

УДК 349.6(100):620.9(477):621.311.23/25.003.13:662.769.2

Ю.М.Запорожець, канд.техн.наук (Ін-т відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Стратегія сталого розвитку: шляхи подолання глобального протиріччя "енергетика-економіка-екологія" і сценарії для України

У статті з позицій оцінок, вимог і завдань, що визначили глобальну Стратегію сталого розвитку, проаналізована роль основних факторів негативного антропогенного впливу на середовище перебування й клімат планети; розкритий нерозривний зв'язок суперечливих проблем розвитку сучасного суспільства в сфері енергетики, економіки й екології (у системі "3Е") і висунута концепція комплексного підходу до подолання глобального протиріччя між потребами в нарощуванні енергетичного потенціалу й витривалістю природної екосистеми стосовно указаних факторів. Визначені найбільш ефективні напрямки нейтралізації і запобігання пагубним наслідкам дисбалансу споживання й виробництва в процесах розвитку індустріальних держав; зазначені конкретні технології, здатні забезпечити реалізацію поставлених Стратегією завдань, і виконана прогнозна оцінка їхньої результативності.

У роботі показані можливі застосування тих засобів і заходів, які орієнтовані на розв'язання завдань, поставлених Стратегією сталого розвитку, в умовах України.

Ключові слова: енергетика, екологія, емісія, споживання, технологія, декарбонізація, відновлювані, водень, аміак, газифікація, енергоємність, економічна модель, попит.

В статье с позиций оценок, требований и задач, определивших глобальную Стратегию устойчивого развития, проанализирована роль основных факторов негативного антропогенного воздействия на среду обитания и климат планеты; раскрыта неразрывная связь противоречивых проблем развития современного общества в сфере энергетики, экономики и экологии (в системе "3Э") и выдвинута концепция комплексного подхода к преодолению глобального противоречия между потребностями в наращивании энергетического потенциала и выносливостью природной экосистемы по отношению к указанным факторам. Определены наиболее эффективные направления нейтрализации и предотвращения пагубных последствий дисбаланса потребления и производства в процессах развития индустриальных государств; указаны конкретные технологии, способные обеспечить реализацию поставленных Стратегией заданий, и выполнена прогнозная оценка их результативности.

В работе показаны возможные приложения тех средств и мероприятий, которые ориентированы на решение задач, поставленных Стратегией устойчивого развития, в условиях Украины.

Ключевые слова: энергетика, экология, эмиссия, потребление, технология, декарбонизация, возобновляемые, водород, аммиак, газификация, энергоёмкость, экономическая модель, спрос.

Вступ. У квітні 2014 р. відбулася презентація проекту ПРООН/ГЭФ: "Інтеграція положень Конвенцій Ріо в національну політику України", який започаткований у рамках Стратегії Глобального екологічного фонду Програми розвитку ООН і передбачає комплекс заходів, спрямованих на забезпечення реалізації Україною положень зазначених конвенцій. У числі пріоритетних завдань проекту – підготовка Стратегії сталого розвитку країни і її впровадження у національну економіку, а також розробка "дорожньої карти" (плану дій) з виконання основних її положень [1]. Незважаючи на те, що Україною давно ратифіковані згадані конвенції й узяті зобов'язання щодо дотримання глобальних Європейських пріоритетів у досягненні показників соціально-економічного розвитку й міжнародно

визнаних економічних орієнтирів у частині збереження навколишнього середовища, практично за минулий період мало що змінилося. Виснажена енергетика ледве порастає з наполовину марнотратною економікою, яка кидає на вітер дорожні цінні ресурси і попри всілякі спроби втримати її в рамках норм екологічного законодавства, не говорячи навіть про впорядкування природокористування, продовжує примножувати кількість занедбаних земель, річок та інших природних об'єктів [2].

Які ж ці орієнтири, що за стратегія така з'явилася, що претендує на законодавчі встановлення, висування національних пріоритетів, приписання технологічних переваг і обмежень, та ще й введення фіскальних регуляторів?

Мета роботи. Актуалізація цих питань у наслідок безсистемних хитань "стратегій" і планів соціально-економічного розвитку України вимагає системного розгляду взаємозв'язків і взаємозалежностей у становій і суперечливій фігурі сучасного індустріального суспільства "енергетика-економіка-екологія", чому й присвячена дана робота. На підставі цього розгляду висувається концепція комплексного підходу до подолання назрілого глобального протиріччя між потребами світового співтовариства й окремих його регіонів (країн) у нарощуванні енергетичного потенціалу й витривалістю природної екосистеми стосовно пагубних факторів антропогенного втручання в її фундаментальні взаємозв'язки та тонкі животворні структури, що опосередується безжальними економічними механізмами.

Розділ 1. Нова цивілізаційна парадигма – сталий розвиток. "Майбутнє, якого ми хочемо" ("The future we want") – так іменується підсумковий документ Конференції Організації Об'єднаних Націй щодо сталого розвитку, яка відбулася 20-22 червня 2012 року в Ріо-де-Жанейро, відома як "Ріо+20". У цьому документі знайшли висвітлення, подальший розвиток і конкретизацію всі положення, що стосуються принципів і механізмів сталого розвитку, вироблені попередніми всесвітніми форумами під егідою ООН¹. Документ цей був схвалений резолюцією Генеральної Асамблеї ООН 66/288 від 27 липня 2012 року. У такий спосіб було закріплене загальне бачення і прихильність світового співтовариства курсу на сталий розвиток і на забезпечення побудови економічно, соціально й екологічно сталого майбутнього для нашої планети і для нинішнього та майбутнього поколінь [3].

Із цього моменту, можна вважати, з'явилася офіційна версія сучасної цивілізаційної парадигми, свого роду "дороговказна нитка", щодо якої зазначеною резолюцією рекомендується вивіряти

спрямованість і зміст, а також оцінювати результати діяльності як окремих фірм і корпорацій, так і державних структур, урядових органів та міжнародних організацій.

Найголовнішими цілями й основними вимогами сталого розвитку визначене викорінення злиднів, зміна нестійких моделей виробництва й споживання, а також охорона й раціональне використання природоресурсної бази економічного й соціального розвитку. При цьому особливо підкреслюється необхідність зміцнення міжнародного регулювання природокористування для сприяння збалансованій інтеграції всіх трьох компонентів сталого розвитку – економічного росту, соціального розвитку й охорони навколишнього середовища – у якості взаємодоповнюючих і взаємопідкріплюючих елементів.

У Йоханнесбурзькій декларації щодо сталого розвитку (вересень 2002 р.) цілком конкретно розкрита формула збалансованої інтеграції компонентів сталого розвитку й перераховані головні завдання щодо досягнення можливостей задоволення основних потреб людей, що живуть на планеті, таких як потреби в чистій воді, санітарії, адекватному житлі, енергії, охороні здоров'я, продовольчій безпеці, а також насущні глобальні пріоритети, як-то: подолання пагубних наслідків і адаптація до змін клімату, запобігання деградації родючих земель і охорона біологічного розмаїття [4].

Зрозуміло, що важко розраховувати на швидке втілення намічених у згаданих документах планів і програм планетарного масштабу, однак сам факт усвідомлення як на рівні еліт, так і широким шарів цивільного суспільства, глобального взаємозв'язку різномірних, здавалося б, процесів, що відносяться до сфери матеріальних основ існування людства, економічних механізмів регулювання виробництва і споживання і, в остаточному підсумку, його взаємодії з безмежним природним простором, змушує по-іншому бачити та вишиковувати систему суспільних цінностей і пріоритетів продуктивної діяльності.

Якщо раніше забезпечення можливостей задоволення різноманітних потреб людей і корпорацій бачилося як сукупність самоорганізованих на основі економічної змагальності процесів виробництва матеріальних благ за рахунок викори-

¹ Від Стокгольмської декларації 1972 р. із проблем навколишнього середовища та Ріо-Де-Жанейрської декларації 1992 р. по навколишньому середовищу й розвитку, включаючи Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату, до наступних Кіотського протоколу та "Плану виконання рішень Всесвітньої зустрічі на вищому рівні по сталому розвитку" (Йоханнесбург, 26.08 – 04.09 2002 р.), а також інших документів глобального й регіонального масштабу.

стання, а фактично – поступового вичерпання наявних природних сировинних ресурсів, включаючи викопні енергоносії, в яких "непорушне" навколишнє середовище слугувало лише полігоном відходів, то встановлення індустріального типу організації суспільства з акцентованою роллю енергетичного фактора в такій мірі підсилює реакцію природних систем кругообігу речовин і динамічної енергетичної рівноваги на антропогенні впливи, що багатогранні уявлення про "сталий розвиток" сконцентрувалися по суті в імперативну настанову на невідкладне подолання назрілого глобального протиріччя "трьох Е": енергія-економіка-екологія.

З 80-х років ХХ сторіччя, як вказує відомий фахівець у цій галузі К.Фрай, в індустріальних країнах на формування енергетичної політики в комунальному й промисловому секторах економіки головний вплив справляли три фактори: витрати, ефективність використання природних ресурсів і прийнятність із погляду суспільства. Згідно значимості кожного з них у сукупному

суспільному продукті й улаштованості соціального середовища в тій або іншій країні складалось і співвідношення критеріїв пріоритетності задоволення потреб в енергозабезпеченні. Для наочності ієрархія цих критеріїв представлялася у вигляді "шарів піраміди" (рис. 1) у наступній послідовності: легкість доступу до комерційних енергоресурсів; безпека й стабільність енергопостачання; ефективність витрат (на видобуток, транспортування, уживання); ефективність використання природних ресурсів; прийнятність для суспільства (з погляду екології, збереження біорозмаїття й ін.) [5].

