



Українсько – Данський Енергетичний центр

двостороння співпраця урядів із стратегічного енергетичного планування

Заключний звіт

Довгострокове енергетичне моделювання та прогнозування в Україні: сценарії для плану дій реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2035 року

Київ-Копенгаген

2019

Автори звіту

Державна установа «Інститут економіки та прогнозування Національної академії наук України»

Олександр Дячук

Роман Подолець

Роман Юхимець

Владислав Пеккоєв

Данський технічний університет

Олександр Балик

Міккель Сімонсен

Резюме

У цьому звіті представлено результати досліджень за проектом «Довгострокове енергетичне моделювання та прогнозування в Україні: сценарії до Плану заходів з реалізації Енергетичної стратегії України до 2035 року», що є складовою ініціативи «Стійка енергетика сприятлива до навколишнього середовища» і був реалізований в рамках Програми енергетичного партнерства між Україною та Данією з жовтня 2018 по квітень 2019 року. Метою проекту є підтримка реалізації нової Енергетичної стратегії України до 2035 року (ЕСУ2035) шляхом надання цьому процесу аналітичного супроводження з використанням сучасного модельного інструментарію. Протягом роботи було оновлено базу даних та удосконалено структуру *моделі TIMES-Україна*, опрацьовано перелік заходів та розроблено сценарії досягнення цілей Енергетичної стратегії [1]. Передбачається, що результати цього проекту будуть використані при розробці Плану заходів з реалізації ЕСУ2035. Окрім того, результати моделювання у рамках проекту можуть сприяти розробці Національного плану дій з енергоефективності після 2020 року (НПД ЕЕ), Національного плану дій з відновлюваної енергетики після 2020 року (НПД ВЕ) та Інтегрованого національного плану дій з енергетики та клімату на період 2021-2030 (НПД ЕК).

Формулювання умов і припущень прогнозних сценаріїв для аналізу з використанням модельного інструментарію проводилося в форматі консультацій із зацікавленими сторонами – Міністерством енергетики та вугільної промисловості, Датським енергетичним агентством та Україно-Датським енергетичним центром. Базовий сценарій побудований для визначення оптимальної траєкторії розвитку енергетичного сектору для досягнення цільових показників ЕСУ2035. Він ґрунтується на цільових показниках, визначених у стратегії, зокрема:

- енергоємність ВВП;
- частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у загальному постачанні первинної енергії (ЗППЕ);
- мінімальна частка електроенергії з відновлюваних джерел;
- введення додатково 1 ГВт потужностей атомних електростанцій в 2025 р.

Альтернативні сценарії досягнення цілей ЕСУ2035 або сценарії «чутливості» відрізняються від Базового сценарію ефективністю реалізації окремих політик та набором технологічних рішень. Сценарій *низьких темпів зростання відновлюваної енергетики* узгоджений з припущеннями фахівців «Укренерго» [2] щодо перспектив нарощення обсягів виробництва електроенергії гідро-, вітровими та сонячними електростанціями. В сценарії *Без нових атомних потужностей* проаналізовано наслідки затримки, принаймні, до 2030 року, введення в дію нових потужностей АЕС. Нові технології, які можуть забезпечити

балансування енергосистеми в умовах збільшення частки відновлюваної генерації досліджуються у сценарії *Нові технології балансування*; в сценарії *Зелено-вугільний парадокс* досліджуються можливі наслідки модернізації існуючих вугільних енергоблоків теплових електростанцій з подовженням терміну їхньої експлуатації та проаналізована можливість використання цих блоків для балансування. Метою розробки сценарію *Оптимізація балансування* була оцінка ефекту від запровадження системи прогнозування (у т.ч. чи вплине запровадження системи на необхідну кількість балансуючих потужностей).

Додаткові сценарії ставлять цілі ЕСУ2035 у більш широкий контекст (як національний, так і міжнародний). У сценарії *Національні стратегії* цілі ЕСУ2035 доповнено національними цілями і запланованими заходами інших стратегічних документів (Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, Концепція реалізації державної політики у сфері теплопостачання та Стратегії низьковуглецевого розвитку України до 2050 року). У сценарії *Низьковуглецеве суспільство* умови попереднього сценарію доповнені метою скорочення викидів ПГ у 2050 році на 80% від рівня 1990 року. Такі сценарні припущення можна вважати максимально наближеними до умов та цілей прийнятої в ЄС політики попередження зміни клімату. Нарешті, сценарій *Бездієвий* є гіпотетичним та враховує лише ті політики, заходи та цілі, які були прийняті до 2015 року (тобто політики, заходи та цілі з ЕСУ2035 та інших стратегічних документів не бралися до уваги); цей сценарій був розроблений з метою створення бази для порівняння результатів розрахунків за іншими сценаріями.

Для забезпечення достовірності результатів, модель TIMES-Україна була відкалібрована на базі найновіших статистичних даних, база даних самої моделі була оновлена відповідно до сучасних макроекономічних та демографічних прогнозів, прогнозованих світових цін на енергоносії, оновлених даних щодо ресурсного потенціалу, та техніко-економічних характеристик майбутніх енергетичних технологій.

Результати розрахунків за сценарієм *Бездієвий* показують, що навіть за умов відсутності заходів енергетичної політики, спрямованих на досягнення цільових трансформацій енергетичного балансу, тобто без стимулювання реалізації потенціалу енергоефективності та ВДЕ, запровадження екологічних обмежень тощо, обсяги первинного постачання та кінцевого споживання енергії хоч і зростатимуть до 2050 року, проте навряд чи перевищать рівень 2012 року. З таких мов структура енергобалансу буде залежати в першу чергу від прогнозованого цінового паритету різних видів палива та зміни вартості енергетичних технологій. При цьому вугілля залишиться домінуючим ресурсом як в структурі паливозабезпечення електростанцій, так і загалом для задоволення енергетичних потреб економіки.

Базовий сценарій, що відображає умови та основні цільові показники ЕСУ2035, фактично передбачає збереження обсягів енергоспоживання на рівні 2015 року

при одночасному цільовому збільшенні використання ВДЕ та зменшенні споживанні вугілля та природного газу. Проте в ЕСУ2035 зберігається певна невизначеність щодо окремих стратегічно важливих питань розвитку енергетичного сектору на більш віддалену перспективу після 2035 року. Зокрема, розвиток атомної енергетики (тобто зняття з експлуатації, продовження терміну експлуатації або введення в експлуатацію нових енергоблоків) після 2035 року може призвести до різкої зміни виробництва електроенергії та динаміки викидів ПГ.

Результати моделювання за сценарієм *Без нових атомних потужностей* показують, що у разі досягнення цілей ЕСУ2035, зокрема щодо суттєвого зниження енергоємності економіки та суттєвого нарощування обсягів використання ВДЕ, спостерігатиметься неповна завантаженість існуючих блоків АЕС, а, відтак, будівництво нового блоку №3 на Хмельницькій АЕС в 2025 р. видається незатребуваним. Будівництво (введення в експлуатацію) ХАЕС №3 може бути доцільним не раніше 2030-2035 років. При цьому робота інших електрогенеруючих об'єктів не відрізнятиметься від Базового сценарію.

У разі реалізації сценарію помірних темпів розвитку виробництва електроенергії з відновлюваних джерел, запропонованому у Звіті з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей ДП «НЕК «Укренерго» за 2018 рік [3], загальна частка ВДЕ в структурі електрогенерації зросте лише до 41% в 2050 році (63% за Базовим сценарієм), проте в 2035 р. вона становитиме близько 31%, що більше ніж передбачає ЕСУ2035. Заміщення після 2035 року електрогенерації з ВДЕ на більш дорожу теплову генерацію позначиться на загальній вартості електроенергії в системі, що зрештою може призвести до скорочення споживання електроенергії на 5-7% порівняно з Базовим сценарієм.

На сьогодні балансування електростанцій ВДЕ відбувається переважно за рахунок «брудної» вугільної генерації, що зумовлює виникнення т.з. «*зелено-вугільного парадоксу*». Як свідчать розрахунки (сценарій *Нові технології балансування*), застосування сучасних балансуєчих потужностей та маневруючих технологій дозволить скоротити капітальні інвестиції для досягнення заявлених цілей з використання ВДЕ на 13 млрд євро за період 2020-2050 років. Окрім того, застосування сучасних систем точного прогнозування (сценарій *Оптимізація балансування*) дозволить додатково зменшити потреби в інвестиціях ще на 11,5 млрд євро, збільшивши при цьому виробництво електроенергії з ВДЕ.

Доповнення умов ЕСУ2035 цільовими індикаторами інших діючих галузевих програмних документів радикально не позначиться на прогнозній динаміці розвитку енергетики – відхилення базових агрегованих показників енергетичного балансу від їхніх значень за Базовим сценарієм спостерігається на рівні 2-5%. Водночас, в деяких секторах, зокрема на транспорті та в комунальній енергетиці структура споживання палива та енергії відрізняється все ж більш суттєво. Окрім того, може відбуватися певний перерозподіл інвестиційних

ресурсів та окремих видів палива між секторами. Це свідчить про потенціал удосконалення процедур узгодження галузевих політик та необхідність актуалізації індикативних показників ЕСУ2035.

Як засвідчили розрахунки, реалізація амбітних цілей з декарбонізації економіки за сценарієм *Низьковуглецеве суспільство* насправді лише вимагатиме продовження політик і заходів, започаткованих ЕСУ2035. І хоча це й потребуватиме додаткової інтенсифікації інвестиційних процесів, в іншому випадку послаблення або повна відмова від продовження реалізації політики декарбонізації можуть швидко нівелювати досягнення, зокрема, в зменшенні енергоємності економіки та скороченні викидів ПГ і забруднюючих речовин.

Зміст

Автори звіту	2
Резюме	3
Список Рисунків.....	9
Список Таблиць	10
1. Вступ.....	12
Попереднє дослідження.....	12
Цілі проекту.....	12
Учасники проекту	13
2. Енергетична система України: сучасний стан, виклики і тенденції	15
Опис сучасної енергетичної системи.....	15
<i>Сучасний стан генеруючих потужностей</i>	<i>15</i>
<i>Розподіл джерел енергії в загальному обсязі постачання первинної енергії.....</i>	<i>16</i>
<i>Кінцеве споживання енергетичних ресурсів.....</i>	<i>16</i>
Огляд викликів для України	17
<i>Енергоємність</i>	<i>17</i>
<i>Використання відновлюваної енергетики</i>	<i>19</i>
3. Методологія моделювання та прогнозування	21
Опис моделі TIMES-Україна.....	21
Вдосконалення моделі TIMES-Україна	23
<i>Огляд і перевірка бази даних і структури моделі</i>	<i>23</i>
<i>Енергетичні попити та драйвери.....</i>	<i>24</i>
<i>Удосконалене представлення технологій акумулювання</i>	<i>25</i>
<i>Впровадження прос'юмерів</i>	<i>25</i>
<i>Терміни та витрати на будівництво та виведення з експлуатації</i>	<i>25</i>
Вхідні дані та ключові припущення при моделюванні	26
4. Сценарії та напрямки політики.....	30
Опис сценаріїв	30
Енергетичні та кліматичні політики	32
<i>Енергоефективність.....</i>	<i>32</i>
<i>Відновлювана енергетика</i>	<i>33</i>

Модернізація та інновація.....	33
Трансформація ринку та інститутів.....	33
5. Результати моделювання	34
Детальні результати моделювання	34
Сценарій Бездієвий	34
Базовий сценарій	36
Сценарій чутливості: Низькі темпи зростання ВДЕ.....	41
Сценарій чутливості: Без нових атомних потужностей.....	42
Сценарії чутливості: Нові технології балансування та Зелено-вугільний парадокс	43
Сценарій чутливості: Оптимізація балансування	44
Сценарій Національні стратегії.....	44
Сценарій Низьковуглецевого суспільства (зменшення викидів на 80% до 2050).....	50
Веб-платформа	53
Висновки	54
Список використаних джерел.....	55

Список Рисунків

Рисунок 1. Встановлена потужність електричних станцій ОЕС України в 2017 році	15
Рисунок 2. Енергетичний баланс України в 2016 (ліворуч) та 2017 (праворуч) роках.....	16
Рисунок 3. Кінцеве споживання енергетичних ресурсів в Україні	16
Рисунок 4. Структура кінцевого споживання енергетичних ресурсів в Україні	17
Рисунок 5. Динаміка деяких ключових економічних та енергетичних індикаторів (ПЕЄ – первинна енергоємність ВВП, ВВП – валовий внутрішній продукт, ЗПРЕ – загальне постачання первинної енергії).....	18
Рисунок 6. Необхідний приріст ВВП для досягнення цілей ЕСУ2035	19
Рисунок 7. Енергетична система України в моделі TIMES-Україна	22
Рисунок 8. Загальне постачання первинної енергії за Бездієвим сценарієм.....	34
Рисунок 9. Кінцеве споживання енергоресурсів за Бездієвим сценарієм	35
Рисунок 10. Виробництво електроенергії за Бездієвим сценарієм	35
Рисунок 11. Викиди парникових газів за Бездієвим сценарієм	36
Рисунок 12. Загальне постачання первинної енергії за Базовим сценарієм.....	37
Рисунок 13. Різниця між загальним постачанням первинної енергії за Базовим сценарієм та прогнозом в Енергетичній стратегії України на період до 2035 року	37
Рисунок 14. Кінцеве споживання енергоресурсів за Базовим сценарієм	38
Рисунок 15. Виробництво електроенергії за Базовим сценарієм	39
Рисунок 16. Викиди парникових газів за Базовим сценарієм	39
Рисунок 17. Вуглецеємність та енергоємність ВВП України за Базовим сценарієм.....	40
Рисунок 18. Загальна вартість функціонування енергосистеми за Базовим сценарієм (ЕСУ2035) та різниця у порівнянні з Бездієвим сценарієм	41
Рисунок 19. Виробництво електроенергії за Сценарієм помірною розвитку ВДЕ	41
Рисунок 20. Різниця у виробництві електроенергії між Сценарієм помірною розвитку ВДЕ та Базовим сценарієм	42
Рисунок 21. Різниця у виробництві електроенергії між Сценарієм "Без нового блоку АЕС в 2025" та Базовим сценарієм	43

Рисунок 22. Різниця між встановленою потужністю електростанцій за сценарієм "Нові балансуючі технології" (НБП) та сценарієм "Зелено-вугільного" парадоксу (ЗВП)	43
Рисунок 23. Різниця між встановленою потужністю електростанцій за сценарієм "Оптимізація балансування" (ОПБ) та сценарієм "Зелено-вугільного" парадоксу (ЗВП)	44
Рисунок 24. Викиди парникових газів за сценарієм "Національні стратегії" та Базовим сценарієм	45
Рисунок 25. Споживання палива та енергії легковими автомобілями за сценарієм "Національні стратегії"	45
Рисунок 26. Структура перевезення пасажирів легковими автомобілями за сценарієм "Національні стратегії"	46
Рисунок 27. Виробництво тепла за сценарієм "Національні стратегії"	47
Рисунок 28. Різниця в загальному постачанні первинної енергії між сценарієм "Національні стратегії" (СНС) та Базовим сценарієм (БАЗ)	47
Рисунок 29. Різниця у виробництві електроенергії між сценарієм "Національні стратегії" (СНС) та Базовим сценарієм (БАЗ)	48
Рисунок 30. Різниця у загальній вартості функціонування енергосистеми між сценарієм "Національні стратегії" (СНС) та Базовим сценарієм (БАЗ)	49
Рисунок 31. Викиди парникових газів за сценарієм "Національні стратегії"	49
Рисунок 32. Викиди парникових газів за усіма змодельованими сценаріями	50
Рисунок 33. Вуглецеємність ВВП, т CO ₂ -екв./\$1000 ВВП (ПКС).....	51
Рисунок 34. Різниця в загальному постачанні первинної енергії між сценарієм "Низьковуглецеве суспільство" (НВС) та Базовим сценарієм (БАЗ).....	51
Рисунок 35. Виробництво електроенергії за сценарієм "Низьковуглецеве суспільство"	52
Рисунок 36. Різниця у загальній вартості функціонування енергосистеми між сценарієм "Низьковуглецеве суспільство" (НВС) та Базовим сценарієм (БАЗ).....	53
Рисунок 37. Головна сторінка веб-платформи	53

Список Таблиць

Таблиця 1. Деякі ключові показники ефективності ЕСУ2035	17
Таблиця 2. Характеристика технологій зберігання електроенергії (аккумуляторів)	25

Таблиця 3. Характеристика дахових сонячних панелей	25
Таблиця 4. Середній термін будівництва та вартість виведення з експлуатації електростанцій за типами палива.....	26
Таблиця 5. Середньорічні темпи зростання ВВП України за період 2018-2050.....	27
Таблиця 6. Прогноз ціна на енергетичні ресурси в номінальних доларах США.....	27
Таблиця 7. Демографічні сценарії (мільйонів осіб)	28
Таблиця 8. Прогнозні капітальні витрати на будівництво нових електростанцій (Євро/кВт)	28
Таблиця 9. Матриця сценаріїв	30
Таблиця 10. Матриця сценаріїв чутливості	31

1. Вступ

Попереднє дослідження

У серпні 2017 року Кабінет Міністрів схвалив нову Енергетичну стратегію України до 2035 року «Безпека, енергоефективність та конкурентоспроможність» (ЕСУ2035) [4]. Метою ЕСУ2035 є задоволення потреб суспільства та економіки України у постачанні палива та енергії технічно надійним, безпечним, економічно ефективним та екологічно безпечним способом, для того щоб гарантувати поліпшення добробуту населення.

ЕСУ2035 включає амбітні цілі для України до 2035 року:

- Скоротити енергоемність ВВП більш ніж вдвічі до 2035 року;
- Збільшити частку відновлюваної енергії у загальному постачанні первинної енергії (ЗПРЕ) до 12% у короткостроковому і середньостроковому періодах до 2025, до 17% у 2030 р. і не менше ніж 25% до 2035 року (включаючи гідроенергетичні потужності та виробництво тепла з біомаси і біогазу).
- Зберегти поточну частку (50%) генерації електроенергії атомними електростанціями (АЕС) до 2035.
- Досягти відповідності між збільшенням виробництва теплової енергії та Директивою про промислові викиди (2010/75/ЄС) [5].

Згідно з ЕСУ2035, досягнення цих цілей вимагатиме вдосконалення технологічних рішень, значних інвестицій, оновлення законодавства та структурних змін в економіці, які повинні базуватися на різноманітних модельних розрахунках.

У стратегії зазначено, що *"... через відсутність довгострокового прогнозу соціально-економічного розвитку та високої політичної та економічної невизначеності в країні на момент розробки Енергетичної стратегії необхідно буде надалі коригувати оціночні показники ЗПРЕ в ході впровадження Енергетичної стратегії на основі існуючої практики та методів прогнозування, що використовуються в країнах ЄС"*. Крім того, в ЕСУ2035 зазначається, що *"... на наступному етапі буде розроблена високоякісна модель прогнозування енергетичного балансу за участі провідних експертів (у тому числі з ЄС). Це дозволить отримати достовірні дані, які будуть використовуватися для реалізації Енергетичної стратегії або її коригування, за необхідності"*. Необхідність використання сучасних інструментів моделювання для підтримки впровадження ЕСУ2035 формує передумови для розвитку моделі TIMES-Україна в рамках цього проекту.

Цілі проекту

Основною метою цього проекту є підтримка Міністерства енергетики та вугільної промисловості України у розробці інструментів для довгострокового моделювання та стратегічного планування розвитку енергетики України. Ці інструменти моделювання необхідні для перегляду умов та припущень ЕСУ2035, а також для розробки сценаріїв для оцінки оптимальних шляхів розвитку української енергетики відповідно до цілей Стратегії як до 2035 року, так і в перспективі до 2050 року.

Мета дослідження була досягнута шляхом застосування моделі TIMES-Україна [6], в тому числі за допомогою:

- оновлення та вдосконалення моделі TIMES-Україна
- вибору та оцінки політик та заходів для моделювання шляхів досягнення цілей Енергетичної стратегії України до 2035 року
- аналізу енергетичних та кліматичних політик
- надання кількісної оцінки сценаріїв досягнення основних цілей Енергетичної стратегії України до 2035 року
- розробки інструментарію MS Excel та веб-платформи для аналізу та візуалізації результатів моделювання

Результати цього проекту можуть бути використані для планування заходів з імплементації Енергетичної стратегії України до 2035. Більше того, результати моделювання в рамках проекту можуть бути використані для розробки Національного плану дій з енергоефективності після 2020 року (НПДЕЕ), Національного плану дій з відновлюваної енергетики після 2020 року (НПДВЕ) та Інтегрованого національного плану з енергетики та клімату на період 2021-2030 років (НПДЕК).

