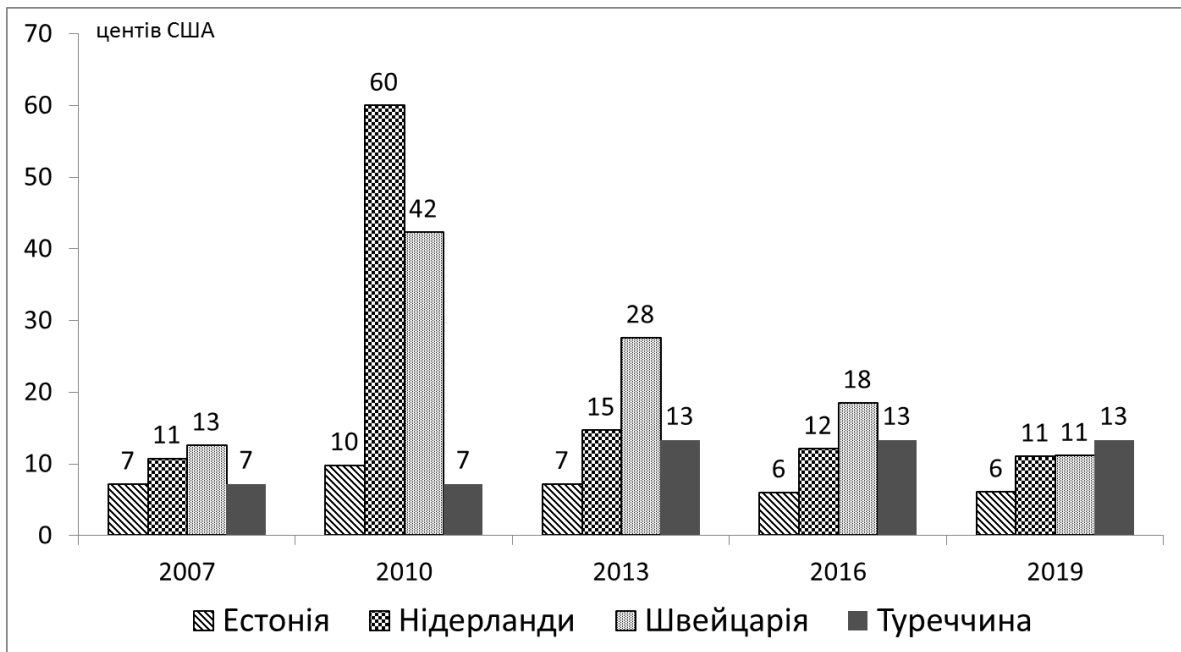


Рис. 2.38. Динаміка зеленого тарифу для сонячних електростанцій серед деяких країн світу\*

Примітка. \*Складено автором на основі [147]

Повертаючись до розгляду стрімкого розвитку відновлюваної енергетики в Україні [1], зокрема домогосподарствах постає питання, що саме так сильно стимулює її ріст. Звичайно, одним з основних факторів цього розвитку виступає зелений тариф, який держава гарантує виплачувати на всьому терміні заключного з нею договору і не виконання нею взятих на себе обов'язків може бути тільки пов'язана з дефолтом економіки.

В сьогоденних реаліях української економіки існує не так багато інструментів, які дозволяють отримувати прибуток за найнижчого рівня ризику. Так, наприклад, купівля цінних паперів імітованих українськими юридичними особами може мати високу прибутковість, проте колосальний кредитний ризик, а купівля цінних паперів не резидентів України взагалі досить часто лімітується з боку НБУ. При інвестуванні коштів на депозити приватних банків України на часовий горизонт більше 1 року можна отримати дохідність більше 10% річних, проте при цьому інвестор знову ж таки переймає на себе кредитний ризик банку

в який він інвестує, а також йому потрібно буде сплачувати податки з отриманого прибутку. Також в економіці України існує можливість інвестувати в облігації зовнішньої або внутрішньої державної позики, дохідність за якими зазвичай більша ніж рівень дохідності депозитів в комерційних банків, а необхідність сплати податку з прибутку відсутня, при цьому інвестор переймає лише кредитний ризик всієї держави, а не окремо взятої комерційної установи.

З розглянутих інструментів інвестування тільки зелений тариф дозволяє отримати дохідність за рахунок залучених кредитних коштів. На відміну від депозитів або державних облігацій, де прибутковість залежить від інвестованого розміру капіталу у випадку з зеленим тарифом інвестор може отримати кредит в комерційному або державному банку на вигідних умовах, у випадку внесення відповідного покриття, та інвестувати кредитні кошти в об'єкт генерування відновлюваної енергетики з подальшим підключенням до нього зеленого тарифу.

Однак наявність зеленого тарифу на відновлювану енергетику в Україні в повній мірі не пояснює її такий стрімкий розвиток. Найкраще це можна продемонструвати, якщо одночасно розглянути динаміку збільшення встановленої потужності СЕС домогосподарств та динаміку зменшення зеленого тарифу в реальних цінах 2015 року (рис. 2.39). З наведеного рисунку можна побачити, що з 2015 року встановлена потужність мала стійкий експоненційний тренд до росту тоді як реальний зелений тариф на всьому горизонті мав тенденцію до зменшення, що пояснюється як його переглядом урядом України так і темпами інфляції української економіки.

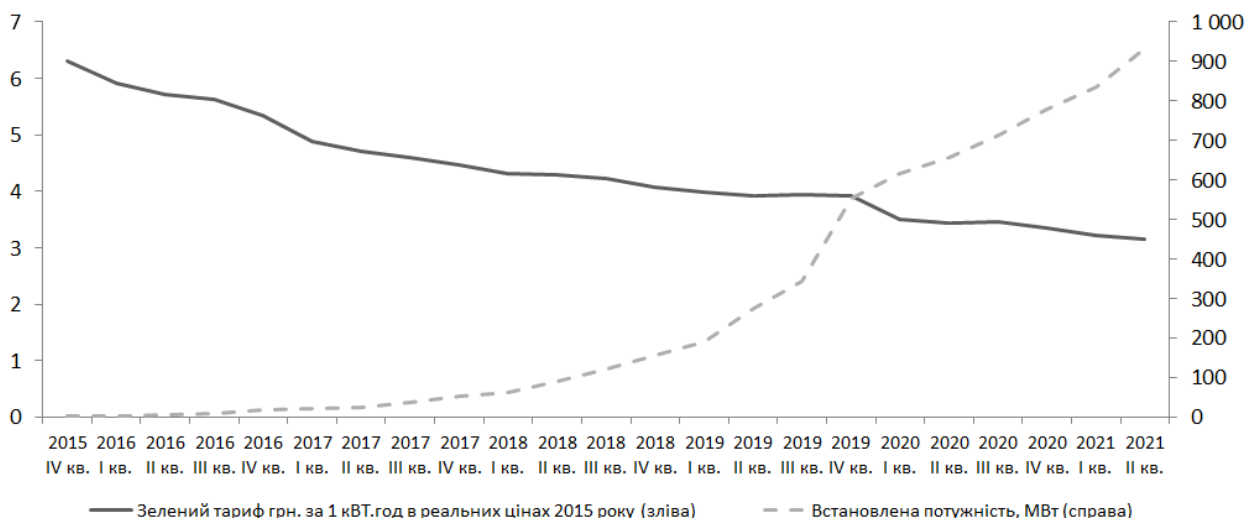


Рис. 2.39. Динаміка збільшення встановленої потужності домашніх СЕС та зменшення реального розміру зеленого тарифу в Україні\*

Примітка. \*Складено автором на основі [15, 16, 45]

Звідси можна висунути гіпотезу, що зелений тариф існує як номінальна альтернатива інвестуванню в інші сфери економіки, але при цьому немає маржинального впливу на темпи росту економіки, оскільки гіпотеза про те, що зменшення розміру можливо отриманого прибутку (зелений тариф) позитивного впливає на рівень вкладених коштів суперечить законам економіки і здорового глузду.

Відповіддю на те, що являється другим основним фактором стрімкого розвитку відновлюваної енергетики в Україні являється зменшення показники приведеної вартості генерації відновлюваної енергії (LCOE). Іншими словами собівартість і відповідно ринкова ціна реалізації обладнання відновлюваної енергетики з кожним роком стрімко зменшується.



Рис. 2. 40. Динаміка середнього значення приведеної вартості виробництва електроенергії для сонячних та вітрових електростанцій у світі

Примітка. \*Джерело: [109]

З рис. 2. 40. можна побачити, що починаючи з 2010 року по 2018 рік показник приведеної вартості генерації енергії для сонячних електростанцій зменшився на 77%, при чому аналогічний показник для вітрової енергетики наземного базування зменшився лише на 35%. Враховуючи, що українська економіка в частині новітніх технологій імпортно залежна – наведені факти чудово описують всі аспекти розвитку відновлюваної енергетики в Україні, а саме переважаючий розвиток сонячної енергетики над вітровою та іншими типами генерації відновлюваної енергії. Цікаво підмітити, що в Україні загальна потужність всіх ВЕС з 2012 по 2018 роки зросла з 343 Мвт до 533 Мвт або на 55%, що максимально наближено в процентному відношенні до обсягу падіння показника LCOE для ВЕС наземного базування (-35%).

Для підтвердження гіпотези прямого впливу зменшення собівартості обладнання відновлюваної енергетики на показники її розвитку розглянемо регресійну залежність встановленої потужності СЕС серед домогосподарств України від середньо значення приведеної вартості електроенергії для СЕС в світі

(рис. 9). Коефіцієнт детермінації даної моделі складає 57%, що говорить про наявність інших факторів в українській економіці, які додатково пояснюють 43% дисперсії залежної змінної та не включені до даної моделі.

Таблиця 2. 10.

**Регресійна залежність встановленої потужності СЕС серед домогосподарств України від середнього значення приведеної вартості виробництва електроенергії для СЕС у світі \***

Регресійна статистика						
Множинний R	0,75					
R-квадрат	0,57					
Нормований R-квадрат	0,55					
Стандартна похибка	215,18					
Кількість спостережень	23					
Дисперсійний аналіз						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимість F</i>	
Регресія	1	1281580,645	1281580,645	27,67923884	3,24391E-05	
Залишок	21	972324,1923	46301,15202			
Всього	22	2253904,837				
	<i>Значення коефіцієнтів</i>	<i>Стандартна похибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значення</i>	<i>Нижні 95%</i>	<i>Верхні 95%</i>
Нульовий член моделі	1 233	186	6,6	1,47587E-06	846	1 620
Обернений показник LCOE	12 861	2 445	5,3	3,24391E-05	7 777	17 945

Примітка. \*Розроблено автором

Коефіцієнт маржинального впливу зменшення LCOE на розвиток потужностей домашніх СЕС в Україні становить 12 861 МВт., тобто при зменшенні вартості генерування електроенергії для СЕС на 1 дол. США за 1 Квт.-год. загальна потужність встановлених сонячних електростанцій буде збільшуватись на 12 861 МВт. Даний коефіцієнт маржинального впливу адекватний за т критерієм Стьюдента за існує на рівні значимості менше 0,001. Якщо перевести розрахований коефіцієнт маржинального впливу з доларів США в центи США отримаємо прогноз приросту загальних потужностей домашніх СЕС в Україні в 128,6 МВт при зменшенні LCOE на 1 цент. США., для порівняння загальна потужність домашніх СЕС в Україні на початок третього кварталу 2021 року становила 933 МВт.

В енергетичній стратегії України основна увага приділяється біоенергетиці. Тому, із поглибленням національної енергетичної кризи, [81] побічна продукція роботи аграрного виробництва розглядається як відновлюваний паливний ресурс, який може покращити енергетичний баланс України. Також потрібно зазначити, що біоенергетика вважається практично повністю може бути забезпечена сировиною за рахунок роботи аграрного сектору та може частково прийти на заміну традиційної енергетики. Існує також і інша точка зору, відповідно до неї, енергетична сировини, яка залишається від діяльності аграрного сектору недостатньо для вирішення задач, що покладаються на відновлювальну енергетику загалом, і для вирішення даних питань необхідно задіяти потенціал деревної біомаси. Проте, досвід країн ЄС, що вже здійснили багато дій на шляху до переходу від традиційної енергетики на відновлювану, відображає висновки про необхідність значних інвестувань у технічні ресурси, персонал і інфраструктуру, задля забезпечення достатнього потоку лісової сировини для біоенергетики [123, 162]. Таким чином, оцінка реального біоенергетичного потенціалу всього аграрного сектору являється надзвичайно актуальною задачею. Також, цікавим являється питання наскільки структура посівних площ України відповідає вирішенню оптимізаційної задачі з отримання максимального прибутку у національному масштабі і яким саме чином на це рішення має вплив введення в цільову функції частки прибутку, яка отримана за рахунок енергетичної складової.

На момент початку повномасштабної війни РФ проти України відомі оцінки потенціалу сонячної та вітрової енергетики України. Так, наприклад, потенціал потужності вітрової енергетики України оцінюється у 14-24 ГВт, для порівняння можна привести потужність діючої ядерної енергетики України: 8-10 ГВт. При переведенні даної потужності у обсяги щорічної генерації отримуємо обсяг в 70-80 ТВт.год. електроенергії [81]. Якщо перейти від оцінки потужності до оцінки річного обсягу енергії та виразити його у мільйонах тон нафтового еквіваленту,

що використовуються у енергетичній стратегії України виявляється, що потенціал всієї вітрової енергетики України складає приблизно 10 млн. тон нафтового еквіваленту. Також, доцільно зазначити методику, що запропоновану в проєкті «Біоенергетика у Європі» (Biomass Energy Europe) [21,163], що базується на рекомендаціях Національної академії аграрних наук України стосовно оцінки відношення ваги основної продукції і енергетичних залишків [55]. Із використанням даної методики було розроблено оцінку біоенергетичного потенціалу Херсонської області [61].

На цей момент уже існує оцінка вартості зі встановлення та експлуатації різних видів відновлюваної енергетики, також розроблено алгоритм порівняння вартості одиниці енергії для різних типів генерації за одиницю часу експлуатації обладнання [157]. Аналіз результатів даних характеристик дає можливість усвідомити чому вітчизняні домогосподарства інвестують більше коштів, саме у вітрову і сонячну енергетику – для даних типів відновлюваної енергетики спостерігається менший вплив ефекту масштабу при якому показники ефективності покращуються зі зростанням встановленої потужності [172].

Вплив кліматичних змін необхідно враховувати при виборі енергетичної стратегії розвитку відновлювальної енергетики [131]. Аналізуючи питання енергетичної безпеки необхідно враховувати стан як традиційної так й інноваційної галузі вітчизняної енергетики.

На даний час уже присутньо достатньо об'єктивних передумов переходу із стандартних показників оцінки ефективності аграрного бізнесу (урожайність; площі окремих культур; собівартість продукції та ринкові ціни) до повноцінного врахування енергетичного потенціалу аграрних залишків (соняшник; пшениця; кукурудза; соя та інші культури). Існують моделі оцінки частки маси основної аграрної продукції і енергетичних залишків від загальної маси рослин [126,131]. Серед європейських країн, де спостерігається інтенсивний розвиток біоенергетики, значно більший внесок у сировинну базу вноситься лісове

господарство та побутові відходи, а не безпосередньо аграрне виробництво [162]. Проте перехід із ресурсів аграрного виробництва до використання ресурсного потенціалу лісового господарства потребує залучення значних інвестицій у інфраструктуру та кадровий потенціал даного виду біоенергетики [79]. Також потрібно виокремити суттєвий ресурс біоенергетики, як харчові відходи, які являються основною складовою побутових відходів, потенціал яких оцінюється у 10%-20% від загальних обсягів біоенергетичної сировини [165].

Проведемо порівняльний аналіз структури реального аграрного виробництва (розподіл площ за окремими культурами) із рішенням оптимізаційної задачі щодо максимізації рівня прибутку аграрного бізнесу із урахуванням основної та додаткової енергетичної продукції. Потрібно підкреслити, що розв'язання лінійної оптимізаційної задачі розподілу площ, що відповідає максимізації прибутку за наявності двох обмежень (площа і бюджет), призводить, як зазвичай, до розв'язку із монокультурою. Проте існує інший варіант, а саме: впровадження нелінійного обмеження щодо рівня прибуткового ризику - дисперсію. Для отримання рішення оптимізаційної задачі необхідно враховувати крім стандартних лінійних обмежень, також, нелінійне обмеження на фактор ризику [79]. В ролі показника ризиковості використовується дисперсія прибутку, яка оцінюється на часовому горизонті від 5 до 6 років.

Біомаса аграрного походження зазвичай виступає в ролі: соломи зернових культур і ріпака, побічні продукти з виробництва кукурудзи та соняшника. Слід підкреслити, лушпиння соняшника залишається одною з основних складових енергетичного потенціалу біомаси України. Попередніми дослідженнями було доведено, що повне використання енергетичного потенціалу агробіомаси може задовольнити приблизно 18% кінцевого споживання енергії України, що на момент початку повномасштабної війни РФ проти України становило трохи більше 50 млн. тонн нафтового еквіваленту.



Оскільки енергетична сировина являється побічним продуктом діяльності аграрного виробництва [135], достовірну і повну оцінку біоенергетичного потенціалу аграрного бізнесу України було зроблено на базі оптимізаційних моделей, де у якості цільової функції визначано сукупний прибуток від основної продукції із додаванням вартості потенційної енергії, яка може бути отримана на основі переробки залишків від виробництва основної продукції. Окрім традиційних обмежень щодо обсягів виробництва було сформоване нелінійне обмеження на дисперсію рівня прибутку аграрного бізнесу, що вже довело власну доцільність в процесі розв'язання оптимізаційних задач для аграрного сектору [81].

В процесі дослідження були проаналізовані методики оцінки, що дозволяють проаналізувати потенційні можливості кожного з видів генерації енергії: як традиційні так і не традиційні. До відповідних оцінок, у першу, чергу необхідно віднести усереднені світові дані щодо витрат площ на генерацію 1 ТВт.год. на рік енергії [131] і за даними показниками біоенергетика являється найбільш витратною – 540 квадратних км. (рис. 2.49), для високорозвинутих країн на другому місці за обсягами витрат площ для генерації вторинної енергії виступає вітрова енергетика – 72 квадратних км. та гідроенергетика – 54 квадратних км., проте для України даний показник значно гірший (840 квадратних км.), це пояснюється невдалим розтушуванням каскаду Дніпровських гідроелектростанцій [81]. На практиці це означає, що із 6000 квадратних кілометрів площ, які затоплені під дніпровські водосховища можна отримати лише 11 ТВт.\*год. на рік енергії. І це значно більше ніж загальний обсяг генерації вітчизняної гідроенергетики (від 7 до 8 ТВт.год. на рік).

На підставі даних державної служби статистики щодо структури посівних площ і обсягів [67] валових зборів було оцінено обсяги енергетичних залишків. При аналізі враховувались тільки культури, залишки енергетичної сировини яких складають не менші 50 % від маси рослини. Енергетично перспективні культури,

на початок повномасштабної війни РФ проти України, склали площу в 23 млн. га або близько 80% від загальних посівних площ. При позначенні відсотку енергетичної сировини від загальної маси рослини як  $\mu$ , то при відомому значенні валового збору певної культури  $V$  – маса енергетичної сировини буде складати  $V \cdot \mu / (1 - \mu)$ . Для переведення маси загальної енергетичної сировини у тони нафтового еквіваленту використовуємо стандартне співвідношення: 1 кг біомаси складає 4 МДж, а 1 тонна нафтового еквіваленту відповідає 41,87 ГДж [134], таким чином, коефіцієнт переходу від біомаси у тонах до тон нафтового еквіваленту складає  $q = 4 / 41,87 = 0,09$ , тобто 1 тонна нафтового еквіваленту складає 10,5 тонн біомаси.

Вартість енергетичного потенціалу вітчизняного аграрного сектору в 2018 році складала близько 5 млрд. дол. США (вартість 1 тони нафтового еквіваленту приблизно 400 дол. США), для порівняння – рівень прибутку аграрного бізнесу із площі в 22,5 млн. га. складає приблизно 9,2 млн. дол. США.

При оцінці потенційного енергетичного прибутку з 1 гектару, то вони склали 230 дол. США, при цьому прибутки від рослинництва склали 410 дол. США. Також, необхідно підкреслити, що даний прибуток (410 дол. США) не являється саме прибутком аграрного бізнесу, оскільки включає прибутки значної кількості посередників на шляху від виробника аграрної продукції до її реалізації на світовому ринку. Стосовно переробки і реалізації енергетичної сировини, то в даному випадку необхідно враховувати вартість відповідно обладнання і відповідний рівень розвитку ринку даної сировини [123].

Таблиця 2.11.

**Характеристики залишків енергетичної сировини від використання  
сільськогосподарських культур в Україні, 2019 р.\***

	Площа, млн.га.	Частка площі у загальній структурі	Валовий збір млн. т.	Урожай - ність т./га.	Відсоток залишків (від маси рослини), %	Обсяг залишків енергетичної сировини т./га	Загальний об'єм залишків енергетичної сировини, млн.т.	Нафтовий еквівалент енергетичної сировини, млн.т.н. екв
Пшениця	6,4	0,28	26,2	4,1	50	4,1	26,2	2,7
Соняшник	6,0	0,27	12,2	2,0	80	8,0	48,9	4,7
Кукурудза	4,5	0,20	24,7	5,5	65	10,2	35,6	3,4
Ячмінь	2,5	0,11	8,3	3,3	50	3,3	8,3	0,8
Соя	2,0	0,09	3,9	1,9	60	2,6	5,9	0,6
Зерно- бобові	0,5	0,02	1,2	2,5	70	5,8	2,9	0,3
Овес	0,2	0,01	0,5	2,4	50	2,4	0,5	0,04
Гречка	0,2	0,01	0,2	1,0	60	1,5	0,3	0,03
Жито	0,2	0,01	0,5	3,0	50	3,0	0,5	0,05
Просо	0,1	0,00	0,1	1,5	60	2,3	0,1	0,01
Всього	22,5	1					129,02	12,64

Примітка. \*Складено автором на основі [28, 67]

Необхідно зазначити, що ефективність біоенергетики являється надзвичайно чутливою до різного роду додаткових витрат, які пов'язані із транспортуванням сировини. Тому розглядається умовний випадок коли відстань між джерелом сировини та енергетичними заводами нівелюються. Таким чином при постановці задачі необхідно зауважити, що дана модель не враховує транспортних затрат та витрат пов'язаних із переробкою залишків енергетичних сільськогосподарських культур [10].

Розглянемо оптимізаційну задачу аграрного бізнесу в масштабах всієї країни із урахуванням прибутку, як від аграрного бізнесу так й від використання отриманих енергетичних залишків. Всі культури, які являються перспективними із точки зору енергетичних залишків можна поділити на три, основні, категорії,

для кожної із яких застосовується окреме обмеження щодо посівних площ. Крім цього, для кожної із культур обмеження перевищує площу, яка фактично використовується (табл. 2.28). Зокрема, площа кожної із трьох головних культур на експорт не перевищує 6,5 млн. гектаів (вводиться обмеження 8 млн. га), площа двох інших, значимих, культур (соя та ячмінь) не перевищує 2,5 млн. га, (вводиться обмеження 3 млн. га), площа дрібних, на національному рівні, культур не перевищує обсяг в 0,5 млн. га – тому для них використовується обмеження в обсязі 0,5 млн. га.

В оптимізаційні моделі використовуються наступні позначення:

$x_i$  – площа та культури ( $i=1,2,\dots,N$ );

$N=K+L+M$ , де

$K$  – кількість базових культур (пшениця, кукурудза, соняшник) із обмеженням в 8 млн. га;

$L$  – кількість інших другорядних культур (соя та ячмінь) із обмеженням 3 млн. га;

$M$  – кількість дрібних культур (всі інші культури) із обмеженням 0,5 млн. га.

$y_i$  – урожайність з 1 гектару  $i$ -ї культури (т/га);

$p_i$  – ціна 1 тони  $i$ -тої продукції;

$c_i$  – витрати на 1 гектар;

$pr_i = y_i p_i - c_i$  – прибуток з 1 гектару;

$\mu_i$  – відсоток урожаю від усієї маси культури;

$q=0,095$  коефіцієнт переводу біомаси у тони нафтового еквіваленту;

$pr$  - ціна 1 тони нафти.

Цільова функція та серія обмеження мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
 w(\bar{x}) &= \sum_{i=1}^N \left( pr_i + \left( \frac{y_i(1-\mu_i)}{\mu_i} \times q \times pr \right) \right) x_i \Rightarrow \max \\
 x_i &\leq 8; i = 1, \dots, K \\
 x_i &\leq 3; i = K + 1, \dots, L \\
 x_i &\leq 0,5; i = L + 1, \dots, N \\
 \sum_{i=1}^N x_i &\leq S \\
 \sum_{i=1}^N c_i x_i &\leq C
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

де  $S=22,5$  млн. га – це загальна посівна площа культур, які мають енергетичний потенціал;

$C = 7,8$  млрд. USD – витрати на виробництво зернових культур на площі в 22,5 млн. га (бюджетне обмеження за 2018 рік [67]).

Результати розв'язання даної оптимізаційної задачі (1), без врахування обмеження дисперсії рівня прибутковості, наведено в ДОДАТОК И.

Необхідно зазначити, що у розв'язку оптимізаційної задачі із врахуванням енергетичної складової було отримано тільки площі для трьох головних потенційно енергетичні культури: пшениця, соняшник та кукурудза. Посівні площі були повністю використані. Цільова функція, яка включає енергетичну складову складає 18 млрд. дол. США, а потенційний прибуток від використання енергетичних залишків складає 6,4 млрд. дол. США. При цьому, якщо проводити оптимізацію рівня прибутковості аграрного виробництва без врахування складової енергетичних залишків, то розподіл посівних площ змінюється на користь високорентабельної гречки, а цільова функція складає 11,6 млрд. дол. США.