Однак постійне зростання енергоспоживання у всіх сферах людського буття фактично стало запорукою добробуту й сталого розвитку індустріального суспільства. Ця ситуація чітко розкривається при зіставленні залежностей росту споживання енергії й валового внутрішнього продукту (ВВП) за останні 25 років, які представлені на рис. 2 [6] і рис. 3 [7].



Рис. 1. "Піраміда" критеріїв пріоритетності потреб в енергозабезпеченні.

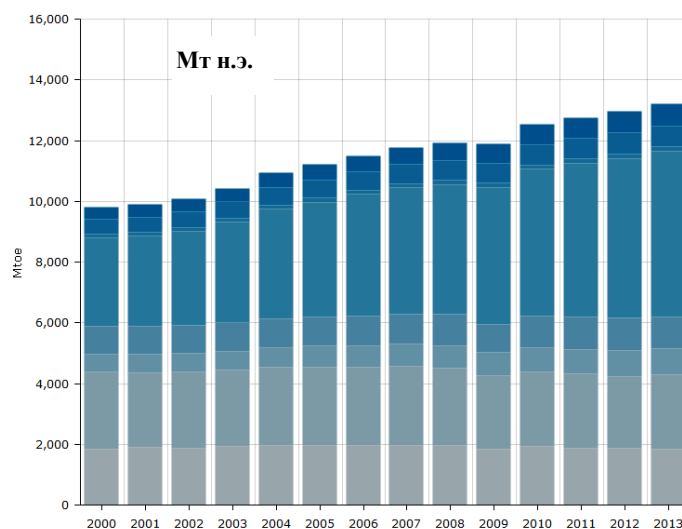


Рис. 2. Сукупне споживання енергії.

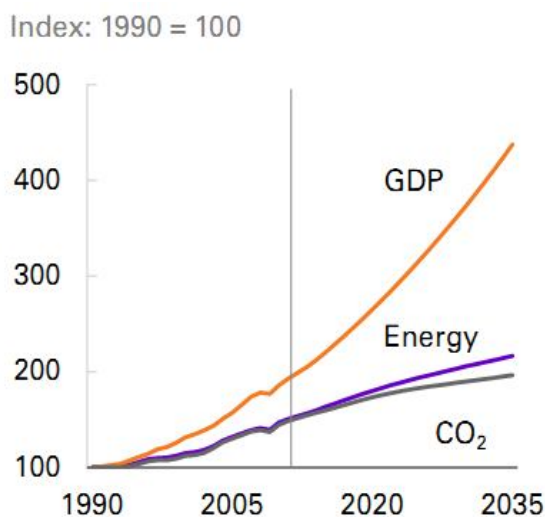


Рис. 3. Валовий внутрішній продукт (GDP), енергія та емісія CO₂ (%).

Якщо в 1980 році сукупне світове споживання енергії склало приблизно 7,0 млрд т н.е. (7000 Мт н.е.), то до кінця 2014 року воно практично подвоїлося, перевищивши рівень 13,5 млрд т н.е. [6]. Заслуговує на увагу той факт, що 8,5 з них спожито 10-ма найбільшими індустріальними країнами, серед яких тільки дві європейські. При таких темпах росту валове споживання енергії до 2035 року за прогнозами [7] може досягти 18 млрд т н.е.

Разом з тим, прогрес у зміцненні енергетичної безпеки породив тенденцію до прискореного нагромадження викидів оксидів вуглецю, азоту й інших токсичних і шкідливих для природного середовища речовин або, як їх називають, парникових газів, яка в глобальному вимірі виявилася вельми загрозливою.

Глобальне протиріччя: "енергетика-економіка-екологія".

Невпинний промисловий розвиток справляє постійний негативний вплив на навколишнє середовище. В остаточному підсумку його можливості до самоочищення і знешкодження шкідливих викидів можуть виявитися нижче інтенсивності антропогенного впливу, що чревате глобальною екологічною катастрофою. Така зміна співвідношення "потужностей" взаємного впливу процесів функціонування нинішньої цивілізації й реакцій на них з боку природної екосистеми неминуче тягне й переоцінку критеріїв пріоритетності факторів енергетичної політики – верхні шари згаданої

"шарової піраміди" набувають усе більшої ваги, так що вона, образно кажучи, загрожує зовсім перекинутися. Саме екологічна прийнятність за оцінкою суспільства та ефективність використання природних ресурсів виявляються нині в основі підходів до формування енергетичних програм і проектів у співтоваристві розвинених країн і тих, що розвиваються.

У декларації "Ріо+20" однозначно зафіксоване визнання того факту, що зміна клімату є однією із самих серйозних проблем сучасності, і висловлена глибока тривога з приводу наростання обсягів викидів парникових газів в усьому світі. Серйозна заклопотаність виникла у зв'язку з тим, що всі країни, особливо ті, що розвиваються, опиняються нині уразливими для пагубних наслідків зміни клімату, які підривають і продовольчу безпеку, і зусилля світового співтовариства, спрямовані на ліквідацію злиднів та забезпечення сталого розвитку.

Таким чином, подолання екологічної кризи стає однією з найважливіших проблем людства в XXI сторіччі. З цією метою в 1997 р. був прийнятий Кіотський протокол, дія якого охоплює період до 2020 р. Він зобов'язує країни з перехідною економікою та розвинені країни до скорочення або стабілізації викидів парникових газів. Антропогенний парниковий ефект вважають однією з причин поточного глобального потепління, яке пов'язане насамперед з діяльністю людини й підвищенням концентрації вуглекислого газу в атмосфері Землі в результаті видобутку й спалювання природного газу, нафти й вугілля [8].

Згідно з даними *International energy outlook* [9], сумарний обсяг глобальних викидів CO₂ енергетичного походження склав у 2010 р. 31,2 млрд т (Гт), у результаті чого концентрація діоксиду вуглецю в атмосфері Землі досягла рекордних за минулі 15 мільйонів років значень. Щорічно емісія CO₂ зростає приблизно на 1,7% і, як очікується, в 2020 р. зросте до 36,4 Гт, до 2040 р. досягне 45,5 Гт, а до 2050 р. подвоїться, склавши близько 60 Гт/рік. На рис. 3 показано, що емісія діоксиду вуглецю збільшується майже пропорційно росту споживання енергії й лише в майбутньому оптимістично прогнозується деяке уповільнення темпів цієї тенденції.

Переважна частина емісії CO₂ (80%) продукується в енергетиці (теплоелектростанціями) і на транспорті. Загальна емісія від промислового сектору, в тому числі від його частки споживання електроенергії, досягає 11 Гт/рік [10]. На рис. 4 наведено гістограму наростання світового обсягу емісії діоксиду вуглецю за останні два з половиною десятиріччя [6], а на рис. 5 – обсяги емісії CO₂ в енергетичному секторі Євросоюзу [11].

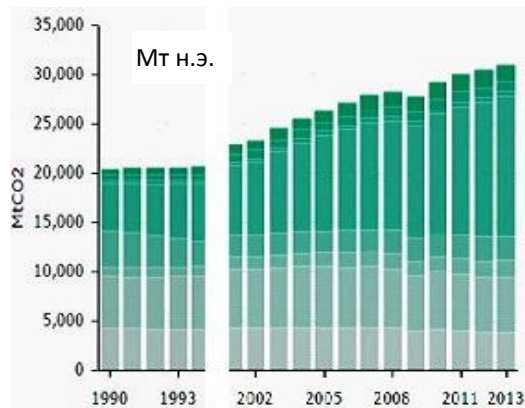


Рис. 4. Наростання світового обсягу емісії CO₂.

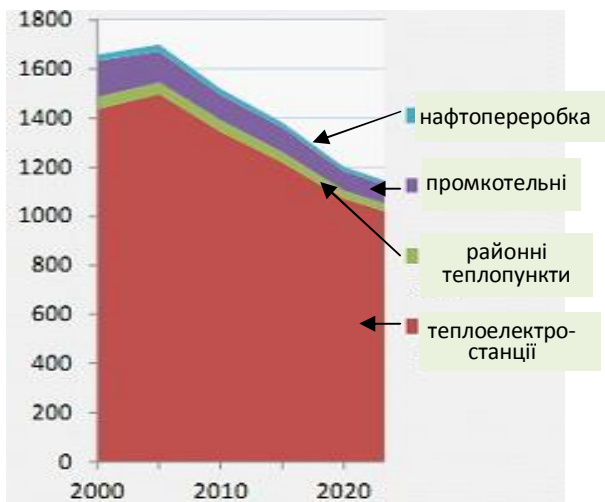


Рис. 5. Обсяги емісії CO₂ від електро- і теплогенерації по секторах (Mт н.е.).

Типові пропорції споживання енергії по секторах економіки, які з деякими варіаціями характерні для більшості індустріально розвинених країн (країни ЄС [11] і США [12, 13]), наведені на рис. 6, проясняють картину розподілу джерел емісії парникових газів.

У промисловості галузеві пропорції споживання енергії в різних групах країн різняться залежно від традиційної "спеціалізації" або здійснюваної модернізації економіки, тому наведемо тут ці дані з прогнозом до 2020 р. для країн Єв-

ропейського союзу й країн "CCN" – групи з 15 держав пізнішого "призову" – Польща, країни Прибалтики й ін. [12] (рис. 7, табл. 1).

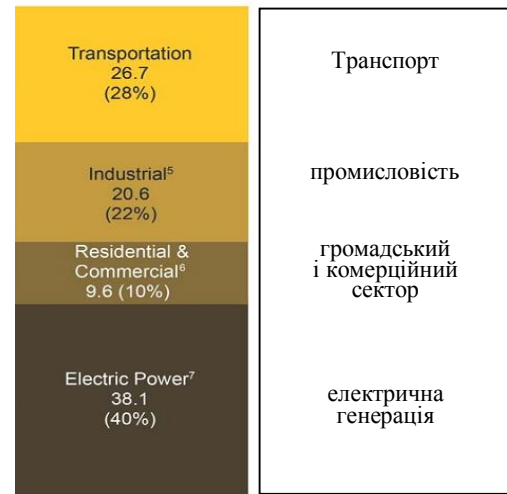


Рис. 6. Споживання енергії по секторах економіки.