Учасники проекту

Проект був виконаний командою експертів в тісній співпраці з основними зацікавленими сторонами. Загалом в період з жовтня 2018 по березень 2019 року відбулося 5 семінарів, під час яких обговорювалися, уточнювалися та враховувалися очікування та потреби зацікавлених сторін. Нижче наведено перелік основних учасників проекту (зацікавлені сторони та команда проекту).

Міністерство енергетики та вугільної промисловості України (Зацікавлена сторона)

- Ольга Буславець, Генеральний директор Директорату енергетичних ринків
- Олександр Мартинюк, Керівник експертної групи розвитку ВДЕ Директорату енергетичних ринків

Данське Енергетичне Агентство (Зацікавлена сторона)

- **Аїсма Вітіна** (Aisma Vitina), Спеціальний Радник
- **Джіада Вентуріні** (Giada Venturini), кандидат наук, Радник
- **Греггерс Ларсен** (Gregers Larsen), Радник

Українсько-Данський енергетичний центр (Зацікавлена сторона)

- **Андерс Крістенсен** (Anders Kristensen), Головний радник з питань політики
- **Юлія Рибак**, кандидат економічних наук, Координатор

Державна установа «Інститут економіки та прогнозування Національної академії наук України», Сектор прогнозування розвитку паливно-енергетичного комплексу (Місцева група консультантів)

- **Олександр Дячук**, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник
- **Роман Подолець**, кандидат економічних наук, завідувач сектору
- **Роман Юхимець**, кандидат економічних наук, науковий співробітник
- **Владислав Пеккоєв**, бакалавр з економічної кібернетики, економіст

Данський технічний університет (Міжнародна група консультантів)

- **Олександр Балик**, кандидат технічних наук, науковий співробітник
- **Міккель Сімонсен** (Mikkel Simonsen), магістр з енергетичного моделювання, аспірант

2. Енергетична система України: сучасний стан, виклики і тенденції

Опис сучасної енергетичної системи

Сучасний стан генеруючих потужностей

За даними ДП «НЕК «Укренерго»¹, загальна встановлена потужність електричних станцій ОЕС України на кінець 2017 року (без енергогенеруючих об'єктів Кримської електроенергетичної системи та неконтрольованої території (НКТ) Донбаської електроенергетичної системи) складає 51,7 ГВт, з яких 59% припадає на теплові електростанції (ТЕС, ТЕЦ, блок-станції), 26,7% – на атомні електростанції (АЕС), 12% – на гідроелектростанції (ГЕС) і гідроакумуючі електростанції (ГАЕС), 2,3% – на електростанції, що працюють на альтернативних джерелах енергії – ВЕС, СЕС, БіоЕС (Рисунок 1).

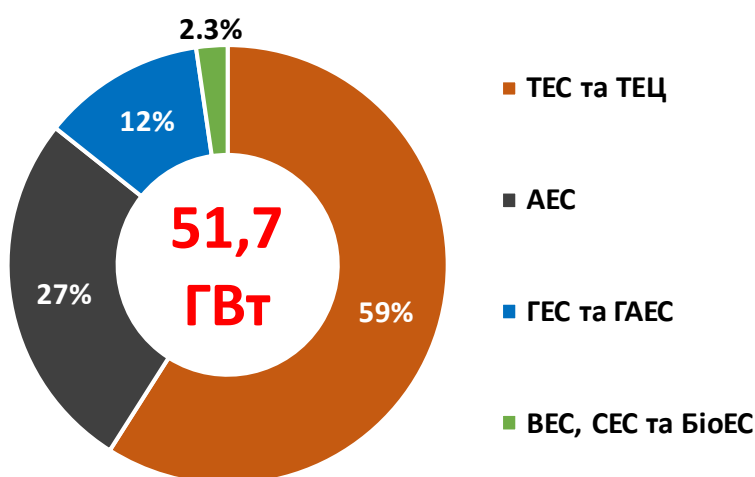


Рисунок 1. Встановлена потужність електричних станцій ОЕС України в 2017 році

Основні генеруючі потужності (станом на 01.11.2018) зосереджені на:

- чотирьох атомних електростанціях (15 енергоблоків, з яких 13 – потужністю 1 000 МВт і 2 – потужністю 415 та 420 МВт);
- каскадах з 8 гідроелектростанцій на річках Дніпро й Дністер із загальною кількістю гідроагрегатів – 103 одиниці, а також 3-х гідроакумуючих станціях (11 гідроагрегатів потужністю від 33 МВт до 324 МВт);
- 12 ТЕС із блоками потужністю 150, 200, 300 і 800 МВт (75 енергоблоків, у тому числі потужністю: 150 МВт – 6, 200 МВт – 31, 300 МВт – 32, 800 МВт –

¹ «Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей» (31.03.2019) // ДП «НЕК «Укренерго». – Режим доступу: https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/04/ZvitAdekvatnostiGenPotuzhnostej_31_03_2019.pdf

6 одиниць та 3 турбогенератора), а також 3-х великих ТЕЦ з енергоблоками 100 (120) МВт та 250 (300) МВт.

Розподіл джерел енергії в загальному обсязі постачання первинної енергії

В енергетичному балансі країни за 2017 р. обсяг загального постачання первинної енергії становив 89,6 мільйона тон нафтового еквівалента (млн тне), що на 5,0% менше порівняно з 2016 р (Рисунок 2).

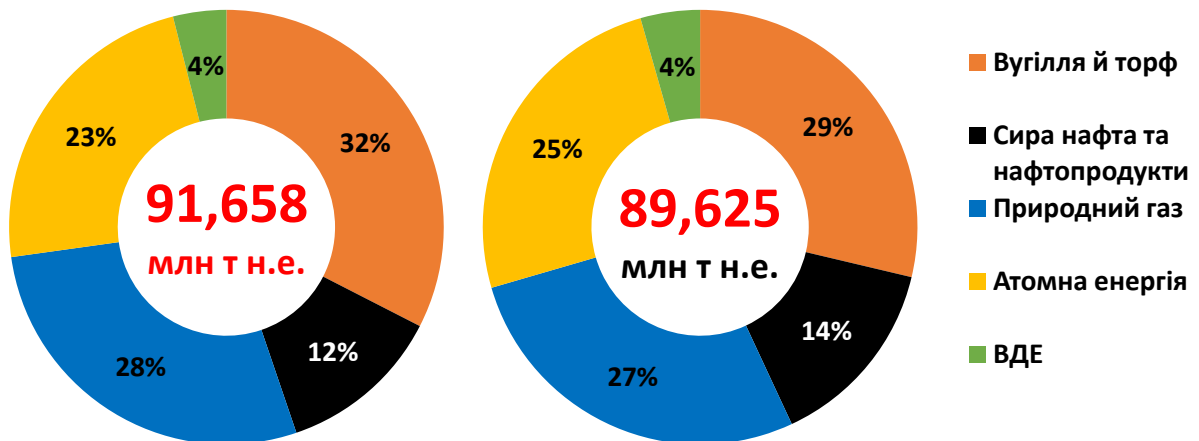


Рисунок 2. Енергетичний баланс України в 2016 (ліворуч) та 2017 (праворуч) роках

Кінцеве споживання енергетичних ресурсів

У структурі кінцевого споживання за 2017 р. серед основних джерел енергії найбільшою залишалася частка природного газу – 29,9%, частка електроенергії складала 20,2%, сирової нафти та нафтопродуктів – 20,1%. (Рисунок 3).

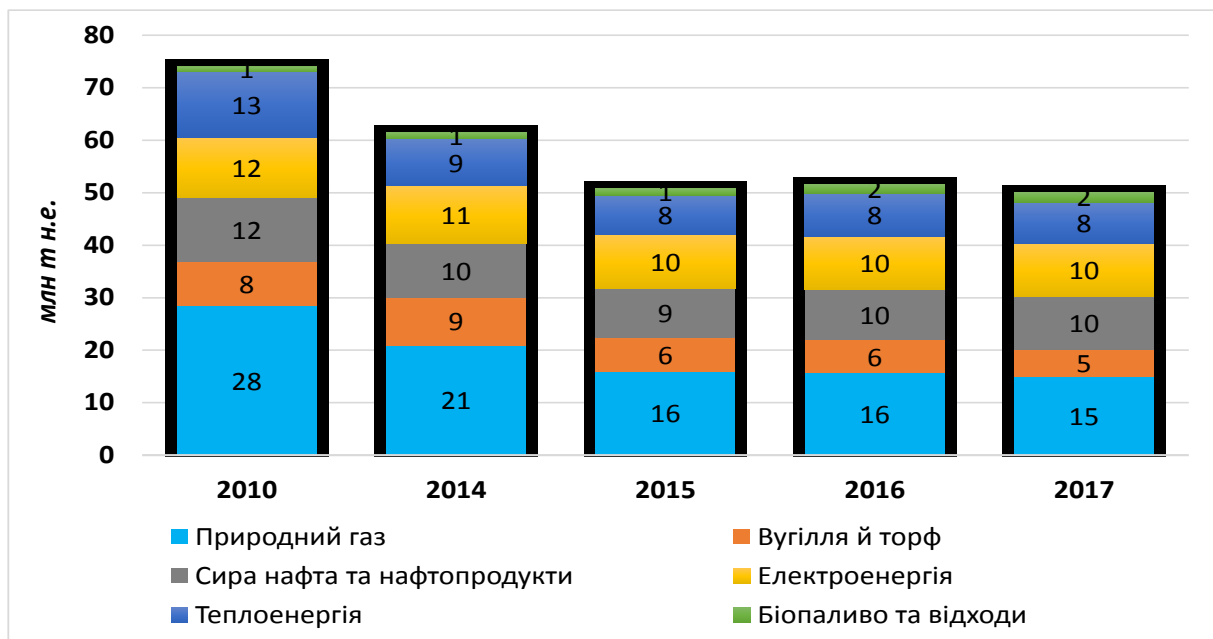


Рисунок 3. Кінцеве споживання енергетичних ресурсів в Україні

Найбільшими серед кінцевих споживачів палива й енергії у 2017 р. були побутовий сектор і промисловість, частка яких складала 32,8% та 30,2% відповідно (Рисунок 4).

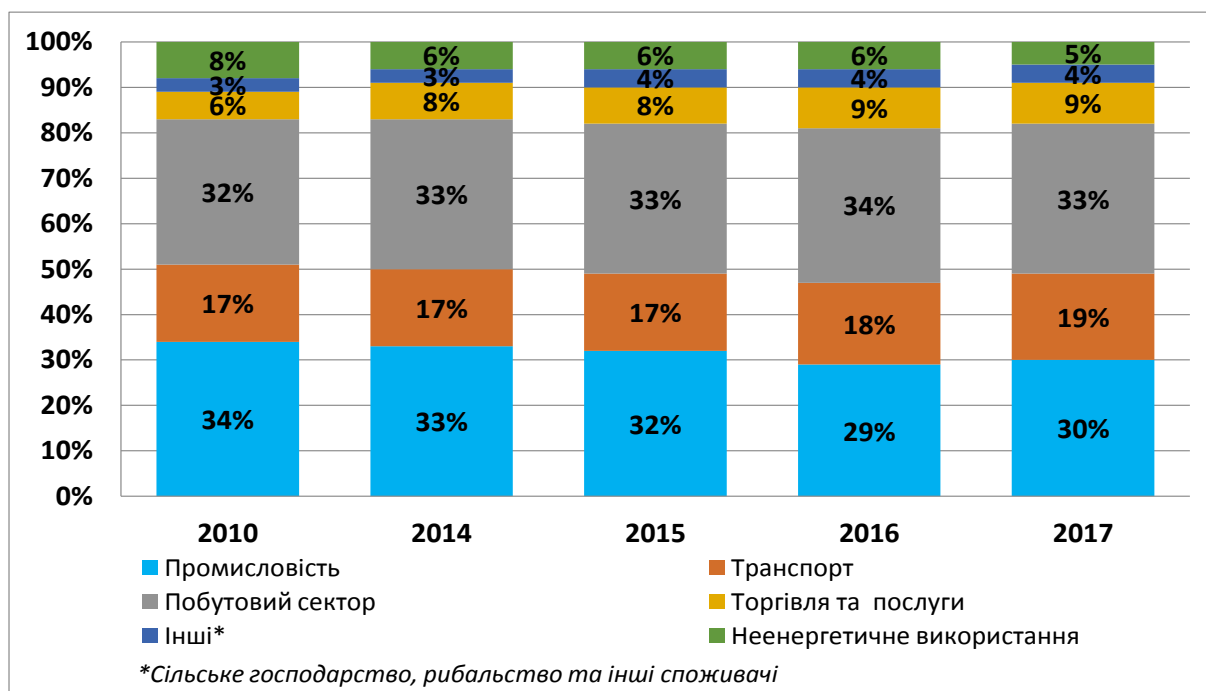


Рисунок 4. Структура кінцевого споживання енергетичних ресурсів в Україні

Неенергетичне споживання у 2017 р. становило 2,5 млн тне, з якого 1,2 млн тне природного газу було використано як сировина для хімічної промисловості.

Огляд викликів для України

Енергоємність

Додатки 1 та 2 до ЕСУ2035 містять ключові показники щодо підвищення ефективності, включаючи скорочення енергоємності, мінімізації втрат, посилення енергетичної незалежності, надійності, безпеки та екологічності енергетичної системи, а також структури ЗПЕ та прогноз виробництва електроенергії до 2035 р.

Проте, існує ряд викликів в досягненні цілі ЕСУ2035, більшість яких пов'язана з досягненням показників, представлених у Таблиця 1.

Таблиця 1. Деякі ключові показники ефективності ЕСУ2035

Показник	2015	2020	2025	2030	2035
Енергоємність ВВП, ЗПЕ у т н.е./тис. дол. ВВП (ПКС)	0.29	0.20	0.18	0.15	0.13
Частка ВДЕ (включно з гідроенергетичними потужностями та термальною енергією) у ЗПЕ, %	4%	8%	12%	17%	25%
Частка ВДЕ (включно з гідроенергетичними потужностями) у генерації електроенергії, %	5%	7%	10%	>13%	>25%

Показник	2015	2020	2025	2030	2035
Частка сонячної та вітрової енергетики в загальній структурі виробництва електроенергії, %	0.1%	1.2%	2.4%	5.5%	10.4%
Додаткова потужність АЕС, GW			1		
Частка потужностей у тепловій генерації, що відповідає екологічним вимогам ЄС (Директива 2010/75/ЄС)	<1%	<10%	<40%	85%	100%

На основі ЗППЕ та первинної енергоємності (ПЕЕ) можна оцінити базові припущення, зроблені в ЕСУ2035 щодо середнього приросту ВВП за паритетом купівельної спроможності (Рисунок 5): 5,6% у 2015-2020 рр., 4,4% у 2021-2025 рр., 4,5% у 2026-2030 рр. і 4,4% у 2031-2035 роках.

Однак, враховуючи реальну динаміку ВВП у 2015-2018 рр., середній приріст ВВП у 2019-2020 рр. повинен бути не менше 9,1%, щоб досягти енергоємності 0,2 тне/тис. дол. ВВП (ПКС) 2011 р. Для досягнення планових показників енергоємності в період 2025-2035 рр. необхідно забезпечити зростання ВВП України на рівні 3,3% у 2021-2025 рр., 4,7% в 2026-2030 рр. і 4,0% в 2031-2035 рр. (Рисунок 6).

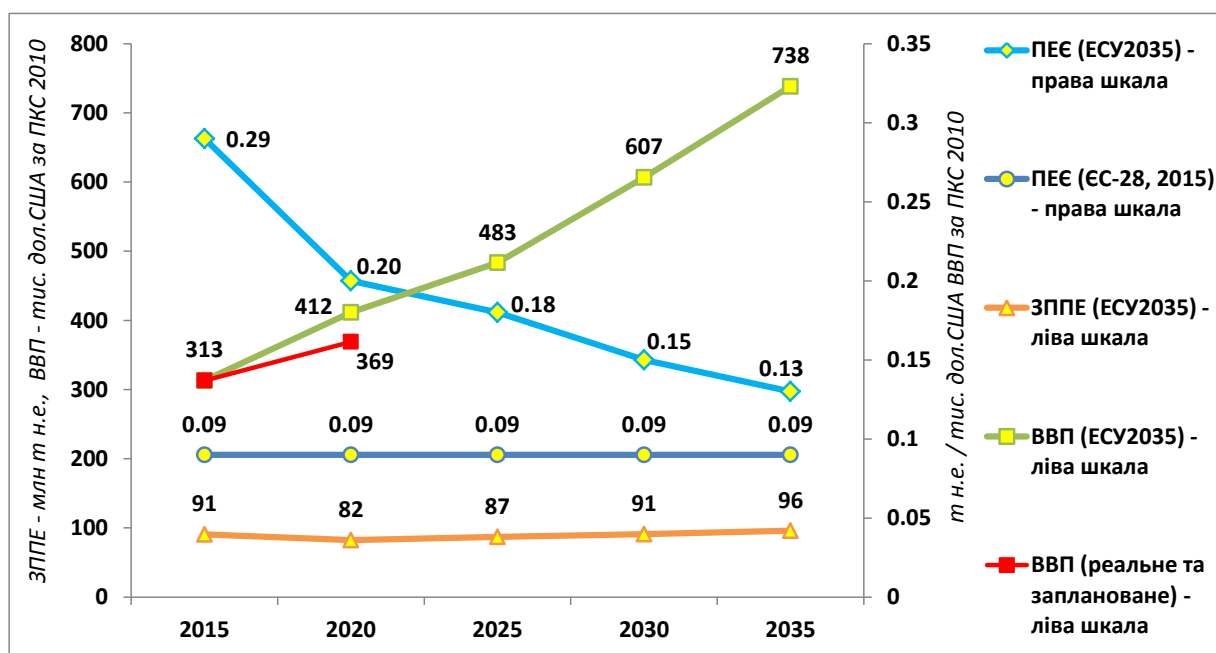


Рисунок 5. Динаміка деяких ключових економічних та енергетичних індикаторів (ПЕЕ – первинна енергоємність ВВП, ВВП – валовий внутрішній продукт, ЗППЕ – загальне постачання первинної енергії)

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України оцінює зростання ВВП у 2019 р. на рівні 2,8%, у 2020 р. – на 3,8%, у 2021 р. – на 4,1%, у 2022 р. – на 4,5% [7]. Використані у цьому дослідженні макроекономічні прогнози відповідають очікуванням Уряду, як зазначено в розділі 3 (Вхідні дані та ключові припущення). Згідно з цими прогнозами, ВВП України в період 2016-2020 рр. зростатиме в середньому на 2,8% щорічно.

Виходячи з вищевикладених міркувань, досягнення цілі з енергоємності, зазначеної в ЕСУ2035 до 2020 р. є сумнівним. Проте відповідні цілі для 2025-2035 рр. цілком можуть бути досягнуті. Хоча, як видно на Рисунок 5, навіть достатньо амбітна ціль зі зниження енергоємності економіки України у 2035 р. все рівно буде вище поточного рівня ЄС.

Таким чином, вважається за доцільне перегляд цілей зі зниження енергоємності на 2020 р. (відкоригувати у відповідність сучасному стану), а також на 2030-2035 рр. (встановити більш амбітні цілі, щоб досягнути принаймні поточний рівень ЄС). Для цього потрібно більш детально та ширше розглянути політики та заходи з підвищення енергоефективності економіки та пришвидшення зростання ВВП України, а також прискорити рівень впровадження вже запланованих заходів.