Проте, вважати вартість енергетичної сировини потенційним прибутком, який може отримувати аграрний бізнес являється не зовсім коректно. Основна продукція галузі рослинництва може реалізуватись швидкими темпами та не потребує додаткових витрат виключно, коли стан ринку енергетичної сировини дозволяє розраховувати на швидку реалізацію продукції без значних додаткових

витрат. Окремо необхідно підкреслити, що розвиток біоенергетики може відбуватись за рахунок ще одного резерву біоенергетичної ресурси, а саме використання площ, що були виведені із обороту під водосховища вітчизняної гідроенергетики. На даний час площа даних водосховищ складає приблизно 6 тис. кв. км., відповідно до світових даних, на цих площах можна отримувати біоенергетичний ресурс для генерації, приблизно, 11 ТВт\*год. на рік енергії (1 млн. тонн нафтового еквіваленту). При цьому як каскад Дніпровських гідроелектростанцій за останні роки генерує не більш ніж 7,5 ТВт.год./рік [81].

Перейдемо до аналізу результатів розрахунку нелінійної оптимізаційної моделі із урахуванням ризиків. Нелінійне обмеження сформоване у вигляді дисперсії прибутку. Дисперсія прибутку складається з двох компонент: варіативність цін та варіативність урожайностей окремих сільськогосподарських культур. Дисперсію прибутку позначимо, як  $Var(Pr)$ , що виражається як сума дисперсій прибутків окремих сільськогосподарських культур, при цьому випадковими являються дві змінні даного показника: урожайність та ціна, а площу можна вважати детермінованою величиною. Дисперсія добутку двох випадкових величин виражається наступним чином [100]:

$$Var(Pr) = \sum_{i=1}^N Var(Pr_i) = \sum_{i=1}^N x_i^2 (Var(p_i) \cdot \bar{y}_i^2 + Var(y_i) \cdot \bar{p}_i^2) \quad (2.22)$$

Для визначення обмеження у вигляді дисперсії прибутку проводимо оцінку дисперсій та середніх значень цін і урожайностей на часовому проміжку в 5 років та використовуємо розподіл площ за 2018 рік для початкової оцінки значення дисперсії прибутку. Позначимо дану величину, як:  $Var(Pr_0)$ . Дану величину ми використовуємо для обмеження дисперсії прибутку, що додається до обмеження задачі (1):

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 (Var(p_i) \cdot \bar{y}_i^2 + Var(y_i) \cdot \bar{p}_i^2) \leq Var(Pr_0) \quad (2.23)$$

Наявність нелінійного обмеження (3) запобігає використанню обмеження на площі окремих сільськогосподарських культур. В такому випадку оптимізаційна задача набуває вигляду:

$$w(\bar{x}) = \sum_{i=1}^N \left( pr_i + \left( \frac{y_i(1-\mu_i)}{\mu_i} \times q \times pr \right) \right) x_i \Rightarrow \max$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \leq S \quad (2.24)$$

$$\sum_{i=1}^N c_i x_i \leq C$$

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 (Var(p_i) \cdot \bar{y}_i^{-2} + Var(y_i) \cdot \bar{p}_i^{-2}) \leq Var(Pr_0)$$

При розв'язанні задачі із введенням до моделі обмеження на дисперсію прибутку, значно змінилася структура посівних площ, а саме: зменшилась площа під пшеницю, а також з'явилися сільськогосподарські культури, посівні площі яких в лінійній задачі дорівнювали нулю ДОДАТОК І.

Таблиця 2.12.

### Характеристики оптимізаційних моделей

Модель	Сумарний прибуток (млн. USD)	Прибуток звичайної діяльності (млн. USD)	Прибуток енергетичних залишків (млн. USD)	Енергія залишків (млн. т. н. ек.)	Кількість культур	Індекс ННІ
Фактичні дані	14,4	9,2	5,2*	12,6	10	2150
Лінійна оптимізація	18,0	11,6	6,4	15,7	3	3400
Нелінійна оптимізація	15,5	10,4	5,1	12,4	8	1900

\*- *можливий потенційний прибуток після повної реалізації біоенергетичної сировини*

Примітка. \*Розроблено автором

Фіналізовані характеристики розв'язання оптимізаційних моделей (лінійної і нелінійної), а також енергетичного потенціалу аграрного виробництва подано у табл. 2.12.

Оскільки енергетична стратегія України була сформована до 2035 року – проведемо оцінку енергетичної сировини, що буде вироблятися протягом даного періоду часу шляхом екстраполювання основних трендів виробництва сільськогосподарської продукції та їх залишків, що можуть використовуватися в енергетичних цілях. Для цього використаємо дані державної служби статистики України серед аграрного виробництва основних сільськогосподарських культур (табл.2.32) протягом періоду з 2005 до 2018 років. (рис.2.49).

Лінійна модель зростання обсягів біоенергетичних залишків рослинництва має коефіцієнт детермінації 87% (табл.2.32), та статистично значимі регресійні коефіцієнти (а саме рівень значимості p-value не перевищує значення в 0,0001).

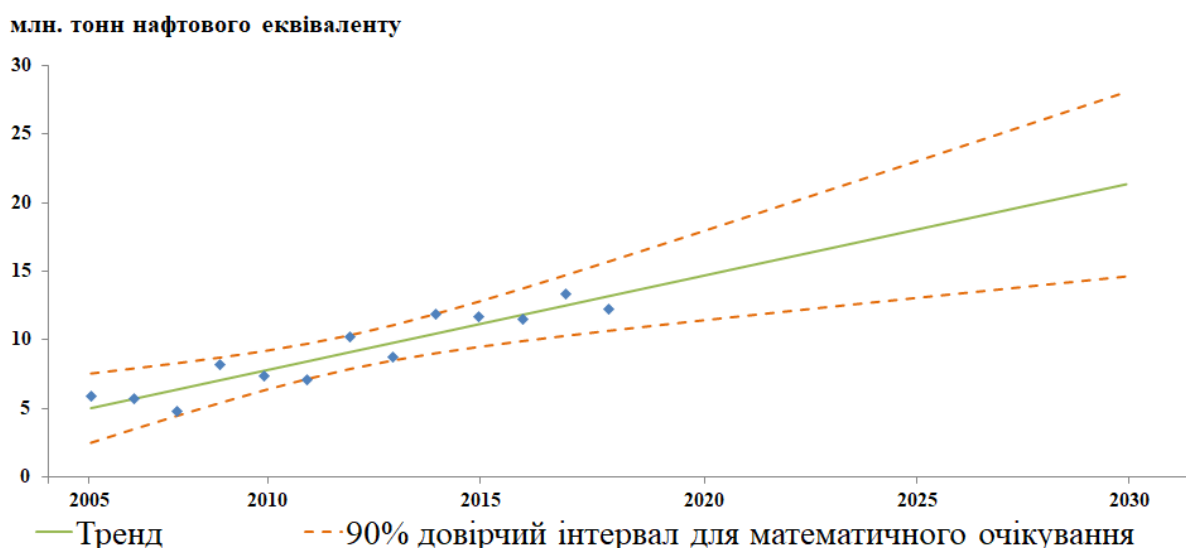


Рис. 2.49. Прогноз обсягу виробництва залишків рослинництва аграрного сектору, які можуть використовуватися в енергетичних цілях в млн. тонн нафтового еквіваленту\*

Примітка. \*Розроблено автором

Якщо енергетичні залишки аграрного сектору до 2035 року будуть складати 28 млн. тонн нафтового еквіваленту (від 18 до 39 млн. тонн.)



Таблиця 2.13.

**Статистичні параметри лінійного тренду росту обсягів енергетичних залишків сільськогосподарських культур в Україні\***

Рівняння тренду	Змінні	N	R <sup>2</sup>	S	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	p <sub>0</sub>	p <sub>1</sub>
y=4,7+0,68(t-2005)	y – щорічні обсяги генерованої енергетичної біо - сировини t – рік	13	0,87	1,1	6,9	8,6	2E-05	E-06

Примітка. \*Розроблено автором

Нафтового еквіваленту з 90% ймовірністю) то це не буде означати, що вітчизняна енергетична система зможе отримати еквівалентні 325 ТВт. год. енергії (млрд. квт. год.).

Ефективність функціонування існуючих електростанцій, які працюють на твердій біомасі становить, приблизно, 30% [85,87,90,133]. Проте, ефективність використання біомаси в цілях опалення і охолодження наближається до 80% – таким чином використання біомаси для аграрного бізнесу без її трансформації в електроенергію значно ефективніше. Навіть із врахуванням трансформації тільки 30% від біоенергетичного потенціалу у електроенергію – це було б уже достатньо для заміни значної частки генерації вітчизняної ядерної енергетики (9 млн. тонн. нафт. еквіваленту становить 104 млрд. Квт.год енергії).

Проте, відкритим залишається питання фінансування біоенергетики. Обсяг електроенергії, який еквівалентний 9 млн. тонн нафтового еквіваленту складає, близько, 104 млрд. Квт.год. Один календарний рік складає  $365 \cdot 24 = 8760$  астрономічних годин, а це означає, що для даного типу генерації необхідно встановлення потужності в  $104 \cdot 10^9 / 8760 \approx 11,8 \cdot 10^6$  квт. Якщо вважати, що вартість встановлення одного кВт потужності за рахунок біоенергетики складає близько 6 тис. дол. США [81], то подальші розрахунки показують, що загальна сума

інвестицій у біоенергетику складає близько 71 млрд. дол. США. Таким чином для реалізації таких значних планів до 2035 року необхідне щорічне інвестиційне забезпечення розміром більше 5 млрд. дол. США, а це близько 48% від обсягу загальних щорічних прибутків всього аграрного бізнесу (табл. 2.32). Таким чином, процес збільшення частки біоенергетики в енергетичному балансі буде розвиватись значно повільніше (навіть без врахування фактору повномасштабної війни рф проти України).

## **Висновки до розділу 2**

На даний час основним фактором розвитку економіки, як світової так і окремо взятої країни, являється енергетика, ефективність функціонування якої визначає рівень і темпи збільшення добробуту населення. Кожна з країн вибирає свій власний шлях розвитку енергетичного сектору, що залежить від наявності власних природних ресурсів (природний газ, нафта чи вугілля) та від рівня добробуту економічно активного населення (громадяни країн із значним рівнем економічного розвитку, відповідно до піраміди Маслоу, значно більше віддають перевагу рівню якості докiлля власної країни).

Основу вітчизняного енергетичного сектору складає атомна, теплова та гідроенергетика, кожна із яких має, як переваги так і певну кількість значних недоліків. Окремо слід підкреслити значні темпи розвитку відновлюваної енергетики як серед юридичних осіб так і серед домогосподарств, які відбувались до початку повномасштабної війни рф проти України і, можливо, продовжуються відбуватись на даний час (що не можна перевірити за рахунок відсутності офіційної державної статистики) за рахунок проблем з постачанням електроенергії, які виникли внаслідок терористичних обстрілів рф по об'єктам критичної енергетичної інфраструктури. Звичайно, не дивлячись на значні прирости потужностей відновлюваної енергетики вона займає одну з найменших часток в структурі енергетичного балансу держави.

Відповідно до проведеного аналізу було з'ясовано, що традиційна енергетика України має ряд значних недоліків та внутрішніх проблем, зокрема досвід використання гідроенергетики в Україні демонструє негативний вплив на навколишнє середовища та постійне поступове зниження ефективності використання ГЕС (підрив військами РФ Каховської ГЕС також продемонстрував, які значній ризики приховує в собі гідроенергетика у випадку руйнування ГЕС та подальшого затоплення територій). Вітчизняна теплоенергетика являється одним з найбільш забруднювачів навколишнього середовища за рахунок використання такого палива, як вугілля та ігнорування необхідності використання новітніх очисних систем, які являються абсолютно необхідними у використанні серед економічно розвинених країн світу. Використання ядерної енергетики несе в собі колосальні ризики виникнення техногенних катастроф (подібних катастрофі Чорнобиля чи Фукусіми). Крім цього, дуже часто при оцінці використання ядерної енергетики серед вітчизняних науковців повністю ігнорується фактор вартості захоронення радіоактивних відходів.

Особливу увагу привертає до себе Енергетична стратегія України до 2035 року, що визначає основні шляхи розвитку вітчизняного енергетичного сектору. Відповідно до Енергетичної стратегії України розвиток енергетичного сектору необхідно розглядати з позиції розвитку національної економіки. Головною ідеєю даної стратегії є двократне збільшення енергоефективності вітчизняної економіки (покращення ефективності ядерної енергетики на 50% та відновлюваної енергетики на 750%), що дозволить двократно збільшити рівень валового внутрішнього продукту України до 2035 року. Звичайно, повномасштабна війна РФ проти України внесе суттєві корективи у енергетичну стратегію України, як в частині планів на розвиток окремих секторів енергетичного комплексу так і моделі функціонування енергетичних ринків та шляхів залучення інвестицій на відновлення та модернізацію енергетичного комплексу загалом.

## РОЗДІЛ 3

### НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

#### АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

#### СІЛЬСЬКИХ ДОМОГОСПОДАРСТВ

##### **3.1. Обґрунтування економічної доцільності інвестування у відновлювану енергетику сільськими домогосподарствами України**

У будь-якій країні світу розвиток енергетичного сектору є фактором, який значною мірою визначає вектор економічного розвитку. На цей час в світовій енергетиці відбуваються суттєві зрушення, які обумовлено зміною суспільної думки відносно основних життєвих пріоритетів переважної частки суспільства. Це у першу чергу зростання рівня суспільних вимог відносно стану довкілля. Внаслідок цього відбувається суттєва перестройка світової енергетики на користь генерацій, що не погіршують стан довкілля.

Головним важелем розвитку відновлюваної енергетики є впровадження у 2008 році «зеленого тарифу» [125] за якого залишок з генерованої енергії постачаються в енергомережі. З часу впровадження, «зелений тариф» для всіх видів генерації (вітрової, сонячної та біоенергетики) був суттєво зменшений, однак він в рази перевищує тариф електричної мережі і не буде змінюватись до 2035 року.

Введення «зеленого тарифу», ставить за мету підтримати процес інвестування населення у відновлювану енергетику. В Енергетичній стратегії України [84] головна ставка робиться на біоенергетику головні джерела функціонування якої лісогосподарство країни, побічна продукція аграрного виробництва та побутові відходи. Однак в стратегії не було враховано, що використання продукції лісогосподарства в таких величезних обсягах спряжено з величезними інвестиціями в інфраструктуру та кваліфікований персонал. Крім

того, особливістю біоенергетики є те, що біоенергетичні генератори стають економічно ефективними починаючи з потужності в 1 мегават.

На відміну від біоенергетики, сонячна та вітрова енергетика забезпечені регулярним енергетичним природним джерелом [126], а потужності вітряків і сонячних батарей починаються з одиниць кіловат і тому доступні для звичайних українських домогосподарств. Тому масове інвестування в сонячну та вітрову енергетику, може призвести до суттєвого покращення стану довкілля та зменшення ризиків та втрат, які супроводжують використання традиційних енергетичних джерел для України.

Враховуючі існуюче співвідношення тарифів за електроенергію та зеленого тарифу [36; 96; 125] розглянемо оптимізаційну задачу інвестування сільського домогосподарства в сонячну енергетику. Якщо розглядати сонячну енергетику то потрібно враховувати час ефективної генерації, який складає в середньому протягом року 2000 годин. Це означає, що за 2000 годин потрібно згенерувати обсяг електроенергії, який потрібен протягом року. При цьому слід врахувати витрати на обладнання, що призначене для збереження та перетворення енергії під час відсутності генерації. До цього обладнання відносяться системи збереження енергії та інвертори.

Розглянемо показник привабливості інвестувань сільським домогосподарством у сонячну енергетику. Звичайно з метою підвищення інвестиційної привабливості впроваджено зелений тариф, за якого надлишки енергії, що генеруються надходять в енергосистему (табл. 3.1).

З наведеної нижче таблиці слідує різноманітність механізмів стимулювання відновлюваної енергетики, що використовуються в ЄС та Україні: якщо в ЄС стимулом для інвесторів виступають високі тарифи на споживання електроенергії [96], то в Україні це високі по відношенню до тарифів на споживання тарифи на продаж залишків енергії в систему. Тому і виникає різниця в результатах використання: в ЄС збільшення частки відновлюваної енергетики

приведе до зменшення тарифів, тоді як в Україні до збільшення тарифів. По суті таким шляхом здійснюється рівномірний розподіл суспільного тягаря, як сплати за покращення стану зовнішнього середовища.

Таблиця 3.1.

**Тарифи на споживання електроенергії та зелений тариф євроцентів/кВт.год  
(центів USD /кВт.год станом за 2019 рік)\***

	Населення	Промисловість	Зелений тариф		
			Сонячна енергія	Вітрова енергія	Енергія біомас
ЕС(28)	21(25)	12(14)	10(12)	16(19)	12(14)
Данія	30(35)	9(11)			
Німеччина	29(34)	15(18)			
Болгарія	7(8)	8(9)			
Україна	5(6)	7(8)	17(20)	11(13)	12(14)

Примітка. \*Складено автором на основі [42;43;96]

Розглянемо безпосередньо оптимізаційну задачу автономного енергопостачання сільського домогосподарства з урахуванням, як макроекономічної ситуації так і стимулу у вигляді зеленого тарифу. Звичайно при існуючому співвідношенні тарифів оптимальним рішенням є власне енергоспоживання за рахунок енергосистеми та повний продаж енергій, що генерується в систему. Вважається, що варіантів існування без ризикової прибутковості не повинно існувати (free lunch absence). Тому цей варіант виключено на законодавчому рівні і в першу чергу автономна генерація повинна задовольняти власні потреби і лише залишки від її генерації можуть постачатися

до енергомережі за зеленим тарифом [125]. За цих умов річне енергоспоживання сільського домогосподарства є ключовим параметром задачі.

До схеми автономного енергопостачання з можливістю здачі залишків енергії в енергосистему, крім сонячних панелей, включаються системи збереження енергії (на час відсутності генерації, а саме в темну пору доби) та інвертора для перетворення сталого току в змінний. Вартість всього обладнання повинна включатись до загальних витрат.

Введемо наступні позначення:

$E_y, \text{кВт} \cdot \text{год}$  – обсяг електроенергії що споживається домогосподарством за рік;  $\tau_s$  – зелений тариф,  $\tau_c$  – тариф енергомереж,  $w_c$  – середня потужність, що споживається;  $w_s$  – середня потужність, яка постачається в мережу за зеленим тарифом; загальна потужність, що генерується –  $w = w_c + w_s$ ;  $T_y$  – кількість годин генерації за рік,  $I(w) = \gamma \cdot w^\alpha$  – обсяг інвестувань в генерацію  $\alpha, \gamma$  – параметри, що визначають економетричним шляхом по ціновим показникам існуючим на ринку;  $C(w) = c_1 \cdot w \cdot T_y$  – експлуатаційні витрати, які пропорційні енергії, що генерується протягом року [158],  $c_1$  це коефіцієнт пропорційності;  $\mu, r$  – ставки дисконтування та кредитування інвестору,  $P_a \frac{E_y \cdot d_m}{365}$  – вартість придбання акумулятору, що забезпечить енергією домогосподарство на максимальну можливу для обраного типу генерації кількість днів простою ( $d_m$ );  $P_a$  – вартість акумуляції 1 кВт.год.;  $T$  – термін експлуатації генеруючої установки;  $I_a(w) = \eta \cdot w^\nu$  обсяг інвестувань в закупівлю інвенторів,  $\eta, \nu$  – параметри, що визначають економетричним шляхом по даним ринку.

Введемо цільову функцію, що максимізує дисконтний прибуток на час придбання обладнання. Термін експлуатації обладнання сонячної енергетики ( $T$ ) складає 20 років. Термін експлуатації систем збереження енергії 10 років.

Вважаємо, що цільова функція залежить тільки від потужності генеруючої установки:

$$\max Z(w) = \sum_{t=1}^T \frac{\tau_c \cdot E_y + (w \cdot T_y - E_y) \cdot \tau_z - C(w)}{(1 + \mu)^t} - I(w) - \left( P_a \frac{E_y \cdot d_m}{365} + I_a(w) \right) \cdot \frac{(1 + \mu)^{10} + 1}{(1 + \mu)^{10}} \quad (3.1)$$

(1)

Крім того, обсяг енергії, що генерується повинен перевищувати обсяг енергії, яка споживається:

$$w T_y \geq E_y \quad (3.2)$$

Для оцінки залежності ціни генеруючої установки від її потужності використаємо наступний аналітичний вираз:

$$I(w) = \gamma \cdot w^\alpha \quad (3.3)$$

де  $I(w)$  – обсяг інвестицій у придбання сонячних панелей;

$w$  – потужність установки, кВт.;  $\gamma; \alpha$  – коефіцієнти рівняння, які оцінюються економетричним шляхом, при чому ( $\alpha < 1$ ).

де  $T$  – кількість років експлуатації установки,  $\mu$  – ставки дисконтування.

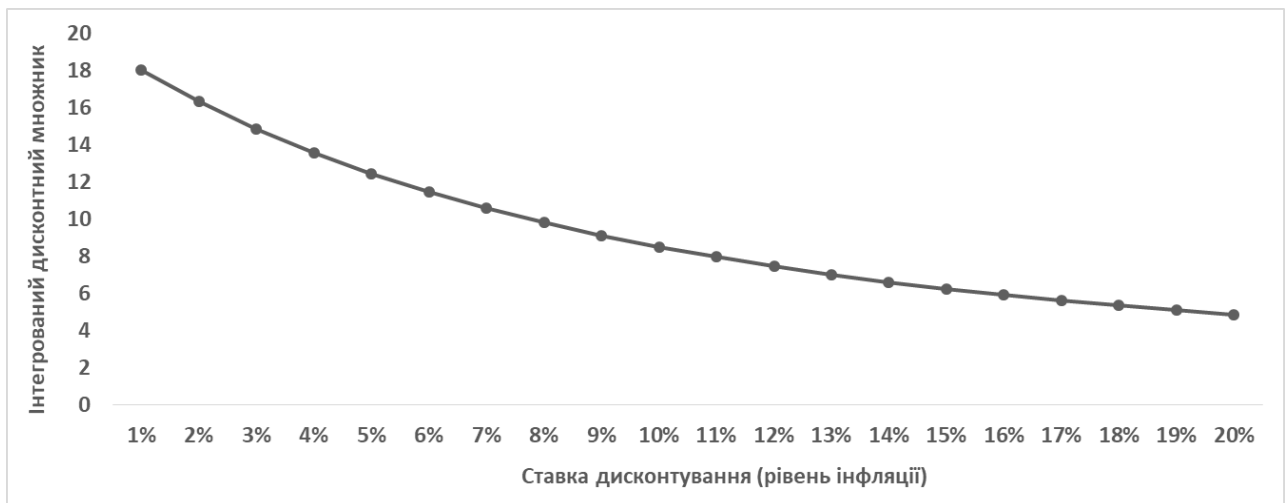


Рис. 3.1. Інтегрований дисконт на інтервалі 20 років в залежності від середнього річного рівня інфляції\*

Примітка. \*Розроблено автором



За рахунок того, що чисельник першого виразу цільової функції (1) не залежить від часу він виноситься за знак суми, а сума дисконтних множників додається як геометрична прогресія. В результаті отримуємо інтегрований дисконт на інтервалі  $T$ :

$$k_T(\mu) = \frac{1 - (1 + \mu)^{-T}}{\mu} \quad (3.4)$$

Загальний дисконтний множник для 20 річного терміну експлуатації обладнання при 10% ставці дисконтування становить 8,5, при 5% він становить 12,5 (рис. 3.1).

Таблиця 3.2.

**Вартість сонячних електростанцій залежно  
від їх номінальної потужності\***

№	Номінальна потужність, кВт (X)	Вартість, тис. дол. США (Y)
1	5	5,9
2	6	7,6
3	8	8,7
4	10	9,9
5	12	11,8
6	15	13,6
7	17	13,8
8	20	15,3
9	30	21,8
10	50	29,4
11	60	29,5

Примітка. \*Складено автором на основі [146]

Розглянемо кількісний приклад визначення залежності ціни встановлення потужності. На базі отриманого масиву даних вартості сонячних електростанцій

залежно від їх номінальної потужності проведемо регресійний аналіз, за якого вартість сонячної електростанції буде виступати у ролі результативної ознаки ( $y$ ), а номінальна потужність – факторної ( $x$ ):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (3.6)$$

де  $\beta_0 = \ln \gamma$  та  $\beta_1 = \alpha$ .

Шляхом стандартного МНК отримуємо оцінки коефіцієнтів  $\beta_0 = 5,84$  та  $\beta_1 = 0,44$ . Таким чином залежність ціни встановлення потужності набуде вигляду:

$$I(w) = 0,44w \quad (3.7)$$

Наведено пропорційна залежність означає, що встановлення додаткової потужності в 1кВт коштує 0,44 тис. дол. США (табл. 3.2).

При побудові оптимізаційної задачі необхідно також врахувати змінні витрати, які пов'язані з обслуговуванням вітряку. Базуючись на світовому досвіді [9] відомо, що витрати на обслуговування вітряку становлять 4 USD за кожен 1 МВт.год. або 0,004 тис. USD за кожен 1 кВт.год. виробленої енергії. Залежність річних витрат на обслуговування у тис. USD від встановленої потужності:

$$C(w) = c_1 w T_y \quad (3.8)$$

$c_1 = 4 \times 10^{-6}$  у випадку сонячної енергетики

Таким чином з (5), слідує, що кожний додатковий 1 кВт. встановленої потужності збільшує щорічні операційні витрати на 8 USD при 2000 відпрацьованих годинах за рік, що стосується вартості інвенторів то за даними ринку отримано наступну залежність вартості (тис. USD) від потужності (кВт.):

$$I_a(w) = \eta \cdot w^\psi; \eta = 0,15; \psi = 0,3 \quad (3.9)$$

В результаті аналізу цін та ємкості акумуляторів виявилось, що вартість збереження одиниці енергії є сталою величиною, яка дорівнює:

$$P_a = 0,2 \text{ тис. USD / кВтм.год.}$$

Оскільки стандартний час роботи сонячних панелей складає 20 років, а системи збереження енергії відпрацьовують тільки 10 років [14] – тому в цільовій функції враховано дисконтна купівля генераторів через 10 років.