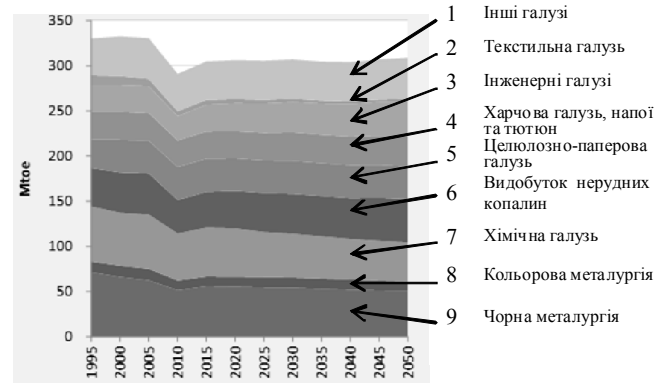


Рис. 7. Кінцеве енергоспоживання в промисловості.

Як впливає з наведених даних, найбільшими споживачами енергії і, відповідно, джерелами викидів CO₂, є металургія, хімічна промисловість і сектор неметалічних мінеральних продуктів. У хімічній індустрії найбільше "чадять" три галузі: виробництво етилену й інших нафтопродуктів, аміаку для азотних добрив і хлору. За наявними оцінками промисловість хімічних добрив споживає близько 1,2% усієї виробленої у світі енергії й відповідає за таку ж частку глобальних викидів CO₂. І хоча на загальному тлі ця частка виглядає незначною, однак незалежно від того, чи використовується в якості первинного джерела енергії природний газ або вугілля, на кожен вироблену тонну аміаку виділяється 1,87 т CO₂, що глобально склало в 2010 р. 245 млн т, або половину всього обсягу емісії діоксиду вуглецю, скажімо, у Великобританії (496 млн т) [14].

Таблиця 1. Кінцеве енергоспоживання у галузях промисловості, млн т н.е.

Сектор	Євросоюз				"CCN" – групи з 15 держав			
	1990	2000	2010	2020	1990	2000	2010	2020
Виробництво заліза і сталі	56,1	51,5	49,2	47,4	27,8	19,5	15,5	14,8
Виробництво кольорових металів	10,8	10,4	13,4	16,1				
Хімічна галузь	50,2	45,7	52,3	57,0	22,2	13,8	14,3	15,4
Видобуток неметалевих корисних копалин	35,7	34,4	37,9	39,2				
Целюлозна і паперова галузь	27,6	33,8	37,9	40,0				
Харчова галузь, виробництво напоїв і тютюну	21,9	24,9	30,5	35,8				
Інженерні галузі	27,3	24,7	31,6	38,2				
Текстильна галузь	8,5	8,3	8,3	8,3				
Інші галузі	21,3	32,0	38,3	43,2	72,7	52,9	53,2	60,8
Разом	262,2	268,7	299,4	325,3	122,7	86,4	82,9	91,0



Сірий	метеорологічні явища (шторм)
Чорний	гідрологічні явища (паводок, зсуви ґрунту)
Білий	кліматологічні явища (надмірна температура, посуха, лісові пожежі)

Чорна лінія – тренд

Рис. 8. Кількість екстремальних погодних ексцесів на рік.

Нарешті, слід вказати на безпосередній вплив перелічених наслідків нестримуваного нарощування енергетичного потенціалу індустриальних держав на збільшення числа екстремальних погодних явищ і руйнівних природно-кліматичних ексцесів, таких як повені, шторми, спека, посуха, які завдають шкоди багатьом секторам економіки (інфраструктура, сільське господарство, туризм, транспорт, комунікації, охорона здоров'я). Перерахування прикладів подібних фактів навряд чи буде вдячним заняттям, вважаємо, що в силу їх загальновідомості досить лише привести для ілюстрації деяку статистику, відбиту на рис. 8 [15]. А в роботі [16] представлений розгорнутий перелік конкретних видів збитку і його питомі вартісні значення в \$/ГДж, який завдається навколишньому сере-

довищу спалюванням вугілля, нафти й природного газу. Зокрема, середньозважений обсяг цього збитку у світі становить \$12,5 за відпрацьований ГДж викопного палива. Однак вартість збитку не включається в ціну на паливо, але вона виплачується людьми через податки, витрати на лікування, подорожчання продовольства, погіршення якості життя.

Цей короткий, скоріше навіть побіжний, огляд основних аспектів глобального протиріччя "трьох Е" цілком наочно демонструє обґрунтованість одного з ключових положень Декларації "Ріо+20", висунутого як *суперзавдання* Стратегії Ріо: *для переходу до сталого розвитку в масштабах усього світу необхідно докорінно змінити моделі споживання й виробництва, що склалися в країнах* [3].

Внаслідок таких перетворень на заміну стихійній фігурі діалектичної єдності протиріч "трьох Е" повинна прийти урівноважена концепція "ЗЕ-балансу", умовно зображена на рис. 9 [17]:

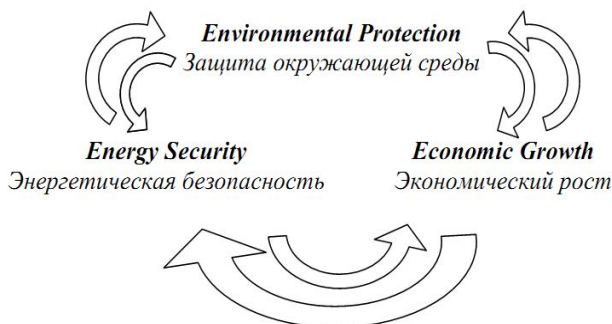


Рис. 9. Система "ЗЕ-балансу".

"Дорожні карти" та орієнтири на шляху до конкурентної низьковуглецевої економіки.

Попередній аналіз показує, що необхідність боротьби зі змінами клімату й вироблення заходів щодо адаптації світового господарства до цих змін не є добросердими побажаннями кабінетних прожекторів, а виросла в глобальну проблему всього людства. Запобігання масштабним (у першу чергу – антропогенним) катастрофам, колосальним матеріальним втратам від екстремальних природних явищ, зруженню продовольчої бази, збитку здоров'ю й загибелі людей нині перейшло в площину практичних завдань для всіх уповноважених і відповідальних суб'єктів.

Досягнення ефективних результатів на цьому шляху вимагає непослабних зусиль і консолідованих дій у всіх секторах енергетики й промисловості індустріалізованих і урбанізованих регіонів.

Для Євросоюзу запобігання загрозливим змінам клімату стало стратегічним пріоритетом. Європа наполегливо домагається істотного скорочення емісії парникових газів, заохочуючи й інші нації і регіони у цих прагненнях. Висунута мета щодо обмеження середньорічного зростання температури й зниження викидів CO₂ в 2020 р. на 20% від рівня 1990 р. Зрозуміло, це вимагає витрат, але нічого не поробиш, тому що в остаточному підсумку наслідки можуть обернутися набагато дорожче. Разом з тим, інвестиції в "зелені технології", які скорочують викиди CO₂, надають імпульсу для підйому економіки, створення

робочих місць і зміцнять європейську конкурентоспроможність [18].

Не менш рішуче націлені на боротьбу з парниковими газами й на американському континенті: у червні 2013 р. Президентом уперше був анонсований "Національний План дій по клімату" для США, в якому для енергетичних підприємств вводяться обмежувальні стандарти на забруднення діоксидом вуглецю. Встановленням цих стандартів Штати передбачають реалізувати конкретні плани досягнення необхідного зниження емісії парникових газів до 2020 р. на 17% до рівня 2005 р. [19].

Подібні плани й заходи в руслі реалізації Стратегії "Ріо" передбачаються в енергетичних програмах більшості індустріально розвинених держав.

Не торкаючись нормативно-правових і економічних методів забезпечення реалізації зазначених планів, зосередимо увагу на розгляді інженерно-технічних заходів, орієнтованих на досягнення балансу суперечливих вимог енергетичної ефективності й екологічної безпеки на економічно обґрунтованій платформі, які, по суті, і становлять принциповий зміст згаданих планів.

Існують різноманітні інженерні способи зниження емісії парникових газів, які ті або інші держави застосовують або планують використовувати у своїх конкретних умовах. Однак усі вони можуть бути зведені в три основні групи: пасивні, активні й субститутні (такі, що заміщують). До першої групи слід віднести як широко-масштабні, так і локальні заходи щодо енергозбереження в житловій, комунальній і виробничій сфері, а також підвищення ефективності виробітку й кінцевого використання енергії. Фактично такі заходи лише опосередковано сприяють досягненню кінцевого ефекту.

У другу групу слід зарахувати встановлення систем уловлювання й заховання вуглецевих сполук (CO₂ та ін.), як безпосередньо з палива до його спалювання, так і з відхідних газів, після спалювання (системи CCS). Ці системи забезпечують явне вимірне усунення діоксиду вуглецю з викидів енергетичних і двигунних установок, які в іншому випадку могли б потрапити в атмосферу й сприяти парниковому ефекту. Поглинений

CO₂ зберігають у межах розташування енергетичних станцій або захоронюють в ізольованому стані в землі або океані [20].

Нарешті, третя група способів радикального зниження викидів CO₂ включає заміщення викопних вуглецевмісних видів палив безвуглецевими або низьковуглецевими. Такі методи реалізуються шляхом розширення використання в електричній і тепловій генерації атомної енергії, нарощування масштабів застосування відновлюваних (безпаливних) джерел енергії й скорочення вмісту діоксиду вуглецю у викидах теплових електростанцій [21].