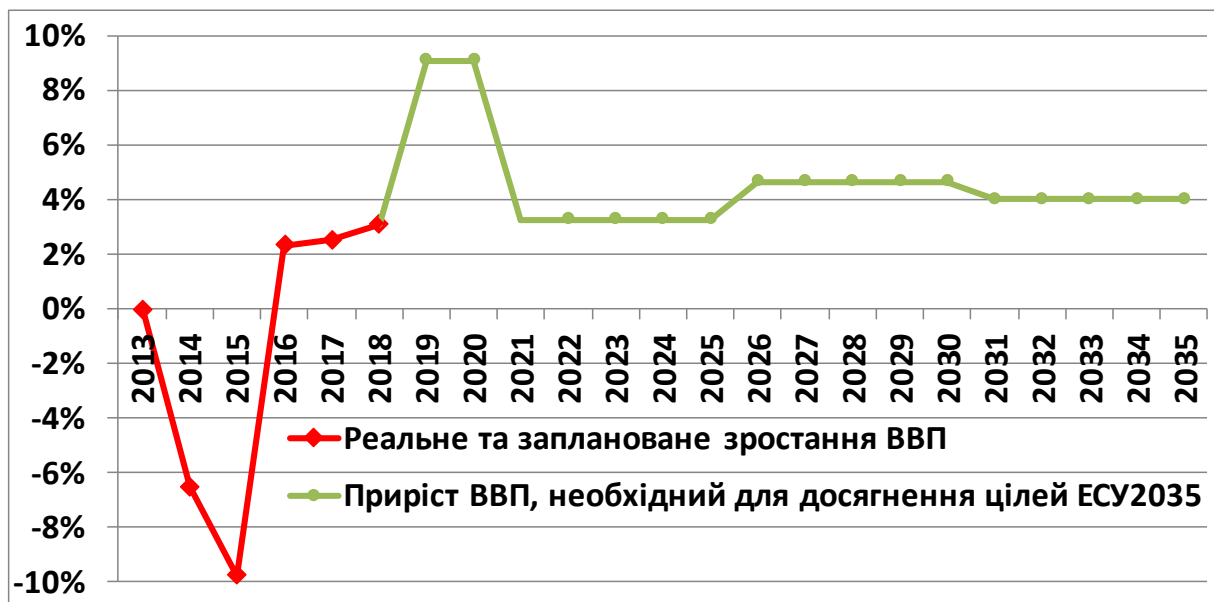


Рисунок 6. Необхідний приріст ВВП для досягнення цілей ЕСУ2035

Використання відновлюваної енергетики

Різне збільшення частки ВДЕ в енергетичній системі є ще одним важливим викликом, тобто 25% частка ВДЕ (включаючи гідроенергетику та виробництво тепла) в ЗППЕ у 2035 р., як зазначено в ЕСУ2035. Досягнення 25% частки ВДЕ (включаючи великі гідроелектростанції) у виробництві електроенергії не буде достатнім для досягнення поставленої мети, оскільки необхідні більш амбітні цілі з ВДЕ для секторів кінцевого використання. Однак, ЕСУ2035 не містить жодних подробиць щодо кінцевого споживання енергії, що становить 50-55% ЗППЕ. Тому, з одного боку, важливо забезпечити надійність енергосистеми при швидкому зростанні частки ВДЕ (з урахування особливостей ВДЕ генерації), що наразі збільшується без необхідного розвитку маневрених та балансуючих потужностей та інших заходів. З іншого боку, важливо розглянути політики та заходи, які дозволять збільшити ВДЕ у кінцевому енергоспоживанні, а також те, як таке збільшення вплине на енергетичні потоки в Україні.

Попит на електроенергію в Україні зростає повільно . Водночас, коефіцієнт доступності атомних електростанцій становить близько 70%. Тому додавання додаткового ядерного блоку (1ГВт) для покриття попиту на електроенергію в Україні для роботи в базовому режимі видається несвоєчасним, особливо якщо врахувати значні інвестиції, необхідні для його завершення.

Реалізація Директиви 2010/75/ЄС [5], що передбачає значне зменшення викидів від роботи теплосилових установок з номінальною тепловою потужністю 50 МВт (всі теплові установки на вугіллі в Україні), є ще одним важливим викликом для енергетичної системи України. Корінь проблеми полягає в застарілості існуючих вугільних установок і відсутності будь-яких економічних механізмів (наприклад, ринкових) для їх модернізації відповідно до нових вимог. Водночас, існує потреба в оцінці технічної можливості встановлення обладнання для очищення на старих установках.

3. Методологія моделювання та прогнозування

Опис моделі TIMES-Україна

TIMES-Україна це лінійна оптимізаційна модель енергетичної системи, яка відноситься до класу моделей MARKAL/TIMES [8, 9]. Вона забезпечує багато-технологічне представлення енергетичної системи (знизу–вгору) для оцінки енергетичної динаміки в довгостроковій перспективі [6]. Українська енергетична система у моделі поділена на сім секторів (Рисунок 7). Таким чином, структура моделі TIMES-Україна відповідає методологічному підходу Державної служби статистики України [10] (узгоджено з методологією Євростату та МЕА) для енергетичної статистики. На даний момент в моделі представлені понад 1,6 тис. технологій.

До початку проекту база даних моделі містила економічну та енергетичну статистику за 2005-2012 рр., а модель була повністю відкалібрована за 2005, 2009 та 2012 роки (крім параметризації процесів, інші параметри моделі були належним чином оцінені для відображення енергетичного балансу; будь-який з відкаліброваних років може бути використаний як базовий рік для розрахунків). У рамках проекту база даних моделі була доповнена даними за 2013-2015 рр., що дозволило переглянути параметри енергетичних технологій. Крім того, деякі ключові вхідні дані, такі як виробництво енергії, міжнародна торгівля, виробничі показники електростанцій і котлів, також були внесені за 2016-2018 рр. Незважаючи на те, що модель не була повністю відкалібрована за новим базовим роком (2015), точність розрахункового енергетичного балансу на 2015 р. у порівнянні зі звітним документом є досить високою. Повне калібрування моделі за 2015 р. буде завершено найближчим часом.

Промислові користувачі в моделі розділені на дві категорії залежно від рівня енергоємності виробництва. Енергоємні галузі представлені продукто-специфікованими технологіями. Споживання енергії в інших галузях промисловості представлене за чотирма типами процесів: електричні двигуни, електрохімічні процеси, теплові процеси та інші процеси.

Споживання електроенергії домашніми господарствами та комерційним сектором визначається найбільш енергоємними категоріями споживчих потреб, такими як опалення та охолодження житла, нагрів води, освітлення, приготування їжі, холодильники, прання та сушіння одягу, миття посуду та ін.

Транспортний сектор представлений за видами транспорту: автомобільний, залізничний, трубопровідний, авіаційний і водний. Енергетичними послугами, які забезпечуються технологіями автомобільного та залізничного транспорту, є перевезення пасажирів і вантажів.

Сільськогосподарський сектор поділяється на рослинництво, тваринництво, місцевий транспорт та ін.

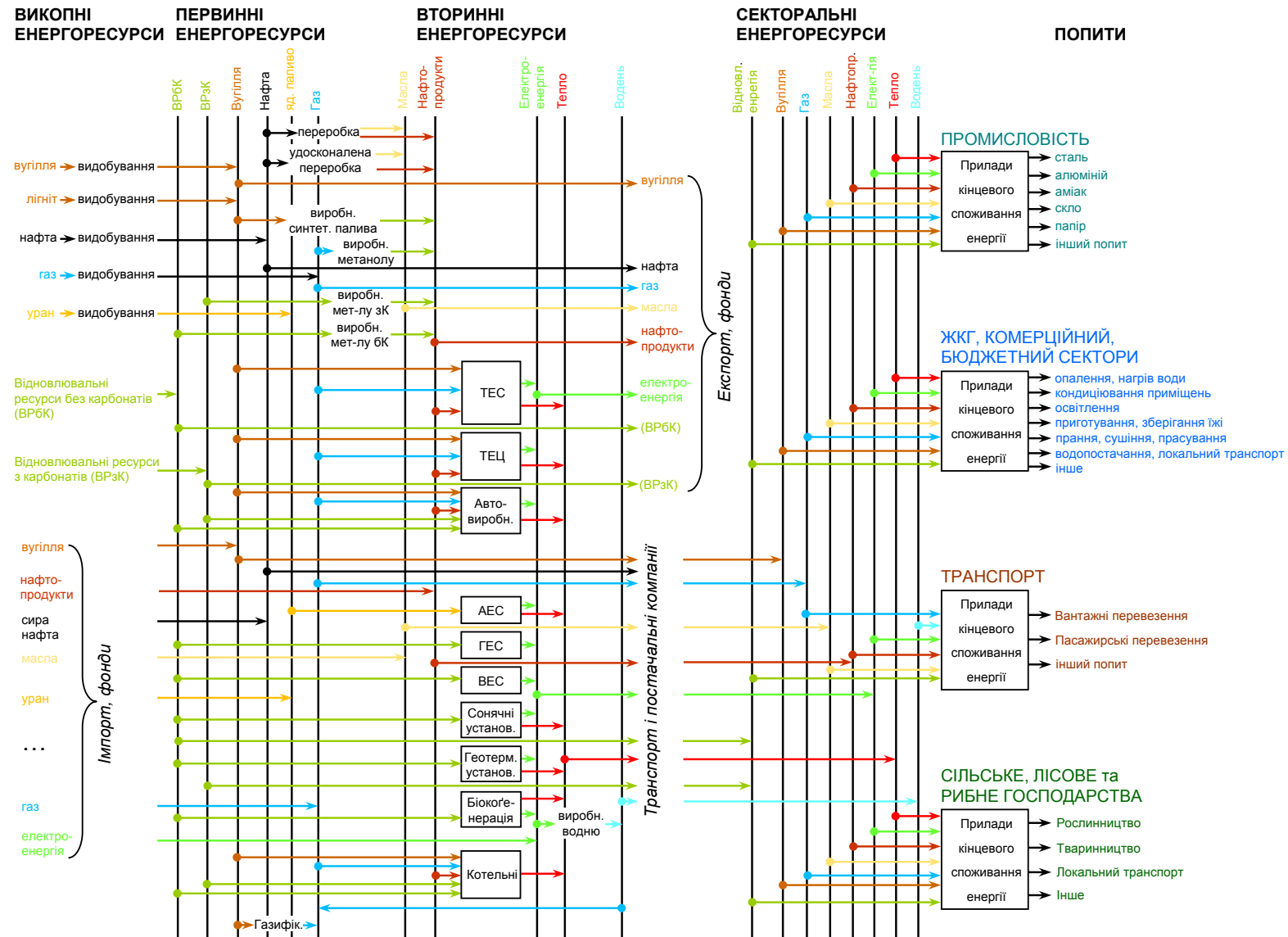


Рисунок 7. Енергетична система України в моделі TIMES-Україна

Моделі енергетичних систем, такі як TIMES-Україна, зазвичай застосовуються для довгострокового аналізу шляхів розвитку енергетичної системи. Змінивши припущення щодо рівня енерговитрат, технологій, цін або інших екзогенних змінних, можна проаналізувати відповідні сценарії. На першому етапі розробляються сценарії без заходів (базовий сценарій). На наступному етапі сценарії розробляються шляхом запровадження додаткових обмежень або цілей щодо енергетичної системи для оцінки впливу різних політик. Результатом моделювання є оцінка найменших витрат для всієї енергосистеми за заданих умов і обмежень.

Модель TIMES-Україна задовольняє методичним рекомендаціям міжнародних організацій щодо розробки енергетичних та екологічних прогнозів. Зокрема, рекомендаціям Секретаріату Рамкової конвенції ООН про зміну клімату щодо розробки національних повідомлень [11].

Моделі типу TIMES-Ukraine використовують для наступних завдань :

- Оцінка оптимальної технологічної структури енергосистеми за критерієм мінімізації загальної дисконтованої вартості системи [12–15]
- аналіз структури енергетичних, матеріальних і фінансових потоків у системі з урахуванням торгівлі ресурсами [16–18]
- оцінка потенціалу енергозбереження, відновлюваних джерел енергії, нових видів енергії та палива та визначення пріоритетності інвестицій на основі оптимізації витрат [19–22]
- прогнозування динаміки викидів парникових газів [23–25]
- виявлення можливих загроз енергозабезпеченню країни та визначення заходів щодо їх запобігання [26–28]
- оцінка впливу енергетичної, економічної, екологічної, кліматичної, промислової, сільськогосподарської, транспортної, інноваційної та іншої політики на розвиток енергетики [29]
- дослідження переваг та ризиків інтеграційних процесів та міжнародних зобов'язань в енергетичній, екологічній, кліматичній та інших сферах [30]

Вдосконалення моделі TIMES-Україна

У рамках проекту модель TIMES-Україна була удосконалена завдяки спільним зусиллям експертів ДУ «Інституту економіки та прогнозування НАН України» та Данського технічного університету.

Огляд і перевірка бази даних і структури моделі

Модель TIMES-Україна багато в чому опирається на національні статистичні класифікатори [31], які узгоджуються з NACE [32], CPA [33] і CN [34], які були істотно оновлені після останнього калібрування моделі за 2012 р. Включення до моделі даних за 2013-2015 рр., які базуються на нових редакціях статистичних класифікаторів у більшості випадків вимагало перегляду алгоритму обробки

первинних даних про енергоресурси, матеріали та господарську діяльність, приведення його у відповідність до топології моделі, а також до методологічного підходу Євростату щодо енергетичної статистики [35]. Крім того, у порівнянні з версією 2012 р. були змінені первинні статистичні форми Державної служби статистики України з виробництва та використання енергії [36]: розширено охоплення енергоресурсів за видами, в той же час специфікація енергетичних потоків, як наприклад споживання енергії за видами палива для виробництва товарів і послуг, була скорочена.

Крім того, деякі оновлення у форматі статистичної звітності також вимагали перегляду структури моделі, наприклад, включення нових енергетичних продуктів і процесів (технологій) з відповідним коригуванням параметрів існуючих технологій. Це головним чином стосувалося виробництва / споживання тепла, твердого та рідкого біопалива. На даний момент первинна статистична форма 11-мтп надає детальну інформацію про виробництво електроенергії та тепла за типом генерації для кожного сектору, а також галузеве використання електроенергії і тепла, розділене за джерелом постачання. Оскільки системи тепlopостачання не інтегровані, а частка автовиробництва тепла продовжує зростати, експерти з моделювання вирішили за доцільне відкоригувати топологію тепlopостачання в моделі.

Статистичні дані про різні типи біомаси (біопалива), доступні з 2013 р., свідчать про їхнє споживання в різних секторах економіки. З цієї причини було запропоновано включити до моделі біодизель додатково до існуючого в моделі диметилетеру (обидва відповідають коду 5547 Євростату) з відповідним переглядом параметрів відповідних технологій виробництва та галузевого палива.

Енергетичні попити та драйвери

Розроблено та впроваджено новий довгостроковий макроекономічний прогноз в моделі TIMES-Україна з оновленим набором макроекономічних драйверів. Згідно з цим новим базовим сценарієм, переважатиме відновлення української економіки, що забезпечить зростання виробництва, головним чином у харчовій, текстильній та фармацевтичній промисловості. Розвиток інформаційних технологій прискорить зростання виробництва комп'ютерної та електронної техніки. Необхідність модернізації та відновлення інфраструктури прискорить темпи зростання будівництва. У зв'язку з повільним зростанням валового нагромадження основного капіталу та низькими інвестиціями та інноваційною діяльністю, оновлення виробничої бази та оптимізація структури економіки будуть низькими. Основними факторами розвитку будуть сільське господарство, харчова та фармацевтична промисловість, а техніка та послуги (насамперед, інформаційні технології, дослідження, освіта та охорона здоров'я) прискорять свій розвиток до кінця наступного десятиліття. Темпи зростання за секторами узагальнено у Таблиця 5.

Список енергетичних попитів, відповідних драйверів і функціональних зв'язків між ними детально обговорювались командою проекту, були запропоновані нові підходи до визначення енергетичних попитів і драйверів в транспортному секторі та для потреб опалення. Проте, через брак часу та доступної/достовірної інформації, такої як, наприклад, оцінка бюджету часу пасажирів або розбивка житлових будинків за енергоефективністю, ці пропозиції не були реалізовані.

Удосконалене представлення технологій акумулювання

Технології акумулювання електроенергії були представлені в моделі TIMES-Україна, хоча й у спрощеному вигляді. Існувала єдина акумулююча технологія для всіх технологій типу "PV Plant Size" (промислові CEC) та інша для всіх технологій "Wind Onshore" (наземні BEC). В ході проекту було додано більше акумулюючих технологій: три технології для енергетичного сектору (високої, середньої та низької напруги) та чотири технології для секторів кінцевого використання (промисловість, житловий сектор, комерційний сектор та сільське господарство). Інвестиційні витрати на акумулюючі технології наведені в Таблиця 9, а технічні характеристики – в Таблиця 2.

Таблиця 2. Характеристика технологій зберігання електроенергії (акумуляторів)

Початок експлуатації	Ефективність	КВВП	Період експлуатації
2020	92%	33%	10 років

Впровадження прос'юмерів

У модель включені прос'юмери в галузях кінцевого використання (промисловість, житловий сектор, комерційний сектор, сільське господарство). У моделі TIMES-Україна прос'юмери електроенергії є споживачами, які здатні виробляти більше електроенергії, ніж споживають (наприклад, через встановлення на даху сонячних панелей) і подавати надлишкову електроенергію в мережу. В основному, цей тип споживачів використовує дві технології: дахові сонячні панелі та акумуляторні технології. Інвестиційні витрати на сонячні панелі наведено у Таблиця 9, в той час як їх технічні характеристики описано у Таблиця 3.

Таблиця 3. Характеристика дахових сонячних панелей

Вхід	Вихід	Мінімальна частка	Ефективність	КВВП	Період експлуатації
Сонячна енергія	Електроенергія відпущена в мережу	60%	92%	13%	20 років
	Власноспожита електроенергія	10%			

Терміни та витрати на будівництво та виведення з експлуатації

У проєкті були розширені характеристики технологій, представлених в моделі TIMES-Україна для енергетичного сектору, шляхом додавання нового параметру, що дозволяє визначати терміни будівництва нових електростанцій (ILED). Крім того, оновлено витрати на виведення з експлуатації електростанцій. В Таблиця 4 наведено середній термін будівництва та витрати на виведення з експлуатації для кожної технології за типом палива .

Таблиця 4. Середній термін будівництва та вартість виведення з експлуатації електростанцій за типами палива

Електростанція	Період будівництва, років	Вартість виведення з експлуатації (% від капітальних витрат на будівництво)
Газ	2.0	2.0%
Нафтопродукти	2.0	2.0%
Вугілля	2.0	5.0%
Біомаса	2.0	1.5%
Вітрова енергія	1.5	1.0%
Сонячна енергія	1.0	1.0%
Геотермальна енергія	1.5	1.0%
Гідроенергія	3.0	3.0%
Атомні (існуючі)	2.0	0.0%
Атомні (нові)	7.0	10.0%

Вхідні дані та ключові припущення при моделюванні

База даних моделі TIMES-Україна включає наступні дані:

- статистичні спостереження Державної служби статистики України;
- дані Міністерства енергетики та вугільної промисловості; Міністерства економіки, Міністерства охорони навколишнього середовища, Міністерства внутрішніх справ, Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства, Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження, енергогенеруючих компанії та компаній постачальників і т.д.;
- дані з MEA (зокрема ETP, E-TechDS), DIW Berlin, IAEA, OECD, DEA та інших (використовуються для визначення перспективних енергетичних технологій та їх технічних та економічних характеристик);

- дані від галузевих асоціацій (Біоенергетична асоціація України, Українська вітроенергетична асоціація, Українська асоціація відновлюваних джерел енергії та інші) та компаній (Енергоатом, Укренерго, ДТЕК, Нафтогаз та ін.);
- структуру попиту в секторах кінцевого використання (що відповідає структурі моделей інших європейських країн);
- довгострокові показники макроекономічного розвитку, що базуються на даних ІЕП НАНУ, міжнародних фінансових, рейтингових агентств та інших організацій (МВФ, Світового банку, Standard & Poor's тощо), а також дані Міністерства економічного розвитку і торгівлі;
- прогноз цін на основні енергетичні ресурси (на основі даних Світового банку);
- прогнози демографічної ситуації в Україні (за даними Інституту демографії та соціальних досліджень Національної академії наук України та Департаменту економічних і соціальних питань ООН);
- коефіцієнти викидів ПГ (на основі даних Національних кадастрів про антропогенні викиди з джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні);
- Макроекономічний сценарій наведено у Таблиця 5.

Таблиця 5. Середньорічні темпи зростання ВВП України за період 2018-2050

Сектор	2018-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
Сільське, лісове і ринне господарство	3.1%	3.8%	4.4%	4.0%	4.5%	4.5%	4.5%
Добувна промисловість	2.2%	2.0%	2.7%	2.2%	2.0%	2.0%	2.0%
Переробна промисловість	4.4%	4.0%	4.2%	3.9%	3.3%	3.3%	3.3%
Постачання електроенергії, газу, пари та к. повітря	3.7%	3.5%	4.5%	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%
Будівництво	5.0%	4.9%	5.3%	5.1%	5.1%	5.1%	5.1%
Сфера послуг	2.8%	3.5%	4.3%	3.9%	4.0%	4.0%	4.0%
ВВП	3.0%	3.4%	4.4%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%

Прогноз цін на основні енергоносії для України до 2050 року базується на прогнозах Світового банку до 2030 року [37] (див. Таблиця 6). Відповідний прогноз на 2035-2050 роки був одержаний шляхом екстраполяції.