Позначимо дисконтний показник з урахуванням витрат на інвертор та системи збереження енергії, що буде здійснено через 10 років:

$$k_{10+}(\mu) = \frac{(1 + \mu)^{10} + 1}{(1 + \mu)^{10}} \quad (3.10)$$

Загальний дисконтний множник для 10-ти річного терміну експлуатації інвертора та систем збереження енергії при 1,5% ставці дисконтування становить 1,9; при 5% він становить 1,6; а при 10% він уже складає 1,5 (рис. 1).

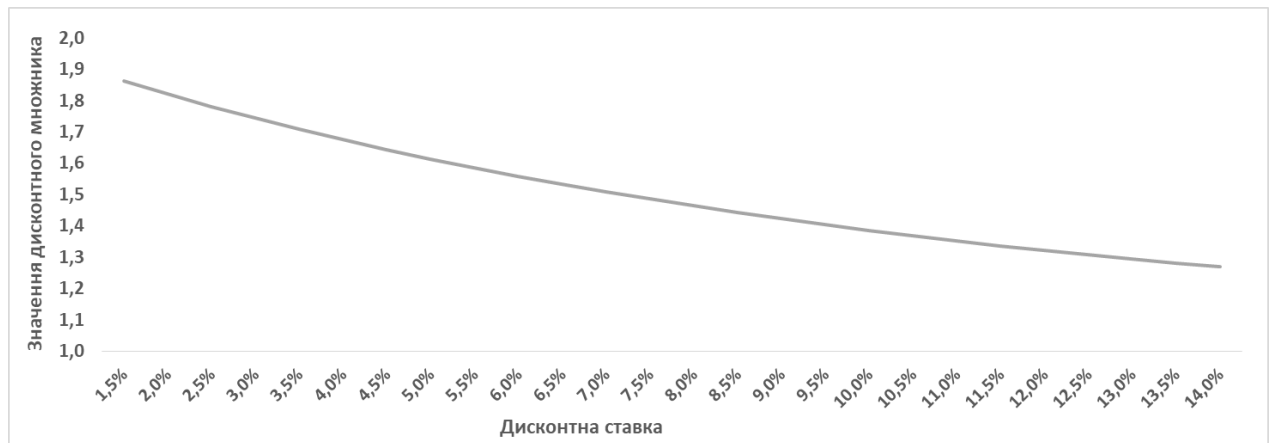


Рис. 3.2. Дисконтний множник для вартості інвертора та систем збереження енергії залежно від ставки дисконтування на інтервалі 10 років\*

Примітка. \*Розроблено автором

Аналізуючи інтегрований дисконт для загального отриманого доходу за зеленим тарифом, а також дисконтний множник для вартості інвертора та систем збереження енергії можна стверджувати, макроекономічна ситуація в країні суттєво впливає на показники ефективності по локальному енергопостачанню. Якщо базуватися на стандартному визначенні дисконтної ставки, як ставки прибутковості фінансового інструменту з аналогічним ступенем ризику, то

внаслідок обмеженості фінансових інструментів на національному ринку це може бути тільки депозитна ставка по валютними строковими вкладками.

З постанови задачі слідує, що ефект масштабу генерації повинен позитивно вплинути на дисконтний потік прибутку, що задається цільовою функцією (1). Формальним підтвердженням цього факту було б виконання умови зростання цільової функції при зростанні обсягів виробництва:

$$\frac{dZ}{dw} > 0 \Rightarrow k_T(\mu)(T_y \tau_z - C'(w)) - I'(w) - k_{+10}(\mu)I'_a(w) > 0 \quad (3.11)$$

Звідси слідує, що за виконання умови:

$$w > \left( \frac{\eta \psi k_{+10}(\mu)}{k_T(\mu) T_y (\tau_3 - c_1) - \gamma} \right)^{\frac{1}{1-\psi}} \quad (3.12)$$

буде діяти ефект масштабу і дисконтний прибуток буде зростати з зростанням потужності та обсягів генерації. Звертаючись до постанови оптимізаційної задачі (1) та обмеження (2) пошук рішення, що задовольнити інвестору потрібно шукати за умовою:

$$w > \max \left\{ \frac{E_y}{T_y}; \left( \frac{\eta \psi k_{+10}(\mu)}{k_T(\mu) T_y (\tau_3 - c_1) - \gamma} \right)^{\frac{1}{1-\psi}} \right\} \quad (3.13)$$

Якщо прибуток зростає з зростання обсягів генерації, то існує такий обсяг генерації коли цільова функція стає додатною величиною. Останній вираз при фіксованому зеленому тарифу накладає обмеження на інтегрований дисконт та його ставку :

$$k_T(\mu) T_y (\tau_3 - c_1) - \gamma > 0 \Rightarrow k_T(\mu) > \frac{\gamma}{T_y (\tau_3 - c_1)} \quad (3.14)$$

Підставляючи кількісні значення відповідних параметрів у, отримаємо граничне значення інтегрованому дисконту 8,3 що відповідає дисконтної ставці 10,04% [15]. При більшій ставці ефект масштабу генерації не працює і інвестування не є доцільним. Це нам дозволяє зробити висновок, що в діючих

умовах макроекономічної нестабільності всі розрахунки краще здійснити в доларах США або євро. Для розрахунків в гривні умова (12) буде не реалізуємо (дисконтна ставка суттєво більш). Враховуючі визначення дисконтної ставки, як прибутковості фінансового інструменту з аналогічним ступенем ризику та ризику інвестувань в вітрову енергетику, робочім діапазоном дисконту можна вважати інтервал від 5 до 10%.

Перетворимо цільову функцію (1) у більш зручному вигляді, що дозволяє виділити окремі компоненти прибутку та витрат:

$$Z(w) = -E_y \cdot k_{20}(\mu)(\tau_s - \tau_c) - k_{10+} P_a \frac{E_y d_m}{365} + w(k_{20}(\mu)T_y(\tau_s - \tau_c) - \gamma) - k_{10+}(\mu) \cdot \eta \cdot w^\psi \quad (3.15)$$

Якщо провести аналогії з рівнянням прямої з деякою незначною не лінійністю:

$$Z(w) = \beta_0 + \beta_1 \cdot w + \varepsilon(w) \quad (3.16)$$

$$\text{де } \beta_0 = -E_y \cdot k_{20}(\mu)(\tau_s - \tau_c) - k_{10+} P_a \frac{E_y d_m}{365}$$

$$\beta_1 = k_{20}(\mu)T_y(\tau_s - \tau_c) - \gamma$$

$$\varepsilon(w) = -k_{10+}(\mu) \cdot \eta \cdot w^\psi$$

Вільний член  $\beta_0$  визначається витратами на придбання акумуляторів, та фіктивними втратами за рахунок того що власне споживання оплачується по селевому, а не зеленому тарифу. Маржинальний прибуток  $\beta_1$  визначається різницею зеленого і мережевого тарифів та інтегрованим дисконтом. Незначна не лінійність  $\varepsilon(w)$  визначається витратами на придбання інвертору, які нелінійно зростають (зі ступенем 0,3) при зростанні потужності генерації.

Для отримання кількісних оцінок цільової функції (дисконтний прибуток) нам потрібно визначити всі кількісні параметри (13) для випадку вітрової генерації:

$$\begin{aligned} \eta &= 0,15; \psi = 0,3; T_y = 2000; \tau_s = 13 \cdot 10^{-5}; c_1 = 0,4 \cdot 10^{-5}; \\ \gamma &= 2,1; k_{20}(0,1) = 8,5; k_{20}(0,05) = 12,5; \\ k_{10+}(0,1) &= 1,39; k_{10+}(0,05) = 1,61; \tau_c = 6 \cdot 10^{-5}; P_a = 0,2; d_m = 5. \end{aligned} \quad (3.17)$$

В результаті проведених розрахунків при 5% ставці дисконтування отримуємо залежність прибутку від потужності генерації за вказаного річного рівня власного енергоспоживання (рис. 3.2). Внаслідок того, що всі кути нахилу однакові (не залежать від власного енергоспоживання) створюється ілюзія колінеарності.

Перша точка кожного з графіків являє собою збитки від локального енергопостачання у випадку, коли потужності вистачає тільки на власні потреби. Не важко прорахувати, що, наприклад, при споживанні 5000 кВт.год. в рік, дисконтний рівень оплати при тарифі в 0,06 USD/кВт.год. складе за 20 років 3,75 тис. дол. США, тоді як збитки від власного енергопостачання складуть приблизно 25 тис. дол. США. Аналогічна ситуація при власному енергоспоживанні 1000 кВт.год. в рік, де оплата електроенергії за 20 років складає 750 дол. США, тоді як збитки в результаті власного енергопостачання складають приблизно 4 тис. дол. США.

Тобто без використання зеленого тарифу в умовах гарантованого безперебійного доступу до дешевої електроенергії централізованого виробництва (ядерне енергетика) – навряд чи варто інвестувати значні суми у відновлювану енергетику для забезпечення власних енергетичних потреб.

Однак при зростанні обсягів генерації відповідно умовам (9,10) прибуток зростає і в точках перетину осі  $x$  інвестор починає отримувати прибуток, який формується завдяки відсутності витрат на оплату електроенергії та здачі залишків в енергосистему за зеленим тарифом. При цьому, якщо сільське домогосподарство, що споживає 1000 кВт.\*год., інвестує в потужність 30 кВт то в результаті експлуатації обладнання протягом 20 років за зеленим тарифом може отримати прибуток в 47 тис. USD.

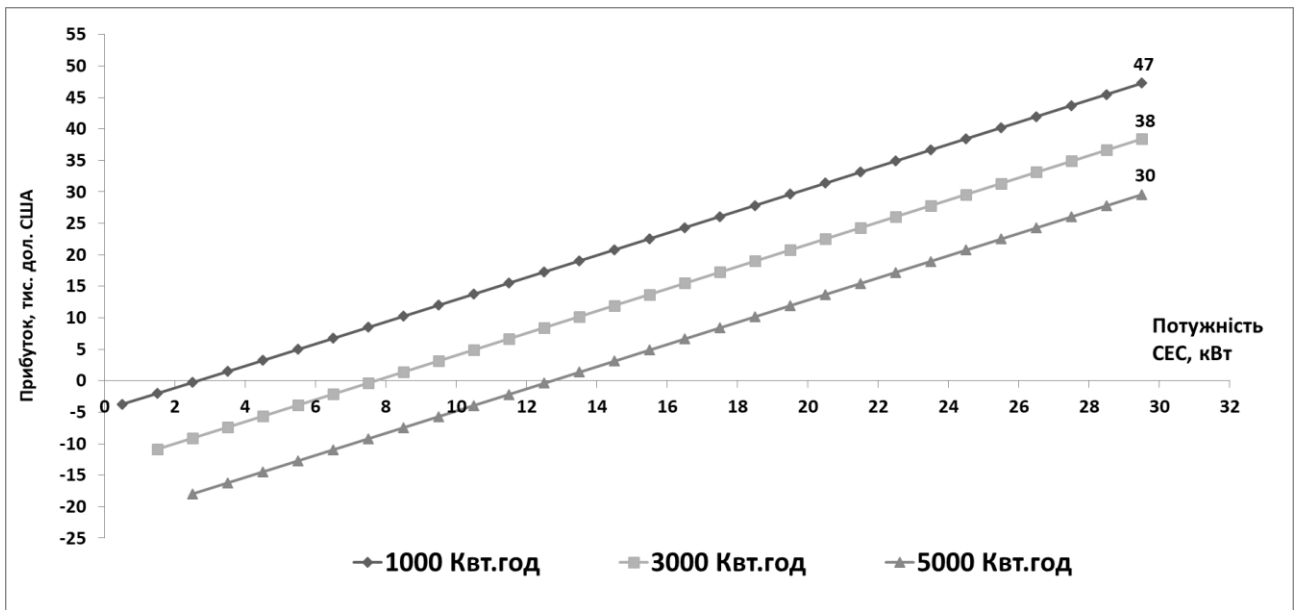


Рис. 3.2. Прибутки сільського домогосподарства від сонячної енергетики на горизонті 20 років у випадку різного рівня власного енергоспоживання при реалізації виробленої електроенергії за зеленим тарифом\*

Примітка. \*Розроблено автором

При реалізації виробленої електроенергії за зеленим тарифом (за значенням, що діяло на початок повномасштабної війни) сільське домогосподарство при встановленні сонячної електростанції потужністю 30 кВт, повинно інвестувати в діапазоні від 16 до 27 тис. дол. США., однак для того щоб вийти на рівень окупності при щорічному споживанні в 1 тис. кВт.год. у рік достатньо інвестувати 5 тис. USD. При споживанні 3 тис. кВт.год. необхідно інвестувати 22 тис. USD, при споживанні 5 тис. кВт.год. 27 тис. USD. Всі наведені розрахунки здійснено при дисконтній ставці (рівню інфляції) 13%.

Потрібно зазначати, що на даний час ринок електроенергії в Україні характеризується значною монополією з боку держави, в результаті чого ціни на електроенергію формуються не ринковими механізмами, а встановлюються державою. У випадку формування забезпечення формування ціни на електроенергію ринковим шляхом – її рівень може збільшитись вдвічі у порівнянні з поточною ціною електроенергії для населення.

В такому разі сільські домогосподарства зможуть також отримувати значні прибутку від інвестування у сонячну енергетику, так, наприклад, при споживання 1 тис. Квт.год. електроенергії на рік та встановленні сонячної електростанції потужністю 30 КВт. – прибуток сільського господарства на 20 річному горизонті буде складати 48 тис. дол. США.

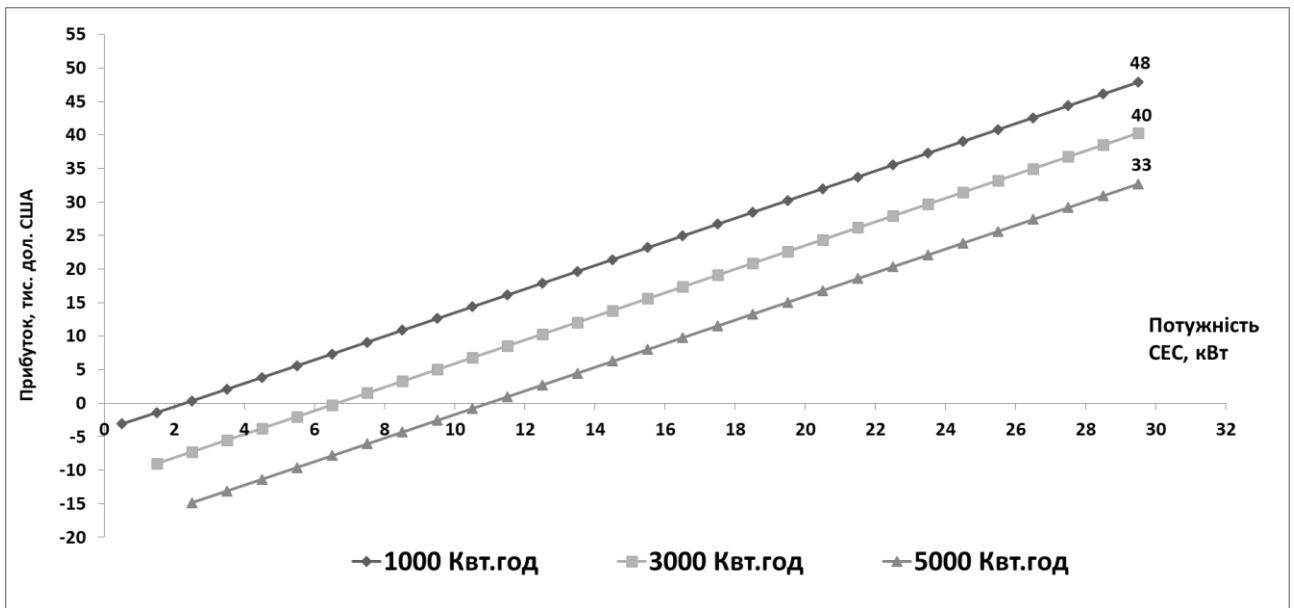


Рис. 3.3. Прибутки сільського домогосподарства від сонячної енергетики на горизонті 20 років у випадку різного рівня власного енергоспоживання при реалізації виробленої електроенергії за справедливою ринковою ціною\*

Примітка. \*Розроблено автором

Окремим варіантом максимізації рівня прибутковості сільського домогосподарства від інвестування у відновлювану енергетику може бути накладення обмежень на обсяги інвестування у системи збереження енергії, які використовуються в домашній сонячній електростанції. Так, наприклад, якщо витрати на системи збереження енергії будуть мати фіксоване значення та не будуть пропорційно залежати від обсягів середньо річного споживання електроенергії сільським домогосподарством – то дохідність СЕС буде досягатись навіть при більших обсягах споживання електроенергії, але при цьому



виникає ймовірність виникнення дефіциту електропостачання у випадку значної кількості днів простою сонячної електростанції.

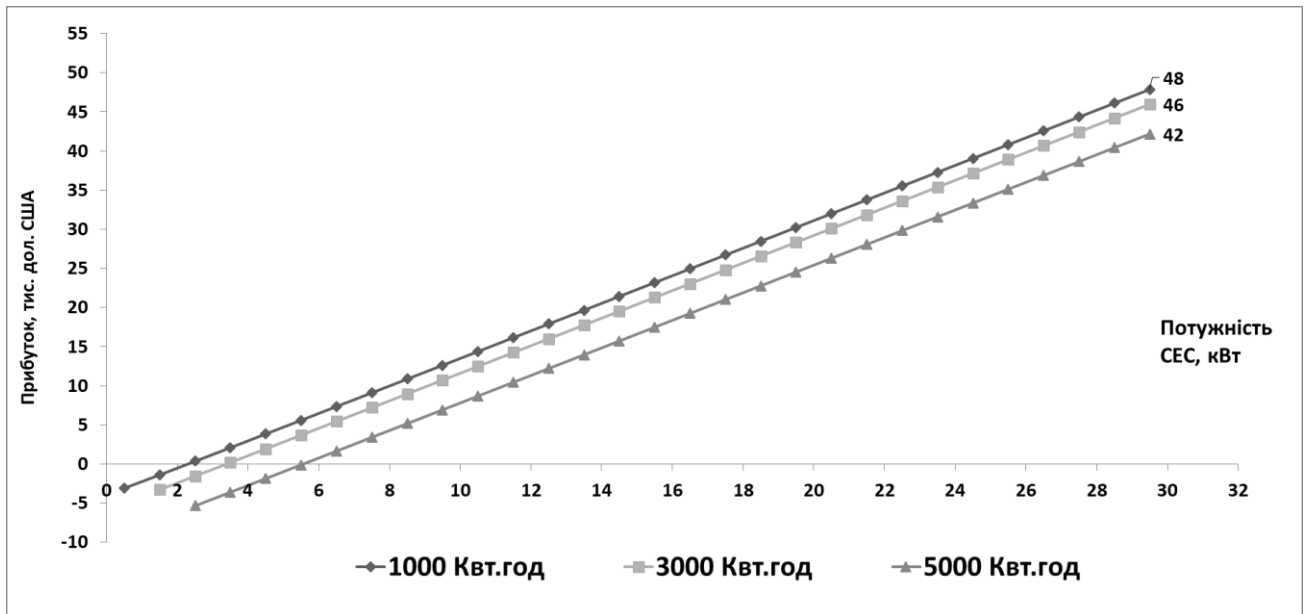


Рис. 3.3. Прибутки сільського домогосподарства від сонячної енергетики на горизонті 20 років у випадку різного рівня власного енергоспоживання при реалізації виробленої електроенергії за справедливою ринковою ціною та фіксованих витратах на придбання систем збереження енергії\*

Примітка. \*Розроблено автором

Окремо потребує розгляд питання щодо термінів окупності інвестицій сільського домогосподарства у сонячну енергетику. Так, наприклад, при фіксованому значенні обсягів споживання електроенергії (1000 КВт.год. на рік) та при реалізації виробленої електроенергії за цінами для населення на 01.10.2023 сонячна електростанція потужністю 5 КВт. на 20 річному терміні не досягає точки безбитковості. При цьому, за тих самих умов, сонячна електростанція потужністю 10 КВт. досягає точку безбитковості на горизонті в 8 років. Якщо ж сільське домогосподарство інвестує у сонячну електростанцію потужністю 15 КВт. то точка безбитковості досягається уже на 4 році її використання.

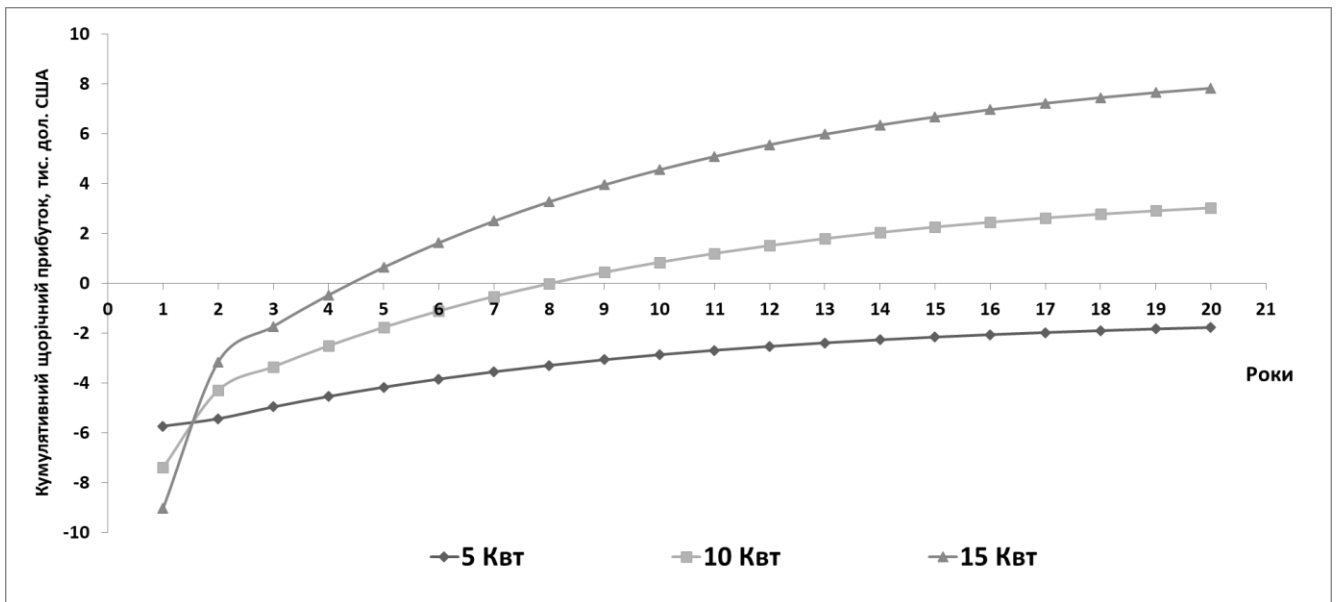


Рис. 3.3. Терміни окупності сонячних електростанцій різних потужностей при фіксованому значенні обсягу споживання електроенергії серед сільських домогосподарств та реалізації виробленої електроенергії за цінами на 01.10.2023\*

Примітка. \*Розроблено автором

З попередньо наведеного варіанту розв'язку оптимізаційної задачі з позиції визначення термінів окупності інвестування у відновлювану енергетику можна побачити, що максимізація темпів виходу в точку безбитковості досягається при мінімізації власного споживання сільським домогосподарством та встановленні сонячних електростанцій більших потужностей (навіть при рівні цін на електроенергії для населення на 01.10.2023).

У випадку формування повноцінного конкурентного ринку електроенергії, ринкова ціна електроенергії буде суттєво перевищувати поточний рівень тарифів на електроенергію терміни окупності сонячних електростанцій значно зменшаться. Так, наприклад, навіть сонячна електростанція потужністю 5 КВт. вийде в точку безбитковості на часовому горизонті в 6 років. Сонячна електростанція потужністю 10 КВт. вийде в точку безбитковості на часовому горизонті в 3 роки, а сонячна електростанція потужністю 15 КВт. і більше буде демонструвати прибуток уже на другому році свого використання.

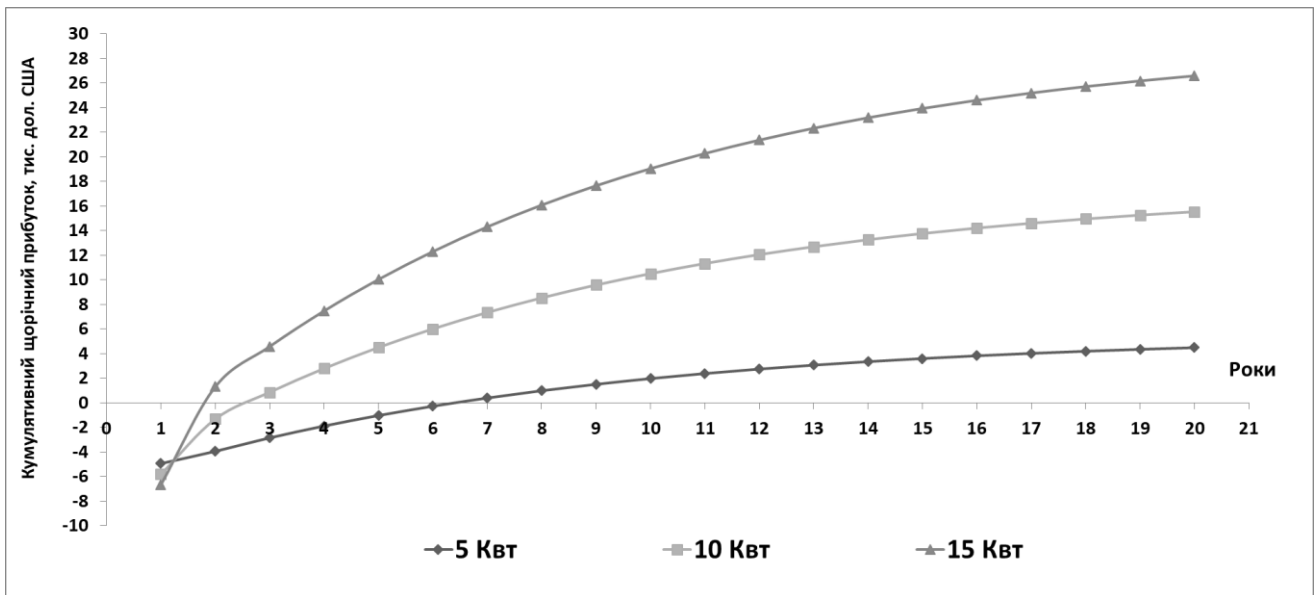


Рис. 3.3. Терміни окупності сонячних електростанцій різних потужностей при фіксованому значенні обсягу споживання електроенергії серед сільських домогосподарств та реалізації виробленої електроенергії за справедливою ринковою ціною

Примітка. \*Розроблено автором

Тому потрібно зробити висновок про значний вплив ставки дисконту на кінцевий результат. Оскільки дисконтна ставка залежить від ступеня ризику інвестиційного проекту, держава повинна в першу чергу створювати умови для зменшення невизначеності середовища в яких діє інвестор.