Арсенал пасивних методів і способів зменшення викидів CO₂ досить широкий – від тривіальної економії витрат електроенергії в побуті, усунення невиправданих втрат тепла в житлово-комунальному й міському господарстві, до цілеспрямованої заміни застарілого низькоефективного виробничого обладнання й енергоємних технологічних процесів на сучасні енергоефективні схеми й устаткування. У кожному окремому випадку проведення таких заходів може скласти істотні переваги для нових інвестицій, однак, як впливає з наведених вище оцінок, сумарний ефект від повсюдного їхнього впровадження в глобальному балансі емісії CO₂ складе частку, яка, мабуть, не перевищить відсоток зниження загального обсягу споживання енергії, тому більш докладно на цьому напрямку ми зупинитися не будемо.

Існуючі установки CCS (Carbon Capture and Storage – уловлювання й зберігання вуглекислого газу) можуть забезпечити поглинання від 80 до 95% вмісту вуглецю в паливі до його спалювання та у відхідних газах після спалювання. За допомогою таких установок обсяг викидів діоксиду вуглецю від великих стаціонарних джерел, таких як теплоелектростанції, заводи синтезу аміаку, металургійні комбінати, теоретично може бути скорочений орієнтовно на 15 Гт/рік [20, 21]. Цей спосіб скорочення емісії парникових газів досить ефективний, однак, через високу вартість устаткування, впровадження подібних установок стримується економічними факторами. Перспективи їх поширення, порівняльні переваги й недоліки складуть предмет окремого розгляду.

Але в глобальному вимірі найбільш дієвим (радикальним) шляхом запобігання емісії парникових газів, зрозуміло, є припинення використання викопної вуглеводневої сировини як первинного джерела енергії та перехід на відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Їхнє застосування в багатьох країнах, особливо в Європі, США й Китаї, набуло значних масштабів і продовжує динамічно поширюватися [22, 23]. Практично у всіх індустріально розвинених державах відповідно до настанов Конвенцій Ріо в тій або іншій формі прийняті й реалізуються програми впровадження ВДЕ, що покликані замінити певну частину традиційної генерації в національній енергетиці.

Так, у США на додаток до 10 ГВт потужностей поновлюваних енергетичних проєктів, затверджених до спорудження в 2012 р., згаданим "Планом дій по клімату" передбачено до 2020 р. запустити ще 10 ГВт [19]. У Європейській стратегії висунута амбіційна мета: підвищити до 2020 р. частку поновлюваних джерел енергії в енергетичному кошику ЄС до 20% [18].

У промисловості з цією метою здійснюється заміна технологій виробництва, заснованих на спалюванні вуглеводневого палива, на альтернативні – без емісії CO₂, такі, наприклад, як синтез аміаку безпосередньо з повітря й води [14, 24], індукційна й дугова плавка в металургії, високочастотний випал у виробництві керамзиту й будівельної кераміки та ін. Однак навіть повсюдне їхнє застосування зможе забезпечити зниження емісії в глобальному балансі, у найкращому разі, пропорційно частці споживання енергії відповідним сектором виробництва.

Якщо ж мати на увазі широкомасштабні заходи щодо скорочення емісії діоксиду вуглецю, то основні зусилля на сьогоднішній день слід зосередити, мабуть, на розширенні використання ВДЕ в сфері енергетичної генерації.

Однак при всіх позитивних якостях найбільш значущі з погляду наявного потенціалу й технологічної доступності видів ВДЕ, які постійно відтворюються в природних процесах, такі як вітер, хвилі й сонячне випромінювання, мають і принципові недоліки – переривчастість і нестабільність параметрів. Вони обумовлені природною нестабільністю надходження сонячної й вітрової

енергії (добовою, сезонною) і виникаючою у зв'язку з цим проблемою її акумулювання та збереження протягом достатньо тривалого періоду [25, 26]. У багатьох закордонних і вітчизняних дослідженнях і розробках останніх років, виконаних провідними науковими центрами (агенціями) і енергетичними корпораціями, цілком певно робиться висновок, що найбільш перспективним для цих цілей, найбільш придатним для "консервації" саме відновлюваної енергії є виробництво водню шляхом електролізу води і його накопичення для наступного використання [25–28]. Такий своєрідний водневий цикл акумуляції й транспортування енергії вважається ефективним розв'язанням проблеми стабільного енергопостачання за рахунок відновлюваних джерел. Більш того, провідні фірми вбачають водень своєрідним спільним знаменником відновлюваної енергетики із традиційними системами енергозабезпечення, здатним забезпечити їхню інтеграцію й шлях до майбутньої "чистої" енергетики [27–29]. Відповідно з'явилася велика кількість проектів і варіантів вітро- і сонячно-водневих, комбінованих, автономних і пов'язаних з мережею енергетичних установок самого різноманітного калібру [30–32].

Отже, водень. Чому водень, звідки водень?

Воднева доктрина: кроки до водневої економіки.

Поява в останній чверті ХХ сторіччя явних ознак глобальних змін клімату (хоча перші згадки про потепління відносяться ще до ХІХ сторіччя) напевно була ідентифікована як наслідок інтенсивного наростання вмісту в атмосфері діоксиду вуглецю й інших газів антропогенного походження, які нині називають парниковими. Неважко було встановити, що основною причиною виникнення й розвитку цього явища послужило спалювання все у зростаючій кількості різних видів викопного вуглеводневого палива як первинних енергоносіїв. У зв'язку з цими обставинами і з'явилися ще в 80-х роках перші розробки щодо можливої заміни цих енергоносіїв іншими – безвуглецевими, і найкращою кандидатурою на таку роль був висунутий водень. З того часу виникло поняття "воднева енергетика" [16, 29, 33] і було проведено величезну кількість досліджень, якими обґрунтовані корисні властивості й пози-

тивні якості водню, його переваги як вторинного енергоносія, можливості гармонійного сполучення з усіма різновидами первинних джерел енергії, а особливо – з відновлюваними.

У зв'язку з цим укорінене поняття "воднева енергетика" у прогнозах розвитку й програмах розширення використання відновлюваних джерел енергії наповнюють усе більш широким змістом, що врешті втілюється в нову категорію – доктрину "водневої економіки" [34, 35]. Це поняття охоплює уявлення про докорінну трансформацію господарсько-технологічних комплексів, створення нових індустріальних циклів, перерозподіл фінансових потоків і формування іншої цивілізаційної парадигми [36, 37].

Зазначені прагнення вже не є гаслами або деклараціями про наміри – світ робить впевнені кроки цим шляхом. Протягом останніх років воднева економіка одержала потужний розвиток у всіх можливих напрямках, як-от: удосконалення електролізерів, підвищення ефективності паливних елементів, будівництво й обкатування водневих автомобілів, створення мереж водневих заправних станцій, а також інших видів водневих технологій і водневих енергетичних систем.

Більше 50 країн світу мають національні програми переходу до водневої економіки. Зокрема:

- у Європі випускаються газотурбінні установки (ГТУ) на водневому паливі й будуються потужні електростанції, що працюють на водні; розгорнуте будівництво заводів з виробництва водню з використанням енергії вітру;
- у США, Японії й інших країнах створюються мережі заправок для автомобілів з водневими двигунами, у дев'ятьох країнах проходять обкатування водневі міські автобуси, легкові й вантажні автомобілі тощо [37].

Усвідомлення невідворотності утвердження в економіці водневої парадигми спонукає уряди, корпорації, міжнародні організації й наукові співтовариства спрямовувати все більш зростаючі зусилля й обсяги фінансування, що досягли в останні роки мільярдів доларів і євро, у водневі проекти, які реалізуються відповідно до цільових програм, що мають державний і міжнародний статус [36].

Завдяки цим зусиллям складаються передумови для створення нових енерготехнологічних комплексів на основі відновлюваних джерел енергії, максимально адаптованих до всієї існуючої інфраструктури енергетичної й виробничої сфери [31, 34–37], або, іншими словами, інтеграції відновлюваної енергетики з традиційними системами енергозабезпечення комунального й промислового секторів економіки.

Ключем, яким відкривається цей магістральний шлях, саме і є водневий цикл, використовуваний у якості своєрідного "адаптера" – технологічного ланцюжка для узгодження фізико-хімічних параметрів первинних джерел енергії і різноманітних технічних засобів виробництва [35, 36]. При цьому йдеться не просто про кількісне нарощування числа енергетичних установок з відновлюваними джерелами, водневими генераторами й акумуляторами, не тільки про розширення масштабів здійснення енергозберігаючих заходів на окремих підприємствах, але про докорінну зміну концепції трансформації структури енергетичної сфери та складових енергетичного балансу.

Стратегічним завданням у цій концепції є створення нового економічного і структурного підходу до виробництва й споживання енергії – організація виробництва водню в промислових масштабах і тотальне заміщення воднем спалюваних органічних видів палива. При такому підході водню необхідно надати основні технологічні властивості, притаманні традиційним викопним енергоносіям: можливість накопичення й зберігання (складування), транспортабельність і доступність. Забезпечити виконання зазначених завдань зможуть енергогенеруючі та мережеві компанії, які будуть не тільки виробляти й транспортувати електроенергію. У їхні функції увійдуть виробництво водню й інших енергоносіїв на його основі, їх транспортування, зберігання й розподіл, децентралізація енергопостачання, а також виробництво й розподіл прісної води [34].