Таблиця 6. Прогноз ціна на енергетичні ресурси в номінальних доларах США

Ресурс	Одиниця	Прогноз								
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2025	2030

Вугілля (Австралія)	дол. США / млн т	58.9	66.1	88.5	108	100	90.0	86.4	73.5	60.0
Сира нафта (в середньому)	дол. США / барель	50.8	42.8	52.8	72.0	74.0	69.0	69.1	69.5	70.0
Природний газ (Європа)	дол. США / млн бто	7.3	4.6	5.6	8.0	7.5	7.0	7.1	7.5	8.0

Демографічні прогнози на 2020-2050 рр. базуються на дослідженнях Інституту демографії та соціальних досліджень Національної академії наук України (ІДСД), які відповідають прогнозам Департаменту соціальних та економічних питань ООН (ДСЕП ООН) (Таблиця 7). Для цілей цього проекту було використано лише один демографічний сценарій (ІДСД - Сценарій ССС), який прогнозує середню народжуваність, середню тривалість життя та середню чисту міграцію в Україні.

Таблиця 8. Демографічні сценарії (мільйонів осіб)

Сценарії	2012	2015 ²	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
ІДСД - Сценарій ССС	45.3	42.7	44.4	43.6	42.8	41.8	40.8	39.9	38.9
ІДСД - Сценарій ВВВ			45.1	45.1	45.1	45.1	45.2	45.4	45.6
ІДСД - Сценарій ННН			43.4	41.6	39.7	37.8	35.8	33.9	32.0
ІДСД - Сталий сценарій			44.1	42.7	41.1	39.5	37.8	36.1	34.3
ІДСД - Сценарій ССН			44.3	43.3	42.1	40.8	39.5	38.3	37.1
ІДСД - Сценарій ВВВ			44.3	43.5	42.7	41.8	41.1	40.7	40.3
ІДСД - Сценарій НВН			44.2	43.2	42.1	41.0	39.8	38.5	37.0
Сценарій Департаменту ООН з соціальних та економічних питань			43.7	42.4	40.9	39.3	37.8	36.4	35.1

У Таблиця 9 наведено капітальні витрати (CAPEX) на будівництво електростанцій (ЕС) та накопичувачів електроенергії.

Таблиця 9. Прогнозні капітальні витрати на будівництво нових електростанцій (Євро/кВт)

Технологія	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Біомаса (деревина)	2800	2800	2600	2500	2400	2200	2000
Біомаса з відходів агропромислового комплексу та ін.	2900	2800	2700	2600	2500	2300	2100

² Без територій, тимчасово окупованих Російською Федерацією.

Технологія	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Біогаз	4400	4300	4200	4100	4000	3900	3800
Газ (комбінований цикл)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Газ (Газова турбіна)	600	600	600	600	600	600	600
Газ (Парова турбіна)	920	920	920	920	920	920	920
Газ (високоманевренні потужності)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Вугілля (спалювання в циркулюючому киплячому шарі)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Вугілля (інтегрований комбінований цикл газифікації)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Вугілля (спалювання на підкритичних параметрах)	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Спільне спалювання вугілля та біомаси	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
Вугілля (спалювання на надкритичних параметрах)	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050
Наземні вітрові електростанції	1500	1500	1440	1350	1300	1250	1250
Промислові сонячні електростанції з треком	900	825	750	670	600	550	500
Промислові сонячні електростанції без трека	700	675	650	580	520	475	440
Геотермальні електростанції	4362	4362	4362	4281	4119	3958	3877
Блок №3 на Хмельницькій АЕС	1581	1581	1581	1581	1581	1581	1581
Блок №4 на Хмельницькій АЕС	1510	1510	1510	1510	1510	1510	1510
Нові блоки атомних електростанцій	5328	5328	5328	5328	5328	5328	5328
Продовження терміну експлуатації на 10 років	135	135	135	135	135	135	135
Малі гідроелектростанції	2940	2926	2911	2882	2853	2824	2796
Великі гідроелектростанції	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Акумулюючі потужності	900	875	850	800	750	700	600

4. Сценарії та напрямки політики

Опис сценаріїв

У рамках цього проекту було розроблено чотири основних сценарії ("Бездієвий", "Базовий", "Національні стратегії", "Низьковуглецеве суспільство") та набір сценаріїв чутливості, розроблених як варіації базового сценарію. Матриця модельних сценаріїв показана у Таблиця 10.

Таблиця 10. Матриця сценаріїв

Основні умови сценаріїв		Бездієвий сценарій	Базовий сценарій	Сценарії чутливості	Сценарій стратегій	Сценарій скорочення викидів ПГ
Енергетична стратегія України	Суттєве зниження енергоемності		+	+	+	+
	Суттєве зростання частки ВДЕ в ЗППЕ та структурі електрогенерації		+	+	+	+
	47% АЕС в структурі електрогенерації в 2035 р.		+	+	+	+
	Введення блоку №3 на ХАЕС в 2025 році		+	+/-	+	+
	Європейські екологічні вимоги до ТЕС		+	+	+	+
	Наявні балансуєчі потужності		+	+/-		
Нові балансуєчі потужності				+/-	+	+
Якісна система прогнозування електрогенерації на СЕС та ВЕС				+/-	+	+
«Зелений» тариф до 2030 році відповідно до діючого законодавства		+	+	+	+	+
Помірні темпи розвитку ВДЕ (сценарій Укренерго)				+/-		
Цілі інших національних стратегій та планів					+	+
Скорочення викидів ПГ на 80% від рівня 1990 році						+

Бездієвий сценарій – не передбачає змін у енергетичній політиці після 2015 р. (тобто до прийняття ЕСУ2035). Цей сценарій був розроблений для порівняльних цілей.

Базовий сценарій – побудований з урахуванням основних цільових показників Енергетичної стратегії України до 2035 року: зниження енергоємності ВВП; зростання частки відновлюваних джерел енергії в ЗППЕ; збереження домінуючої ролі атомної енергетики в структура виробництва електроенергії, а також будівництво блоку № 3 Хмельницької АЕС (ХАЕС); реалізація європейських екологічних вимог з експлуатації великих спалювальних установок. Цілі та обмеження ЕСУ2035 продовжено на період 2036-2050 рр.

Сценарії чутливості – ґрунтуються на Базовому сценарії та відрізняються лише деякими обмеженнями або умовами. Зокрема, можливістю використання нових балансуючих потужностей, наявністю якісної системи прогнозування роботи сонячних та вітрових електростанцій, затримкою будівництва блоку № 3 ХАЕС, або відновлюваною енергетикою (відповідно до умов сценарію, представленого у Звіті про оцінку відповідності (адекватності) генеруючих потужностей (ДП "НЕК" "Укренерго"). Набір сценаріїв чутливості був визначений в процесі консультацій з Міністерством енергетики та вугільної промисловості. Матриця сценаріїв чутливості наведена у Таблиця 11.

Таблиця 11. Матриця сценаріїв чутливості

Умови	Назви сценаріїв чутливості				
	Без нового блоку АЕС в 2025	Помірний розвиток ВДЕ	"Зелено-вугільний" парадокс	Нові балансуєчі технології	Оптимізація балансування
Умови Базового сценарію	+	+	+	+	+
Високий потенціал для розвитку ВДЕ в Україні (до 20 ГВт ВЕС, до 12 ГВт дахових СЕС та до 36 ГВт промислових СЕС до 2050 р.)	+	–	+	+	+
Помірний потенціал для розвитку ВДЕ в Україні (Укренерго сценарій: до 7.2 ГВт ВЕС та до 10.4 ГВт СЕС до 2050 р.)	–	+	–	–	–
Введення в експлуатацію блоку №3 ХАЕС у 2025 р. (жорстка умова моделі)	–	+	+	+	+
Конкурентна доцільність введення в експлуатацію блоку №3 ХАЕС (модель обирає рік введення)	+	–	–	–	–
Використання всіх наявних доступних існуючих потужностей для балансування та маневрування	+	+	–	–	–
Використання тільки вугільних потужностей для балансування та маневрування	–	–	+	–	–
Впровадження нових технологій балансування та маневрування (літій-іонні батареї (акумулятори), гідроелектростанції, газові	–	–	–	+	+

Умови	Назви сценаріїв чутливості				
	Без нового блоку АЕС в 2025	Помірний розвиток ВДЕ	"Зелено-вугільний" парадокс	Нові балансуєчі технології	Оптимізація балансування
електростанції (зокрема, швидкоманеврені), за винятком існуючих вугільних електростанцій					
Відсутність якісної системи прогнозування електрогенерації на СЕС та ВЕС	+	+	+	+	–
Наявна якісна система прогнозування електрогенерації на СЕС та ВЕС	–	–	–	–	+

Сценарій Національні стратегії – включає в себе цілі з інших національних стратегій і програмних документів, наприклад, Стратегії низьковуглецевого розвитку в Україні до 2050 року, Національної транспортної стратегії до 2030 р., Концепції державної політики в галузі теплопостачання та інших.

Сценарій Низьковуглецеве суспільство – націлений на скорочення викидів парникових газів на 80% у 2050 році відповідно до рівня 1990 року. Цей сценарій є більш прийнятним з точки зору політики пом'якшення клімату, прийнятої в ЄС.

Енергетичні та кліматичні політики

Енергетичні та кліматичні політики, використані у сценаріях, базуються на Стратегії низьковуглецевого розвитку в Україні до 2050 року [38], яка враховує ЕСУ2035 та надає перелік політик та заходів, які обговорювалися в численних робочих групах та включали широкий спектр зацікавлених сторін, включаючи Міністерство енергетики та вугільної промисловості. Нижче наведено політики та заходи, які були враховані при моделюванні.

Енергоефективність

Політика енергоефективності (ЕЕ) включає заходи, спрямовані на підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів та впровадження енергозбереження, що супроводжується підвищенням якості надання енергетичних послуг. Для досягнення цілей ЕСУ2035 представлені наступні заходи:

- теплоізоляція будівель;
- впровадження когенерації на нових та існуючих електростанціях;
- підвищення ефективності використання викопних видів палива при виробництві тепла (тобто шляхом реконструкції та заміни технологій);
- передові технології енергоефективності в промисловості;
- нові технології сільського господарства для зменшення споживання викопного палива;
- зниження частки використання вуглецеємних енергоресурсів (шляхом заміни технологій).

Відновлювана енергетика

Політика щодо відновлюваної енергетики включає заходи, спрямовані на підтримку та стимулювання розвитку ВДЕ в Україні. Значна інтенсифікація ВДЕ стане дуже корисною для заходів ЕЕ, які спрямовані на декарбонізацію енергетичного сектору. Для того, щоб відповідати цілям ЕСУ2035 щодо частки ВДЕ в ЗППЕ та виробництві електроенергії, наступні заходи були оцінені та включені до моделі:

- вітрові, сонячні, гідро-, геотермальні, та біо- електростанції;
- виробництво тепла з біомаси та біогазу;
- збільшення сталого виробництва біомаси з метою енергозабезпечення;
- виробництво електроенергії та тепла з комунальних та промислових відходів;
- виробництво рідкого та газоподібного біопалива з сільськогосподарських та лісових матеріалів;
- виробництво рідкого та газоподібного біопалива з комунальних відходів;
- виробництво біогазу з гною та інших побічних продуктів;
- виробництво енергії з біогазу, що надходить з полігонів ТПВ.

Модернізація та інновація

Модернізаційна та інноваційна політики включають заходи, спрямовані на модернізацію існуючих енергетичних технологій та впровадження інноваційних технологій, зокрема:

- модернізація (дооснащення) існуючих електростанцій;
- виведення з експлуатації неефективних технологій;
- продовження терміну експлуатації існуючих АЕС;
- використання транспортних засобів, які використовують додаткові типи моторних палив (наприклад, додавання можливості використання зрідженого газу до існуючого бензинового транспортного засобу);
- розширення мережі швидкісних поїздів;
- впровадження технологій накопичення (зберігання) енергії;
- водневі технології на транспорті.

Трансформація ринку та інститутів

Політика ринкових та інституційних трансформацій включає в себе заходи, регуляторні та управлінські практики, міжнародні стандарти та кодекси, заходи щодо інформування громадськості, політику в галузі освіти, науки та розвитку технологій. У дослідження було включено наступні заходи:

- встановлення амбітних цілей щодо скорочення викидів парникових газів до 2050 року;
- забезпечення доступу споживачів до постачальників енергії.

5. Результати моделювання

Детальні результати моделювання

Сценарій Бездієвий

У цьому сценарії результати моделювання показують :

- Загальне постачання первинної енергії (ЗППЕ) не буде перевищувати рівень 2012 р. протягом прогнозованого періоду, навіть за умов повного відновлення докризового рівня економіки.
- Хоч і повільно, але частка ВДЕ збільшиться навіть без посилення відповідних політик щодо енергозбереження, розвитку ВДЕ та запровадження екологічних обмежень.
- вугільна промисловість може мати високі темпи зростання за умови відновлення роботи існуючих шахт у Донецькій та Луганській областях, а також будівництва нових шахт.

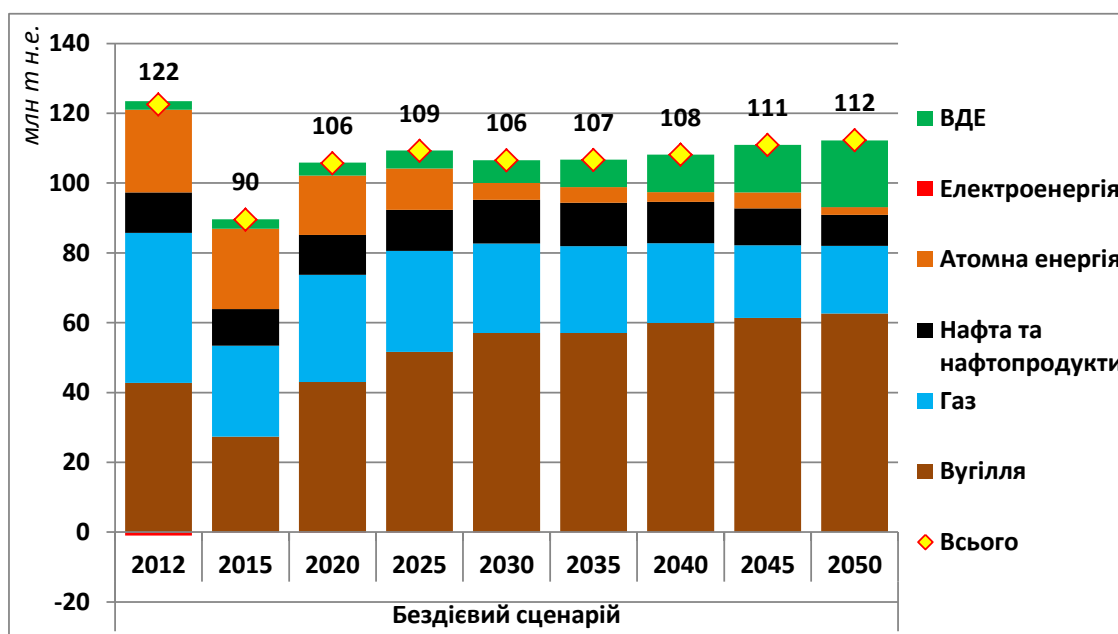


Рисунок 8. Загальне постачання первинної енергії за Бездієвим сценарієм

- У кінцевому споживанні енергії частка ВДЕ збільшиться до 3% у 2035 р. та 15,1% у 2050 р. за рахунок біомаси та сонячної енергетики.
- Без спеціальної політики стимулювання розвитку ВДЕ (особливо у побутовому секторі) частка ВДЕ у кінцевому споживанні становитиме 3% у 2035 р. та близько 15% у 2050 р.
- Частка ВДЕ у виробництві електроенергії у майбутньому зростатиме до 18%, 24% і 28% у 2012, 2035 і 2050 роках відповідно.

- Значно зменшиться частка газу та централізованого теплопостачання.

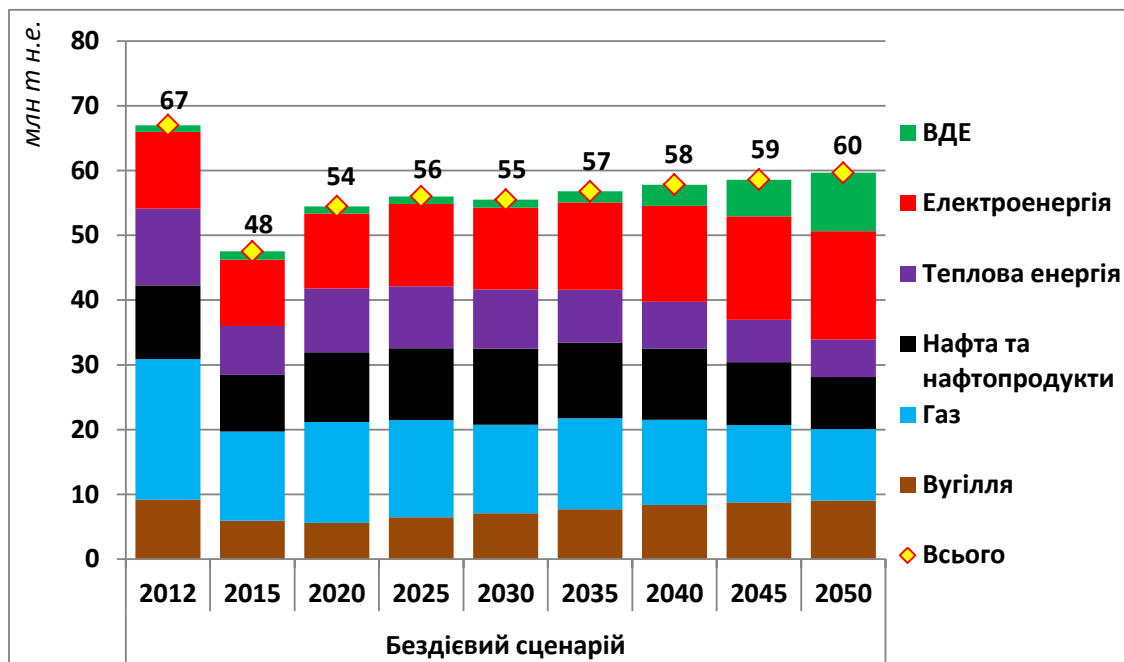


Рисунок 9. Кінцеве споживання енергоресурсів за Бездієвим сценарієм

- У виробництві електроенергії частка теплових електростанцій на вугіллі перевищить 50% у 2035-2050 рр.
- Частка ВДЕ може збільшитися до 23% у 2035 р. та майже 30% у 2050 р.

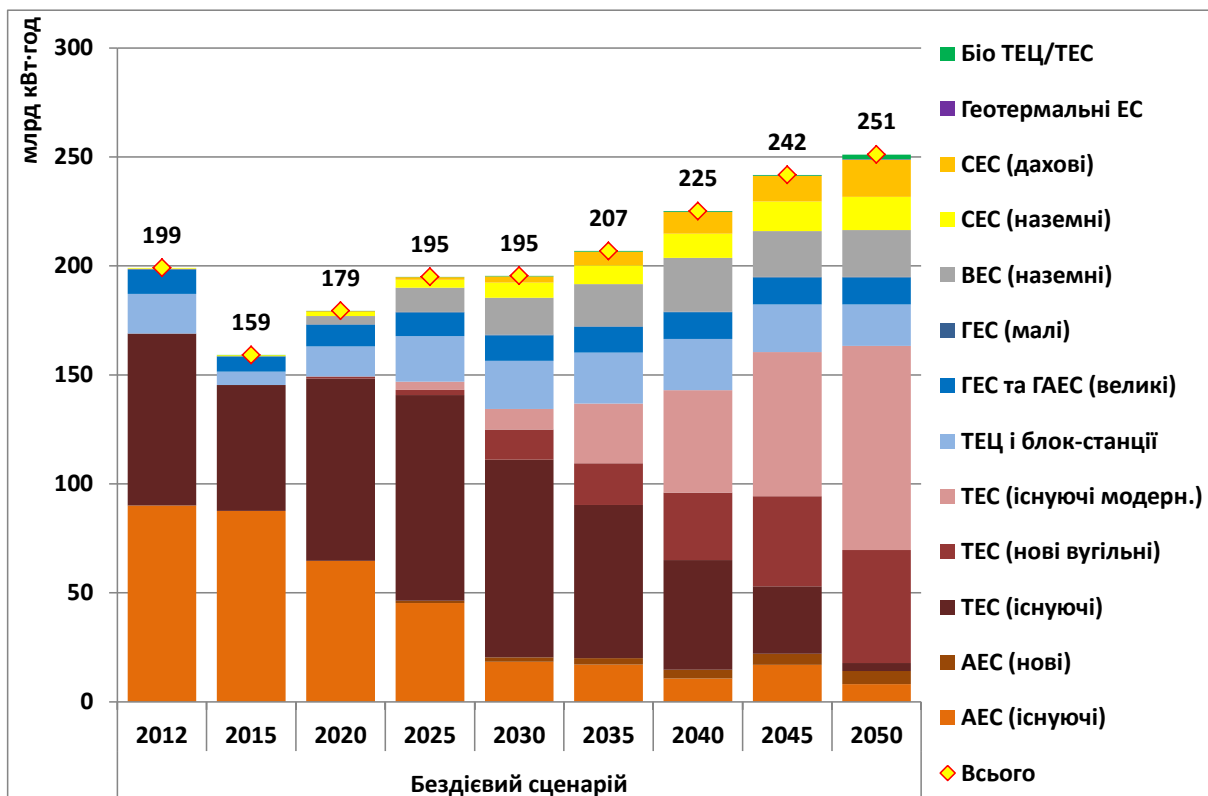


Рисунок 10. Виробництво електроенергії за Бездієвим сценарієм

- Викиди парникових газів в електроенергетиці та промисловому секторі зростатимуть через збільшення споживання вугілля. Особливо високе зростання спостерігатиметься в секторі виробництва електроенергії і тепла – його частка у загальній структурі викидів ПГ зростає з 30% у 2012 році до 35% та 40% у 2035 та 2040 роках відповідно.
- Одночасно, частка викидів ПГ в житловому секторі зменшиться з 10% до 7% і 4% у 2035 і 2050 роках відповідно.