Це в першу чергу зменшення корупційних ризиків, що створює місцева влада за згоду на можливість енергопостачання по зеленому тарифу, забезпечення кваліфікованими консультаціями відносно особливостей окремих типів енергогенерації. Звичайно на дисконтну ставку впливає рівень макроекономічної стабільності в країні і хоча тарифи визначені в євро всі ми отримуємо гривневі доходи, тому девальваційні процеси також впливають на ризики інвестувань у відновлювану енергетику.

Однак вже з Енергетичної стратегії слідує, що вони будуть підвищуватись, на користь цього свідчить жалюгідний стан традиційної української енергетики,

наприклад, значна частка потужностей ядерної енергетики вже відпрацювала термін експлуатації і цей термін продовжено до максимальних 50 років. Не краще положення для теплоенергетики та гідроенергетики. Тому підвищення тарифів у майбутньому неминучий процес. Розглянуто випадок оцінки цільової функції, коли тарифи для населення дорівнюють європейським, крім того здійснено порівняння інвестиційної привабливості проекту з звичайним розміщенням коштів на депозиті.

На перший погляд проект гарантує незначний щорічний рівень прибутковості: 1,3% при діючих тарифах та 1,6% при європейських, однак, якщо їх порівняти з прибутковостями, що створюються банківською системою (депозити) при діючих відсоткових ставках (3% та 4%) та ставці дисконту 5%, то виявиться, що щорічна прибутковість депозитів від'ємна величина. Тому в діючих умовах інвестування у відновлювану енергетику можна вважати фінансовим інструментом більш ефективним ніж збереження валютних коштів на депозитах. Що стосується використання довгострокових гривневих вкладень то там внаслідок девальваційних ризиків (за умовою оцінки цільової функції в іноземній валюті) ставка дисконтування можливо перевищує депозитну ставку.

### **3.2. Перспективи використання систем збереження енергії сільськими домогосподарствами України**

Процес кліматичних змін нашої планети протягом останніх десятиліть спонукав багато країн змінювати власний енергетичний баланс, замінюючи традиційні первинні джерела енергії для генерації електроенергії на технології відновлюваних джерел. Відповідно до цілей ООН до 2030 року у світовому енергетичному комплексі частка відновлюваних джерел енергії повинна скласти 25% [174]. Через наявність фактору періодичного генерування електроенергії значна частина відновлюваних джерел енергії потребує застосування гнучкого графіку генерації електроенергії, управління попитом на

імпорт і експорт електроенергії або розширення електромережі для збалансування попиту і пропозиції електроенергії.

Впродовж декількох останніх десятиліть більш частіше для забезпечення балансу у виробництві електроенергії і її споживанні використовуються системи збереження електроенергії. При значній частці відновлюваної енергетики у електроенергетиці фактор застосування технологій збереження електроенергії стає більш вагомим [20]. Найбільш популярним прикладом систем збереження енергії, які застосовуються у традиційній енергетиці, уже понад 50 років, являються гідроелектростанції із каскадом водосховищ (ГАЕС). Подібні системи збереження енергії діють в Україні на каскадах двох основних річок: Дніпровська і Дністровська ГЕС, проте їх потужності являються недостатніми для компенсації піків енергоспоживання. Відповідно до критеріїв ЄС ступінь волатильності потужності процесу виробництва електроенергії повинна складати 20%, тоді як вітчизняні ГЕС забезпечує лише 1% [73]. Крім того така система збереження енергії являється ефективною лише при значних обсягах електропостачання та не може використовуватися лише окремими підприємствами чи домогосподарствами. Крім цього, слід зазначити, що подальше використання гідроелектростанцій в Україні містить в собі колосальні ризики, які були реалізовані 2023 році після проведення терористичного акту з боку РФ по підрику Каховської ГЕС в результаті чого вода з Каховського водосховища затопила більше ніж 100 квадратних кілометрів, на яких розташовувались населені пункти та сільськогосподарські угіддя. Негативний ефект від такої катастрофи, за певними оцінками, можна порівняти до застосування зброї масового знищення – тактичної ядерної зброї, оскільки окрім прямого негативного впливу у вигляді руйнувань приміщень та затоплення сільськогосподарських угідь, припинення функціонування цілих міст, сіл та селищ значно зростають ризики масового розповсюдження значної кількості інфекцій та збудників різних хвороб, які можуть викликати епідемії національного та світового масштабу.

Розглянемо питання якості енергопостачання серед сільської місцевості. Ще до початку повномасштабної війни РФ проти України серед загальної кількості випадків відсутності постачання електроенергії в Європі Україну випереджали лише дві країни: Румунія та Латвія [47]. Звичайно, повномасштабна війна РФ проти України, постійні терористичні обстріли об'єктів енергетичної інфраструктури спричинили масові проблеми з постачання електроенергії в Україні, зокрема декілька разів спостерігався масовий «блекаут» на всій території України.

Окремої статистики щодо якості енергопостачання серед сільських територій не існує, проте через значну протяжність ліній електропередачі серед сільської місцевості і використанні електромереж наземного базування - ймовірність збоїв у електропостачанні в результаті різного типу природних умов значно більша за аналогічний показник для міст. Крім того, враховуючи велику відстань між сільськими територіями та місцем базування ремонтних бригад – час відновлення енергопостачання, у випадку різноманітних проблем із його постачанням, набагато більший аніж у містах. За таких умов – значні економічні втрати, а також втрати якості відпочинку серед сільських домогосподарств досить суттєві та зростають при збільшенні рівня енергоспоживання домогосподарств [4]. Також, потрібно звернути увагу на рівень інформаційних втрат сільських домогосподарств в результаті спільного негативного ефекту проблем енергопостачання та низької швидкості мережі Інтернет [65].

Покращення стабільності енергопостачання серед сільських домогосподарств можливо за рахунок встановлення власних систем генерації електроенергії (зокрема домашніх сонячних електростанцій) у поєднанні з системами збереження енергії, які під'єднані до локальних електромереж. Але при цьому на законодавчому рівні повинно бути враховані зміни стосовно шляхів стимуляції розвитку відновлюваної відновлюваної енергетиці, зокрема серед сільських домогосподарств [27].

Одним із варіантів систем збереження електроенергії, що можуть застосовуватися сільськими домогосподарствами являються різноманітні акумуляторні технології, які відрізняються за різними параметрами (відповідно до набору компонентів із яких вони складаються): максимально можливим терміном експлуатації, потужністю та різноманітними технічними характеристиками. Враховуючи значну технічну варіативність і відмінності у застосуванні – проводити порівняльний аналіз вартості окремих технологій збереження енергії досить складно. В даних цілях було розроблено значну кількість концептуальних підходів, серед основних з яких, знаходиться: оцінка окремої технології у конкретному застосуванні при використанні аналізу рентабельності і розрахунку показника приведеної вартості зберігання одиниці енергії.

Питанням оцінки ефективності застосування систем збереження на рівні домогосподарства займалась значна кількість вітчизняних та іноземних дослідників. Так, наприклад, економічний аналіз домашніх фотоелектричних систем проводили Лоренц та Шредер [161]. Автори доводять, що на даний час, попри збільшення власного обсягу споживання, значна кількість різних видів систем акумуляторних батарей не можуть забезпечити економічну ефективність фотоелектричних систем.

Аналіз економічної ефективності систем збереження електроенергії виду PSH у Німеччині показав, що точка безбитковості з подальним прибуток може бути досягнута лише при умові, що система збереження енергії працює одночасно на спотовому і вторинному ринку електроенергії [128; 86].

Науковець Кангібер [122] розробив інтегральну модель розрахунку безбиткової інвестиційної вартості систем збереження електроенергії. Дослідник проаналізував максимальні інвестиції у системи збереження енергії, які є економічно ефективними.

Фраунхофер [89] провів аналіз 34 наукових досліджень щодо рентабельності систем збереження електроенергії. Кластерний аналіз досліджень виявив три основні сфери дослідження ринку систем збереження енергії: великомасштабні сховища, які діють на спотовому ринку, резервне забезпечення і збільшення власного споживання електроенергії використовуючі малі системи акумуляторних батарей.

Детальний аналіз вартості та шляхів застосування систем збереження енергії доводить, що використання відповідних систем може бути рентабельним при попередньо визначених умовах. Для кращого порівняння ефективності і економічної доцільності використання систем збереження енергії необхідно використовувати метод розрахунку показника приведеної вартості електроенергії, який полягає в розрахунку дисконтованої вартості збереження одиниці електроенергії.

Дослідник Павел [141] провів оцінку приведеної вартості збереження електроенергії для сонячних електростанцій, які використовують акумулятори типу Lithium-Ion та свинцево-кислотні акумулятори. Науковець Закері [184] розглянув літературні дослідження стосовно енергоспоживання і порівняльної вартості кожної із технологій збереження електроенергії. Основні результати дослідження полягають в тому, що гідроакумуляуючі електростанції або системи збереження енергії, які працюють на стисненому повітрі мають саму нижчу приведену вартість (LCOS) із всіх технологій енергетичного арбітражу: 5,4–7,1 €/ct за 1кВт.год. електроенергії.

Електроенергія, як товар, має одну основну властивість, яка полягає в тому, що її необхідно транспортувати в момент безпосереднього виробництва. На відміну від інших енергетичних ресурсів, таких як: вугілля, нафта або природний газ – час у затримці постачання електроенергії має дорівнює нулю. Одночасна генерація і споживання електроенергії призводять до існування особливої логістичної системи всього ринку електроенергії – існування єдиної державної



електромережі (тобто сукупність високовольтних ліній електропередач, розподільчих ліній та підстанцій), які забезпечують безперервну передачу електроенергії. При цьому, кінцевий споживач не знає електроенергію із якого джерела генерації він споживає. Одною із основних особливостей електромереж є те, що при збільшенні загальної довжини ліній електропередач збільшуються обсяги енергії, які втрачається в процесі її передачі. Тобто, існування декількох конкуруючих ліній електропередач в єдиній електромережі країни не є оптимальним з точки зору капітальних затрат, що пояснює державну монополію на ринку передачі електроенергії [94].

Необхідність транспортування електроенергії в момент її виробництва на даний час зумовлена саме відсутністю ефективних технологій її збереження протягом тривалого проміжку часу у великих обсягах.

Ринок електроенергії (незалежно від типу генерації) зіштовхується із одною із фундаментальних проблем – протягом доби можливість генерувати значну кількість електроенергії не співпадає із тим, коли на неї припадає найбільший попит. Так, наприклад, не залежно від кінцевого споживача та його секторальної приналежності у структурі економіки – попит на електроенергію має різні піки і спади. При цьому для одного з основних виробників електроенергії (ядерні електростанції) можливість проводити варіювання рівня потужності власної генерації протягом доби відсутня. Так, ядерні електростанції працюють із максимальною ефективністю лише при одній і тій самій потужності із поодинокими зупинками для їх технічного обслуговування [17]. Саме тому широко застосовується запровадження дисконту на вартість електроенергії в нічний час доби (при умові використання зонального лічильника), що стимулює збільшувати попит на електроенергію серед населення та юридичних осіб в нічний час, коли обсяги генерації електроенергії ядерними електростанціями залишаються на тому самому рівні, що і в світлий час доби, а обсяги споживання електроенергії природньо зменшуються.

Для ринку відновлюваної енергетики також присутні характерні проблеми щодо можливості адаптації під щоденний попит споживачів. Також, існує проблема щодо повної залежності від погодних умов, наприклад, сонячні електростанції повністю залежать від кількості сонячного світла і хмарності.

В умовах монополії держави на передачу електроенергії через електромережу – різні державні інституції, формально, беруть на себе ризики якості її операційної діяльності (можливі проблеми із порушенням стандартів електропостачання або можливі планові чи аварійні відключення подачі електроенергії). Такий тип ризику для підприємства може реалізуватись у додаткових витратах через пошкодження електрообладнання чи зниження його продуктивності. Для домогосподарств, особливо для сільських домогосподарств, які використовуються більший спектр електроприладів, проблеми із електропостачанням можуть призводити до проблем із фізичним чи моральним відпочинком, а також й до грошових витрат пов'язаних із ремонтом електроприладів. На рис. 3.3 наведено середній показник часу (у астрономічних хвилинах) відсутності електропостачання за оди́к рік для 25 країн ЄС та України. Попри те, що середній показник відсутності електропостачання серед країн Європи складає 136 хвилин або 2,3 години на рік, лише вісім країн знаходяться нижче цього значення. Таким чином, для 17 країн середня тривалість перерви у електропостачанні складала більше 136 хвилин, а середньо медіанне значення становило, близько, 200 хвилин. Показник середньої тривалості аварійних відключень для України, до початку повномасштабної війни РФ проти України, складав 650 хвилин.

Середньо річна кількість планових і аварійних відключень, до початку повномасштабної війни, в Україні складала 800 тисяч [25], потрібно зазначити, що у результаті подібного відключення без доступу до електропостачання залишалась частина однієї чи декількох вулиць, таким чином загальна кількість споживачів, що залишаються без електропостачання суттєво перевищує кількість

у 800 тисяч. З моменту отримання незалежності, в Україні тривалий період не існувало державного органу, що займався би розглядом і наданням компенсацій через проблема з електропостачанням.

Всі збитки, що мали споживачі були компенсовані за їх рахунок. Лише у 2014 році була утворена «Національна комісія, яка здійснює державне регулювання у сфері енергетики і комунальних послуг» (Національна комісія) на базі Законів України: «Про електроенергетику», «Про природні монополії» та «Про державне регулювання у сфері комунальних послуг».

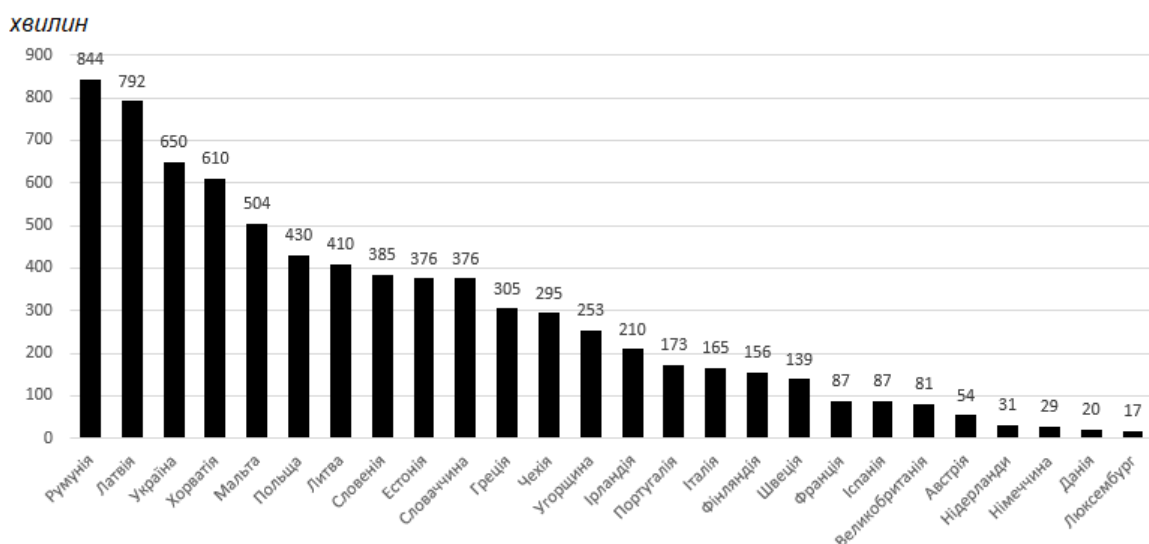


Рис. 3.3. Середній час відсутності постачання електроенергії на одного споживача протягом року через планові та аварійні відключення\*

Примітка. \*Складено автором на основі [31]

Відповідно до Національної комісії кількість споживачів, які подавали скаргу і отримали грошову компенсацію збільшилась із 913 у 2017 році до 16 039 у 2019 році [25;31]. Обсяги грошових компенсацій протягом 3 років функціонування Національної комісії збільшились із 116 тис. грн. до 2,4 млн. грн. (табл.3.3). Проте, якщо проаналізувати значення середньої суми компенсацій на одного споживача, можна побачити, що за відповідний період цей показник збільшився лише на 19 грн., при цьому його початковому значення складало 128

грн. Такі компенсації, навряд чи, можуть покрити грошові витрати щодо ремонту електрообладнання або збитків отриманих у результаті призупинення операційної діяльності чи моральні збитки за зіпсований відпочинок.

З 2019 року, відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» втратили чинність тарифи, які були диференційовані за періодами доби для юридичних осіб, які дозволяли платити вдвічі меншу ціну за спожиту електроенергію протягом нічної пори доби. Обґрунтуванням даного рішення, відповідно до Національної комісії являлось скорочення перехресного субсидіювання між категоріями споживачів у обсязі 3,5 млрд. грн. [20].

*Таблиця 3.3.*

### **Динаміка отриманих споживачами компенсацій**

Рік	Сума компенсацій, грн	Кількість споживачів, що отримали компенсації	Середня сума компенсацій на одного споживача, грн
2017	116 950	913	128
2018	2 319 591	12 443	186
2019	2 359 883	16 039	147

Примітка. \*Складено автором на основі [25, 31]

На даний час, в умовах повномасштабної війни рф проти України, коли вартість електроенергії для населення була збільшена вдвічі, продовжують діяти тарифні коефіцієнти для домогосподарств, тобто ціна споживання електроенергії протягом нічної пори доби може бути у два чи три рази дешевшою.

Враховуючи фактори перебоїв із постачанням електроенергії, що являються одними із найбільших у Європі і можливості придбання електроенергії за меншою ціною протягом нічної пори доби – сільські домогосподарства можуть розглядати питання використання систем збереження енергії. Досить тривалий період часу – використання відповідних систем було не можливим на рівні побутових споживачів, оскільки, єдиними можливими технологіями в сфері збереження енергії, являлися технології на базі використання водосховищ чи

термального збереження енергії. Такі системи за рівнем початкових капітальних інвестицій, у більшості випадків, являються не рентабельними для використання навіть серед потужних виробничих комплексів.

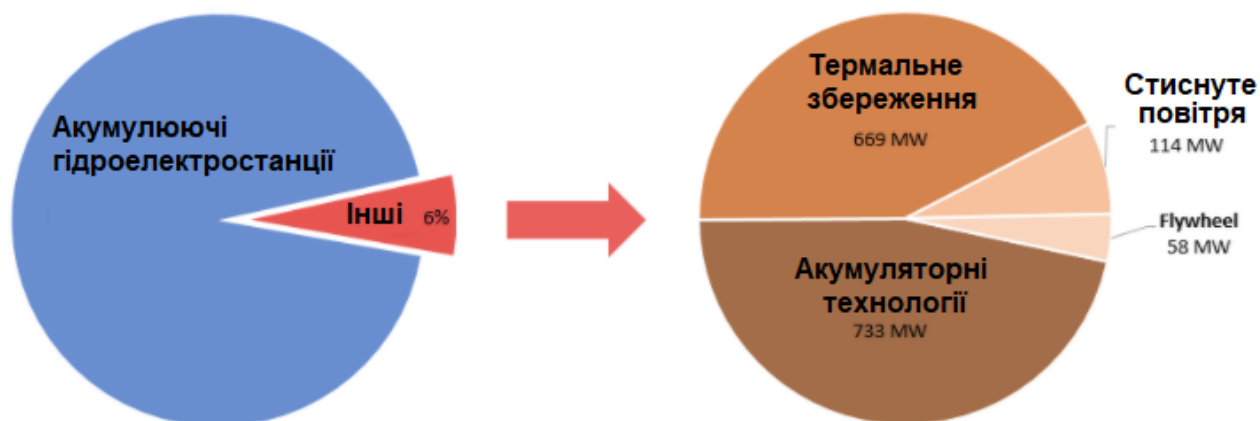


Рис. 3.4. Потужність систем збереження енергії в США станом на 2019 рік\*

Примітка. \*Складено автором на основі [20]

Протягом 21 століття проводилась активна розробка і вдосконалення інших технологій збереження енергії, зокрема різних видів акумуляторних технологій. Уже на 2019 рік технології збереження електроенергії з використанням акумуляторів становили 3% від загальної потужності систем збереження енергії в США (рис. 3.4).

Як видно з рис. 3.4 загальна потужність систем збереження енергії на базі акумуляторних технологій у США в 2019 році складала 733 МВт. Для порівняння потужність одного реактору Запорізької або Хмельницької ядерної електростанції складає 1 тис. Мвт., що свідчить про суттєвий потенціал розвитку і використання систем збереження енергії.

Потрібно зазначити, що споживачами електроенергії серед сільських територій являються не лише сільські домогосподарства, а ще й аграрні підприємства. На момент початку повномасштабної війни рф проти України у структурі вітчизняної економіки сільське господарство займало шосте місце за обсягом загального споживання електроенергії.

На 2020 рік сільське господарство споживало 4% від загального споживання електроенергії, що лише на 2 процентних пункта менша від залізничного сектору і на 1 процентний пункт за харчовий сектор (табл. 3.4). Таким чином, можна говорити, що сільське господарство являється суттєвим споживачем електроенергії в національному масштабі.

Таблиця 3.4.

### Структура електроспоживання секторів економіки України\*

№	Сектор Економіки	Частка в структурі електроспоживання
1	Побутовий сектор	38,38%
2	Торгівля та послуги	24,56%
3	Гірничодобувна (за виключенням палива)	10,17%
4	Залізничний	5,83%
5	Харчова та тютюнова	4,95%
6	Сільське господарство	4,00%
7	Інші види промисловості	3,58%
8	Машинобудування	2,92%
9	Інші види транспорту	1,09%
10	Будівництво	1,05%
11	Целюлозно-паперова і поліграфічна	1,00%
12	Транспортне устаткування	0,86%
13	Деревообробна та вироби з деревини	0,86%
14	Текстильна і шкіряна	0,41%
15	Трубопровідний	0,27%
16	Рибальство	0,04%

Примітка. \*Складено автором на основі [23, 68]

При аналізі структури енергоспоживання сільським господарством стає очевидним, що на електроенергію припадає досить суттєва частка (близько 17%), яка дорівнює сукупному рівню споживанню таких типів енергетичного постачання, як: природний газ, теплоенергія, біопаливо чи вугілля (табл.3.5). Найбільша частка енергоспоживання в сільському господарстві припадає на нафто продукти, що використовуються як паливо у процесі посадки, обробки та збору і перевезення продуктів виробництва аграрного сектору.

Враховуючи такі фактори, як: збільшення рівня екологічного оподаткування виробників різноманітних транспортних засобів серед різних

країн (зокрема країн ЄС та США), зміну структури енергетичного споживання серед високорозвинених країн світу спричиненою повномасштабною війною рф проти України, а також фактору здешевлення акумуляторних технологій, що дозволяють використання електродвигунів серед різних типів транспортних та механічних засобів – можна висунути гіпотезу про те, що у майбутньому частка нафтопродуктів у загальному енергоспоживанні сільськогосподарському секторі а також серед сільських домогосподарств зменшиться на користь електроенергії.

*Таблиця 3.5.*

**Структура споживання енергії  
у сільському господарстві України на 2020 рік\***

Тип енергоспоживання	Нафто продукти	Електроенергія	Тепло енергія	Природний газ	Біопаливо і відходи	Вугілля
Тисяч тон нафтового еквівалента	1 255,94	316,03	187,59	95,51	27,61	6,88
Частка	66,5%	16,7%	9,9%	5,1%	1,5%	0,3%

Примітка. \*Складено автором на основі [23;6]

Незважаючи на те, що для юридичних осіб Національною комісією було скасовано «нічний тариф» від виробників електроенергії, які перебувають у державній власності – поточна модель ринку електроенергії, все ж таки, передбачає наявність «нічного тарифу», у випадку якщо споживач (юридична особа) домовиться із постачальником щодо застосування такого тарифу [47]. Крім цього наявність декількох постачальників електроенергії на ринку передбачає відсутність фіксованої ціни електроенергії та можливість сезонного коливання цін (особливо в умовах розвитку відновлюваної енергетики). Відповідно, питання застосування систем збереження енергії являється дуже актуальним, як для сільських домогосподарств так і для юридичних осіб, які проводять свою операційну діяльність серед сільських територій.

Оскільки ринок технологій збереження енергії впродовж останніх років демонструє значні темпи свого розвитку – виникає потреба у економічній оцінці

даних технологій. При цьому, проводити порівняльну оцінку вартості технологій збереження енергії досить важко через їх технічну різноманітність і відмінність в застосуванні. Одною із основних метрик, що може використовуватись у даних цілях є показник приведеної вартості збереження енергії.

Приведена вартість зберігання енергії (з англ. LCOS) – мінімальна ціна за 1 кВт.год. електроенергії, яка необхідна потенційному інвестору задля досягнення точки безбитковості протягом всього експлуатаційно терміну окремої системи збереження енергії [75].