В силу зазначених вимог виробництво водню й технологічних засобів його використання необхідно трансформується з окремих допоміжних дільниць і цехів у масштабну індустрію, становлення якої буде вимагати залучення в господар-

ський обіг багатьох інших галузей промисловості, сприяючи утворенню нових виробничо-коопераційних зв'язків і завершених виробничих циклів. По суті, здійснення перелічених трансформацій і перетворень створить передумови для формування іншого, нетрадиційного, економічного укладу й дозволить практично, крок за кроком, вирішувати згадане вище суперзавдання Стратегії сталого розвитку.

В міру утвердження "воднево-економічних відносин" нафта й газ будуть зберігатися для неенергетичних виробництв, а атмосфера буде очищатися від шкідливих викидів продуктів згоряння.

Не слід, однак, переоцінювати можливості здійснення настільки глобального "перезавантаження" світової системи споживання й виробництва. Специфічні фізико-хімічні властивості водню [38] обумовлюють досить високі вимоги до всіх видів технічних засобів поводження з ним, насамперед, в аспекті забезпечення вибухобезпечності, а також їх стійкості до факторів хімічної й фізичної активності водню. Тому повсюдне впровадження водневих технологій стримується, по-перше, необхідністю створення безпечних, надійних і енергоефективних засобів зберігання значних обсягів водню для потужних стаціонарних енергетичних об'єктів, а також портативних ємностей для мобільних споживачів; по-друге, потребою в розробці раціональних технічних систем і економічно виправданих логістичних схем транспортування водню на потрібні дистанції.

Нарешті, принциповою перешкодою економічного характеру є відносно висока вартість виробництва електролітичного водню, більшу частину якої складають витрати на енергію, необхідну для його вивільнення з електроліту в процесі електролізу. Витрати ці обумовлені наявністю "енергетичного бар'єру" – мінімальною величиною питомої енергії, теоретично достатньої для ініціювання розщеплення молекул води, а практично навіть у кращих з існуючих нині електролізерів питоме споживання енергії виявляється на 20-50% більше. Саме економіка електролізу виявилася самим вузьким місцем, або гордієвим вузлом, як назвав його автор [39], відновлювано-водневої енергетики. Таким чином, у контексті

водневої доктрини вкрай актуальними є два завдання: з одного боку – це всіляке зниження вартості енергії, що генерується відновлюваними джерелами електричної енергії, а з іншого – підвищення енергетичної ефективності електролізу й економічності його апаратної реалізації.

Природно, що на цій проблемі зосереджена увага провідних світових корпорацій і лабораторій. Здійснені ними за останні роки розробки демонструють вражаючі результати в підвищенні ефективності електролізного обладнання й зниженні капітальних витрат у виробництві електролітичного водню. Варто згадати для прикладу, що застосування нових матеріалів і технологій, розроблених протягом попереднього п'ятиріччя у відомому центрі NREL, привело до скорочення капітальних витрат на одному електролізному блоці з більш ніж 1000 \$/кВт у 2007 р. до величини, меншої за 350 \$/кВт. При цьому вартість водню, виробленого зазначеним устаткуванням при вартості електрики 0,04 \$/кВт·год, оцінюється на рівні 3,15-3,64 \$/кг H₂ (0,28-0,32 \$/нм³ H₂) [40]. Такі показники виразно вказують на оптимістичну тенденцію до досягнення конкурентоспроможності відновлювано-водневих технологій на ринках палива у великій і малій енергетиці.

"Це тільки справа часу, коли водень як енергоносіє зможе конкурувати із традиційним паливом", – так оцінюють фахівці нинішню стадію водневої "перебудови" [34, 37].

Однак, саме часу на послідовне проходження всіх неминучих етапів переведення енергетичної генерації на безвуглецеві джерела, судячи з темпів зростання забруднення атмосфери, виявляється, що й немає. В такій ситуації стає доцільним формування паралельних ліній розвитку і впровадження окремих елементів або часткових етапів безвуглецевих технологій.

Декарбонізація енергетичних систем: газозводневі суміші.

Досягнення глибокої декарбонізації (девуглезації) – зниження щорічних викидів CO₂ до 2050 р. на 60-80% від поточних рівнів – вимагає активного здійснення всіх доступних заходів, включаючи розробку і впровадження низьковуглецевих енергоносіїв для опалення й інших видів прямого використання палива у житлових, коме-

рційних і промислових секторах [13, 27, 41]. Оскільки саме там сконцентровані ті кінцеві споживачі, які користуються, головним чином, таким безпечним і надійним носієм, як природний газ, і продукують, наприклад, у Сполучених Штатах, понад 25% викидів CO₂.

Природний газ, маючи безперечні технологічні переваги й високу ефективність використання у порівнянні з іншими викопними енергоносіями, визнаний у цій якості планетарно-стратегічним ресурсом і найважливішим фактором у вирішенні проблеми зміни клімату, тому що має серед них найнижчий вміст вуглецю й вимагає менших зусиль для його ізолювання. Спонукальними мотивами для девуглезації енергії, що доставляється кінцевим користувачам, є зростаюча потреба в доступних, чистих, безпечних і зручних її формах [13]. Тому, як уже згадувалося, в енергетику й енергоємні виробництва впроваджуються технології CCS, які можуть бути прив'язані до різних стадій спалювання газоподібного палива.

Але цього недостатньо. Поряд із розширенням застосування різних методів CCS, до теперішнього часу з'явилися прогресивні технології, які забезпечують ще більш ефективне перетворення й кінцеве використання природного газу. Зокрема, набула поширення переробка його в газозводневі форми, синтетичні палива (газоподібні й рідкі) [41, 42], а також безпосереднє збагачення природного газу воднем [13].

Збагачений воднем природний газ (Hydrogen – enriched natural gas, or HENG) – це суміш водню й природного газу (ГВС), які теоретично можна змішувати в будь-яких пропорціях, але найбільш раціональним в осяжній перспективі видається варіант HENG-ГВС, що містить від 10 до 20% водню. При таких концентраціях ГВС, як правило, сполучні з існуючою інфраструктурою транспортування природного газу й устаткуванням кінцевого споживача – розподільними пристроями й паливною апаратурою. Безпосереднє їх використання забезпечує сприятливі умови для первісного розгортання водню в енергетичних системах без залучення дорогих інвестицій. При такому підході одночасно вирішується ряд проблем зберігання водню, його транспортування й подачі до обладнання для прямого використання як па-

лива (у газових плитах, опалювальних котлах, бойлерах тощо).

Разом з тим застосування ГВС утворює цілий ряд позитивних ефектів.

Насамперед, досягається інтенсифікація горіння й зниження емісії CO₂ від спалювання природного газу, що приводить до скорочення викидів та інших забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту (NO_x), оксид вуглецю (CO), незгорілий метан та інші вуглеводні. Зокрема, кожна тонна вуглецю, вилучена перед згорянням (pre-combustion capture), запобігає викиду приблизно 3,7 т CO₂, який мав би місце при безпосередньому спалюванні газу.

Додавання в газ водню навіть у невеликих кількостях веде до більш повного згоряння палива в газовому потоці, у тому числі CO, метану й інших вуглеводнів, чим забезпечується підвищення паливної економічності спалювання газу в котлах, двигунах і турбінах, тобто ефективність конверсії внутрішньої енергії природного газу в корисну енергію – ККД.

В цілому, по всьому технологічному ланцюжку – від свердловини до пальника – використання газоводневих сумішей може значно знизити емісію діоксиду вуглецю. Наприклад, у США таким чином вдалося б скоротити викиди CO₂ більш ніж на 111 млн т за рік при капітальних витратах в \$42 млрд.

Такий результат відповідає річним викидам від 20 млн легкових автомобілів або 10 млн домогосподарств і еквівалентний додатковому введенню більше 100 МВт потужностей вітрогенераторних станцій вартістю понад \$100 млрд, які займають територію цілого штату Массачусетс [13].

Більше того, можливість прямого приєднання до існуючих газотранспортних магістралей вихідних ліній водневого циклу енергоустановок з поновлюваними джерелами відкриває шлях до безперешкодної й практично безвитратної інтеграції всього масиву відновлюваної енергетики в глобальну систему енергозабезпечення сучасного індустріального світу [41].

Наведені дані вказують на явну доцільність повсюдного впровадження газоводневих енергоносіїв і м'якого переходу до водневих техноло-

гій, які дозволять скоротити витрати природного газу і в комунальній, і в промисловій енергетиці.

Парогазові технології: нетрадиційні види палива.

Із енергетичних машин зонайкраще для використання газоводневих сумішей як палива пристосовані газотурбінні двигуни. Тому зовсім природним і економічно виправданим виявляється їх застосування в газотурбінних енергетичних установках (ГТУ), які, завдяки відомим перевагам у порівнянні з паротурбінними електростанціями, одержали поширення в маневреній генерації, а також як джерела пікової потужності. Однією з основних переваг газових турбін є придатність їх до роботи з різними видами рідкого й газоподібного палива [43–45], а їх висока надійність і ефективність застосування доведена більш ніж 10-річним досвідом експлуатації ГТУ в енергетичних системах провідних країн світу.

Свої технічні й термодинамічні переваги газотурбінні двигуни найбільш повно реалізують в енергетичних парогазових установках (ПГУ). Коefіцієнт корисної дії сучасних ПГУ із традиційною схемою становить 50–60%, завдяки чому досягається максимальна ефективність використання палива. Тому завдання адаптації енергетичних комплексів до використання низьковуглецевого палива в індустріально розвинених державах вирішується саме на основі сучасних ГТУ й парогазових технологій [43, 46] шляхом розширення їх використання не тільки в маневреній, але й у базовій генерації. При цьому сучасні розробки провідних світових фірм послідовно просуваються у напрямку впровадження в газотурбінні технології замість природного газу паливних композицій з воднем, переважно отриманих за рахунок газифікації вугілля (синтез-газ і водень) [47, 48], аж до 100-відсоткового заміщення воднем традиційного природного газу [46].