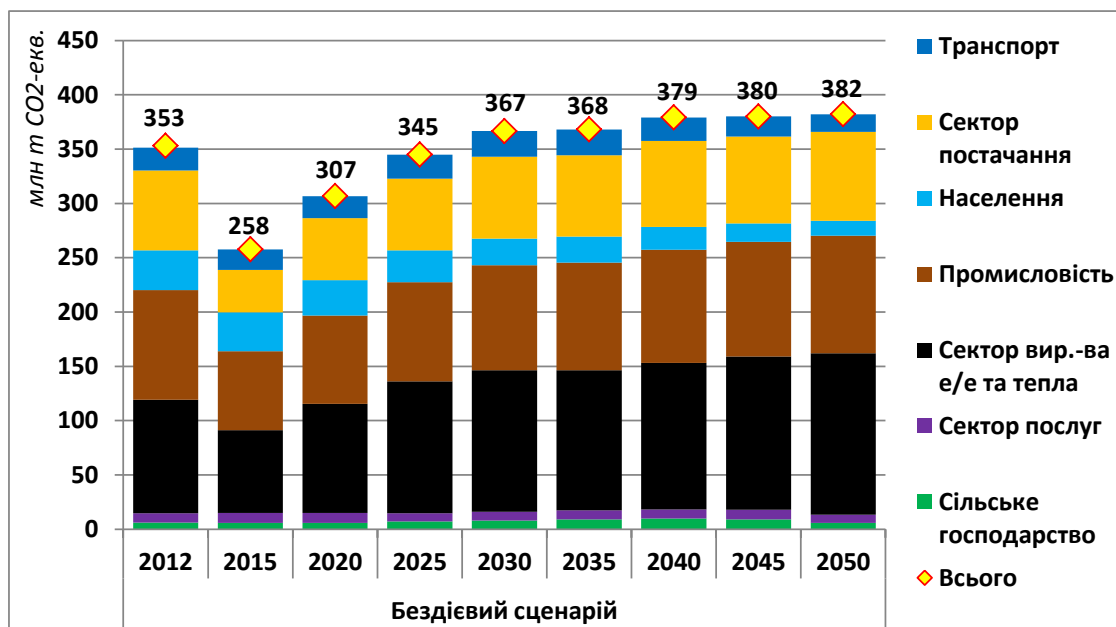


Рисунок 11. Викиди парникових газів³ за Бездієвим сценарієм

Базовий сценарій

- У Базовому сценарії (на основі ЕСУ2035) ЗППЕ залишатиметься на рівні 2015 року протягом усього періоду прогнозування за умови, що відбудеться економічне зростання та відновлення суверенітету.
- Частка ВДЕ в ЗППЕ буде відповідати цілям ЕСУ2035 до 2035 року, а до 2050 року ВДЕ становитимуть приблизно третину ЗППЕ.
- Частка вугілля може впасти до 15% до 2035 року. Однак вона може знову досягти рівня 2015 року через виведення з експлуатації атомних електростанцій.

³ Тут і далі (якщо не зазначено іншого) під викидами парникових газів розуміються викиди парникових газів в секторах "Енергетика" та "Промислові процеси" в розумінні Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату

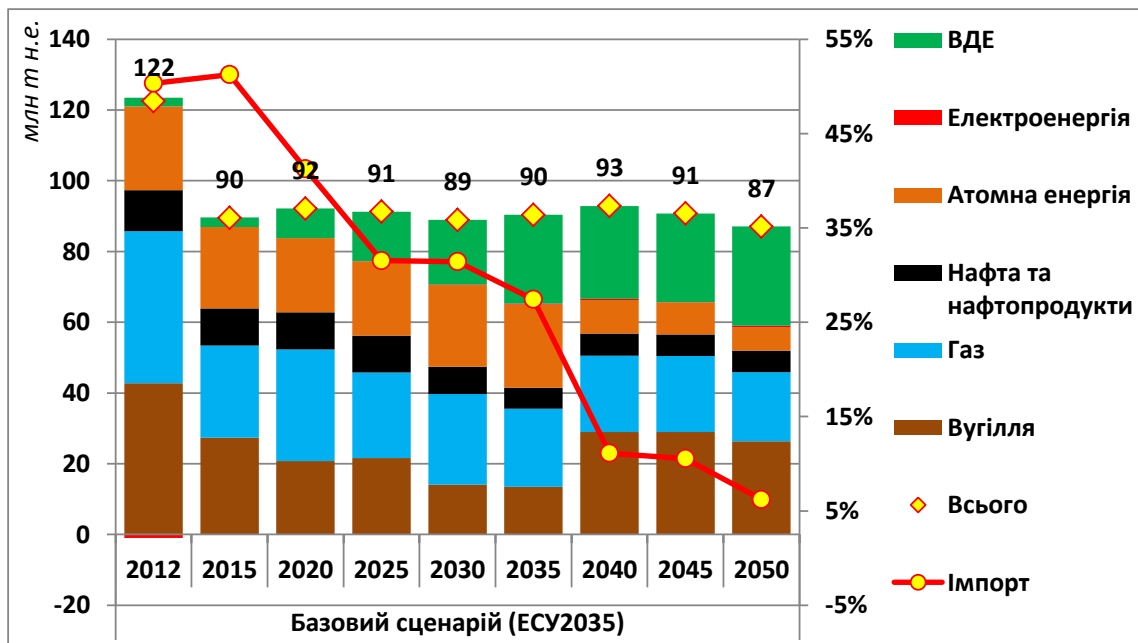


Рисунок 12. Загальне постачання первинної енергії за Базовим сценарієм

- Модельна оцінка ЗППЕ за Базовим сценарієм є подібною до даних, наведених у Додатку до ЕСУ2035, оскільки в обох варіантах передбачається однакова енергоемність ВВП.
- Структура ЗППЕ дещо відрізняється. За Базовим сценарієм очікується вищий попит на вугілля, натомість в ЕСУ2035 передбачається більше використання атомної енергії та ВДЕ.
- Проте, в обох випадках забезпечується досягнення цілей ЕСУ2035 щодо частки ВДЕ, енергоемності ВВП та частки імпорту в ЗППЕ.

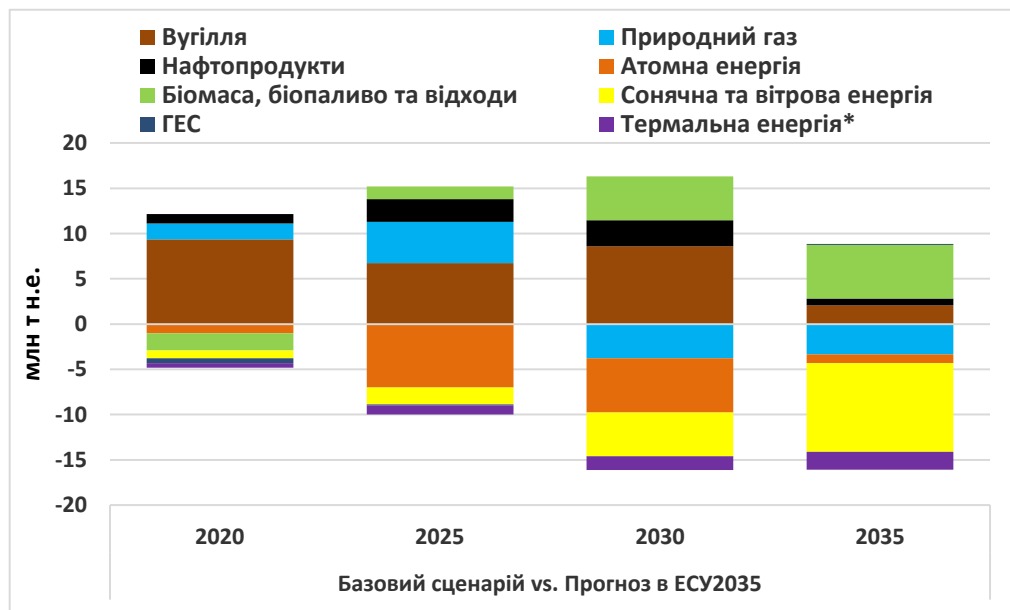


Рисунок 13. Різниця між загальним постачанням первинної енергії за Базовим сценарієм та прогнозом в Енергетичній стратегії України на період до 2035 року

- Кінцеве споживання енергії стабілізується на рівні 55-56 млн тне до 2020 р. внаслідок впровадження енергозберігаючих заходів.
- Частка ВДЕ в кінцевому споживанні досягне 20% у 2035 році, хоча за умови припинення державної підтримки частка ВДЕ може знову знизитися до 2050 р.
- Частка газу в кінцевому споживанні скоротиться з 32% у 2012 році до 18% у 2035 році, натомість частка електроенергії зросте з 18% у 2012 році до 24% і 30% у 2035 та 2050 роках.

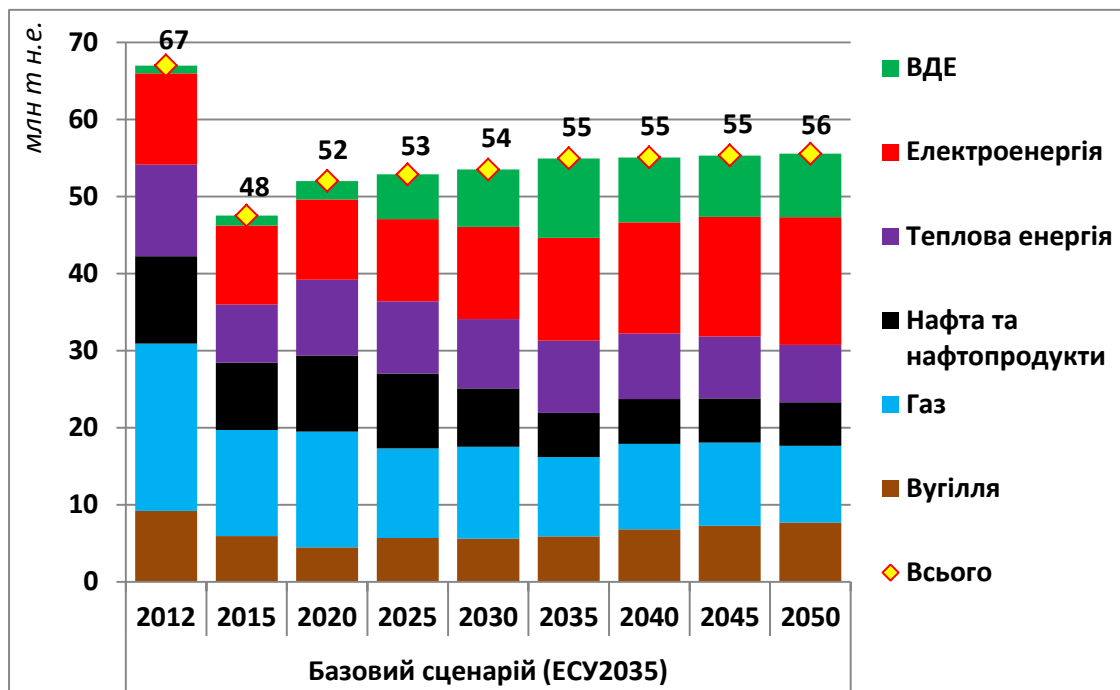


Рисунок 14. Кінцеве споживання енергоресурсів за Базовим сценарієм

- Частка ВДЕ у виробництві електроенергії в Базовому сценарії збільшиться до 39%, тобто може значно перевищити передбачену в ЕСУ2035 ціль у 25%. До 2050 року частка ВДЕ у виробництві електроенергії може перевищити 60%.
- Атомна енергетика збереже свою домінуючу роль в рамках цілей ЄСУ2035, однак нові атомні блоки виявляються менш економічно конкурентоспроможними внаслідок удосконалення та здешевлення технологій інших типів генерації.

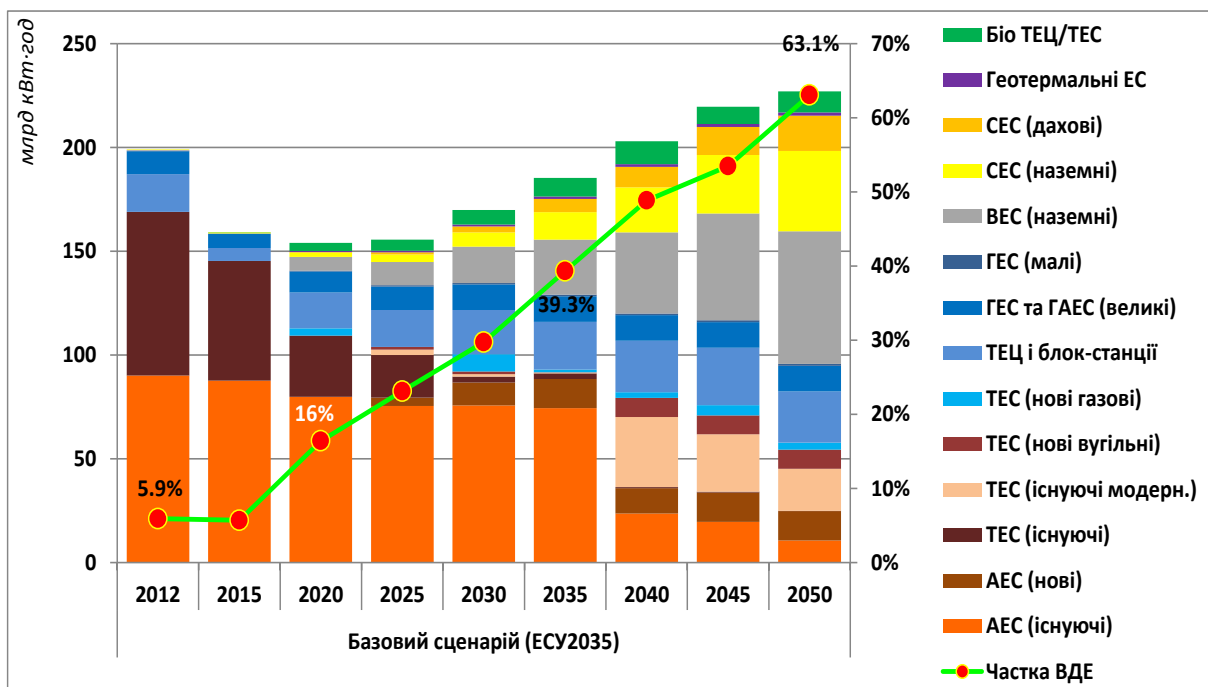


Рисунок 15. Виробництво електроенергії за Базовим сценарієм

- Впровадження ЕСУ2035 дозволить значно скоротити викиди ПГ в енергетиці та промисловості. Однак, якщо екологічні обмеження не будуть продовжені, викиди ПГ можуть знову зрости після 2035 року внаслідок вибуття атомних електростанцій та збільшення виробництва електроенергії на вугільних теплових електростанціях.
- Незважаючи на це, найбільша частка в структурі викидів парникових газів залишиться у промисловості, через відсутність заходів з декарбонізації, що не передбачені за Базовим сценарієм.

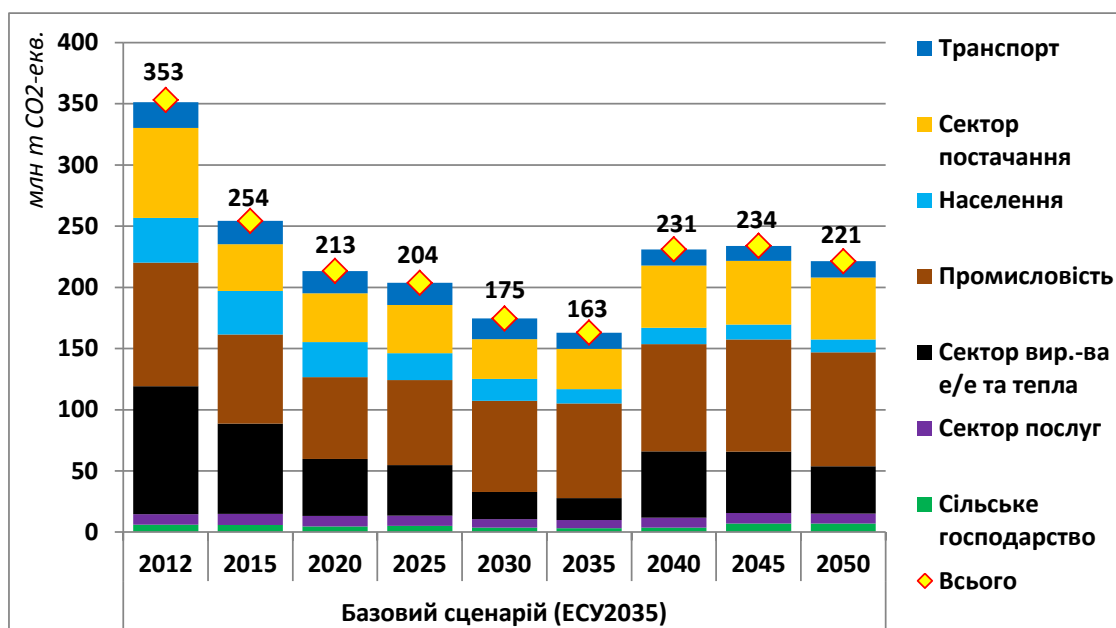


Рисунок 16. Викиди парникових газів за Базовим сценарієм

- Реалізація ЕСУ2035 дозволить скоротити вуглецеємність ВВП у 3,4 рази у 2035 році та в 3,6 рази у 2050 році порівняно з 2015 роком.
- Порівняно з 2015 р. Енергоємність ВВП зменшиться у 2,2 рази, а в 2035 – у 3,2 рази.

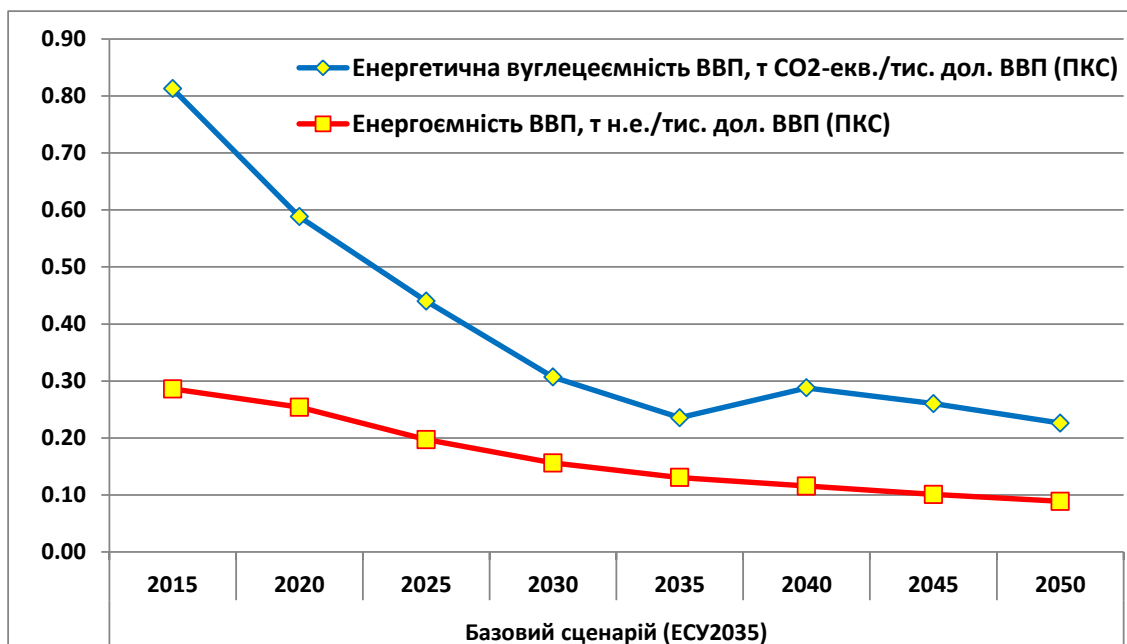


Рисунок 17. Вуглецеємність та енергоємність ВВП України за Базовим сценарієм

- Для досягнення цілей ЕСУ2035 необхідно істотно збільшити капітальні та операційні витрати; однак дві третини витрат пов'язані з технологічним оновленням в секторах кінцевого споживання. Із загального обсягу витрат на сектор виробництва і постачання електроенергії і тепла припадає лише 15%.
- У порівнянні з Бездієвим сценарієм, щорічні загальні витрати зростуть в середньому на 20% (або близько 10 млрд. євро) до 2035 року і на 9% (або близько 7 млрд. євро) після 2035 року.
- Зростання загальних витрат відбудеться переважно через зростання капітальних інвестицій та операційних витрат, водночас витрати на паливо будуть нижчими на 1-2 млрд Євро на рік у порівнянні з Бездієвим сценарієм.