Проведемо аналіз економічного ефекту від використання систем збереження енергії, який полягає у тому, що на момент завантаження, вартість електроенергії дешевша в порівнянні із періодом використання електроенергії.

Метод LCOS може використовуватись серед таких технологій збереження енергії, як:

- Гідроакumuлюючі електростанція;
- Сховища енергії, які працюють на стисненому повітрі;
- Акумуляторні технології (Свинцево-кислотні акумулятори, Літій-іонний акумулятори та інше).

Загальна формула оцінки приведеної вартості збереження енергії (LCOS) має наступний вигляд:

$$LCOS = \frac{CAPEX + \sum_{i=1}^n (OPEX_i + R_{capex_i} + p \times Win_i) \times (1+r)^{-n}}{\sum_{i=1}^n Wout_i \times (1+r)^{-n}} \quad (3.18)$$

де:

$V$  – сумарна ємність системи, кВт.год.;

$C_p$  – вартість інвестицій на одиницю ємності системи, Євро/кВт.год.;

$CAPEX = V \times C_p$  – загальні витрати на придбання системи збереження енергії, Євро;



$n$  – плановий час експлуатації системи, років;

$r$  – ставка дисконтування, % на рік;

ОРЕХ – операційні витрати, частка від CAPEX;

$p$  – ціна електроенергії, €/кВт.год.;

$R_{\text{capex}}$  – реінвестиції у системні компоненти, частка від CAPEX;

$\text{сус}$  – кількість щорічних циклів зарядки-розрядки системи;

$W$  – обсяг електроенергії, який завантажується у систему після одного циклу зарядки, кВт.год.;

$W_{\text{in}} = \text{сус} \times W$  – щорічний обсяг електроенергії, який завантажується у систему, кВт. год.;

SDR – обсяг саморозрядження системи, % на рік;

$W_{\text{out}} = W_{\text{in}} \times (1 - \text{SDR})$  – щорічний обсяг саморозрядження системи збереження енергії, кВт.год.;

Для уникнення фактору дублювання інформації вкажемо змінні моделі, що будуть залишатись статичними серед усіх варіантів розрахунку моделі:

$V = 200$ , кВт. год.; ОРЕХ = 0,5%;  $R_{\text{capex}} = 0,5\%$ ;  $n = 25$  років; SDR = 7%;

$r = 3\%$ .

Спочатку розглянемо залежність показника LCOS для збереження електроенергії в залежності від зміни ціни на електроенергію, при умові, що кількість щорічних циклів зарядки-розрядки системи становить 365, а вартість одиниці ємності даної системи складає 300 € за 1 кВт.год. (рис. 3.5). На рисунку ціна електроенергії приведена у гривнях, в моделі вона включається за курсом євро в 34 гривні. З отриманих результатів можна побачити, що приведена вартість збереження енергії має звичайну лінійну залежність залежно від зміни ціни. При збільшенні вартості електроенергії на 1 гривню за 1 кВт.год. електроенергії – показник LCOS збільшується на 3 євроцента.

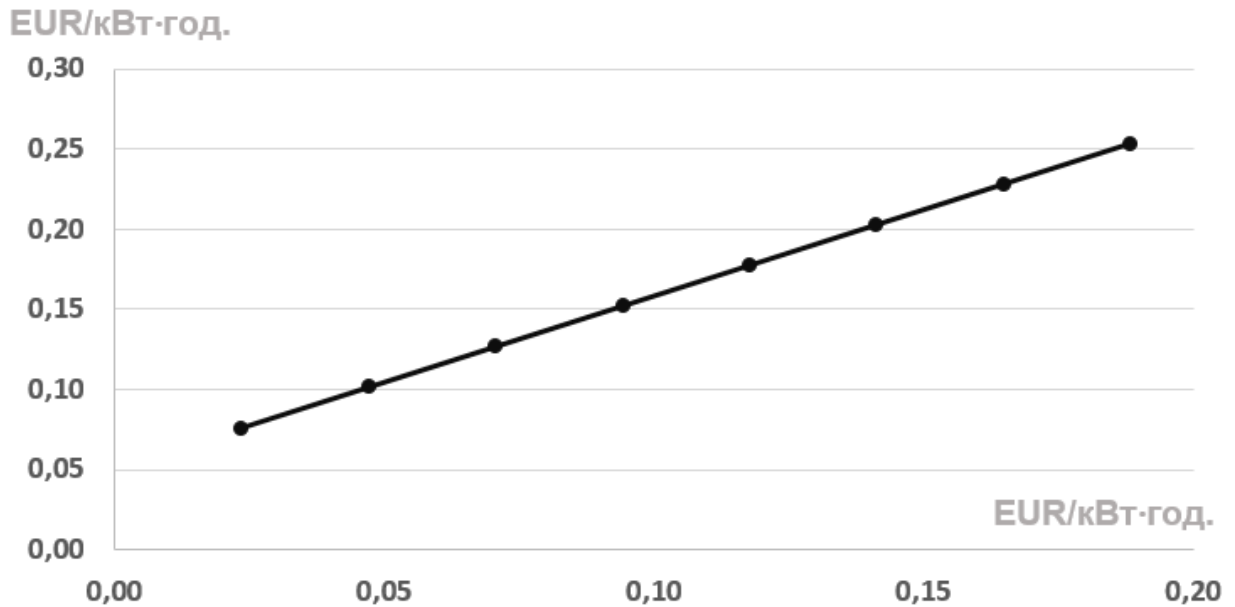


Рис. 3.5. Зміна показника LCOS залежно від зміни ціни електроенергії\*

Примітка. \*Розроблено автором

Іншим варіантом розрахунку даної моделі являється оцінка залежності показника LCOS від капітальних інвестицій в придбання і встановлення системи збереження енергії. Аналогічно до попередньому розрахунку припускається, що кількість циклів зарядки-розрядки системи протягом року становить 365. Вартість 1 Квт.год. електроенергії складає 1,6 UAH або ж 5 євроцентів за курсом 34 гривні за 1 євро. Отримана залежність носить, також, лінійний характер (рис. 3.6), для прикладу, якщо проводити капітальні інвестиції у технології вартість одиниці ємності яких буде на 100 євро за один КВт.год. дорожче –приведена вартість збереження енергії при цьому збільшиться на 0,02 євро. Збільшення капітальних інвестицій у 4 рази призведе до збільшення показника LCOS лише у два рази.

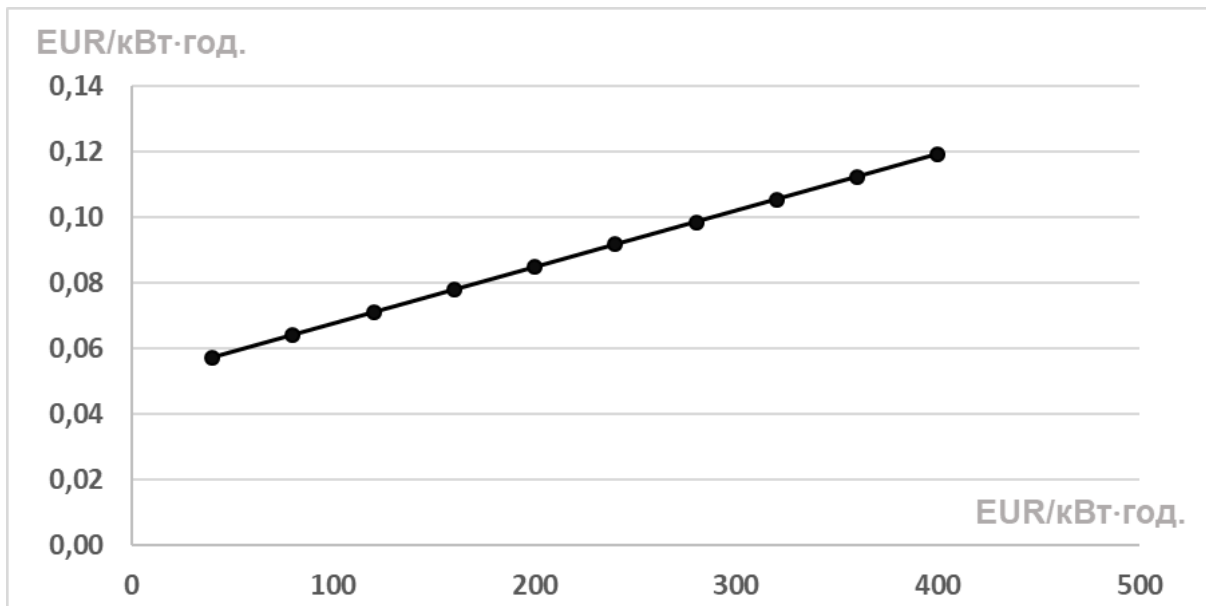


Рис. 3.6. Залежність показника LCOS від капітальних інвестицій\*

Примітка. \*Розроблено автором

Особливо вражаючою виявилась залежність приведеної вартості збереження енергії від показника частоти використання даної системи протягом року або ж показника кількості повних заряджень і розряджень протягом одного року (рис. 3.7). Вважаючи, що вартість одиниці ємності відповідної системи складає 300 Євро за одну КВт.год. електроенергії, а ціна одного 1 Квт.год. електроенергії становить 5 євроцентів — отримуємо експоненціальну залежність. При збільшенні кількості щорічних циклів зарядження-розрядження на 1 – вартість збереження одного КВт.год. електроенергії зменшується приблизно на 0,005%. Досить цікавим є те, що використовуючи систему збереження енергії лише один раз протягом року – приведена вартість збереження енергії досягає 1 євро за 1 КВт.год. енергії, в той час як ринкова ціна складає лише 5 євроцентів.

При умові закупівлі електроенергії за нічним тарифом (до 50% вартості денного тарифу) приведена вартість збереження електроенергії зменшується на 2,5 євроцента. На рис. 3.7 це відображається у зміщенні кривої (залежності показника LCOS від кількості циклів зарядки-розрядки системи протягом року) вниз. При чому, при 20 щорічних циклах зарядки вартість збереження

електроенергії буде зменшуватись із 0,978 до 0,952 євро за 1 кВт·год. Двократне зменшення вартості закупівлі електроенергії призводить до зменшення вартості збереження електроенергії лише на 3%. Проте, у випадку 360 циклів зарядки-розрядки системи протягом одного року, приведена вартість збереження електроенергії зменшується з 0,10 до 0,07 євро за 1 кВт·год, в даному випадку двократне зменшення ціни одиниці електроенергії призводить до зменшення вартості збереження електроенергії на 25%.

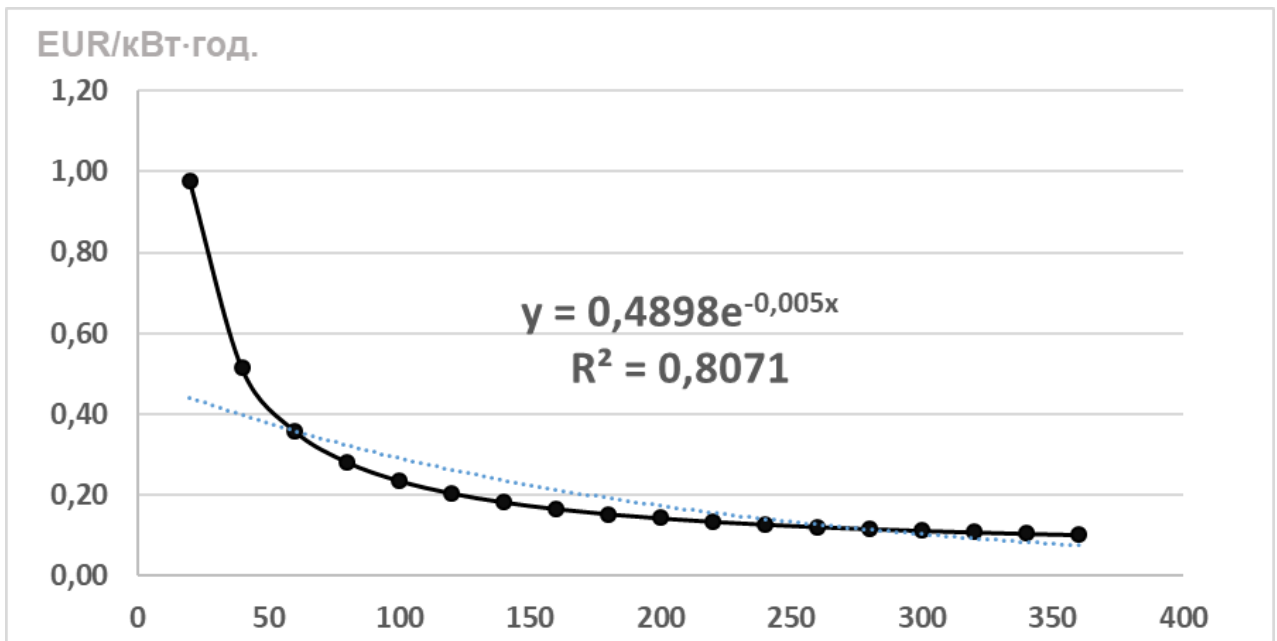


Рис. 3.7. Залежність LCOS від кількості щорічних циклів зарядки-розрядки системи збереження енергії\*

Примітка. \*Розроблено автором

При використанні системи збереження енергії кожного дня сільське домогосподарство може добитись значення показника LCOS в 10 євроцентів. Також окремим висновком є те, що збереження електроенергії протягом тривалого проміжку часу робить систему збереження електроенергії не рентабельною у використанні. При цьому, щоденне використання відповідної системи за умов наявності «нічного тарифу» приносить суттєві економічні вигоди. Також, слід підкреслити, що наявність «нічного тарифу» на

електроенергію не являється єдиною причиною ефективності використання систем збереження енергії – нестабільності постачання електроенергії серед сільській території, а також відключення електроенергії в умовах повномасштабної війни РФ проти України призводить до значних втрат, як економічного так й морального типу. Величина даних втрат, досить ймовірно, з часом буде постійно зростати через збільшення кількості мешканців, які проживають в сільських домогосподарствах та працюють у віддаленому доступі.

### **3.3. Шляхи державного стимулювання розвитку альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств України**

Відповідно до проведених досліджень можна стверджувати, що в період відновлення, зруйнованою війною, економіки зокрема енергетичної інфраструктури відновлювана енергетика в поєднанні із системами збереження енергії зможуть повноцінно конкурувати з традиційною енергетикою.

Зменшення вартості зеленого тарифу на 70% від його попереднього значення та перспективи запровадження справедливої ринкової ціни на електроенергію з традиційних джерел стає основним стимулом для розвитку відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств з позиції забезпечення власних енергетичних потреб, а не отримання над прибутків шляхом встановлення сонячних електростанцій на рівні максимально дозволеної потужності та продажам всієї виробленої електроенергії гарантованому покупцю за механізмом зеленого тарифу.

Натомість впровадження механізму чистого обліку електроенергії Net Metering буде стимулювати сільські домогосподарства встановлювати домашні сонячні електростанції потужністю, яка достатня для забезпечення їх енергетичних потреб, а не більше їх при цьому загальна вартість інвестицій суттєво зменшиться в порівнянні з інвестиціями, які проводили

домогосподарства користуючись механізмом зеленого тарифу. Механізм чистого обліку електроенергії Net Metering дозволить сільським домогосподарствам обліковувати вироблену електроенергію протягом теплої пори року (коли над територією України спостерігається найбільша кількість довгих, сонячних днів) і використовувати потім цю електроенергію в холодну пору року, зокрема взимку, коли спостерігається дефіцит у виробництві електроенергії сонячними електростанціями.

У випадку, коли сільські домогосподарства будуть масово переходити на відновлювану енергетику в Україні буде спостерігатись певна сезонність у виробництві електроенергії традиційною енергетикою, максимальний пік виробництва якої буде припадати саме на холодну пору року, а протягом літа вона зможе проводити амортизаційні та планові роботи з обслуговування обладнання, оскільки влітку значна частка домогосподарств буде використовувати себе електроенергію власної генерації.

Враховуючи той негативний досвід з дефіцитом електрогенерації та неможливістю передачі електроенергії у зв'язку з терористичними обстрілами РФ критичної інфраструктури України держава повинна бути максимально зацікавлена в розвитку відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств, які складають значну частку населення всієї України. Розвиток відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств на державному рівні означає забезпечення високого ступеню національної енергетичної безпеки.

Для додаткового заохочення сільських домогосподарств до переходу на відновлювану енергетику, крім запровадження механізму чистого обліку електроенергії Net Metering держава повинна здійснити ряд кроків.

Першим і основним кроком являється скасування фіксованої ціни на електроенергію та запровадження справедливої ринкової ціни на електроенергію з подальшим впровадженням механізму надання субсидій тій категорії громадян, що не можуть самостійно сплачувати за спожиту електроенергію. Запровадження

ринку електроенергії призведе до суттєвого підвищення ринкової ціни. У поєднанні з вільним доступом всіх бажаючих сільських домогосподарств до ринку будуть створені умови, коли сільські домогосподарства зможуть отримувати прибуток від реалізації згенерованої електроенергії з відновлюваних джерел енергії. В результаті чого значна частина сільських домогосподарств буде інвестувати власні заощадження у створення власної сонячної домашньої електростанції.

Для підтвердження гіпотези про те, що домогосподарства (в тому числі і сільські домогосподарства) мають власну валютну ресурсну базу для здійснення такої інвестиційної діяльності розглянемо динаміку обсягів коштів фізичних осіб серед всієї банківської системи України з початку 2022 року.

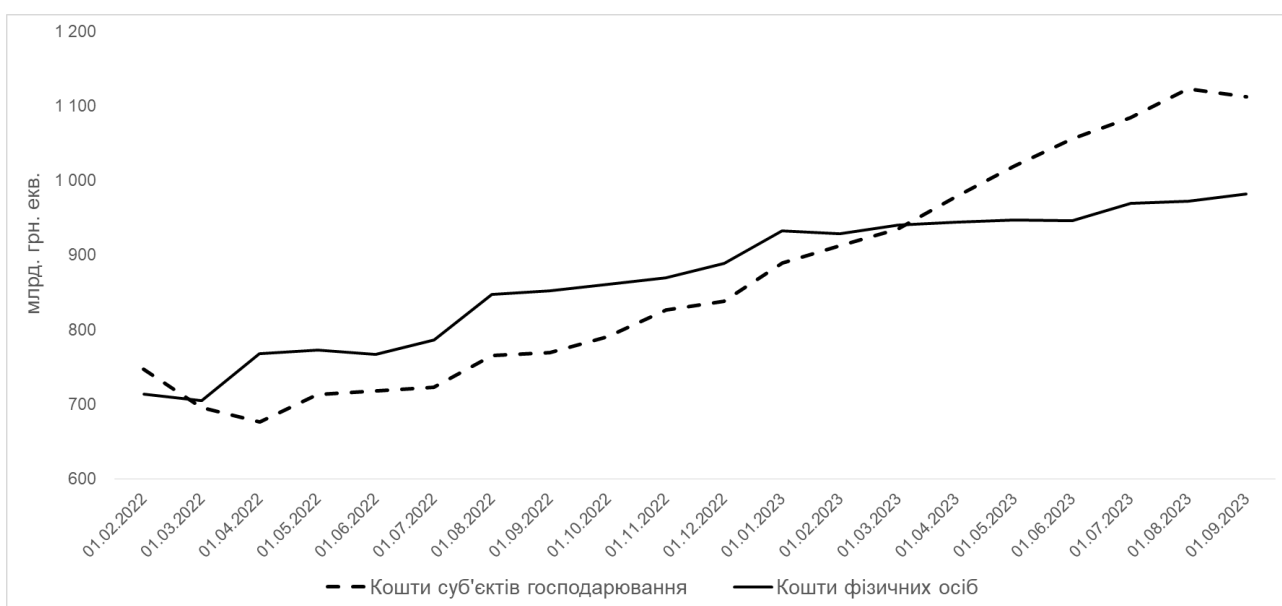


Рис. 3.8. Динаміка коштів суб'єктів господарювання та фізичних осіб серед банківської системи України\*

Примітка. \*Складено автором на основі [29]

Як можна побачити, з вище наведеного рисунку, тільки в період з 01.02.2022 до 01.09.2023 обсяг коштів фізичних осіб в банківській системі України збільшився з 700 до, майже, 1000 млрд. грн. екв. Якщо враховувати, що середнє значення поточного курсу долара США до гривні складає 36,56 грн. за 1

долар – отримує доларове значення еквіваленту коштів фізичних осіб в Україні на рівні 27 млрд. дол. США. Окремо потрібно зазначити, що протягом всього 2022 року обсяг коштів фізичних осіб перевищував навіть обсяги коштів суб'єктів господарювання. Крім цього можна висунути гіпотезу про те, що значна частина населення України (в тому числі сільські домогосподарства) зберігаються власні заощадження у готівковій формі (поза межами банківської системи України). Висунення такої гіпотези можна підтвердити низькою довірою фізичних осіб до банківської системи, яка в період з 2013 до 2013 року за кількістю комерційних банків скоротилася, майже в 4 рази.

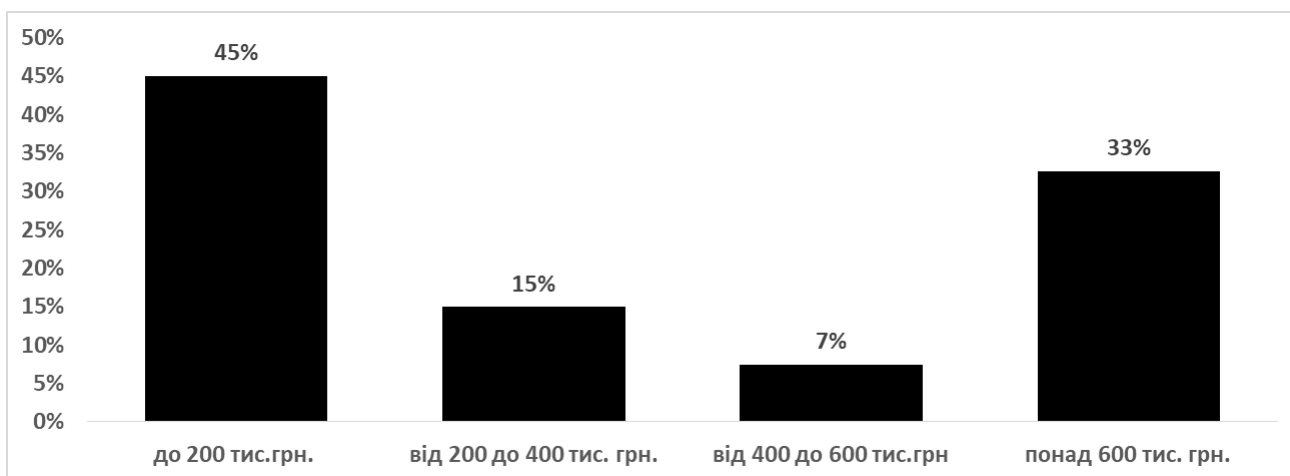


Рис. 3.9. Структура коштів фізичних осіб в національній валюті серед банківської системи України за величиною вкладів\*

Примітка. \*Складено автором на основі [29]

Особливу увагу привертає на себе і структура коштів фізичних осіб серед банківської системи України за величиною вкладів. Так, зокрема, 45% всіх поточних та строкових коштів фізичних осіб розміщені у вкладах до 200 тис. грн., що означає високу ступінь диверсифікації коштів фізичних осіб серед банківської системи України. Разом з тим, такий значний відсоток обсягів коштів у вкладах до 200 тис. грн. (5,5 тис. дол. екв.) також підтверджує гіпотезу про недовіру населення до банківської системи України.



Якщо ж аналізувати структуру коштів фізичних осіб в іноземній валюті серед банківської системи України за величиною вкладів то можна говорити, що абсолютна більшість вкладів фізичних осіб серед банківської системи (96%) не перевищують рівень в 200 тис. грн. (5,5 тис. дол. екв.). Цікаво відзначити, що саме на таку величину відшкодування можуть розраховувати фізичні особи від фонду гарантування вкладів фізичних осіб у випадку настання дефолту банку. Таким чином існує дуже висока ймовірність того, що абсолютна більшість домогосподарств України зберігають власні валютні заощадження у формі готівки.

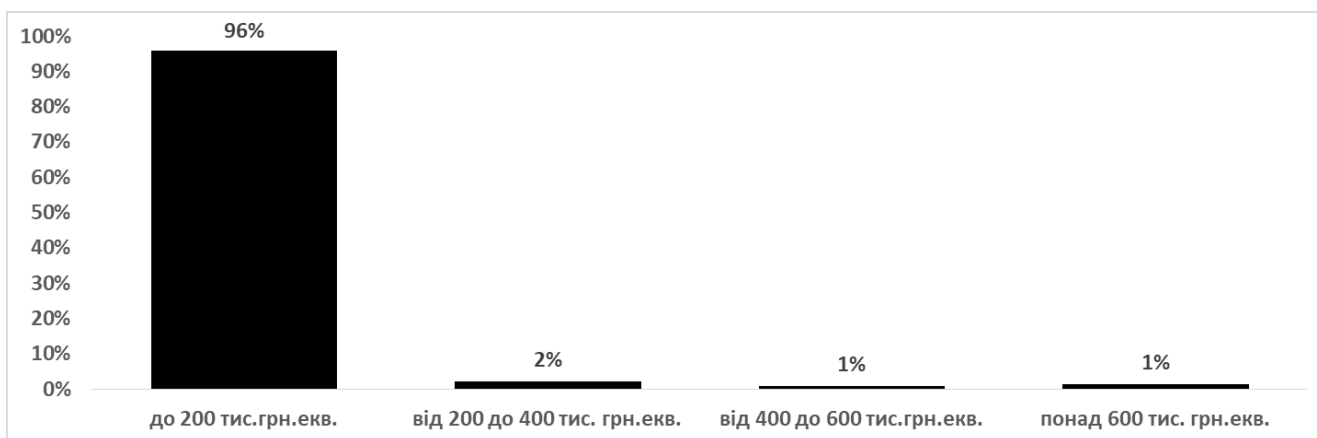


Рис. 3.10. Структура коштів фізичних осіб в іноземній валюті серед банківської системи України за величиною вкладів\*

Примітка. \*Складено автором на основі [29]

Враховуючи попередньо проведені розрахунки з моделювання окупності інвестування у відновлювану енергетику серед сільських домогосподарств можна стверджувати, що максимізація прибутку і мінімізація термінів окупності домашньої сонячної електростанції досягається при збільшенні встановленої потужності СЕС. Таким чином державі доцільно запровадити механізм надання державних гарантій банкам, які видають цільові кредити сільським домогосподарствам під купівлю домашньої сонячної електростанції та системи збереження енергії. У випадку не погашення відповідно кредиту, держава повертає банку тіло кредиту та не погашені відсотки і безпосередньо займається

відчуженням сонячної електростанції у боржника з її подальшою реалізацією на ринку.