Незважаючи на відзначені переваги природного газу, в енергетиці у якості первинного палива, завдяки своїй доступності, широко використовується вугілля, запаси якого в різних країнах світу досить великі [17]. Тому на енергетичному ринку існує неослабний економічно обумовлений попит на нього, який, однак, неподільно поєдну-

ється з вимогою скорочення викидів CO_2 (див. рис. 10, де показано прогнозоване зростання попиту на вугілля). Таким чином, протиріччя "трьох Е" виступає в цій ситуації у гранично оголеному вигляді й диктує нагальну потребу у впровадженні технологій перетворення вугілля й інших видів твердого палива в газоподібну низьковуглецеву форму.

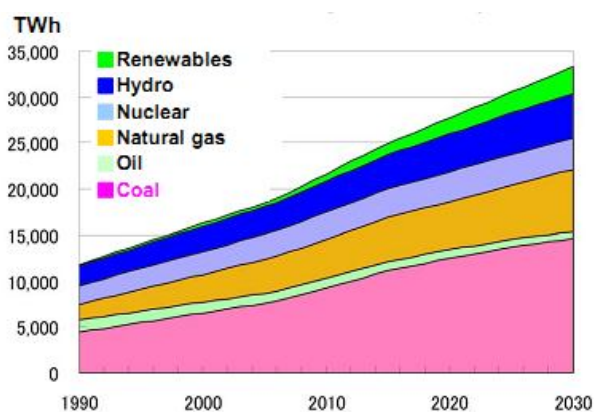


Рис. 10. Прогноз виробництва електроенергії по видам палива [17].

При газифікації практично вся органічна маса палива перетворюється в газ, який і спалюється у камерах згоряння ПГУ або в топках котлів. Одержуваний у результаті газифікації вугілля синтетичний газ (синтез-газ) різного походження (з різних сортів вугілля) має практично однаковий склад основних компонентів, хоча їх співвідношення можуть варіюватися в досить широких межах (в об. %): CO – 35-60; H_2 – 18-35; CO_2 – 3-17; N_2 – 1-11; CH_4 – 0-1,5; інші – менше 0,1%. Від складу залежить теплота згоряння конкретного синтез-газу,

яка може становити 8000-12500 кДж/м³; вихід газу при цьому становить 1,6-2,2 м³/кг; використання вуглецю – 95-98% і ККД газифікації 70-72% [49]. Відповідно проводиться реконструкція певних вузлів газових турбін, у першу, чергу їх камер згоряння.

Більшість розробок, пов'язаних з технологією газифікації вугілля, спрямовані на інтеграцію газифікатора в парогазовий цикл. Таку технологію називають "ПГУ з внутрішньоцикловою газифікацією (ВЦГ) – Gas Turbine for Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC)". Впровадження таких установок у велику енергетику може здійснюватися за досить м'яким сценарієм: поступовий перехід від спалювання чистого природного газу через суміш його із синтез-газом аж до 100% заміщення. При цьому досягається додатковий ефект підвищення енергоефективності установки, тому що можливість варіювання складу паливної композиції дозволяє розширити діапазон регулювання потужності відповідно завантаженню [47]. При наявності лінії підведення газоводневої суміші стабільного складу зазначені можливості створюють передумови для повної автоматизації та оптимального керування енергоустановкою.

У результаті введення все більш жорстких екологічних вимог ПГУ класу IGCC останнім часом доповнюють системами CCS, так що, не дивлячись на використання такого "нечистого" палива як вугілля, вони стають достатньо чистими для навколишнього середовища [50].

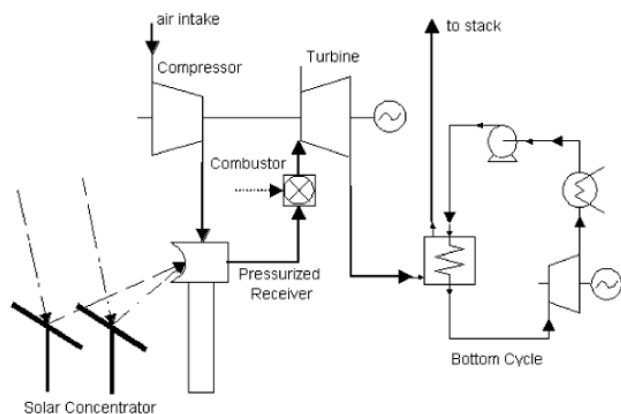


Рис. 11. Сонячно-компресорна ПГУ [52].

З гори до низу		
Зліва	в середині	справа
подача повітря	турбіна	відхідні гази
компресор	камера спалювання	утилізаційний цикл
ресивер стисненого повітря		

Технологія прямої подачі в камеру згорання турбіни разом з основним паливом (природним або синтез-газом, або ж рідким) електролітичного водню, отриманого за рахунок відновлюваних джерел, дислокованих безпосередньо в зоні ПГУ, визначена як Integrated Renewable Hydrogen Cycle – IRHC [51].

З іншого боку, ПГУ-технології дають широкі можливості для інтеграції в термодинамічні цикли газових і парових турбін теплоти відновлюваних джерел, зокрема, геліотермічних перетворювачів. Наприклад, у результаті доповнення діючої ПГУ 135 МВт сонячно-тепловою установкою в попередньому ступені пароперегрівника, її потужність підвищилася до 150 МВт. В іншому варіанті сонячно-гібридного циклу ПГУ низькотемпературна пара, отримана за рахунок енергії сонячного випромінювання, використовується для впрокування в камеру згорання за технологією STIG (Solar-Hybrid Steam Injection Gas Turbine Cycle) з метою збільшення вихідної потужності турбіни [52]. В установці, представленій на рис. 11, сонячна енергія використовується для попереднього нагрівання до 650°C стисненого повітря, що подається в камеру згорання газової турбіни потужністю 4,6 МВт. Досвід створення й експлуатації подібного роду енергетичних установок з гібридними циклами (включаючи вітрогенерацію) визначив новітній напрямок в енергетиці, який в узагальненому варіанті охарактеризований як Renewable-Hybrid Integrated Cycle [53].

Перспективна пара: водень – аміак.

Відзначені раніше фактори, що стримують поширення відновлювально-водневих технологій, не перешкоджають, однак виробництву водню у величезних кількостях (50-55 млн т) з вичислених видів палива (природного газу або вугілля, на що в рік затрачається більше 2% світового обсягу споживання первинних енергоносіїв). Близько 45% світового виробництва водню, одержуваного в такий спосіб (більш 20 млн т), використовується в якості сировини для синтезу більш ніж 130 млн т аміаку (NH_3) на рік. Він широко застосовується в хімічній промисловості для одержання азотної кислоти й нітратів, ефірів, вибухових речовин, у целюлозно-паперовій та медичній промисловості, а також у якості холодоаген-

ту. Але основна галузь застосування аміаку – це виробництво азотовмісних добрив (80% усього аміаку).

Роль азотних добрив у забезпеченні родючості ґрунтів і продуктивності агропромислового сектору неможливо переоцінити, саме застосування цих добрив виявляється одним із найголовніших факторів у досягненні продовольчої безпеки для зростаючої чисельності населення світу. Тому передбачається подальше зростання попиту на аміак і його похідні і, природно, нарощування обсягів його виробництва.

Разом з тим, аміак, будучи горючою речовиною, має властивості, які ставлять його в один ряд із кращими видами газоподібних і рідких палив. Аміак не містить вуглецю; енергетично він порівнянний з воднем, а продуктами реакції окиснення (згорання) аміаку є азот і вода, які не порушують природної рівноваги [54]. Аміак має фізичні властивості, аналогічні пропану; скраплюється при кімнатній температурі під тиском близько 10 бар або при -33°C при 1 атмосфері. Рідкий аміак має більш ніж на 50% вищу об'ємну густину енергії, ніж рідкий водень, і більш ніж у два рази перевершує за об'ємною густиною енергії водень-газ при 700 бар.

Як синтетичний продукт він цілком аналогічний водню в ролі вторинного енергоносія, однак позбавлений властивих йому негативних якостей у частині зберігання й транспортування (про які говорилося раніше). Тому в якості альтернативи розглядається технологія зберігання водню у зв'язаному виді – "упакованому" у сполуки, в яких зберігається його енергетична цінність, але спрощується транспортування. Одним із варіантів такого підходу є одержання метанолу, а іншим – аміаку [55].

Водень, отриманий електролізом за рахунок відновлюваних джерел, відразу може бути використаний для синтезу NH_3 в екзотермічній реакції з азотом N_2 , який, у свою чергу, отримується безпосередньо з повітря. Реакція синтезу аміаку споживає енергію, порівнянну з енергією, необхідною для стиснення газоподібного водню, і менше, ніж потрібно для скраплення водню.

Зрозуміло, для одержання азоту й власне синтезу аміаку необхідне додаткове устаткування

й витрати на його обслуговування. У той же час наявність розгалуженої й десятиріччями відпрацьованої системи зберігання й доставки аміаку як у газоподібному, так і в рідкому стані будь-якими видами транспорту (від автомобільного до трубопровідного) робить економічну перспективу такої технології цілком оптимістичною. Більше того, розповсюджені нині технології синтезу аміаку за методом Габера-Боша, енерговитратні й екологічно небезпечні, можуть у недалекому майбутньому відійти в історію – їм на зміну йдуть твердотільні й компактні установки електрохімічного синтезу [56].