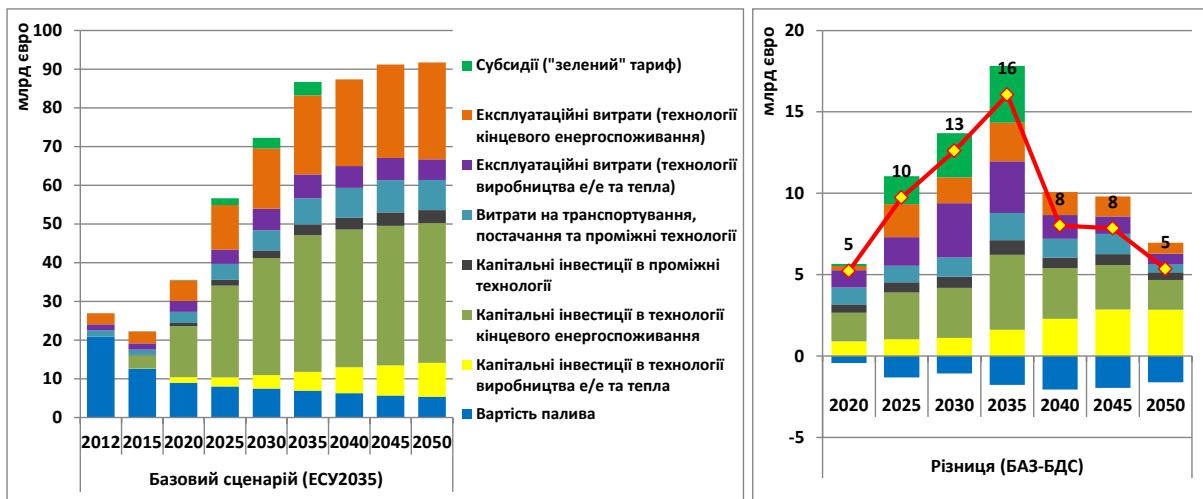


Рисунок 18. Загальна вартість функціонування енергосистеми за Базовим сценарієм (ЕСУ2035) та різниця у порівнянні з Бездієвим сценарієм

Сценарій чутливості: Низькі темпи зростання ВДЕ

- У звіті про оцінку відповідності (достатності) генеруючих потужностей (ДП "Укренерго") [3] розглядаються сценарії з помірними темпами розвитку ВДЕ генерації, згідно з якими до 2050 року може бути збудовано не більше 7,2 ГВт вітрових і 10,4 ГВт та сонячних електростанцій.
- Якщо такі умови будуть застосовані до Базового сценарію, частка ВДЕ у виробництві електроенергії збільшиться максимум до 41% у 2050 році, тоді як у 2035 році вона становитиме близько 31%, що також вище, ніж передбачено у ЕСУ2035.

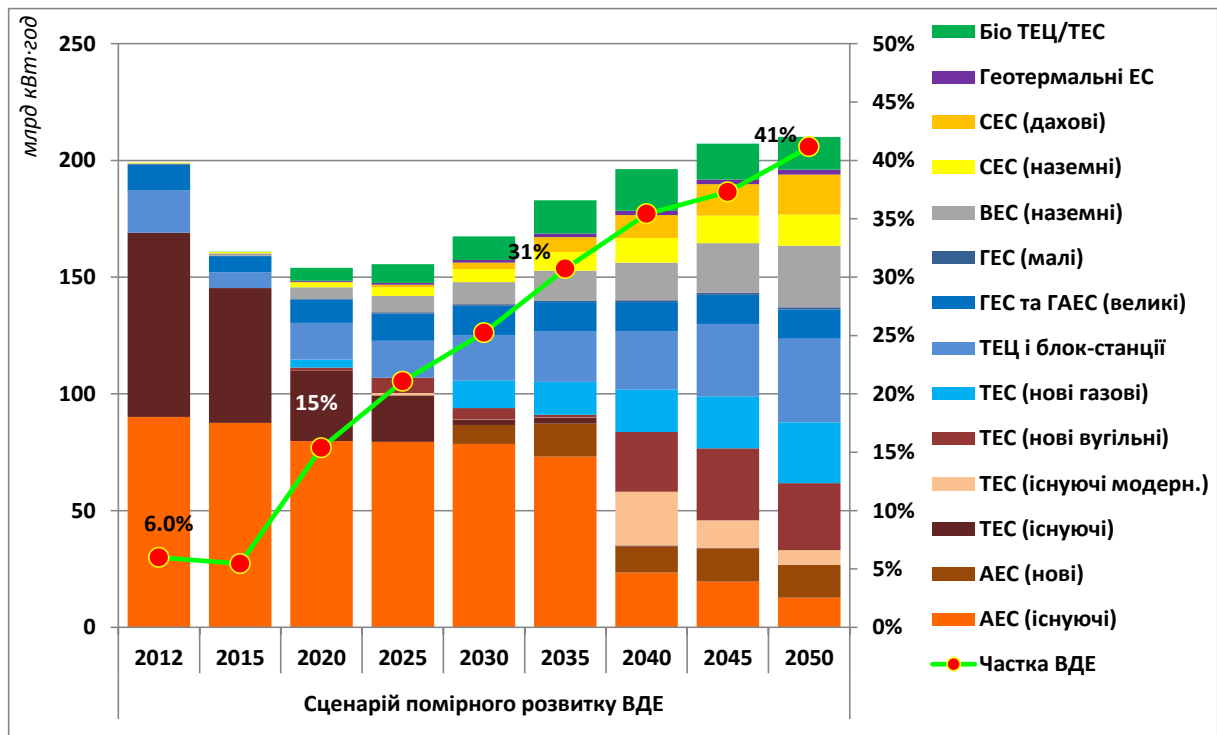


Рисунок 19. Виробництво електроенергії за Сценарієм помірного розвитку ВДЕ

- В сценарії Низьких темпів зростання ВДЕ попит на електроенергію може знизитися після 2035 року порівняно з Базовим сценарієм через зростання цін на електроенергію.
- Виробництво електроенергії з відновлюваних джерел буде замінене насамперед вугільною і газовою генерацією, а також ТЕЦ на біомасі.
- Наслідком цього може стати збільшення щорічних загальних витрат на 1,7% або близько 12 млрд Євро.

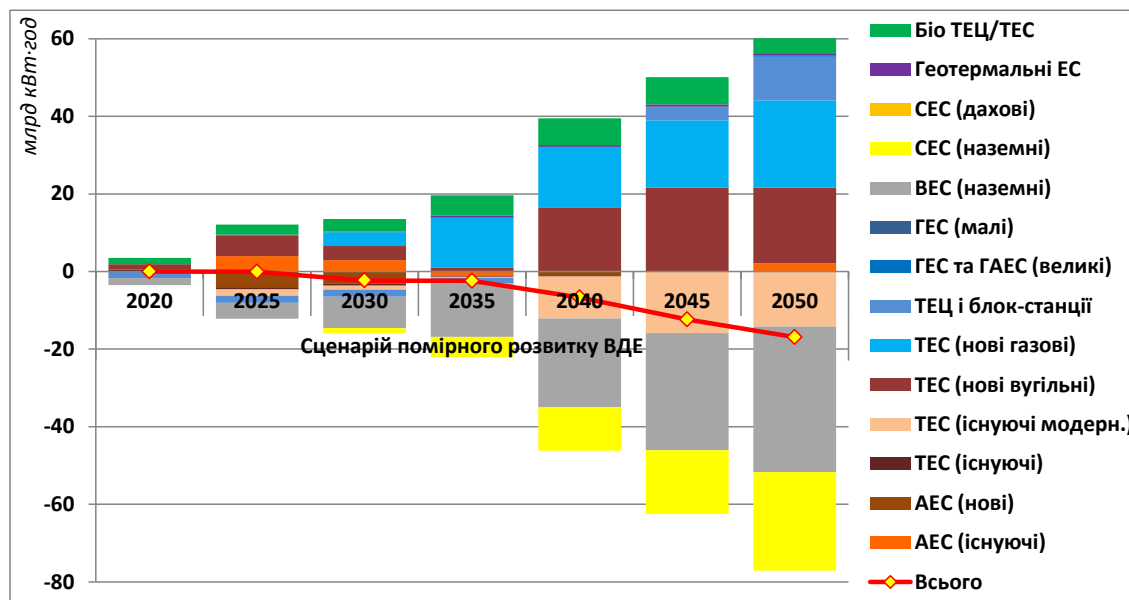


Рисунок 20. Різниця у виробництві електроенергії між Сценарієм помірнього розвитку ВДЕ та Базовим сценарієм

Сценарій чутливості: Без нових атомних потужностей

- Результати моделювання показують, що внаслідок значного зниження енергоємності та збільшення обсягів ВДЕ (відповідно до ЕСУ2035), існуючі енергоблоки АЕС не будуть використовуватись на 100%, а отже, будівництво нового блоку (№3) на Хмельницькій АЕС в 2025 році видається недоцільним, адже попит на електроенергію буде повністю задоволено.
- Будівництво ХАЕС №3 може стати економічно доцільним до 2030-2035 рр. Це дозволить скоротити необхідні інвестиції приблизно на 270 млн Євро завдяки оптимізації введення в експлуатацію енергогенеруючих об'єктів.
- У цьому сценарії виробництво електроенергії відрізняється від Базового сценарію лише в контексті атомних електростанцій.

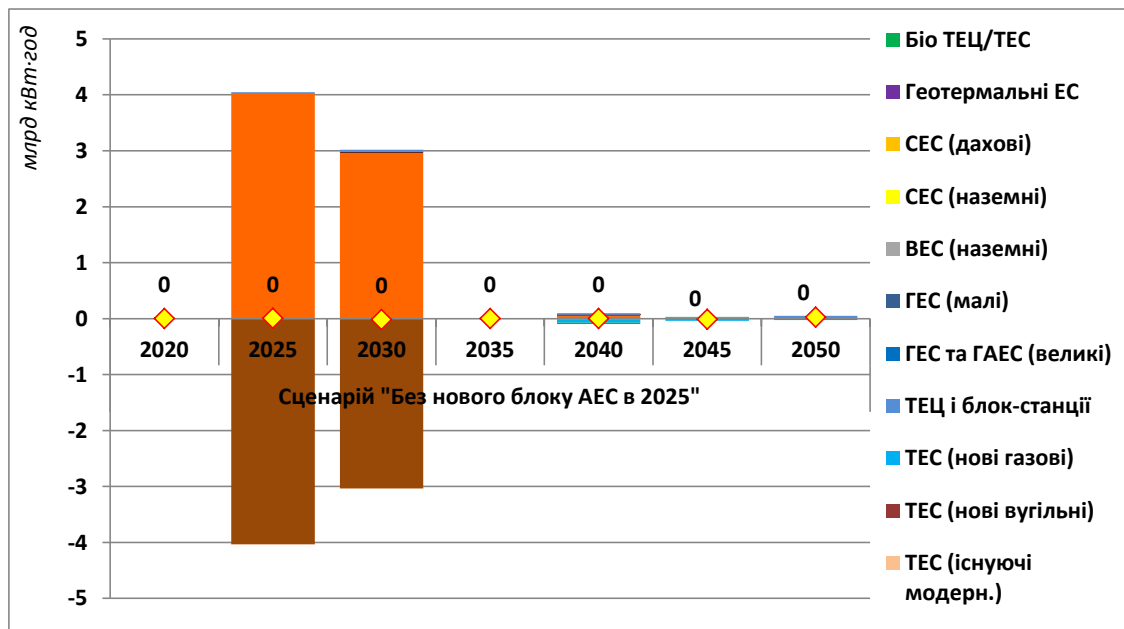


Рисунок 21. Різниця у виробництві електроенергії між Сценарієм "Без нового блоку АЕС в 2025" та Базовим сценарієм

Сценарії чутливості: Нові технології балансування та Зелено-вугільний парадокс

- На сьогодні балансування ВДЕ, які працюють переривчасто, відбувається за рахунок експлуатації вугільних електростанцій
- Впровадження нових технологій балансування та маневрування дозволить знизити витрати на виробництво електроенергії, досягнувши необхідних цілей щодо ВДЕ, а також зменшити інвестиційні витрати на 13 млрд Євро на період 2020-2050 рр.

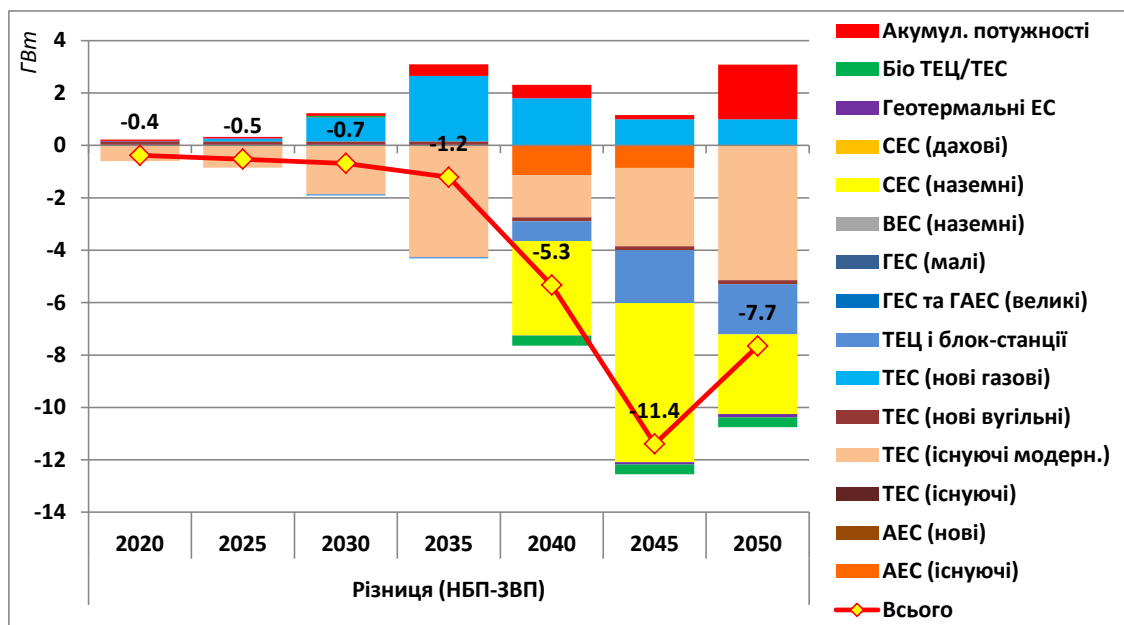


Рисунок 22. Різниця між встановленою потужністю електростанцій за сценарієм "Нові балансуєчі технології" (НБП) та сценарієм "Зелено-вугільного" парадоксу (ЗВП)

Сценарій чутливості: Оптимізація балансування

- У порівнянні зі сценарієм Зелено-вугільного парадоксу, використання сучасних систем прогнозування та технологій балансування дозволить:
- Збільшити виробництво електроенергії з відновлюваних джерел енергії;
- Скоротити інвестиційні витрати на 11,5 млрд Євро (за період 2020-2050 рр.) внаслідок зменшення потреб у будівництві нових генеруючих потужностей;
- знизити загальну вартість системи на 0,5%.

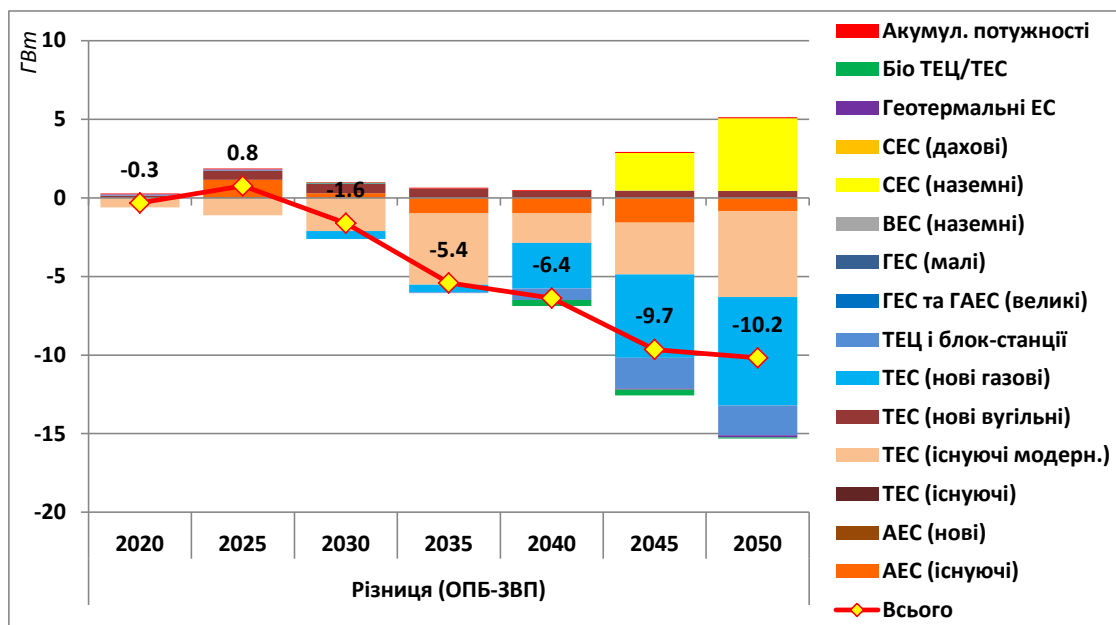


Рисунок 23. Різниця між встановленою потужністю електростанцій за сценарієм "Оптимізація балансування" (ОПБ) та сценарієм "Зелено-вугільного" парадоксу (ЗВП)

Сценарій Національні стратегії

Сценарій Національні стратегії додатково до Базового сценарію включає цілі та заходи інших діючих державних стратегічних документів, зокрема Національної транспортної стратегії України до 2030 року, Національної стратегії поводження з відходами в Україні до 2030 року, Концепції реалізації державної політики теплопостачання та інших.

За результатами моделювання можна вказати на таке:

- Стратегія низьковуглецевого розвитку в Україні до 2050 року має незначний вплив на результати Базового сценарію, оскільки стратегія була розроблена на основі ЕСУ2035.



Рисунок 24. Викиди парникових газів за сценарієм "Національні стратегії" та Базовим сценарієм

- Національна транспортна стратегія матиме значний вплив на структуру кінцевого споживання енергії, передусім на автомобільному транспорті. Згідно з результатами моделювання, попит на біопаливо може значно збільшитися до 2035 року; збільшиться попит й на електроенергію через широке використання електричних транспортних засобів.
- Електричні транспортні засоби зменшать загальне споживання енергії транспортним сектором внаслідок вищої ефективності електродвигунів порівняно з двигунами внутрішнього згорання.