На даний момент ресурсна база всіх банків, крім капіталу банку та кредитів рефінансування НБУ, складається безпосередньо з коштів суб'єктів господарювання та фізичних осіб. Якщо розглядати динаміку структури коштів суб'єктів господарювання протягом останніх 20 місяців, то можна побачити, що лєвова частка припадає саме на поточні кошти

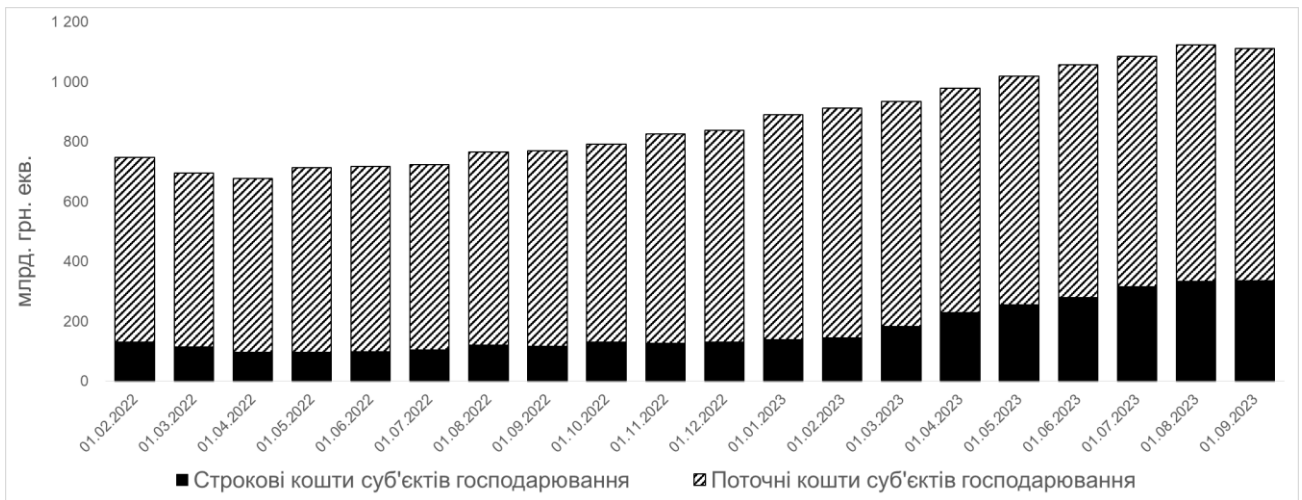


Рис. 3.11. Структура коштів суб'єктів господарювання серед банківської системи України \*

Примітка. \*Складено автором на основі [29]

На відміну від коштів суб'єктів господарювання, кошти фізичних осіб серед банківської системи України характеризуються значною часткою саме строкових коштів (депозитів). Головна перевага строкових коштів для банків полягає у визначеному терміні їх погашення, що дозволяє банку краще планувати власну операційну діяльність та робити якісні управлінські рішення щодо розміщення відповідних коштів. З початку 2022 року загальна величина строкових коштів фізичних осіб незмінно складає близько 300 млрд. грн. екв. (8 млрд. дол. екв.). Для порівняння сучасний ядерна електростанція потужністю 1 МВт коштує 6 млрд. дол. США, при цьому вартість 1 КВт потужністю складає близько 5,5 тис. дол. США. При цьому 1 КВт потужності сонячної енергетики складає в

середньому 2 тис. дол. (в два рази менше за ядерну енергетику). Таким чином, тільки при розміщенні строкових коштів фізичних осіб в інвестиційні проекти сонячної енергетики серед сільських домогосподарств можна досягти потужності в 2 МВт (що еквівалентно, наприклад, номінальній потужності Хмельницької АЕС), при цьому головною перевагою сонячної енергетики у порівнянні з ядерною – децентралізація виробничих потужностей, що в свою чергу означає підвищення енергетичної безпеки.

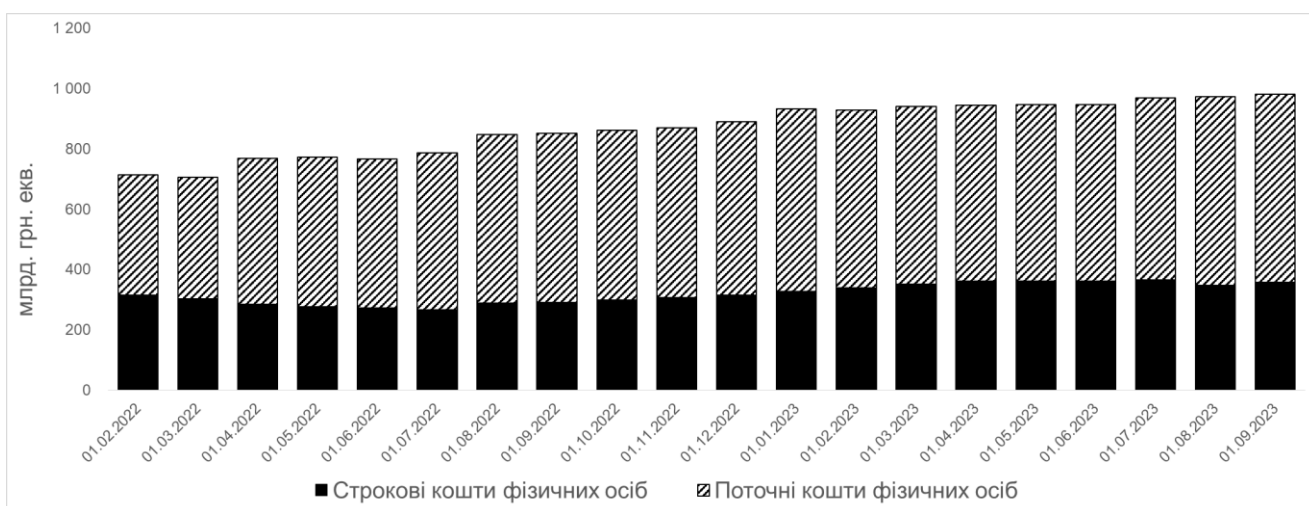


Рис. 3.12. Структура коштів фізичних серед банківської системи України \*

Примітка. \*Складено автором на основі [29]

Не дивлячись на те, що кошти фізичних осіб являються другою за величиною ресурсною базою для державних та комерційних банків – кредитування фізичних осіб являється одним з найменших варіантів розміщення коштів для отримання прибутку банками. З наведеного нижче рисунку можна побачити, що основними джерелами максимізації прибутку для банків в Україні являються вкладення в цінні папери (деPOSITNІ сертифікати, облігації внутрішньої державної позики та інше), а також кредити, що надані суб'єктам господарювання. Так, на початок 01.09.2023 загальна величина кредитного портфелю суб'єктів господарювання в Україні складала, близько, 800 млрд. грн., тоді як вкладення в цінні папери перевищували 1 трлн. грн.

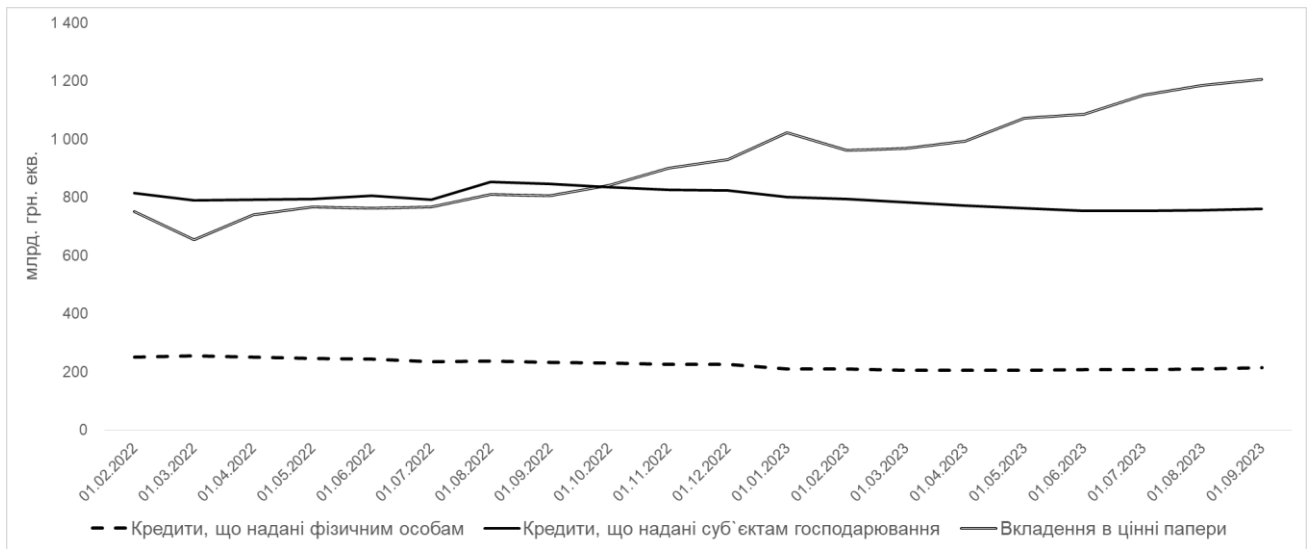


Рис. 3.13. Структура «робочого» портфелю активів серед банківської системи України\*

Примітка. \*Складено автором на основі [29]

В той самий час, портфель кредитів фізичних осіб, складає 200 млрд. грн. екв. В основному це можна пояснити відсутністю попиту на кредитні продукти серед фізичних осіб, а також великою ресурсною базою, яку потребують банки для адекватного оцінення кредитного рейтинга кожної фізичної особи. Враховуючи структуру пасивів та активів банкової системи України, можна стверджувати, що створенні повноцінного конкурентного ринку електроенергії відбудеться адекватна формування ринкової ціни і відповідно тарифів на електроенергію. Такі умови дадуть змогу сільським домогосподарствам інвестувати власні заощадження та залучати кредитні ресурси у розвиток відновлюваної енергетики з терміном окупності 3-5 років. Для банківського сектору України кредитування такої інвестиційної діяльності буде вигідне, як з позиції забезпечення відповідного рівня доходності так і з позиції мінімізації портфелю проблемних кредитів реального сектору економіки, що дозволить мінімізувати обсяги сформованих резервів, які негативно впливають на капітал банків.

Надання державних гарантій банкам для кредитування відновлюваної енергетики серед сільських домогосподарств може здійснюватись ще і з тої позиції, що 53% всіх коштів фізичних осіб у банківській системі України припадає на два державних банки: ПриватБанк та Ощадбанк.

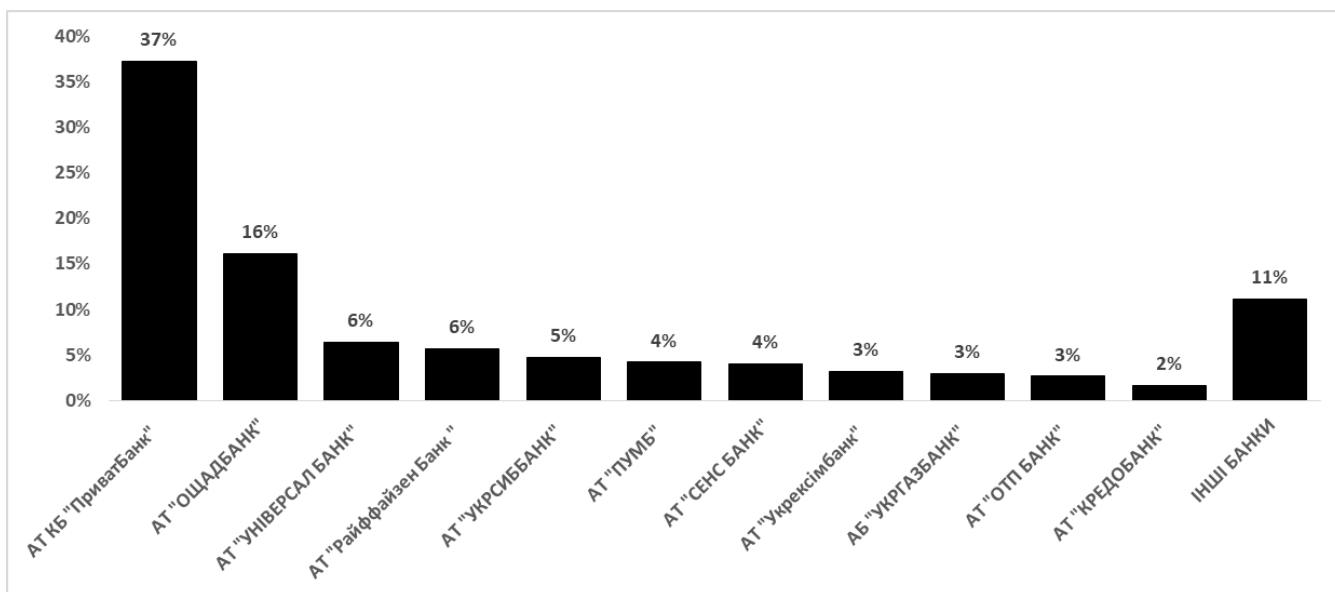


Рис. 3.14. Структура портфелю коштів фізичних осіб серед банківської системи України в розрізі банків\*

Примітка. \*Складено автором на основі [29]

Крім здійснення двох основних кроків (створення конкурентного ринку електроенергії та запровадження державних гарантій для кредитування сільських домогосподарств у сфері відновлюваної енергетики) державі доцільно здійснити, ще ряд заходів, які допоможуть більш активно стимулювання інвестування власних заощаджень сільських домогосподарств у відновлювану енергетику, зокрема:

- Скасування податків та мит для імпорту обладнання сонячної енергетики та систем збереження енергії з цільовим продажем сільським домогосподарства. Що дозволить торгівельному бізнесу знаходити шляхи популяризації відповідних систем серед сільських домогосподарств;

- Компенсація державою банківських комісій та вартості перевезення обладнання сонячної енергетики та систем збереження енергії сільським домогосподарствам, які за власні валютні заощадження купляють відповідні системи за кордоном;

- Запровадження прямих часткових не фінансових компенсацій сільським домогосподарствам, які придбали сонячну електростанцію та системи збереження енергії за власні кошти. Такими компенсаціями можуть виступати програми з підвищення енерго збереження житлових приміщень: утеплення будинків та встановлення склопакетів з підвищеним рівнем енергоефективності, які виробляються вітчизняними підприємствами;

- Програми державного страхування домашніх сонячних електростанцій та систем збереження енергії для сільських домогосподарств, що покривають витрати на ремонт або заміну обладнання у випадку виходу їх з ладу;

- Зменшення податкового навантаження для тих підприємств або фізичних осіб підприємців, що займаються встановленням та ремонтом домашніх сонячних електростанцій та систем збереження енергії.

Звичайно, такого роду державні програми на короткостроковій перспективі можуть мати значні розміри, але при цьому буде досягнуто значний ступінь диверсифікації енергетичного постачання та нульовий рівень викидів забруднюючих речовин утворення яких пов'язане з функціонуванням застарілих електростанцій, амортизаційний термін яких минув або уже минає за стандартами економічно розвинутих країн світу.

Досвід використання механізму гарантованого покупця відповідно до якого держава створювала умови для стимулювання у відновлювану енергетику серед домогосподарств України показав, що населення України може активно вкладати власні заощадження у відновлювану енергетику. Так, наприклад, з 2015 до 2021 року кількість домогосподарств, які побудували власні домашні сонячні електростанції в Україні зросла з 2 домогосподарств (офіційно зареєстрованих) до

більше ніж 45 тис. домогосподарств. При цьому щоквартальні прирости кількості сільських домогосподарств, які інвестують у сонячну енергетику склали 22%.

Створення конкурентного ринку електроенергії в Україні, запровадження надання державних гарантій банкам для цільового кредитування сільських домогосподарств під інвестування у сонячну енергетику, зменшення рівня мит та податків для генеруючих установок сонячної енергетики та систем збереження енергії буде достатньо для повноцінного компенсування скасування функціонування механізму гарантованого покупця. При умові збереження існуючих темпів збільшення кількості сільських домогосподарств, що уже інвестували у розвиток сонячної енергетики можна спрогнозувати, що на горизонті до 5 років загальна кількість домогосподарств, які інвестували в сонячну енергетику складе 2,4 млн. При умові, що середня кількість учасників домогосподарства складає 3 особи – можна говорити, що до 2028 року загальна кількість населення, які інвестували в сонячну енергетику буде складати більше 7 млн. осіб.

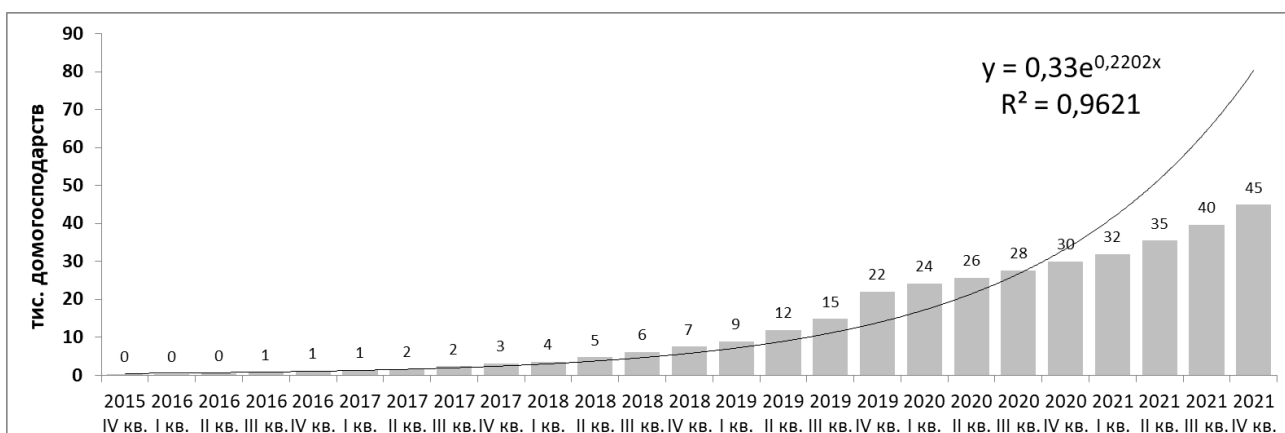


Рис. 3.14. Динаміка кількості домогосподарств, які встановили домашні сонячні електростанції\*

Примітка. \*Складено автором на основі [29]

Також, хочеться, додатково зазначити, що залучення міжнародних інвестицій у будівництво енергетичних заводів (зокрема ядерної енергетики) в країну кредитний рейтинг якої оцінюється на рівні максимально наближеному до

дефолту являється досить сумнівним. Тому існує велика ймовірність того, що уряд України під час вирішення питання відновлення об'єктів енергетичної інфраструктури буде розглядати питання будівництва електростанцій традиційної енергетики за рахунок державних коштів, що буде означати витрачення багато мільярдних доларових фінансових ресурсів і збереження проблеми з централізованим енергопостачанням, яке максимально уразливе до терористичних ракетних ударів з боку РФ.

### **Висновки до розділу 3**

Українська енергетика знаходиться у важкому стані внаслідок практично повної амортизації обладнання основних джерел електропостачання: ядерної, теплової і гідроенергетики. Основним джерелом електропостачання у найближчому майбутньому повинна стати відновлювана енергетика.

Створення національної відновлюваної енергетики з масштабом генерації в десятки мегатонн нафтового еквіваленту можливе тільки за рахунок головного інвестиційного ресурсу країни – грошових накопичень населення.

Побудована модель окупності інвестиційного проекту в сонячну енергетику обумовлює існування сталого ефекту масштабу зростання енергоефективності в залежності від обсягу генерації. При цьому отримано діапазон дисконтної ставки в якому інвестування може призвести до позитивного ефекту (окупність інвестицій в обладнання та експлуатаційних витрат).

Враховуючі законодавчу визначену максимальну потужність генерації в 30 кВт, визначено, що максимальне власне енергоспоживання при якому можлива окупність проекту при 5% дисконті складає 5,5 тис. кВт.год, а при 8% тільки 2 тис. кВт.год. Це підтверджує надзвичайно великий вплив макроекономічної стабілізації на ефективність впровадження відновлюваної енергетики і можливо не доцільність обмеження потужності на рівні 30 кВт.



Одним з можливих варіантів запобігання ризиків нестабільності енергопостачання є встановлення власних потужностей відновлюваної енергетиці в доповненні до систем збереження енергії. Питання ефективності комплексного підходу в енергоспоживанні в умовах змін законодавства у відновлюваної енергетиці буде розглянуто у подальшому.

Існуюча офіційна статистика не відображає реальних втрат населення сільських територій внаслідок нестабільності і недостатньої якості електропостачання. Ці втрати можна умовно розділити на три категорії: економічні, інформаційні і моральні. Внаслідок існуючих глобальних і національних тенденцій обсяги енергоспоживання в сільській місцевості будуть зростати, а реалізація ризиків енергопостачання буде цій процес гальмувати.

Показник приведеної вартості (LCOS) збереження електроенергії має лінійну залежність від таких факторів, як ціна на електроенергію та вартість капітальних інвестицій. Однак, залежність цього показнику від кількості щорічних циклів зарядки системи або сукупної річної електроенергії, що зберігається носить спадний експоненціальний характер – чим більше використовується система збереження енергії тим дешевша ціна збереженої одиниці електроенергії і тим швидше настає точка окупності.

Сільське господарство, як в галузі тваринництва так і в галузі рослинництва має нерівномірне споживання електроенергії протягом доби. Використання технологій збереження електроенергії дозволяє суттєво зменшити витрати на купівлі електроенергії побутовим споживачам та сільськогосподарським сектором.

Враховуючи, що на сьогодні в структурі споживання енергії в сільському господарстві, майже 67% припадає на нафто продукти, можна говорити про великий потенціал у використанні систем збереження електроенергії в сільському господарстві в силу тенденції до переходу на електродвигуни та відмову від дизельного та бензинового палива.

## ВИСНОВКИ

Систематизовано особливості формування та розвитку енергетичного сектору національної економіки України. Зокрема показано, що на момент початку повномасштабної війни РФ проти України основна частка у структурі генерації електроенергії в Україні припадала на ядерну енергетику (63%) та на тепло електроенергетику (31%). При цьому відзначається, що на альтернативну енергетику (сонячна та вітрова генерація) припадало більше 3% від загальної генерації електроенергії в Україні. Було доведено, що відповідно до міжнародних стандартів з безпеки використання ядерної енергетики – половина всіх ядерних енергоблоків в Україні повинні бути відключені до 2035 року в результаті чого номінальна потужність ядерної енергетики скоротиться з 16 тис. МВт до 7 тис. МВт. При аналізі тепло електроенергетики було визначено, що з 15 діючих ТЕС – 14 мали термін експлуатації більше 40 років, тоді як термін експлуатації основного елементу ТЕС котлів не повинен перевищувати 40 років, при цьому за рівнем викидів основних забруднюючих речовин тепло електроенергетики Україна перевищує на 70% середньо європейські показники. Таким чином можна стверджувати, що загальний стан енергетичного сектору України характеризується процесом рецесії. Окремої уваги потребує дослідження рівня впливу війни на енергетичний сектор. Тільки за рахунок тимчасової втрати контролю над Запорізькою АЕС та знищення окупантами Каховської ГЕС – Україна втратила більше 6.3 тис. МВт номінальної потужності.

Узагальнено теоретичні підходи до оцінки економічної ефективності альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств. Зокрема було показано, що для сільського домогосподарства економічна ефективність від інвестування у альтернативну енергетику визначається як відношення дисконтованого прибутку за весь час використання домашньої електростанції до величини загальних витрат на придбання даної електростанції з подальшими

операційними витратами. В даному випадку прибуток сільського домогосподарства від інвестування у альтернативну енергетику може прирівнюватись до прибутку, який сільські домогосподарства отримують від інвестування власних заощаджень у банківські депозити, облігації внутрішньої державної позики або облігації внутрішньої місцевої позики, придбання акції з метод отримання дивідендів.

Визначено концептуальні засади трансформації системи енергозабезпечення сільських домогосподарств України шляхом їх переходу з категорії споживачів електроенергії традиційної генерації до категорії виробників альтернативної енергетики. В результаті чого сільські домогосподарства зможуть повністю забезпечити власні потреби в електроенергії, які в річному вираженні можуть коливатись від 1 до 6 тис. КВт. год. на рік, а надлишки від генерації електроенергії протягом літнього періоду року реалізовувати або за державними програмами з підтримки розвитку альтернативної енергетики в Україні або безпосередньо на ринку електроенергії за ринковою ціною.

Проведено порівняльний аналіз ефективності сучасних систем енергозабезпечення в Україні та світі. Показано, що станом на 2022 рік традиційна енергетика (включно з гідро електроенергетикою) залишається основним джерелом задоволення енергетичних потреб економіки. Показано, що в Україні, протягом останніх 30 років не було залучено внутрішніх або зовнішніх інвестицій у побудову нових об'єктів генерації. При цьому для України ефективність використання традиційної енергетики значно менша за середньо світовий рівень. Так, наприклад, при генерації 1 Квт. год. електроенергії тепло електроенергетикою в Україні генерується на 70% більше викидів ніж середньо європейські показники. А для генерації 1 Твт. год. електроенергії використовується площа в розмірі 900 кв. км, тоді як середньо світові показники складають всього 54 кв. км. Окрему увагу, також, привертає динаміка рівня

енергоефективності для світу та України, як відношення валового внутрішнього продукту (дол. США) до одиниці спожитої енергії (1 кг. нафт. еквіваленту), що для України складає 3 дол. США, тоді як середньо світовий показник становить 8 дол. США.