Нарешті, "аміачна економіка" створює сприятливі можливості для створення і впровадження нових енергоефективних і "чистих" моторних палив на основі водонітратних композицій (суміші аміачної селітри із сечовиною, метанолом, етанолом, воднем, аміаком, розчинені у воді). Їх відмінність від нафтового палива полягає в тому, що водонітратні композиції (ВНК) не горять у повітрі, як бензин або інші нафтопродукти, а термічно розкладаються на складові частини при нагріванні під тиском. Калорійність їх вища, ніж у паливної суміші повітря й бензину (водонітратні композиції 700-1000 ккал/кг, повітряно-бензинова суміш – 610 ккал/кг), і розкладання їх іде з утворенням великого об'єму газів. Адіабатичне розширення в них досягає 1000 л газів на 1 кг, що відповідає бездимному пороху. Повітряно-бензинова суміш – 32 л на 1 кг. В силу цього водонітратні композиції мають хороші перспективи як паливо для теплових двигунів: і ДВС, і газових турбін [57].

Оскільки вихлоп від згорання ВНК і власне аміаку екологічно чистий (не містить шкідливих з'єднань), актуалізувався й паліативний варіант їх впровадження в енергетичну сферу: використання в якості палива для автомобілів у суміші з бензином. Для цього потрібна лише незначна модернізація паливної системи звичайного двигуна внутрішнього згорання. А відносна простота переобладнання двигуна під такі суміші дає певні переваги для комерціалізації цієї технології.

Розробки в цьому напрямку проводяться в різних країнах. Ще в 2007 р. ентузіасти в США зробили 3-тисячокілометровий автопробіг майже

через увесь континент на пікапі Chevrolet S-10, пристосованому під аміачно-бензинову суміш (у пропорції 80% на 20%), із середньою витратою 8,7 л пального на 100 км. А вже в 2013 р. у Кореї був представлений реальний (на базі серійної моделі) автомобіль, що працює на суміші з 70% аміаку й 30% бензину, ККД якого виявився не гірше бензинових або дизельних авто. Підраховано, що переведення хоча б 20% усіх автомобілів Південної Кореї на такий вид палива, навіть із зазначеною пропорцією, знизить рівень викидів шкідливих речовин у країні приблизно на 15% або на 10 млн т на рік [58].

Але ця тема буде розглянута окремо.

Розділ 2. Сценарії сталого розвитку для України.

Україна природно залучена в усі перипетії процесу глобалізації в сакраментальному трикутнику "енергетика-економіка-екологія". Більше того, внаслідок численних викривлень у цих сферах, що збереглися як тоталітарна спадщина, Україна виявилася в лещатах протиріч, обумовлених невідкладними завданнями реформування усього й уся.

Метою розгляду цього розділу є аналіз становища України в системі координат "трьох Е" і обґрунтування можливих напрямків вирішення проблем, що існують в економіці, енергетиці й природокористуванні.

Тут автор змушений зробити застереження: в силу обмеженості об'єму статті даний розділ представлений у форматі розширеної анотації, а розгорнутий матеріал розраховує викласти в наступному номері.

Україна в ракурсі Рамкової конвенції й Кіотського протоколу.

Екологія. Україна входить у перелік країн, які підписали й ратифікували Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату й Кіотський протокол до неї, і взяли на себе зобов'язання не тільки захищати кліматичну систему на благо сучасного і майбутнього поколінь людства, але й виконувати свої індивідуальні зобов'язання як Сторони Конвенції й Протоколу. Зокрема, Україна зобов'язалася проводити політику й заходи, спрямовані на боротьбу зі зміною клімату, враховуючи реальні соціально-економічні умови країни,

охоплювати всі джерела й поглиначі парникових газів, а також відповідні сектори економіки.

У числі зазначених заходів – здійснювані національною гідрометеорологічною службою України (Гідрометслужба) у відповідності зі статтею 5 Конвенції систематичні спостереження й дослідження основних кліматотворюючих факторів на території України, аналіз їх динаміки за останній кліматичний період. Встановлено, що клімат України, як і всієї земної кулі, за весь період інструментальних спостережень потеплішав, а зміни клімату України в значній мірі є синхронними зі змінами глобального клімату. На виконання відповідних статей Конвенції й Протоколу представлені Національні повідомлення України з питань зміни клімату (III–V-е від 2009 р. і VI-е від 2013 р.) [59].

В Україні вжиті заходи із законодавчого регулювання негативного антропогенного впливу на зміну клімату й адаптації до його змін у вигляді Закону України "Про основні принципи (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2020 року". На його основі розроблений і затверджений Кабінетом міністрів України (за №577-р від 25.05.2011) Національний план дій з охорони навколишнього природного середовища України на 2011-2015 роки. Вводяться відомчі нормативи на припустимі викиди забруднюючих речовин і їх граничні концентрації для теплосилових установок; створене Державне агентство екологічних інвестицій для забезпечення функціонування національної системи обігу й торгівлі вуглецевими одиницями [59, 60].

В Україні навіть прийнята Державна цільова економічна програма енергоефективності й розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії й альтернативних видів палива на 2010-2015 роки (затверджена Кабінетом міністрів України за №243 від 01.03.2010).

Зрозуміло, продовжує діяти раніше сформована система природоохоронного законодавства, екологічних стандартів і нормативів припусти-

мих рівнів викидів і забруднень, у тому числі архаїчних, частина з яких давно вимагає перегляду й відновлення, але поглиблюватися тут у цю досить велику тему не будемо.

Отже, номінально в Україні існує правовий режим захисту навколишнього середовища й механізми його забезпечення через державні структури, а також вживаються заходи щодо реалізації положень згаданої Конвенції й Протоколу.

Однак за час від ратифікації Конвенції (1996 р.) реальний стан справ у частині техногенного навантаження на навколишнє середовище мало змінився й характеризується значними об'ємами викидів забруднюючих речовин як від підприємств паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), так і промислового сектору, які знижуються лише в результаті загального спаду виробництва. Так, загальні викиди CO₂ в 2011 році за даними VI Національного повідомлення склали 298,2 млн т, згідно даних Держстату – 236 млн т, а в 2013 і того менше – 230 млн т [61]. Для порівняння нагадаємо відповідний показник 2010 року у Великобританії – майже 500 млн т при порівнянній чисельності населення (46 і 63 млн ос.). Здавалося б, радіти, що мало "чадить" Україна, але ж і продукції виробляє вдесьтеро менше – 4000 \$/ос. проти 40000 \$/ос. [62], а це означає, що насправді шкоди від такої "чистої" роботи в 6,5 разів більше.

Викиди, які продукуються в енергетичній галузі України, складають приблизно 40% викидів усіх секторів економіки, з них 70% – викиди теплоенергетики. За даними згаданого Національного повідомлення, ПЕК є основним джерелом викидів парникових газів в Україні, частка якого за період 1990-2011 років змінювалася в межах 78-92% з урахуванням сектору землекористування й лісового господарства. Питома вага викидів основних парникових газів – діоксиду вуглецю (CO₂) і метану (CH₄) у ПЕК склала в 2011 році відповідно 88% і 66% від загального обсягу викидів.

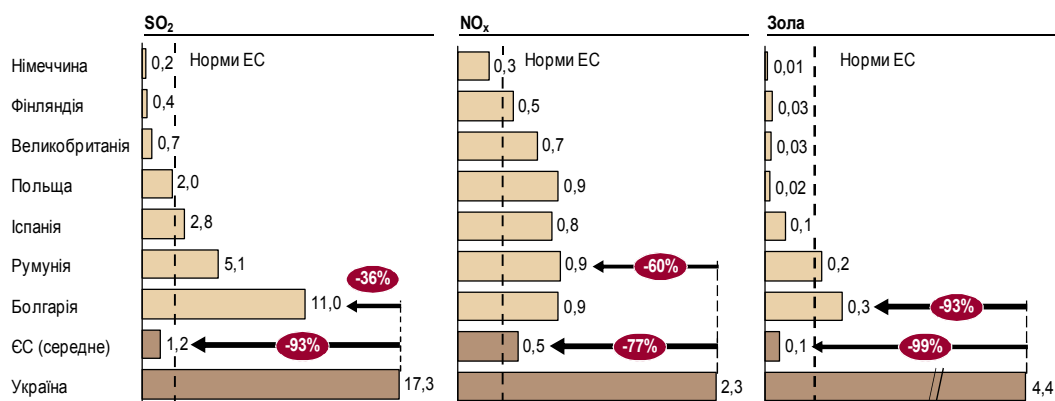


Рис. 12. Викиди шкідливих речовин великих теплових електростанцій (2009 р.) у г/кВт-год [52].

Показовим є також зіставлення "продуктивності" виробництва викидів діоксиду сірки, оксидів азоту й твердих часток (золи) на великих ТЕС в Україні та ЄС, яке презентовано на рис. 12 [63], з якого очевидний гнітючий розрив у загальному ставленні уповноважених органів і наділених владою суб'єктів до проблем, що прямо впливають на здоров'я й життя населення. Концентрація тих та інших токсичних забруднювачів атмосфери й стічних вод найчастіше значно перевищують граничні норми.

Не менш напруженими для України з її загальним дефіцитом водозабезпеченості, особливо у південних і східних регіонах, є обсяги споживання свіжої води й відвід забруднених вод підприємствами електроенергетики, які становлять відповідно 31% і 20% від їхнього загального обсягу.

Крім цього, на території України тільки вуглевидобуток нагромадив понад 1200 породних відвалів вугільних шахт і збагачувальних фабрик, які займають площу понад 10 тис. га, щорічний обсяг нагромадження відходів вуглевидобутку й вуглезбагачення становить понад 42 млн т [60]. У цілому ж, зовнішні відвали підприємств гірничо-збагачувальної промисловості, чорної та кольорової металургії, хімічної і будівельної індустрії, накопичуючись десятками років, щорічно зростають на 600-800 млн т, і утворили цілі гірські масиви площею понад 200 тис. га (2 тис. кв. км – чверть території Чернівецької обл.) загальним обсягом близько 40 млрд т [2]. Такою виявилася зворотна сторона медалі – ціна за "блага цивілізації", які *має* одержувати населення від розвитку промисловості й економічного росту.