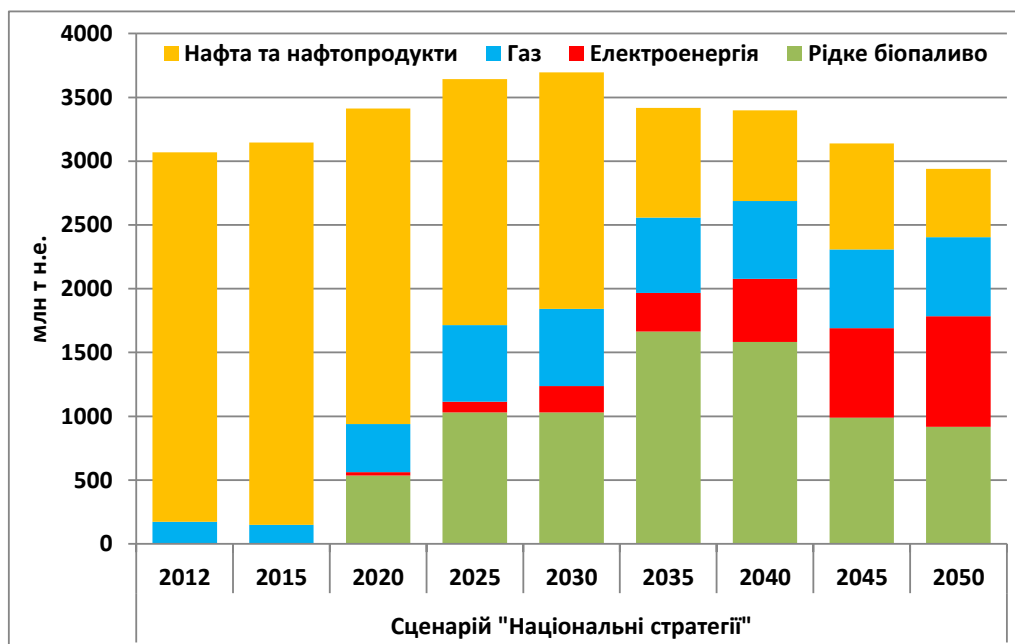


Рисунок 25. Споживання палива та енергії легковими автомобілями за сценарієм "Національні стратегії"

- Частка використання біопалива автомобілями може збільшитися до 50% до 2035 року, оскільки потенціал виробництва біопалива в Україні є відносно великим. Частка електричних транспортних засобів може збільшитися до 20% у 2035 році та 50% у 2050 році. Однак, завдяки високій енергоефективності, споживана ними електроенергія складатиме 10% у 2035 та 30% у 2050 роках у загальному споживанні транспортним сектором.

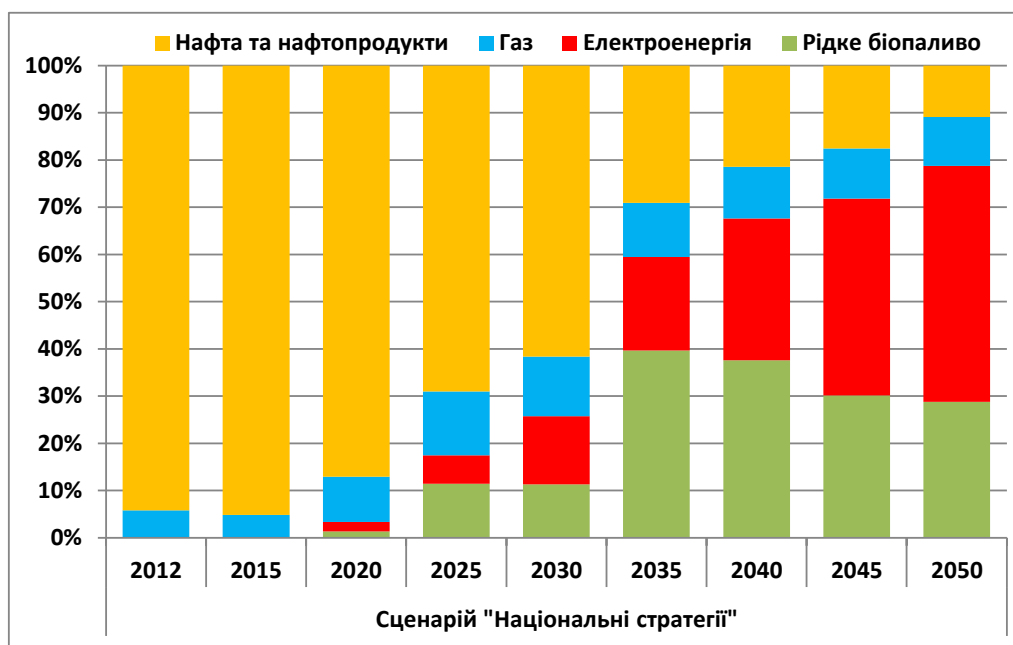


Рисунок 26. Структура перевезення пасажирів легковими автомобілями за сценарієм "Національні стратегії"

- Реалізація державної політики у сфері теплопостачання передбачає значне збільшення частки відновлюваної енергії в централізованому теплопостачанні.
- Її реалізація дозволить збільшити частку виробництва тепла з біомаси та інших відновлюваних джерел енергії до 40% до 2035 на фоні триваючої тенденції до скорочення обсягів централізованого теплопостачання
- Через фактичну відсутність на сьогодні екологічних обмежень для малих та середніх об'єктів з виробництва тепла, а також плану реалізації такої політики для великих об'єктів генерації, може відбутися перерозподіл споживання вугілля між цими типами генерації.

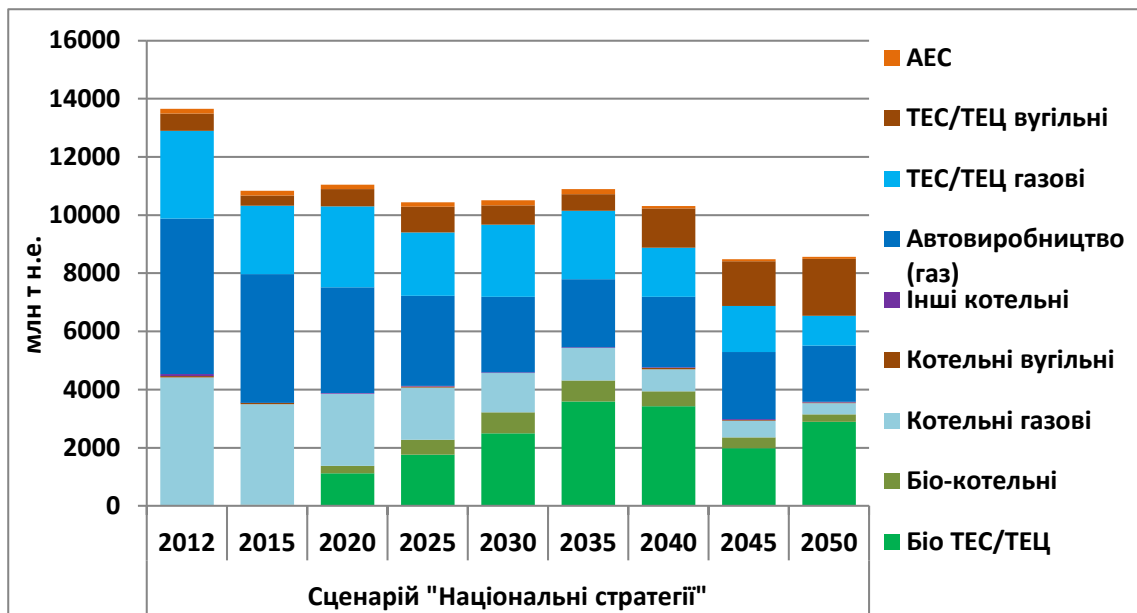


Рисунок 27. Виробництво тепла за сценарієм "Національні стратегії"

- Обсяги ЗППЕ за Базовим сценарієм та сценарієм Національних стратегій суттєво не відрізняються. Проте можна спостерігати окремі структурні зміни: заміщення найбільш вуглецеємних типів палива (вугілля) менш вуглецеємними (газ) та ресурсів, що не містять вуглець (атомна енергія, ВДЕ).
- Однак, очевидно, що без пролонгації ефективних політик, які заплановані в існуючих національних стратегіях до 2035 року, обсяги ЗППЕ в Україні можуть збільшитися до 2050 року.

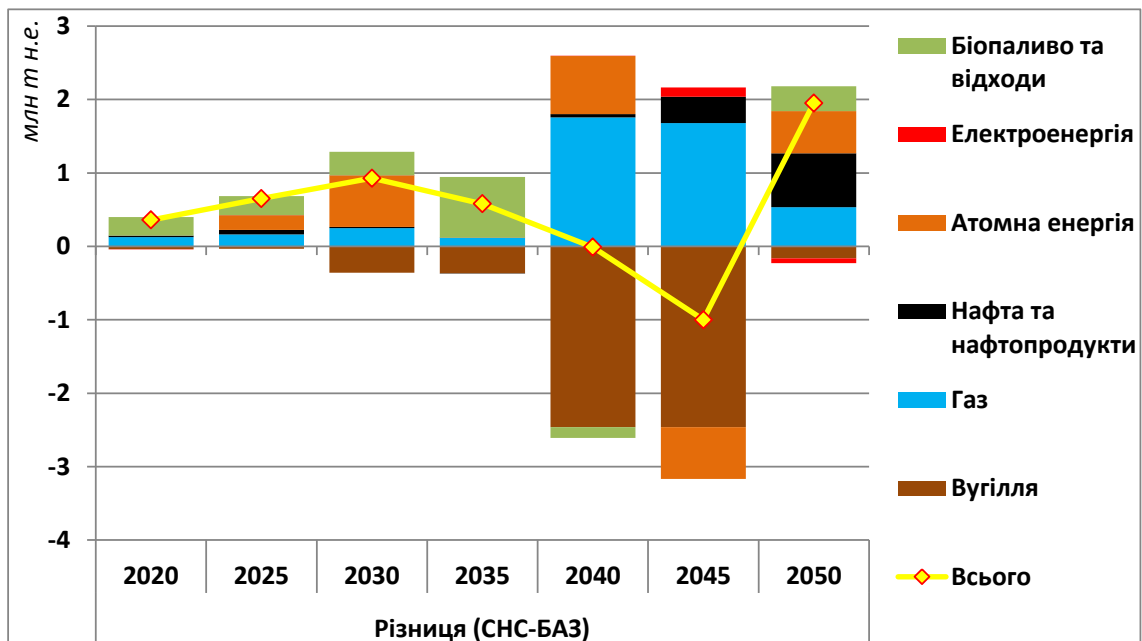


Рисунок 28. Різниця в загальному постачанні первинної енергії між сценарієм "Національні стратегії" (CHS) та Базовим сценарієм (BA3)

- Порівняно з Базовим сценарієм у сценарії Національних стратегій більш електроенергії виробляється з біомаси.
- Споживання газу зменшується протягом усього періоду, а до 2030 року споживання вугілля також зменшується через необхідність досягнення цілей Концепції реалізації державної політики у сфері теплопостачання.

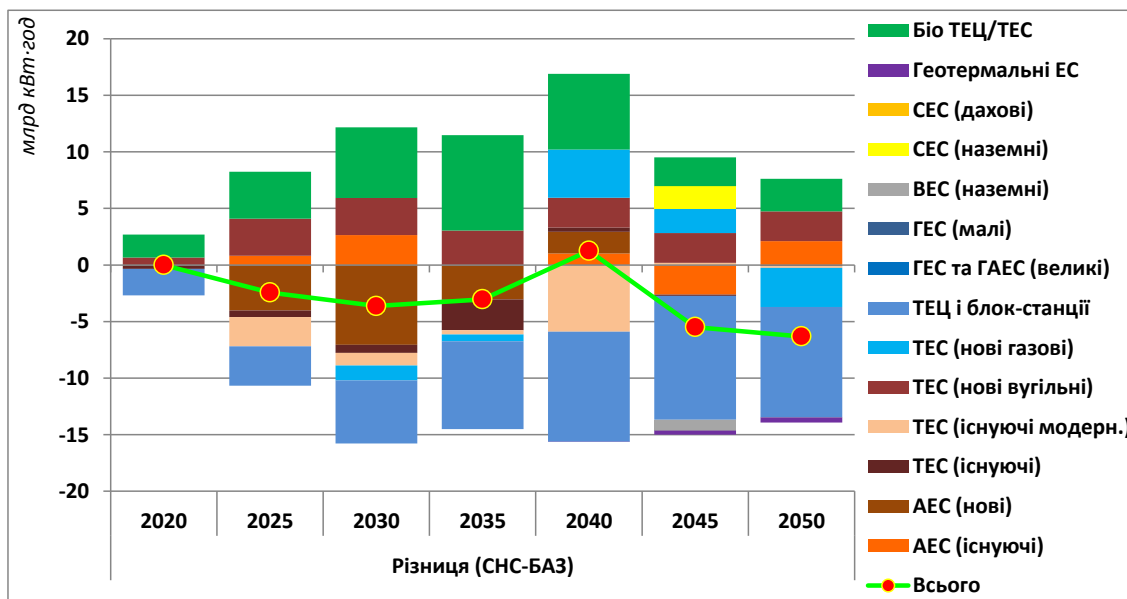


Рисунок 29. Різниця у виробництві електроенергії між сценарієм "Національні стратегії"(CHS) та Базовим сценарієм (БА3)

- Очевидно, що сценарій Національних стратегій потребує більших інвестицій, оскільки включає в себе додаткові цілі порівняно з ЕСУ2035. Проте синхронне впровадження ЕСУ2035 та інших стратегій, планів, концепцій тощо може призвести до синергетичного ефекту у вигляді підвищення ефективності досягнутих цілей і зниження відповідних витрат.
- Згідно з результатами моделювання, врахування національних стратегій вимагає додаткових інвестицій на рівні 1-2 млрд Євро щороку в основному за рахунок секторів кінцевого використання, зокрема внаслідок проникнення на ринок електричних транспортних засобів у великій кількості.
- Водночас може знадобитися менше інвестицій у виробництво електроенергії та тепла.

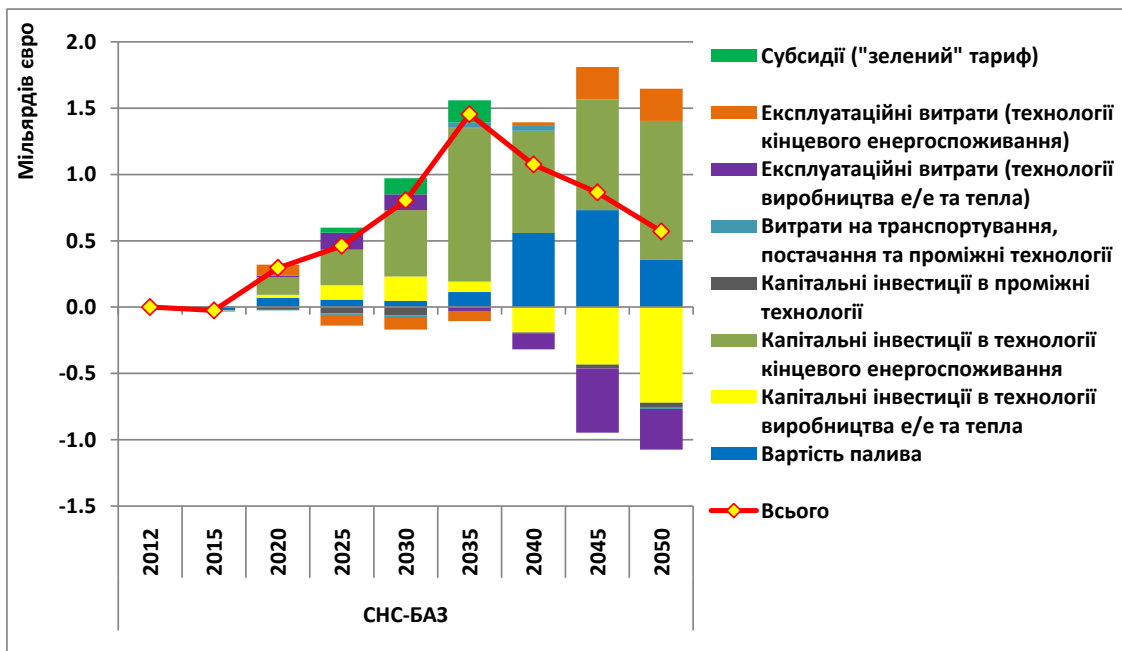


Рисунок 30. Різниця у загальній вартості функціонування енергосистеми між сценарієм "Національні стратегії"(CHS) та Базовим сценарієм (БАЗ)

- З урахуванням визначених на сьогодні політик та цілей, пов'язаних із скороченням викидів ПГ, можна досягти значних результатів у боротьбі зі зміною клімату.
- Як показують результати моделювання, реалізація цілей ЕСУ2035 та інших стратегічних документів до 2035 р. може знизити викиди ПГ на 55% в порівнянні з 2012 р. Проте у випадку, якщо передбачені на сьогодні довгострокові цілі і заходу не будуть продовжені після 2035 р., зокрема щодо заміщення атомних енергоблоків в період 2040-2050 рр., викиди ПГ зростуть.

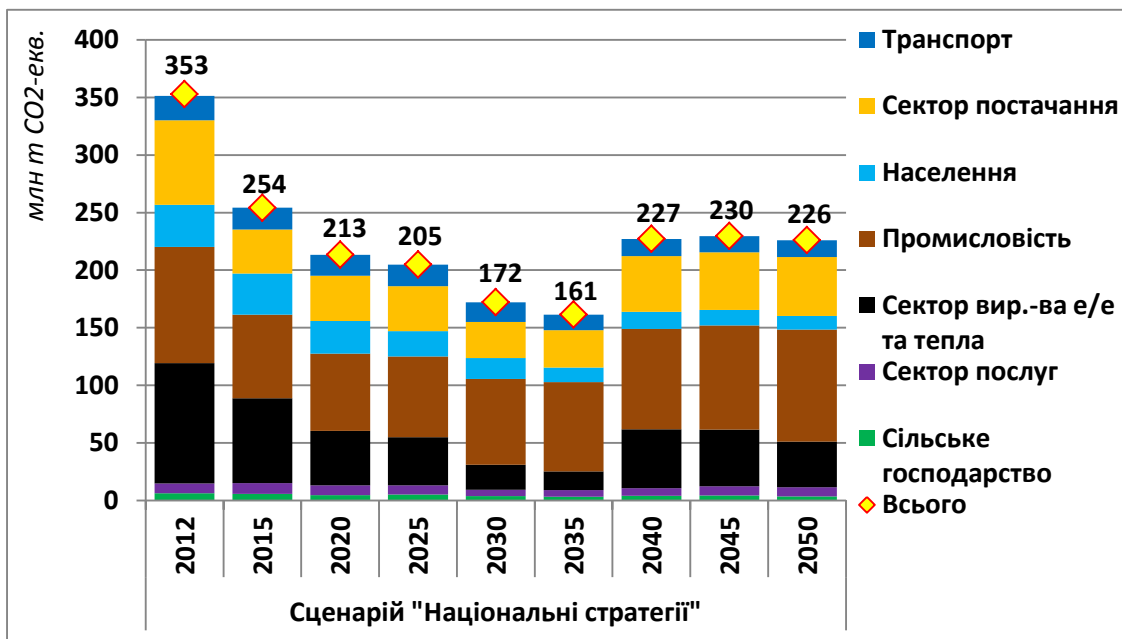


Рисунок 31. Викиди парникових газів за сценарієм "Національні стратегії"

Сценарій Низьковуглецевого суспільства (зменшення викидів на 80% до 2050)

- Цілеспрямована політика скорочення викидів парникових газів дозволить постійно прогресувати у напрямку декарбонізації економіки України.
- Декарбонізація економіки повинна базуватися на принципі розділення зростання ВВП та вуглецеємного споживання енергії, тобто викиди ПГ постійно зменшуються, а економіка постійно зростає.
- Як показано на графіку нижче, всі розглянуті сценарії по суті зводяться до трьох сценарії викидів ПГ.

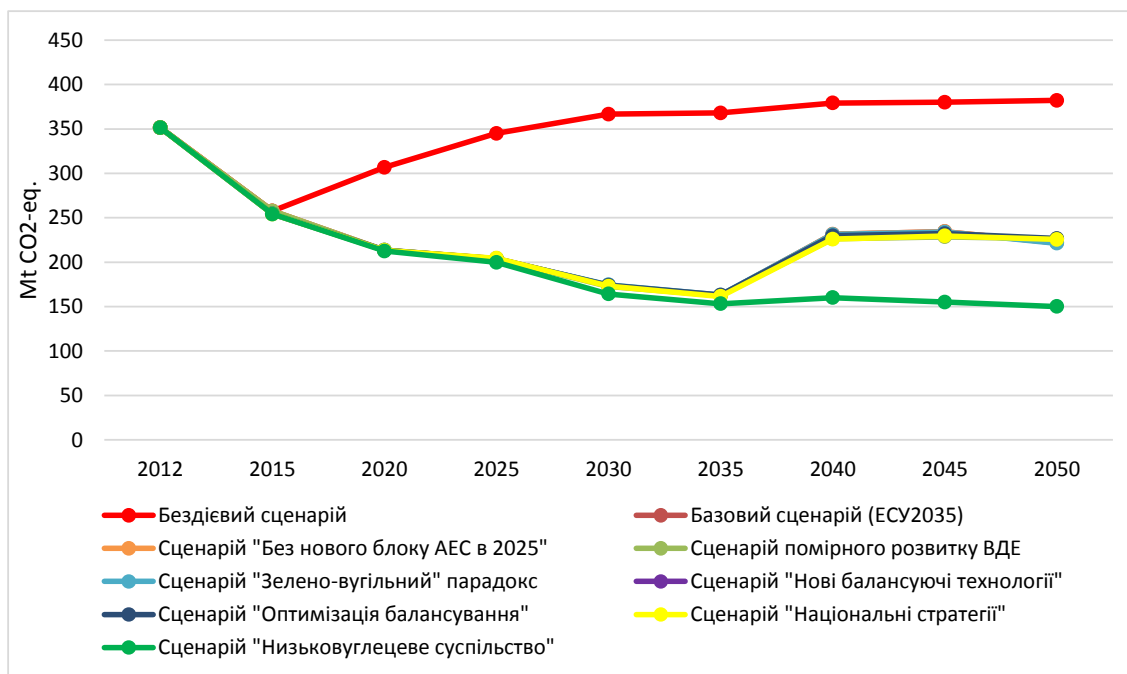


Рисунок 32. Викиди парникових газів за усіма змодельованими сценаріями

- Скорочення викидів парникових газів та зростання валового внутрішнього продукту (ВВП) призведе до зниження вуглецеємності економіки.
- На рисунку нижче показана вуглецеємність ВВП України, де представлені лише викиди CO₂, пов'язані з енергетичним сектором, оскільки решта секторів-емітентів CO₂ в цьому дослідженні не розглядалася. Така ж практика використовується МЕА.