Здійснено оцінку економічної ефективності традиційної енергетики України та визначено перспективи подолання наслідків війни серед вітчизняного енергетичного сектору шляхом державного стимулювання сільських домогосподарств до використання їх власних заощаджень для інвестування в альтернативну енергетику. На початок повномасштабної війни домогосподарства являлись другими за розмірами споживачами електроенергії в Україні (32% від загального споживання, тоді як на юридичних осіб припадало 34%). В той самий час аналіз структури коштів юридичних та фізичних осіб в банківській системі України демонструє, що на 01.09.2023 загальна величина коштів юридичних осіб складає 1 трлн. грн. екв, тоді як кошти фізичних осіб складають 0,9 трлн. грн. екв. Разом з тим частка поточних коштів юридичних осіб складає до 80%, а частка поточних коштів фізичних осіб складає на 20 процентних пунктів менше. Що говорить про наявність значної фінансової ресурсної бази серед населення України і спроможність розміщення даних коштів в довгострокові вкладення переймаючи кредитний ризик банку. Разом з тим, головним недоліком банківської системи України являється незначна частка кредитування фізичних осіб. Так, наприклад, на 01.09.2023 основу структури «робочого» портфелю активів банківської системи склали кредити юридичним особам 800 млрд. грн. та вкладення в цінні папери 1200 млрд. грн.. При цьому обсяг кредитного портфелю фізичних осіб складає лише 200 млрд. грн., що говорить про значний потенціал кредитування сільських домогосподарств в цілях підвищення рівня їх альтернативного енергозабезпечення, що у свою чергу підвищить потенціал всього енергетичного сектору України, оскільки як відомо 32% всіх споживачів електроенергії в Україні становлять себе домогосподарства.

Визначено потенціал відновлювальної енергетики у системі альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств. Визначено, що альтернативна енергетика, зокрема сонячна або вітрова, генерує безпосередньо електроенергію без будь-яких енергетичних втрат, на відміну від генерації електроенергії з таких викопних енергетичних ресурсів, як уран, вугілля або природний газ (коефіцієнт корисної дії яких складає до 40%, а інші 60% трансформуються у вигляді теплових втрат). За 2021 рік альтернативна енергетика України згенерувала 794 млн. т. нафтового еквіваленту електроенергії, тоді як всі домогосподарства спожили 3143 млн. т. нафтового еквіваленту, тобто альтернативна енергетика України на момент початку повномасштабної війни могла задовольняти більше 25% всіх потреб населення в електроенергії. В загальному поточному обсягу генерації електроенергії з альтернативних джерел частка сільських домогосподарств складає лише 8%, в номінальних цифрах загальна цифра домогосподарств, які встановили сонячні електростанції складає 33,3 тис. домогосподарств. Враховуючи наявність фінансових ресурсів та накопичень населення України, а також можливість банківської системи України проводити активне цільове кредитування реального сектору економіки можна вважати, що альтернативне енергозабезпечення сільських домогосподарств виключно за рахунок їх власної генерації має великий потенціал.

Обґрунтовано економічну доцільність інвестування у альтернативні системи енергозабезпечення для сільських домогосподарств. Зокрема, на основі розробленої моделі оцінки дисконтованого прибутку від інвестування сільським домогосподарством у системи альтернативного енергозабезпечення, було отримано такі результати: при споживанні сільським домогосподарством 1 тис. Квт. год. електроенергії на рік та встановленням сонячної електростанції потужністю 30 Квт. (в середньому 16 тис. дол. відповідно до ринкових цін) – загальний дисконтований прибуток на 20 річному часовому горизонті (при

середній інфляції в Україні з початку 2000 року на рівні 13%) від продажу електроенергії за справедливою ринковою ціною на рівні 5.6 грн. за 1 Квт. год. складає 47 тис. дол., таким чином ефективність вкладень домогосподарства, як відношення отриманого прибутку (аналог прибутковості депозитів або інвестицій у цінні папери) до загальних інвестицій складає 293%. При збереженні відповідних параметрів моделі, але збільшенні обсягу річного споживання до 3 тис. Квт. год. на рік – загальні витрати на придбання відповідної системи складуть 21,6 тис. дол., а отриманий дисконтований прибуток буде становити 38 тис. дол., таким чином коефіцієнт інвестиції зменшиться до 176%. Якщо ж споживання електроенергії сільським домогосподарством збільшиться до 5 тис. Квт. год. на рік – загальні витрати на придбання відповідної системи складуть 27 тис. дол., а отриманий дисконтований прибуток буде становити 30 тис. дол., таким чином коефіцієнт інвестиції зменшиться до 111%. Таким чином, одним із додаткових шляхів підвищення ефективності від інвестування у альтернативну енергетику сільським домогосподарством є зменшення обсягів власного споживання електроенергії.

Визначено перспективи використання систем збереження енергії сільськими домогосподарствами. В роботі доведено, що при використанні систем збереження енергії у поєднанні із сонячними електростанціями досягається зменшення вартості зберігання 1 Квт.год електроенергії до рівня в 10 євроцентів, тоді як значення вартості збереження електроенергії протягом одного року без постійного використання систем збереження енергії може сягати до 1 євро за 1 Квт.год електроенергії.

Розроблено рекомендації щодо державного стимулювання розвитку альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств. До основних рекомендацій, що запропоновано у роботі, можна віднести скасування фіксованої ціни на електроенергію та запровадження справедливої ринкової ціни, що дозволить сільським домогосподарствам отримувати додатковий прибуток від

продажу виробленої електроенергії. Впровадження механізму надання субсидій тій категорії громадян, що не можуть сплачувати за спожиту електроенергію, що дасть змогу забезпечити конкурентоздатність ринку електроенергії та не повертатись до практики державного регулювання ціни на електроенергію. Запровадити державні гарантії банкам, які видають цільові кредити сільським домогосподарствам під купівлю домашньої сонячної електростанції та системи збереження енергії, що забезпечить більш активне інвестування сільських домогосподарств у розвиток альтернативної енергетики у світі. Скасування податків та мит для імпорту обладнання сонячної енергетики та систем збереження енергії з цільовим продажем сільським домогосподарствам, що призведе до зменшення витрат на придбання сільськими домогосподарствами домашніх електростанцій альтернативної енергетики та дозволить підвищити рівень економічної ефективності відповідних інвестицій.

У цілому реалізація вказаного комплексу наукових та практичних рекомендацій дозволить забезпечити енергонезалежність та підвищити добробут сільських домогосподарств завдяки впровадженню та розвитку систем альтернативного енергозабезпечення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Байдала В.В., Нагорний В. В. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ: АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ. Український журнал прикладної економіки та техніки. Західноукраїнський національний університет. 2023. № 4. С. 30–37
2. Байдала, В., & Нагорний, В. (2023). Дослідження ефективності та перспективи розвитку вітрової енергетики у світі. Економіка та суспільство. URL: <https://www.economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2897>
3. Вартість захоронення радіоактивних відходів. URL: [http://bellona.ru/publication/rad\\_waste2016/](http://bellona.ru/publication/rad_waste2016/)
4. Василенко В., Герасименко В. Шляхи удосконалення системи електропостачання сільської місцевості. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya2019.04.119>
5. Верховна Рада України. Мораторій на підвищення цін на газ і тепло. (Законопроект № 7427). URL: <https://www.rada.gov.ua/news/razom/226329.html>
6. Витрати на виробництво продукції сільського господарства в сільськогосподарських підприємствах в 2017 році. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/sg/vytr\\_na%20ver\\_sg\\_prod/arch\\_vytr\\_na%20ver\\_sg\\_prod\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/sg/vytr_na%20ver_sg_prod/arch_vytr_na%20ver_sg_prod_u.htm)
7. Відмова від атомної енергетики в Німеччині. URL: <https://www.reuters.com/article/us-germany-nuclear/exit-now-pay-later-germanys-rushed-farewell-to-nuclear-power-idUSKCN0SQ1G520151101>
8. Вольчин І.А., Дунаєвська Н.І., Гапонич Л.С., Чернявський М.В., Топал О.І., Засядько Я.І.. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України. К.: Гносіз. 2015. С. 320



9. Гернего Ю. О., Ляхова О. О.. Фінансування потенціалу розвитку альтернативної енергетики в Україні. Ефективна економіка. №3, 2021. URL: [http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/3\\_2021/5.pdf](http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/3_2021/5.pdf)

10. Голян В. А.. Капітальні вкладення в економіку України: стимулювання залучення інвестиційних потоків у сферу переробки сільськогосподарської сировини. Економічна наука. 2019. №5. С. 8-12. URL: [http://www.economy.in.ua/pdf/1\\_2019/5.pdf](http://www.economy.in.ua/pdf/1_2019/5.pdf)

11. Горбуліна В.П.. Зовнішнє і внутрішнє становище України у 2017 році - аналіз проблем і варіанти рішень. 2018. С.485-524.

12. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

13. Державна служба статистики України. ЧИСЕЛЬНІСТЬ НАЯВНОГО НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ на 1 січня 2020 року. URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2020/zb/05/zb\\_chuselnist%202019.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/05/zb_chuselnist%202019.pdf)

14. Державний комітет статистики. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat>

15. Держенергоефективності. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф. URL: <https://saee.gov.ua/uk/content/informatsiyni-materialy>

16. Динаміка щомісячних значень індексу споживчих цін в Україні. URL: <https://index.minfin.com.ua/economy/index/inflation/>

17. Для підприємств скасований нічний тариф на електроенергію. URL: [https://biz.ligazakon.net/news/183501\\_dlya-pdprimstv-skasovaniy-nchniy-tarif-na-elektroenergyu](https://biz.ligazakon.net/news/183501_dlya-pdprimstv-skasovaniy-nchniy-tarif-na-elektroenergyu)

18. Дмитрієв В.С.. Перспективи глобалізації регіональних ринків природного газу. Світове та національне господарство. 2017, №1. URL: <http://www.mirec.ru/2017-01/globalization-prospects-of-regional-markets-of-natural-gas>

19. Економічний розвиток та енергетичний процес: рушійні сили та взаємний вплив. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4309>
20. Енергетика та навколишнє середовище: збереження електроенергії. URL: <https://www.epa.gov/energy/electricity-storage>
21. Енергетична стратегія. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>
22. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. URL: [http://www.niss.gov.ua/public/File/2014\\_nauk\\_an\\_rozrobku/Energy%20Strategy%202035.pdf](http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_nauk_an_rozrobku/Energy%20Strategy%202035.pdf)
23. Енергетичний баланс України. Укрстат. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/energ.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm)
24. Закон України. Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку установок зберігання енергії. (закон № 2046-IX). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2046-20#Text>
25. Звіт про результати діяльності національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: [https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi\\_zvit\\_NKREKP\\_2019.pdf](https://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP_2019.pdf)
26. Зелений тариф на електричну енергію, вироблену суб'єктами господарювання на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії, та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1057874-21#Text>
27. ЗНИЖЕНО «ЗЕЛЕНІ» ТАРИФИ В УКРАЇНІ. Серпень 29, 2020. URL: <https://dlf.ua/ua/znizheno-zeleni-tarifi-v-ukrayini/>
28. Зовнішньоекономічна діяльність України, Зовнішня торгівля, Статистичний збірник «Зовнішня торгівля України товарами та послугами». URL: [http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publ10\\_u.htm](http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ10_u.htm)

29. Інфляційний звіт НБУ на 2022 рік. URL: [https://bank.gov.ua/admin\\_uploads/article/IR\\_2021-Q4.pdf?v=4](https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/IR_2021-Q4.pdf?v=4)

30. Інформаційно-правова система ЛІГА:ЗАКОН. URL: <https://ips.ligazakon.net/>

31. Компенсації обленерго за неякісне електропостачання. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/oblenerho-kompensuvaly-ukraintsiam-bilshe-2-mln-hryven-za-neiakisne-elektropostachannia>

32. Кулик М.М., Горбулін В.П., Кириленко О.В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали) Інституту загальної енергетики Енергетична стратегія інституту енергетики НАН України.-2017.-78с.

33. Кулініч О. М.. Глобальні тенденції та перспективи розвитку світового ринку природного газу. Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. 2013. № 3/4. С. 21-29.

34. Михайловська О. В. Актуальні питання розвитку світового ринку природного газу. Економіка України. - 2012. - № 10. - С. 68-79. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk\\_2012\\_10\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2012_10_7)

35. МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ. НАКАЗ. Про заборону експорту природного газу. (наказ Міненерго № 99 від 03.03.2022 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0099922-22#Text>

36. Міністерство енергетики України: Альбом типових графіків електричних навантажень. URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=245201705&cat\\_id=245201683](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245201705&cat_id=245201683)

37. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. Енергетична стратегія України до 2035 року. URL: [https://mepr.gov.ua/files/images/news\\_2020/21012020/%D0%95%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%20](https://mepr.gov.ua/files/images/news_2020/21012020/%D0%95%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%20)

%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%BE%D0%B4%20%D0%B4%D0%BE%202035%20%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%83.pdf

38. НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ. Державна установа «Інститут регіональних досліджень імені М. Долишнього НАН України». СІЛЬСЬКІ ТЕРИТОРІЇ В УКРАЇНІ: практика ідентифікації та інструменти розвитку. URL: <https://ird.gov.ua/irdp/p20210038.pdf>

39. Неоднорідність енергетичної генерації. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ua.boell.org/uk/2017/10/24/perehid-ukrayini-na-vidnovlyuvanu-energetiku-do-2050-r>

40. НКРЕКП: аналіз функціонування нової моделі ринку електроенергії. URL: <https://www.nerc.gov.ua/news/nkrekp-sogodni-vipovnilos-3-roki-funkcionuvannya-novoyi-modeli-rinku-elektroenergiyi> "

41. Обсяги інвестування ядерної енергетики України Євро Союзом. URL: <http://ukraine-eu.mfa.gov.ua/en/ukraine-eu/eu-policy/assistance>

42. Очікувані результати впровадження сонячної енергетики. URL: <http://saee.gov.ua/uk/pressroom/1133>

43. Пігу А. Економічна теорія благополуччя. (The Economics of Welfare). Прогрес, 2007. С. 511.

44. Податковий кодекс, ставки екологічного податку для України. URL: <https://dtkr.com.ua/show/0sid0178.html>

45. ПОСТАНОВА 29.09.2021 № 1637. Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію, вироблену генеруючими установками приватних домогосподарств. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1637874-21#n20>

46. Потенціал сонячної енергетики України. URL: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>

47. Про внесення змін до Закону України "Про ринок електричної енергії". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/330-20#Text>
48. Прогнози щодо розвитку альтернативних джерел енергії в Європі. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy>
49. Прогнози щодо розвитку ринку природного газу в Азії. 2017. URL: <http://bv.com/Home/news/solutions/energy/the-evolving-natural-gas-market-in-asia>
50. Ринки природного газу. URL: [https://www.eia.gov/workingpapers/pdf/global\\_gas.pdf](https://www.eia.gov/workingpapers/pdf/global_gas.pdf)
51. Рівні тарифів для ПАТ «Укртрансгаз» на послуги транспортування природного газу транскордонними газопроводами, 2015. URL: <http://nerc.gov.ua/?id=18343>
52. Різні прогнози стосовно зміни попиту на природний газ. URL: <http://oilprice.com/Energy/Natural-Gas/Global-Demand-Picture-For-Natural-Gas-Looks-Increasingly-Sour.html>
53. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. Звіт підготовлено в рамках проекту «Секретаріат та Експертний хаб з енергоефективності», що впроваджується Програмою розвитку ООН в Україні за підтримки Уряду Республіки Словачія та сприяння Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарств в Україні. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai--ni.pdf>
54. Самоєнкова О. В. Інвестиційна діяльність в Україні: тенденції та перспективи. Ефективна економіка. 2019. №5. С.4-6. URL: [http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/5\\_2019/48.pdf](http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/5_2019/48.pdf)
55. Сільське господарство України, статистичний збірник Укрстат. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publ7\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm)
56. Скрипник А. В., Голячук О. С. Раціональне природокористування та каскад Дніпровських водосховищ. Проблеми економіки. - 2014. - № 4. - С. 153-160.

57. Скрипник А., Воловоденко Л. Світова фінансова криза та енергоефективність економіки України. Моніторинг біржового ринку, випуск 2014 № 11. С. 18-22

58. Скрипник А., Намясенко Ю., Сабіщенко А. Енергетичний сектор економіки України: крах чи виживання. 2018. Проблеми економіки №1 с/122-135

59. Скрипник А.В. Енергетичний сектор економіки України з позицій суспільного добробуту. Компринт. 2017. С. 417.

60. Скрипник А.В., Голячук О.С. Українська гідроенергетика з позицій функції суспільного добробуту. Проблеми економіки. 2017. С.87-95.

61. Скрипник А.В., Букін Е. К. Аналіз ефективності та ризиків інновацій в аграрному секторі економіки України Монографія, Київ, ЦП Компринт. 2017

62. Скрипник А.В., Герасимчук Н.А. Економічні і фінансові ризики. Житомир. Видавництво ЖДУ. 2013. С. 368-371.

63. Скрипник А.В., Нам'ясенко Ю.О. Енергетична незалежність як основа повноцінної незалежності України // Інформаційні технології в економіці та природокористуванні, №2 – 2017. ст.16-28

64. Скрипник А.В., Нам'ясенко Ю.О. Оптимізація газопостачання як складова енергетичної стратегії України/ Харків. – Журнал Проблеми економіки, випуск №3. – 2017. – С. 256-275.

65. Скрипник А.В., Саяпін С.П. Інформаційне забезпечення в дорадництві з використанням сучасних інноваційних Інтернет-технологій. Економіка АПК. 2019. № 12 - С. 46.

66. Слово і діло, «Звідки Україна імпортує природний газ?», 2017. URL: <https://ru.slovoidilo.ua/2017/01/17/infografika/jekonomika/otkuda-ukraina-importiruet-prirodnyj-gaz>

67. Сотник І.М., Швець Л.Е., Момотюк Л.Є., Чортюк Ю.В. Управління інноваційним розвитком відновлювальної енергетики у домогосподарствах

України: проблеми фінансової підтримки. МАРКЕТИНГ І МЕНЕДЖМЕНТ ІННОВАЦІЙ. 2018.№4. С.150-160.

68. Споживання електроенергії в сільському господарстві. URL: <http://www.fao.org/3/x8054e/x8054e05.htm>

69. Статистика світових інвестицій в енергетичний сектор. URL: <https://www.iea.org/publications/wei2017/>

70. Теплова енергетика України. URL: <https://mozok.click/1197-elektroenergetika-ukrayini.html>).

71. Україна після «зеленого» тарифу. Нові механізми розвитку відновлюваної енергетики. Екодія. Київ. 2021. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/03/Energia-VDE-web.pdf>

72. Функціонування регіональних ринків природного газу. URL: <http://www.api.org/Oil-and-Natural-Gas-Overview/Exploration-and-Production/Natural-Gas/Understanding-Natural-Gas-Markets>

73. Халатов А. А. Вісник Національної академії наук України. Енергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи. 2016. № 6. С. 53-61.

74. Юдіна С. В.. Вплив іноземних інвестицій на економічний розвиток країни. Науковий вісник Ужгородського національного університету. 2018. №3. С.2-5. URL: [http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/18\\_3\\_2018ua/33.pdf](http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/18_3_2018ua/33.pdf)

75. Abdon A, Zhang X, Parra D, Patel MK, Bauer C, Worlitschek J. Techno-economic and environmental assessment of energy storage technologies for different storage time scales. In: International renewable energy storage conference IRES; 2016.

76. Advantages and Disadvantages of Natural Gas, 2018. URL: <http://www.conserve-energy-future.com/advantages-and-disadvantages-of-natural-gas.php>

77. Aitken B., Harrison A. Do Domestic Firms Benefit from Direct Foreign Investment? Evidence from Venezuela. American economic review. 2003. vol. 89, no. 3. P. 605-618. URL: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.89.3.605>

78. Asia-Pacific economic cooperation. Energy working group. Expert group on new and renewable energy technologies. Sustainable Energy Solutions. 1998

79. Babcock B., Fraser R., Lekakis J. Risk Management and the Environment: Agriculture in Perspective. 2003. Netherlands. P. 96-110.

80. Battery lifetime for wind turbines. URL: <http://winder.ua/ru/produktsia-i-uslugi/akkumulyatory.html>

81. Biomass and Wood Energy Research Programs. URL: <http://www.bfe.admin.ch/forschungbiomasse/index.html?lang=en>

82. BP energy outlook. URL: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>

83. British Petroleum, statistical review of world energy. URL: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

84. Cabinet of Ministers of Ukraine "On approval of the Energy Strategy of Ukraine till 2035". No.605. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250250456>

85. Charles A., Tedd P., Warren A. Delivering benefits through evidence. (2011). P.148

86. Conrad J, Pelling C, Hinterstocker M. Gutachten zur Rentabilität von Pumpspeicherkraftwerken;

87. Conrado Garcia, Gisela Montero, Power generation estimation from wheat straw in Mexico. URL: [https://www.researchgate.net/publication/282348769\\_Power\\_generation\\_estimation\\_from\\_wheat\\_straw\\_in\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/282348769_Power_generation_estimation_from_wheat_straw_in_Mexico)

88. Definition: Rural household. URL: <https://www.tariffnumber.com/info/abbreviations/19079#:~:text=Definition%3A%20Rural%20household,-FAO%20Agricultural%20censuses&text=Household%20living%20in%20areas%20designated,defined%20by%20the%20population%20census.>



89. Doetsch C, Greve A, Rohrig K, Hochloff P, Appen J von, Trost T et al. Abschlussbericht Metastudie Energiespeicher: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).

90. E.ON, Annual Report. URL: <https://www.eon.com/en/investor-relations/financial-publications/annual-report.html>

91. Economics of wind energy report by the European wind energy association. URL: [http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Economics\\_of\\_Wind\\_Energy.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Economics_of_Wind_Energy.pdf)

92. Elon Musk bet. URL: <https://www.vox.com/energy-and-environment/2017/11/28/16709036/elon-musk-biggest-battery-100-days>

93. Energy and Economy. URL: [https://previous.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA\\_Chapter6\\_economy\\_hires.pdf](https://previous.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA_Chapter6_economy_hires.pdf)

94. Energy central: Electricity as a commodity. URL: <https://energycentral.com/c/pip/electricity-commodit>

95. Energy market fundamentals and overview. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/energy-market#:~:text=The%20energy%20market%20is%20basically,market%20or%20othe r%20energy%20resources>

96. Energy prices statistics. URL: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy\\_price\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_price_statistics)

97. Energy Primer. A Handbook for Energy market basics. URL: [https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-06/energy-primer-2020\\_0.pdf](https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-06/energy-primer-2020_0.pdf)

98. ENERGY SECTOR TRANSFORMATION IN UKRAINE: IMPACT ON ENERGY DEMAND AND EFFICIENCY. URL: [https://kse.ua/wp-content/uploads/2021/07/Final\\_Thesis\\_Pikh\\_23.05.2021.pdf](https://kse.ua/wp-content/uploads/2021/07/Final_Thesis_Pikh_23.05.2021.pdf)

99. Energy Sprawl or Energy Efficiency: Climate Policy Impacts on Natural Habitat for the United States of America. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0006802#pone-0006802-g003>
100. ENERGY–GDP RELATIONSHIP: A CAUSAL ANALYSIS FOR THE FIVE COUNTRIES OF SOUTH ASIA. URL: <https://www.usc.gal/economet/reviews/aeid8114.pdf>
101. Environmental impacts of coal power. URL: <http://www.ucsusa.org/clean-energy/coal-and-other-fossil-fuels/coal-air-pollution#.WIRPkFOLTd>
102. Eurostat Statistics Explained. Energy consumption in households. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_consumption\\_in\\_households](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households)
103. Eurostat Statistics Explained. Glossary: Rural area. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Rural\\_area](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Rural_area)
104. Feed-in tariff in Ukraine. URL: <https://home.kpmg/ua/en/home/insights/2020/08/fit.html>
105. Financing Clean Energy Transitions in Emerging and Developing Economies. World Energy Investment 2021 Special Report.
106. Financing Renewable Energy Projects in Developing Countries: A Critical Review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/83/1/012012/pdf>
107. Financing Renewable Energy. Entwicklungsbank Discussion Paper, 2005. URL: [https://www.kfw-entwicklungsbank.de/Download-Center/PDF-Dokumente-Diskussionsbeitr%C3%A4ge/38\\_AMD\\_E.pdf](https://www.kfw-entwicklungsbank.de/Download-Center/PDF-Dokumente-Diskussionsbeitr%C3%A4ge/38_AMD_E.pdf)
108. G. Bridge. Making a global gas market: territoriality and production networks in liquefied natural gas. Economic Geography. 2017. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00130095.2017.1283212>

109. GLOBAL LANDSCAPE OF RENEWABLE ENERGY FINANCE 2020. URL: <https://www.greengrowthknowledge.org/research/global-landscape-renewable-energy-finance-2020>
110. GLOBAL TRENDS IN RENEWABLE ENERGY 2021. URL: [https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR\\_2020.pdf](https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR_2020.pdf)
111. Global trends in renewable energy investment 2020. URL: [https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR\\_2020.pdf](https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR_2020.pdf)
112. Glossary:Household - social statistics. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Household\\_-\\_social\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Household_-_social_statistics)
113. Goodbye nuclear power: Germany's renewable energy revolution. URL: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/nuclear-power-germany-renewable-energy>
114. Härtel P, Doering M, Jentsch M, Pape C, Burges K, Kuwahata R. Cost assessment of storage options in a region with a high share of network congestions. J Energy Storage 2016. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.est.2016.05.010>.
115. Ibrahim H, Ilinca A, Perron J. Energy storage systems—characteristics and comparisons. Renew Sustain Energy Rev 2008;12(5)
116. IEA. 2020. Ukraine energy profile. International Energy Agency. 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/ukraine-energy-profile>
117. Integration of Ukraine to the EU Internal Gas Market. URL: <https://www.civic-synergy.org.ua/analyt-ics/integratsiya-ukrayiny-do-vnutrishnogo-rynku-gazu-yes/>
118. Introduction to electricity markets, its balancing mechanism and the role of renewable sources. URL: <https://jesuslago.com/introduction-to-the-electrical-markets/>

119. Jonathan A. Batten, Xuan Vinh Vo. An analysis of the relationship between foreign direct investment and economic growth. *Applied Economics*. Volume 41. 2009. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00036840701493758>
120. Just R.E., Hueth D.L., Schmits A. *The Welfare Economics of Public Policy/2004.-UK.-EEPI.-707 p.*
121. Just R.E., Hueth D.L., Schmutz A. *The welfare economics of public polisy*. Edward Elgar Publ. Inc., 2004, Massachusetts USA, pp.527-554/
122. Kanngießner A. *Entwicklung eines generischen Modells zur Einsatzoptimierung von Energiespeichern für die techno-ökonomische Bewertung stationärer Speicheranwendungen*. Dissertation zur Erlangung des Grades DoktorIngenieur. Oberhausen: Karl Maria Laufen.
123. Kevin Gould, 2007 *Corn Stover Harvesting*. URL: [https://www.researchgate.net/publication/7823367\\_Biomechanics\\_of\\_WheatBarley\\_Straw\\_and\\_Corn\\_Stover](https://www.researchgate.net/publication/7823367_Biomechanics_of_WheatBarley_Straw_and_Corn_Stover)
124. Kostetska, K., Gordiichuk, Y., MovchaniukA., Vdovenko, N., Nahorny, V., & Koval, V. (2021). Inclusive development of social entrepreneurship in nature management. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30 (3), 500-511.
125. Law of Ukraine "On the Electricity Market", 2018, Vol. 27-28, p.312). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2019-19/page> (accessed 19 April 2017)
126. *Levelized Cost of Energy (LCOE) / U.S. Department of energy 2015*. URL: <https://energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf>
127. *Lifetime extension of ageing nuclear power plants: Entering a new era of risk//. A report of commissioned by Greenpeace. 2014. – Switzerland.-147 pp.*
128. Lorenz C, Schröder G. *Wirtschaftlichkeit Batteriespeicher - Berechnung der Speicherkosten Und Darstellung der Wirtschaftlichkeit ausgewählter Batteriespeichersysteme;*
129. Maidment D.R. *Handbook of Hidrology //NewYork.-1992.-Grow-FillInc.432 pp.*

130. Manh Vu Le, Terukazu Suruga. Foreign direct investment, public expenditure and economic growth: the empirical evidence for the period 1970–2001. *Applied Economics Letters*. Volume 12. 2005. (pp.301-335). URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1350485042000293130>
131. Mantau, U. EU wood – Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. 2012. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy>
132. Maria Carkovic, Ross Levine. Does Foreign Direct Investment Accelerate Economic Growth?. U of Minnesota Department of Finance Working Paper. 2002. URL: [https://www.piie.com/publications/chapters\\_preview/3810/08iie3810.pdf](https://www.piie.com/publications/chapters_preview/3810/08iie3810.pdf)
133. McKendry, P. Energy production from biomass: overview of biomass / Bioresource Technology, – 2011. – №83(1). – C. 37-46
134. Muller, Richard A. "Chapter 1. Energy, Power, and Explosions". (2001–2002). *Physics for Future Presidents*, a textbook.
135. Municipal Solid Waste / Environmental Protection Agency 2016. URL: <https://www3.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/>
136. Natural gas consumption in Europe. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2016/feb/16/europe-places-bets-on-natural-gas-to-secure-energy-future>
137. Net Metering ta Net Billing. URL: <http://reform.energy/news/net-metering-ta-net-billing-v-chomu-riznitsya-ta-yaka-sistema-peremozhe-19491>
138. OECD. 2019. “Snapshot of Ukraine’s Energy Sector.” OECD. URL: <https://www.oecd.org/eurasia/competitiveness-programme/eastern-partners/Snapshot-of-Ukraines-Energy-Sector-EN.pdf>
139. Parra D, Norman SA, Walker GS, Gillott M. Optimum community energy storage system for demand load shifting. *Appl Energy* 2016
140. Patterns of Firm Entry and Exit in U.S. Manufacturing Industries (adapted from Samuelson et al., 1988). URL:

[https://www.researchgate.net/publication/24048651\\_Patterns\\_of\\_Firm\\_Entry\\_and\\_Exit\\_in\\_US\\_Manufacturing\\_Industries](https://www.researchgate.net/publication/24048651_Patterns_of_Firm_Entry_and_Exit_in_US_Manufacturing_Industries)

141. Pawel I. The cost of storage – how to calculate the levelized cost of stored energy (LCOE) and applications to renewable energy generation. Energy Procedia 2014

142. Pollutants and greenhouse gases emissions into the atmosphere from mobile sources. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv\\_u/07/Arch\\_vikid\\_bl.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/07/Arch_vikid_bl.htm) (accessed 19 December 2017)

143. Pollutants caused by production of solar panels. URL: <https://graylinegroup.com/solar-power-technology-is-mature/>

144. Population of Cities in Ukraine 2022. URL: <https://worldpopulationreview.com/countries/cities/ukraine>

145. Prices for alternative energy installations, 2016. URL: [https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjsnoaj\\_9DYAhWLXCwKHV2DA1IQFggxMAI&url=http%3A%2F%2Fsolar-expo.com.ua%2Fdownload%2Fprices%2F59173dbb43b24953b97944f9&usg=AOvVaw38as3uBrwrupd0zGC-sa6t](https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjsnoaj_9DYAhWLXCwKHV2DA1IQFggxMAI&url=http%3A%2F%2Fsolar-expo.com.ua%2Fdownload%2Fprices%2F59173dbb43b24953b97944f9&usg=AOvVaw38as3uBrwrupd0zGC-sa6t)

146. Promoting private sector financing of commercial investments in renewable energy technologies. Norbert Wohlgemuth, Jyoti Painuly. URL: <https://www.un.org/esa/sustdev/documents/16wohl.PDF>

147. Renewable energy feed-in tariffs by country. URL: [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=RE\\_FIT](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=RE_FIT)

148. Renewables in Ukraine, KPMG report. URL: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ua/pdf/2019/07/Renewables-in-Ukraine-2019.pdf>

149. Ronald C., "The Problem of Social Cost," *Journal of Law and Economics*, Vol. 3, No. 1, P1–44.
150. Rosa Forte. The effects of foreign direct investment on the host country's economic growth: Theory and empirical evidence. *The Singapore Economic Review* 58(3). 2013.
151. Rural Households definition. URL: <https://www.lawinsider.com/dictionary/rural-households>
152. S. Sagatom, I Zaslavskiy. "Advancing Natural Gas Reform in Ukraine". 2018. URL: <https://www.cfr.org/report/advancing-natural-gas-reform-ukraine>
153. Samuelson, Paul A., 1955, "Diagrammatic Exposition of a Theory of Public Expenditure," *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 37, No. 4
154. Sectoral impacts of energy efficiency policies. URL: <http://www.buildup.eu/en/practices/publications/ec-report-macro-level-and-sectoral-impacts-energy-efficiency-policies-0>
155. Shiva S. Makki. Impact of Foreign Direct Investment and Trade on Economic Growth. Economic Research Service, USDA. 2005. Volume 3. (pp.245-274). URL: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/2595.pdf>
156. Skrypnyk A, The energy sector of Ukraine's economy from the standpoint of public welfare / Kyiv, Monograph, 2017.
157. Skrypnyk Andrey, Namiasenko Yurii, Sabishchenko Oleksandr. Renewable energy as an alternative of the decentralization energy supply in Ukraine // *International Journal of Innovative Technologies in Economy – Warsaw, Poland: №1(13), February 2018. – p. 121-127.*
158. Skrypnyk AV, Gerasimchuk N.A. Economic and financial risks, *Journal of FGW*, 2013, p. 368-371.
159. Statistical review of world energy 2021. British petroleum report. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

160. Structural Changes in the Energy Sector versus Economic Growth, Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emissions in 2000-2018 – the Global and Regional Perspective. URL: <https://ibimapublishing.com/articles/JEERBE/2022/540561/540561.pdf>
161. Study on the quality of electricity market data of transmission system operators, electricity supply disruptions, and their impact on the European electricity market. URL: [https://ec.europa.eu/energy/studies/study-quality-electricity-market-data-transmission-system-operators-electricity-supply\\_en?redir=1](https://ec.europa.eu/energy/studies/study-quality-electricity-market-data-transmission-system-operators-electricity-supply_en?redir=1)
162. Talavyria M.P., Lyamar V.V., Baidala V.V., Holub R.T. Approaches to the definition of production determinants of bio-oriented economy // Економіка АПК. - 2016. - №7. – С.39-43.
163. The Benefits of Bioenergy Biomasse. 2012. URL: <http://www.energyandresources.vic.gov.au/energy/sustainable-energy/bioenergy/benefitsof-bioenergy>
164. The Economic Advantages of Biophilia in Sectors of Society. URL: <https://www.terrapinbrightgreen.com/report/economics-of-biophilia/>
165. The Economics of Wind Energy. A report by the European Wind Energy Association [Електронний ресурс]. – 2013. С.57-89. URL: [http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/00\\_POLICY\\_document/Economics\\_of\\_Wind\\_Energy\\_\\_March\\_2009\\_.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/00_POLICY_document/Economics_of_Wind_Energy__March_2009_.pdf)
166. The Fundamentals of Electricity Markets \_ E B F 200\_ Introduction to Energy and Earth Sciences Economics. URL: <https://www.e-education.psu.edu/ebf200/node/151>
167. The future of natural gas: Markets and geopolitics, 2016. URL: <http://www.ocppc.ma/sites/default/files/BookIAI-OCPPCv2.pdf>
168. The Impact of Energy on Global Economy. URL: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/361746>
169. The Role of Energy Markets in the War in Ukraine (UPDATED). URL: <https://econofact.org/the-role-of-energy-markets-in-the-war-in-ukraine>



170. The Role of the Energy Sector in the Command and Control Function of Cities in Conditions of Sustainability Transitions. URL: [https://www.researchgate.net/publication/356171859\\_The\\_Role\\_of\\_the\\_Energy\\_Sector\\_in\\_the\\_Command\\_and\\_Control\\_Function\\_of\\_Cities\\_in\\_Conditions\\_of\\_Sustainability\\_Transitions](https://www.researchgate.net/publication/356171859_The_Role_of_the_Energy_Sector_in_the_Command_and_Control_Function_of_Cities_in_Conditions_of_Sustainability_Transitions)
171. The World Bank. 2020. URL: <https://www.worldbank.org/en/home>
172. Turning Agricultural Residues and Manure into Bioenergy / Union of Concerned Scientists. 2014. URL: [http://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/clean\\_vehicles/Agricultural-Residue-Ranking.html](http://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/clean_vehicles/Agricultural-Residue-Ranking.html)
173. U.S. Census Bureau, Decennial Census Questionnaires and Instructions/ URL: <https://www.prb.org/resources/what-is-a-household/>
174. United Nations. Sustainable development Goals. Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy. URL: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2019\\_Tracking\\_SDG7\\_Report.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2019_Tracking_SDG7_Report.pdf)
175. Verkhovna Rada. 2013. Law of Ukraine on the principles of functioning of the electricity market of Ukraine. No. 663-VII, Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/663-18>.
176. Verkhovna Rada. 2017. Law on Ukrainian Electricity Market. No. 832-2020, Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>
177. Watchwire. Explanation of fundamentals of energy market. URL: <https://watchwire.ai/what-are-energy-markets/>
178. Wheatley S., Sovacod B., Sornette D. Of disaster and Dragon Kings: A statistical analyses of nuclear power incidents and accidents <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27002746>

179. World bank data, Electric power consumption. URL:  
<https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC>
180. World bank data, GDP per capita. URL:  
<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>
181. Wylie R. Gas: the next generation. URL:  
[https://www.eniday.com/en/sparks\\_en/gas-next-generation/](https://www.eniday.com/en/sparks_en/gas-next-generation/)
182. Xiaoying Li, Xiaming Liu Foreign Direct Investment and Economic Growth: An Increasingly Endogenous Relationship. World Development. Volume 33. 2005. URL:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305750X04002013>
183. Z. Fladmark and Grimstad G. (2013), "Seasonality in Natural Gas Prices", Norwegian school of economics, pp. 131–145.
184. Zakeri B, Syri S. Electrical energy storage systems: a comparative life cycle cost analysis. *Renew Sustain Energy Rev* 2015

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

**Варіанти прийняття рішень  
та їх наслідків в енергетичному секторі України \***

Сектор енергетики	Ризики пов'язані з експлуатацією	Можливі рішення	Ризики рішень	Переваги	Загальний ефект
Гідро енергетика	Щорічні втрати від 400 до 700 млн. дол. США через не використання русла Дніпра, як великої транспортної артерії України	Покроковий демонтаж водосховищ	Не можливість використання гідроаккумуляційних особливостей ГЕС	Відновлення судноплавства, покращення рекреаційних ресурсів, повернення в дію значної частки земельних ресурсів	Відновлення судноплавства з потенційним прибутком від 0,5 до 1 млрд. дол. США щорічно
Ядерна енергетика	Можливі техногенні катастрофи. Відсутність інвестицій у амортизацію реакторів	Поступове зупинення використання ядерних електростанцій	Дефіцит енергетичної генерації	Можливе отримання інвестування з боку ЄС на розвиток відновлюваної енергетики	Мінімізація ризиків значних техногенних катастроф
Теплова енергетика	Погіршення екологічного стану. Значні витрати палива для генерації теплової енергії та електроенергії	Підвищення рівня екологічного оподаткування. Відміна ПДВ на імпорт сучасного обладнання	Недостатній рівень інвестувань	Покращення екологічного стану. Зменшення споживання первинних енергоресурсів	Створення умов до розвитку відновлюваної енергетики

Примітка. \*Розроблено автором

**Параметри адекватності економетричних моделей залежності валового  
внутрішнього продукту на особу населення від рівня енергетичного  
споживання\***

Досліджувана величина	Рівняння тренду	R <sup>2</sup>	F	Стандартна похибка	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>
Не цензурована модель У – ВВП на особу населення, тис. дол. США. Х – рівень удільного енергоспоживання, кВт.год на 1 особу	$y=5569+2,6x$	0,49	166,1	14,8	4	12
Цензурована Модель У – ВВП на особу населення, тис. дол. США. Х – рівень удільного енергоспоживання, кВт.год на 1 особу	$y = -0,4+4,3x$	0,77	545	7,9	-0,47	23,4

Примітка. \*Розроблено автором

**Параметри регресійної моделі збільшення частки  
відновлюваної енергетики в структурі загального енергетичного  
виробництва \***

Коефіцієнти	Стандартна похибка	t статистика	Рівень значимості	Нижні 95%	Верхні 95%
0,74	0,032	14,74	3,3E-13	0,41	0,54
0,05	0,002	20,85	1,9 E-13	0,04	0,05

Примітка. \*Розроблено автором

## ДОДАТОК Г

## Ціни постачальників природного газу\*

<b>Точка входу (умовний постачальник)</b>	<b>Ціна природного газу, дол. США за 1 тис. куб. м.</b>
Дроздовичі	190
Ужгород	195
Берегове	180
Сохранівка	250
Чернівці	320
Полтава	320
Харків	320

Примітка. \*Складено автором на основі [66]

## ДОДАТОК Г

**Матриця поставок природного газу в Україну, млрд. куб. м.\***

	Донецький район	Київський район	Львівський район	Чернівецький район	Харківський район	Черкаський район
Дроздовичі		4,46	5,54			
Ужгород						
Берегове		0,28				
Сохранівка	1,50				1,25	
Чернівці		0,69		3,31		
Полтава		1,90				6,10
Харків					8,00	

Примітка. \*Розроблено автором

## ДОДАТОК Д

**Матриця постачань природного газу  
з використанням газосховищ, млрд. куб. метрів \***

	Донець- кий	Київсь- кий	Львівсь- кий	Чернівецький	Харківський	Черкаський	Західне	Північне	Східне
Дроздовичі		2,932	2,216						
Ужгород									
Берегове				1,324		1,3	5,258		
Чернівці							4		
Полтава	0,6				0,63	1,14		4,11	1,52
Харків					3,07				
Дроздовичі									
Ужгород									
Берегове									
Чернівці									
Полтава									
Харків					<b>4,93</b>				
Західне		<b>3,948</b>	<b>3,324</b>	<b>1,986</b>					
Північне		<b>0,45</b>				<b>3,66</b>			
Східне	<b>0,9</b>				<b>0,62</b>				

*(жирним накреслення виділено газопостачання в опалювальний сезон)*

Примітка. \*Розроблено автором



**Матриця постачань природного газу  
без використання газосховищ, млрд. куб. метрів\***

	Донецький	Київський	Львівський	Чернівецький	Харківський	Черкаський
Дроздовичі		2,932	2,216			
Ужгород						
Берегове				1,324		
Чернівці						
Полтава	0,6				1,25	2,44
Харків					2,45	
Дроздовичі			3,324			
Ужгород						
Берегове		4,398				0,16
Чернівці				1,986		0,69
Полтава	0,9					2,81
Харків					5,55	

Примітка. \*Розроблено автором

**Варіанти оптимальних рішень із урахуванням  
компоненти газосховищ\***

	5%	10%	15%	20%
50%	1) 7,60 2) 5,03 3) 12,66	1) 7,63 2) 5,06 3) 12,66	1) 7,67 2) 5,10 3) 12,66	1) 7,70 2) 5,13 3) 12,66
55%	1) 7,57 2) 4,98 3) 13,77	1) 7,61 2) 5,02 3) 13,77	1) 7,65 2) 5,06 3) 13,77	1) 7,69 2) 5,10 3) 13,77
60%	1) 7,54 2) 4,94 3) 14,89	1) 7,59 2) 4,99 3) 14,89	1) 7,63 2) 5,03 3) 14,8	1) 7,68 2) 5,07 3) 14,89
65%	1) 7,52 2) 4,90 3) 16,00	1) 7,57 2) 4,95 3) 16,00	1) 7,62 2) 4,10 3) 16,00	1) 7,67 2) 5,04 3) 16,00
75%	1) 7,48 2) 4,89 3) 18,23	1) 7,54 2) 4,95 3) 18,23	1) 7,60 2) 5,01 3) 18,23	1) 7,66 2) 5,070 3) 18,23

Примітка. \*Розроблено автором

\*По горизонталі вказано варіанти підвищення цін протягом опалювального періоду. По вертикалі відображено частку споживання природного газу, яка споживається протягом опалювального періоду.

Основні елементи таблиці:

- 1) Величина цільової функції, млрд. дол. США;
- 2) Вартість придбання природного газу, млрд. дол. США
- 3) Обсяг заповненості газосховища, млрд. куб. метрів

**Матриця газопостачань з використанням газосховищ  
та можливістю постачання зрідженого природного газу в Одесу\***

	Донець- кий	Київсь- кий	Львівсь- кий	Чернівецький	Харківський	Черкаський	Західне	Північне	Східне
Дроздовичі			2,216						
Ужгород				0,814					
Берегове									
Одеса							5,89	4,11	
Чернівці				0,51			3,49		
Полтава	0,6	2,932			0,508	2,44			1,52
Харків					3,192				
Дроздовичі									
Ужгород									
Берегове									
Одеса									
Чернівці									
Полтава									
Харків					<b>4,808</b>				
Західне		<b>4,07</b>	<b>3,324</b>	<b>1,986</b>					
Північне		<b>0,328</b>			<b>0,122</b>	<b>3,66</b>			
Східне	<b>0,9</b>				<b>0,62</b>				

*(жирним накресленням виділено газопостачання в опалювальний сезон)*

Примітка. \*Розроблено автором

## ДОДАТОК 3

**Матриця газо постачань з використанням газосховищ та можливістю  
безпосереднього імпорту зрідженого природного газу\***

	Донець- кий	Київсь- кий	Львівсь- кий	Чернівецький	Харківський	Черкаський	Західне	Північне	Східне
Дроздовичі		2,932	2,216			0,85			
Ужгород				1,324					
Берегове							5,708		
Одеса									
Чернівці							4,0		
Полтава	0,6				0,63	1,59		3,66	1,52
Харків					3,07				
Дроздовичі									
Ужгород									
Берегове									
Одеса									
Чернівці									
Полтава									
Харків					<b>4,93</b>				
Західне		<b>4,398</b>	<b>3,324</b>	<b>1,986</b>					
Північне						<b>3,66</b>			
Східне	<b>0,9</b>				<b>0,62</b>				

*(жирним накресленням виділено газопостачання в опалювальний сезон)*

Примітка. \*Розроблено автором

**Розв'язок оптимізаційної задачі з урахуванням  
енергетичної складової залишків рослинництва\***

Культура	Урожайність т./га.	Площа, млн. га.	Нафтовий еквівалент енергетичної сировини, млн. тонн нафтового еквіваленту
Пшениця	4,1	6,5	2,53
Соняшник	2,2	8,0	6,69
Кукурудза	5,9	8,0	6,48
Ячмінь	3,2	0,0	0
Соя	2,0	0,0	0
Просо	1,7	0,0	0
Гречка	1,0	0,0	0
Зернобобові	2,4	0,0	0
Овес	2,4	0,0	0
Жито	2,8	0,0	0
Всього	4,1	22,5	15,7

Примітка. \*Розроблено автором

**Розв'язок нелінійної оптимізаційної задачі із врахуванням  
енергетичної складової залишків рослинництва\***

Культура	Площа млн. га.	Частка площ	Енергетична біомаса, млн. тон нафт. еквіваленту
Пшениця	2,2	0,10	0,87
Соняшник	8,0	0,36	6,66
Кукурудза	3,5	0,16	2,80
Ячмінь	1,9	0,08	0,58
Просо	1,3	0,06	0,31
Гречка	2,1	0,09	0,30
Овес	1,8	0,08	0,41
Жито	1,7	0,08	0,46
$\Sigma$	22,5	1	12,39

Примітка. \*Розроблено автором

## Акти провадження


**БЕРЕЗАНСЬКА МІСЬКА РАДА  
БРОВАРСЬКОГО РАЙОНУ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

вул. Героїв Небесної Сотні, 1, м. Березань Броварського району Київської області, 07541,  
тел.(04576) 6-47-07, e-mail: [info@berezan-rada.gov.ua](mailto:info@berezan-rada.gov.ua), Web:<http://berezan-rada.gov.ua>, код ЄДРПОУ 38065504

*30.05.2023* № *04.63/1653*

На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

## ДОВІДКА

про впровадження результатів особистих наукових досліджень  
Нам'ясенка Юрія Олександровича

Протягом 2022-2023 років окремі результати дисертаційної роботи Нам'ясенка Юрія Олександровича на тему: «Економічна ефективність альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств» знайшли впровадження в управлінській діяльності Березанської міської ради.

Даною довідкою підтверджується, що наступні результати наукових досліджень Ю.О. Нам'ясенка пройшли апробацію в Березанській міській раді та показали позитивні результати її діяльності:

- оптимізаційна модель визначення суми дисконтованого прибутку сільського домогосподарства від використання сонячної електростанції в поєднанні з системами збереження енергії при ринковій реалізації надлишків виробленої електроенергії за зеленим тарифом на основі середньо ринкових цін генеруючих систем, систем збереження енергії, величини зеленого тарифу, величини ринкової вартості електроенергії та показника дисконту, що дає можливість оцінити термін окупності інвестицій сільського домогосподарства у сонячну електростанцію;

- оптимізаційна модель визначення вартості збереження електроенергії сільським домогосподарством залежно від приведеної вартості електроенергії, вартості систем збереження енергії та частоти використання відповідних систем протягом календарного року.

За результатами впровадження зазначених наукових результатів в Березанській міській раді встановлена їх практична значущість та можливість використання для вдосконалення системи стимулювання розвитку відновлюваної енергетики серед домогосподарств Березанської територіальної громади.

В.о. міського голови



Руслан ХРУЛЬ

## ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТОК І

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи  
та інноваційної діяльності  
Національного університету  
біоресурсів  
і природокористування України  
доктор сільськогосподарських наук,  
професор

 Вадим КОНДРАТЮК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ПОГОДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної  
роботи та розвитку Національного  
університету біоресурсів і  
природокористування України  
доктор економічних наук,  
професор,  
академік НААН

 Сергій КВАША

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## А К Т

про впровадження/використання результатів  
дисертації на здобуття ступеня доктора філософії  
у навчальний процес

Цим актом стверджується, що результати дисертації на тему: «Економічна ефективність альтернативного енергозабезпечення сільських домогосподарств», яку представлено на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 05 «Соціальні та поведінкові науки» та спеціальності 051 «Економіка», виконаної Нам'ясенком Юрієм Олександровичем, впроваджено у навчальну програму під час викладання дисципліни «Економіка підприємства» на кафедрі економіки у процесі підготовки здобувачів вищої освіти ОС Бакалавр зі спеціальності 051 «Економіка» (освітня програма «Економіка підприємства») у Національному університеті біоресурсів і природокористування України. Зокрема, використано модель визначення економічної ефективності використання систем збереження енергії сільським домогосподарством та результати оптимізаційної моделі використання сільським домогосподарством сонячної електростанції та систем збереження енергії для задоволення власних енергетичних потреб, та реалізації надлишків виробленої електроенергії за зеленим тарифом.

Заступник декана з наукової роботи,  
д.е.н., професор



Юлія НЕГОДА

Декан економічного факультету  
д.е.н., професор



Анатолій ДІБРОВА

Завідувач кафедри економіки  
д.е.н., професор



Вікторія БАЙДАЛА