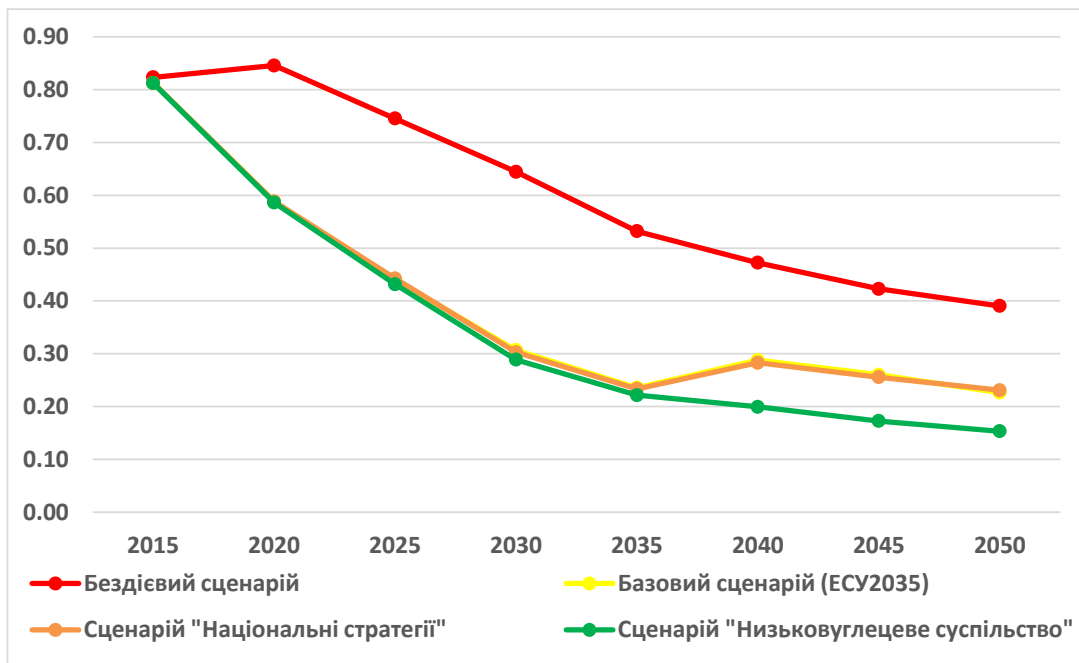


Рисунок 33. Вуглецеємність ВВП, т CO2-екв./\$1000 ВВП (ПКС)

- Необхідність значного скорочення викидів парникових газів збільшить роль атомної енергетики.
- Як показують результати моделювання, до 2035 р. практично не існує різниці між обсягами загального постачання первинної енергії за Базовим сценарієм та сценарієм Низьковуглецеве суспільство. Проте, в 2040-2050 рр. близько 15 млн. т вугільної продукції буде замінено атомною енергетикою.
- ЄС також надає перевагу низьковуглецевій енергії АЕС, але прагне зменшити її частку з 25% до 15% шляхом більш масштабного переходу на генерацію з ВДЕ [39].

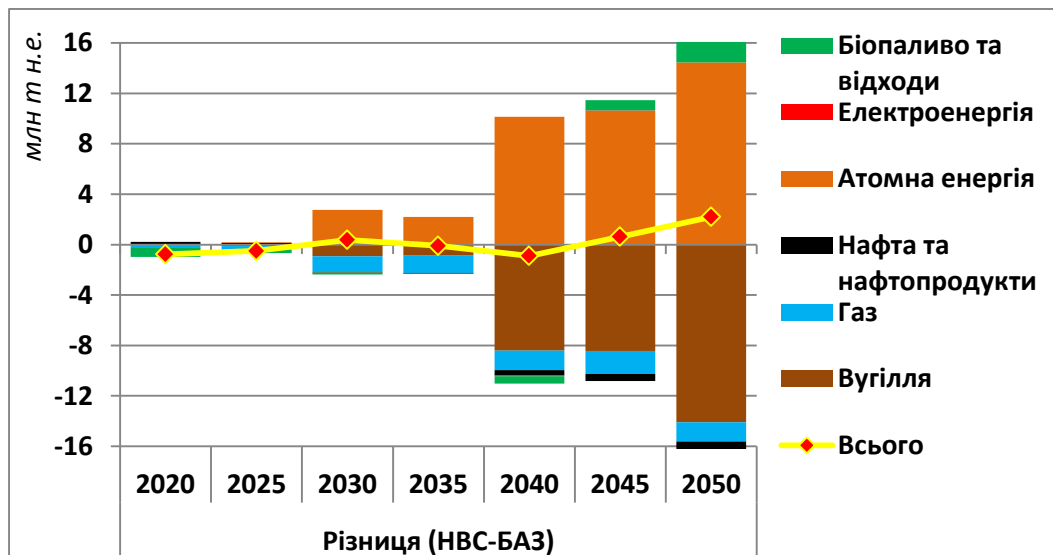


Рисунок 34. Різниця в загальному постачанні первинної енергії між сценарієм "Низьковуглецеве суспільство" (НВС) та Базовим сценарієм (БАЗ)

- Результати моделювання показують, що трансформація енергосистеми за сценарієм Низьковуглецевого суспільства, коли обсяги викидів ПГ у 2050 році не мають перевищувати 20% від рівня 1990 року (аналогічно до поточних цілей ЄС), передбачає практично повну відмову від викопного палива на виробництва електроенергії.
- Частка відновлюваних джерел енергії та атомної енергетики становитимуть майже 90%: 28% - атомна, 26% - вітрова, 23% - сонячна, 7% - біо-ТЕЦ і ТЕС і 5% - гідро.

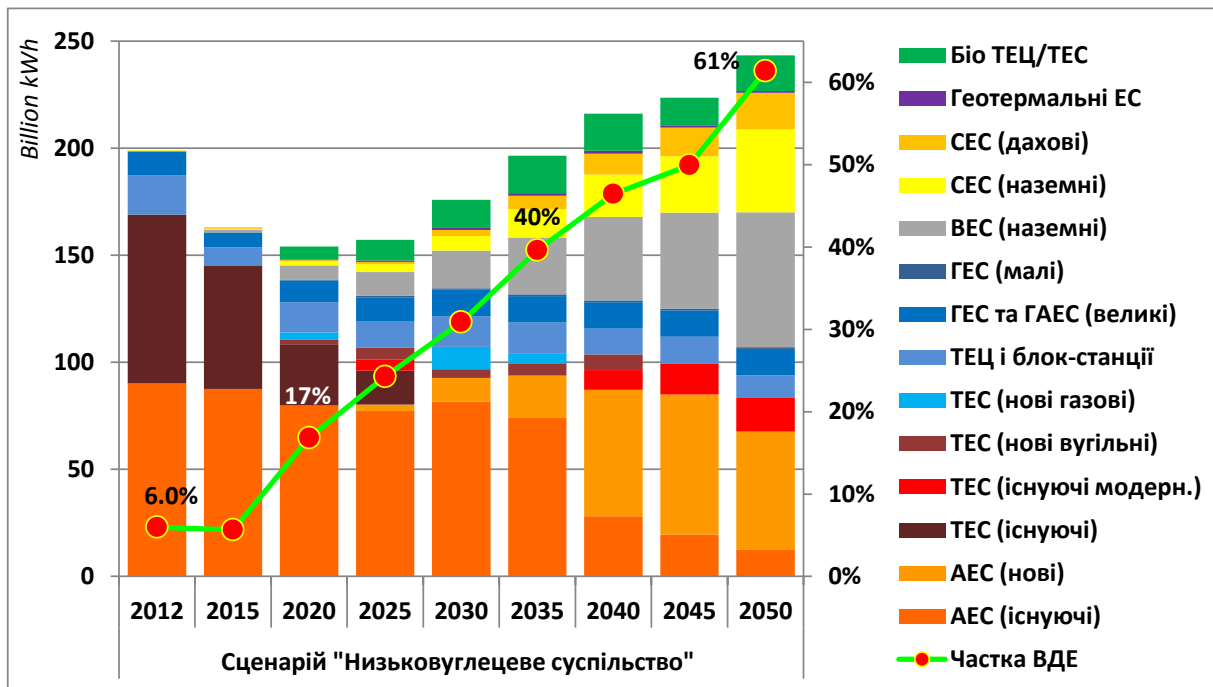


Рисунок 35. Виробництво електроенергії за сценарієм "Низьковуглецеве суспільство"

- Сценарій Низьковуглецевого суспільства потребує значних інвестицій для істотного скорочення викидів ПГ.
- Результати показують, що до 2035 року необхідно буде додатково залучати на рік на 1-4 млрд Євро більше, ніж за Базовим сценарієм, і на 4-6 млрд Євро більше в період 2040-2050 рр.
- Операційні витрати також можуть істотно зрости, що в першу чергу пояснюється продовженням експлуатації атомних енергоблоків.

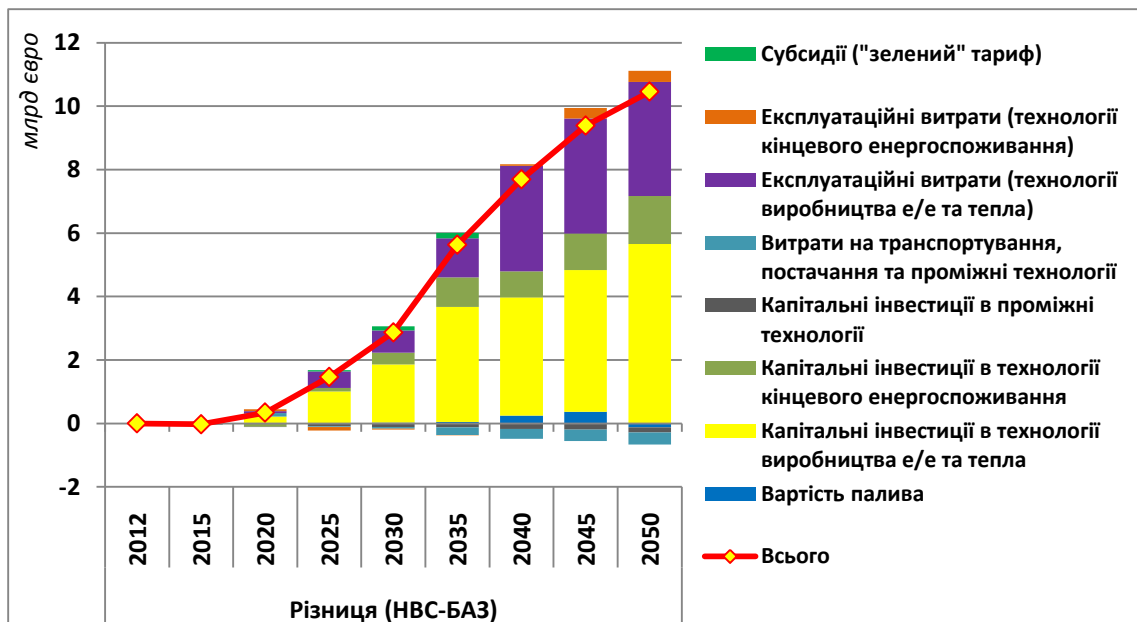


Рисунок 36. Різниця у загальній вартості функціонування енергосистеми між сценарієм "Низьковуглецеве суспільство" (НВС) та Базовим сценарієм (БА3)

Веб-платформа

З метою розповсюдження та широкого обговорення результатів моделювання енергетичних сценаріїв з використанням TIMES-Україна була створена веб-платформа (Рисунок 37), яка містить основні результати моделювання. Платформа доступна за адресою <https://www.timesukraine.tokni.com/>.



Рисунок 37. Головна сторінка веб-платформи

Висновки

Застосування економіко-математичних методів і моделей у процесі стратегічного планування розвитку енергетики дозволяє проводити якісний та кількісний аналіз поточних та перспективних галузевих заходів і політик.

Досягнення поставлених цілей в ЕСУ2035 багато в чому залежить від соціально-економічного розвитку України.

У ЕСУ2035 існує певна невизначеність щодо розвитку енергетичної системи в довгостроковому періоді до 2050 року, зокрема щодо розвитку атомної енергетики. У разі поступового та стабільного досягнення цілей ЕСУ2035 будівництво нового блоку (№3) на Хмельницькій АЕС для потреб України в 2025 році є недоцільним, тоді як до 2030-2035 рр. може стати економічно вигідним.

Навіть за сценарієм помірного зростання вітрової та сонячної енергетики (за даними НЕК «Укренерго», 2018 р.) загальна частка відновлюваних джерел енергії в 2035 р. може досягати 31%, що більше, ніж передбачено ЕСУ2035. Недостатнє використання потенціалу відновлюваних джерел енергії після 2035 року змусить використовувати більш дорогую теплову генерацію, що значно збільшить загальну вартість системи.

На сьогодні проблему зелено-вугільного парадоксу можна вирішити за допомогою сучасних технологій балансування та систем управління попитом, що дозволить прискорити та забезпечити стабільний розвиток відновлюваної енергетики.

Одночасне застосування цілей ЕСУ2035 та інших національних стратегій потребуватиме додаткових інвестицій. Однак, це матиме синергетичний ефект з точки зору підвищення ефективності у досягненні цілей та загального зниження вартості запланованих заходів. Результати моделювання показують, що є потенціал для вдосконалення процедур гармонізації галузевої політики та необхідності оновлення показників ЕСУ2035.

Для досягнення значно більш амбітних цілей щодо декарбонізації економіки (сценарій Низьковуглецевого суспільства) необхідно продовжити та розширити відповідні політики ЕСУ2035 після 2035 р. В іншому випадку послаблення або повна відмова від декарбонізації енергетичної системи може швидко нівелювати досягнення у сфері скорочення енергоємності економіки та скорочення викидів ПГ.

Список використаних джерел

- [1] Cabinet of Ministers of Ukraine. Energy Strategy of Ukraine until 2035: Security, Energy Efficiency, Competitiveness 2017.
- [2] UkrEnergo. Transmission System Development Plan for 2019-2028 [in Ukrainian] n.d.
- [3] UkrEnergo. Report on the conformity assessment (adequacy) of the generating capacity [in Ukrainian]. 2018.
- [4] Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution of the Cabinet of Ministers of 18 August 2017 No. 605-p On the Approval of the Energy Strategy of Ukraine until 2035: "Safety, Energy Efficiency, Competitiveness 2017.
- [5] European Parliament, Council of the European Union. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). 2010.
- [6] Podolets RZ, Diachuk OA. Strategic Planning in Fuel and Energy Complex Based on TIMES-Ukraine Model: Scientific Report. Kyiv: 2011.
- [7] Ministry of Finance of Ukraine. Macroeconomic overview n.d.
- [8] Loulou R, Goldstein G, Kanudia A, Lettila A, Remme U. Documentation for the TIMES Model Part I: TIMES Concepts and Theory 2016:1–151.
- [9] Loulou R, Lehtila A, Kanudia A, Remme U, Goldstein G. Documentation for the TIMES Model Part II: Reference Manual 2016:1–384.
- [10] State Statistics Service of Ukraine. Methodological recommendations for drawing up the energy balance n.d. http://www.ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2011/374/mp_eb.zip.
- [11] United Nations Framework Convention on Climate Change. UNFCCC Resource Guide for Preparing the National Communications of Non-Annex I Parties. Module 4 Measures to Mitigate Climate Change. Bonn: 2008.
- [12] Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine. Long-term scenarios for development of nuclear energy sector of Ukraine through 2050. Kyiv: 2011.
- [13] Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine. Modeling and Economic Assessment of Long-Term Innovative Development of Nuclear Energy in Ukraine in the Context of Low Carbon Economy Development. Kyiv: 2018.
- [14] Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine. Forecast estimates of electricity consumption in Ukraine for the period up to 2035 and 2050 2015:7.

- [15] Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine. Demand for energy resources in short-term and medium-term perspective 2010:26.
- [16] Diachuk O, Podolets R. Assessment of the achievement of some key indicators of the effectiveness of the Energy Strategy of Ukraine till 2035. Kyiv: 2017.
- [17] Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine. The key goals of energy policy and scenario projections of energy supply for the new Energy Strategy of Ukraine 2016:37.
- [18] Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine. Future demand of coal in Ukraine. Gen. Plan Coal Sect. Dev. Ukr. through 2020, Kyiv: 2011, p. 108–73.
- [19] Podolets R, Diachuk O. Calculation of the national energy efficiency target until 2020 and 2030 for Ukraine according to the Directive 2012/27/EU. Kyiv: 2017.
- [20] Diachuk O, Chepeliev M, Podolets R, Trypolska G, Venger V, Saprykina T, et al. Transition of Ukraine to the renewable energy by 2050. Kyiv: Publishing house “Art Book” Ltd; 2017.
- [21] Podolets R, Diachuk O. National Action Plan on Energy Efficiency through 2020 2015:57.
- [22] Podolets R, Diachuk O. National Action Plan on Renewable Energy through 2020 2014.
- [23] Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine. Justifying the ratification of the Paris Agreement for the Ukrainian Parliament 2016:8.
- [24] Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine. Decarbonisation of energy sector of Ukraine. Ukr. 2050 Low Emiss. Dev. Strateg., Kyiv: 2017, p. 22–38.
- [25] Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine. Forecasting GHG Emissions in Ukraine until 2030 and Beyond. Kyiv: 2015.
- [26] Diachuk O. The new Energy Strategy of Ukraine till 2020: safety, energy performance, competition. Natl Secur Def 2015;1:17–8.
- [27] Podolets R, Diachuk O. Integrated modelling of impacts of global challenges on sustainable development of the energy sector of Ukraine. Kyiv: 2018.
- [28] Podolets R, Borodina O, Diachuk O, Kyrzyiuk S, Trypol'ska G, Chepeliev M, et al. Development of Modelling Approaches for Analysis and Optimisation of Food, Water and Energy Nexus. Kyiv: 2018.
- [29] Podolets R, Heets V, Ostashko T, Skrypnychenko M, Nykyforuk O, Blyzniuk V, et al. Economic, technical, technological and environmental imperatives of

targeted energy development in Ukraine. Kyiv: 2018.

- [30] Podolets R, Diachuk O, Kniazev S, Pys'menna U, Serebrenikov B, Trypol'ska G, et al. Integration factors in the transformation of the institutional environment and the structure of the energy markets of Ukraine. Kyiv: 2016.
- [31] State Statistics Service of Ukraine. Statistical classification in Ukraine n.d. http://www.ukrstat.gov.ua/klasf/zm_kls.htm (accessed March 8, 2019).
- [32] Community E. NACE Rev. 2. 2008.
- [33] Eurostat. CPA Ver. 2.1 - Statistical classification of products by activity n.d. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/cpa-version-2.1> (accessed March 8, 2019).
- [34] Eurostat. Combined Nomenclature (for international trade of goods and services) n.d. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/international-trade-in-goods/methodology/classifications> (accessed March 8, 2019).
- [35] Commission E. ENERGY STATISTICS OF THE EUROPEAN UNION : CONCEPTS AND DEFINITIONS ON ALL FLOWS (" AGGREGATES ") AND PRODUCTS 2015:1–242.
- [36] State Statistics Service of Ukraine. Album of Forms of State Statistical Observations n.d. http://www.ukrstat.gov.ua/albom/albom_2019/2_2.htm#Енергетика (accessed March 8, 2019).
- [37] World Bank. Commodity Markets Outlook n.d. <http://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets> (accessed October 15, 2018).
- [38] Ukraine Ecology and Natural Resources Ministry. Ukraine 2050 Low Emission Development Strategy 2018.
- [39] the European Commission. A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy 2018.