Так загалом виглядає екологічний компонент українського "З Е-Балансу".

Енергетика. Що ж являє собою енергетична характеристика нинішнього стану України, якою ціною в тоннах і кубометрах палива дістаються ці самі "блага" або ж, навпаки, лягають тягарем на всякий новий проект, усяку нову інвестицію, усяку спробу пожвавити економіку?

Останні 5 років Україна споживає в середньому близько 180 млн т у.т. на рік.

За даними Держслужби статистики (Держстату) України в 2012 р. загальний обсяг поставок первинної енергії становив 122 млн т н.е., а в 2013 – 116 т н.е.

Найбільша частка енергоносіїв (близько 40%) споживається при виробленні вторинних енергоносіїв – електроенергії й теплоти. З кінцевих споживачів найбільше споживають такі сектори, як промисловість (34-38%), транспорт (17-20%) і побутовий (комунальний) сектор (31-35%). Серед галузей промисловості більше половини енергії витрачає гірничо-металургійний комплекс (ГМК). У споживанні української промисловості частка хімічної й харчової становить відповідно 10% і 8%. Суттєві витрати енергії спостерігаються в гірничодобувній промисловості (6% без урахування видобутку палива) і в секторі неметалічних мінеральних продуктів.

Енергоємність ВВП України в 2010 р. склала 0,55 т у.т. на 1000 доларів ВВП (по ППС) у порівнянні з 0,12 – у Німеччині, 0,2 – у Польщі, у Росії – 0,44 [64].

Висока енергоємність України є наслідком критичного стану енергетичної галузі України,

який констатується у всіх кваліфікованих дослідженнях і експертних висновках державних органів, наукових установ, вітчизняних і міжнародних професійних організацій [65, 66]. Цей стан обумовлений граничним фізичним зношенням вкрай застарілого обладнання теплових електростанцій і вкрай не збалансованими пропорціями між базовими і маневреними потужностями існуючих засобів генерації.

Нині більше 92% енергоблоків ТЕС відробили свій розрахунковий ресурс (100 тис. годин), з яких майже 64% енергоблоків перетнули визнану у світовій енергетичній практиці межу граничного ресурсу й межу фізичного зношення (відповідно 170 тис. і 200 тис. годин) і потребують модернізації або заміни. Зазначені фактори приводять до перевитрат палива при виробництві електроенергії [60, 67, 68].

Проблеми електроенергетики країни значною мірою викликані спотвореною структурою економіки: вона перевантажена енергоємними виробництвами первинної переробки сировини й галузями з нерівномірним характером споживання енергії. Ситуацію обтяжує низький рівень гідроенергетики в загальному балансі генерації, а по суті – відсутність достатньої кількості маневрених потужностей для регулювання коливань навантаження [65, 66]. Створення додаткових маневрених потужностей у необхідному обсязі традиційним шляхом – побудовою нових ГЕС, неможливо, тому необхідно вишукувати нестандартні шляхи вирішення цієї проблеми [43, 67, 68].

Надзвичайно обтяжує енергетичний баланс України комунальний сектор, у якому лівова частина енергетичного ресурсу витрачається на опалення, освітлення, кондиціонування й гаряче водопостачання – більше 60%, що складає "у загальному заліку" 25% усього енергоспоживання. Усереднений показник у цій сфері становить в Україні 260 кВт·год/м² проти 90-120 кВт·год/м² у ЄС.

Економіка. Чи не найбільший парадокс України останніх десятиліть являє собою невідповідність між ментальною хазяйновитістю й ощадливістю окремого українця й волаючим марнотратством енергоресурсів практично в усіх областях національної економіки. Показовий приклад виявляє ЖКГ, де на тлі величезних витрат

у комунальному секторі через край застарілі й неефективні системи тепло- і водопостачання, особливо – центрального опалення, значущим фактором дисбалансу в економіці енергозабезпечення населення є цінова непорядкованість, розрив між надлишковими витратами (фінансовими) і недоотриманим доходом. Для модернізації згаданих систем потрібні істотні фінансові ресурси, а неефективна економіка в умовах різкого зростання цін на енергоресурси не може їх надати – у результаті коло замикається, вона сама себе "пожирає" (насправді – тих самих ощадливих українців). Недарма житлово-комунальна сфера стала "чорною діркою" національної економіки.

Однак же, найбільш істотне значення для занепаду економіки України мають наступні дві обставини.

По-перше, це явно виражений експортно-сировинний характер: 50-54% ВВП утворюється за рахунок експорту продукції енергоємних базових галузей промисловості з незавершеним циклом виробництва у вигляді сировинних товарів і напівфабрикатів з низьким ступенем переробки й рівнем доданої вартості [69, 70].

Надлишкова енергоємність зазначених виробництв в умовах недостатньої власної ресурсної бази покривається імпортними енергоносіями, а оплачується солідарними витратами всіх галузей виробничої та невиробничої сфери, і в першу чергу – рядовими платниками податків [26]. Витрати на енергоносії становлять 28% товарного імпорту, а в структурі споживання імпорт енергоносіїв досягає 38% [67].

Внаслідок цього економіка України тривалий період перебуває під тиском зростаючих цін на імпортний природний газ, який використовується, в основному, декількома базовими галузями промисловості. Продукція цих галузей (металургійної, хімічної, будматеріалів тощо) постачається переважно на експорт, однак саме в цьому сегменті витрачається вдвічі більший об'єм газу, ніж споживає все населення України. Економічний результат такого господарювання тільки в металургії виливається в 0,12 грн. збитку на кожній гривні експорту металопродукції, або 5 млрд грн. на рік (більше 625 млн доларів США) – у середньому приблизно 10% щорічного дефіциту

зовнішньоторговельного балансу за 3 попередніх роки (до 2012). А в 2012 р. доподатковий збиток у галузі досяг 13,7 млрд грн., що в 3,3 рази більше результату 2011 р. [70]. Таким чином, у тому вигляді, у якому існують зазначені виробництва, вони, по суті, самі стають джерелами екологічно-економічних криз [70, 71].

Значна частина газу, споживана промисловістю, не просто спалюється для одержання теплової енергії, а переробляється в інші хімічні сполуки, які використовуються в подальших технологічних процесах як реагенти або сировина й у такому виді попадає в експортовану продукцію. У першу чергу це стосується водню. Тільки у виробництві аміаку, метанолу, мінеральних добрив, нафтохімічної продукції обсяг споживання водню в Україні досягає 20 млрд куб. м, для одержання якого витрачається, принаймні, 10 млрд куб. м природного газу на рік.

Ключові завдання й сценарії переходу до сталого розвитку для України.

Викладені обставини дозволяють визначити ключові завдання, розв'язання яких необхідне для того, щоб відвернути найгірші варіанти, або, як нині називають – сценарії, розвитку подій в Україні, і, по-можливості, вийти на ті шляхи-дороги, що ведуть до сталого розвитку (як говорили раніше – світлого майбутнього).

По-перше, для переходу до сталого розвитку Україні категорично необхідне розв'язання того суперзавдання, яке виразно закарбоване в Стратегії Ріо й поставлене перед усім світовим співтовариством, а перед Україною воно стоїть у першу чергу і вимагає здійснення абсолютно неминучої докорінної зміни сформованої в країні економічної моделі й гранично спотворених співвідношень споживання й виробництва в основних її секторах. Інакше така економіка сама себе "пожере", хоча може, східні вандали на це й розраховують.

Якщо в когось виникає питання, а що, власне, і як змінювати, то відповіді лежать на поверхні (ну, не красти – це банально):

- не виробляти й не продавати продукцію незавершеного виробництва, з низьким ступенем переробки, низькопробні напівфабрикати, наприклад, несортовий чорний метал або непрофільний

прокат, які дотуються бюджетом і продаються за рубіж тільки як металобрухт або інші відходи, не покриваючи вартості енерговитрат;

- не виробляти те, що при існуючих в Україні технологіях вимагає безглузких енерговитрат, які в структурі ціни разом із транспортними витратами досягають 70%, залишаючи на зарплату жалюгідні 5%, паралізуючи купівельну спроможність населення й споживчий ринок;

- не виробляти товари розрізної, не уніфікованої номенклатури, які не мають достатнього попиту на внутрішньому ринку й не приносять доданої вартості, але розтрачують енергоресурси й тиснуть на енергетичний баланс і енергоємність ВВП;

- стимулювати виробництво продукції з високим ступенем переробки, зі зниженою енергоємністю й мультиплікативною доданою вартістю, затребуваною на внутрішньому ринку, що забезпечує прискорений обіг капіталу;

- усіляко розбудовувати й стимулювати ті галузі, продукція яких знайшла стійкий попит і на внутрішньому і на зовнішньому ринку, що стосується насамперед агропромислового сектору, концентрувати навколо них розвиток енергетичної й логістичної інфраструктури (приклад – агрофірма "Нібулон");

- нарешті, слід створювати багаторівневі (вертикально інтегровані) енерготехнологічні комплекси, що поєднують окремі допоміжні ділянки, цехи й заводи в масштабну індустрію по переоснащенню великої й малої енергетики, транспортних систем і комунального сектору на альтернативні вторинні енергоносії, становлення якої потребуватиме залучення в господарський обіг багатьох інших галузей промисловості, сприяючи формуванню нових виробничо-коопераційних зв'язків і завершених виробничих циклів.

Зрозуміло, втілення зазначених завдань повинне супроводжуватися всебічними заходами щодо енергозбереження, заміною енерговитратних технологій, радикальною модернізацією інфраструктури й технічного оснащення ЖКГ, економією енергоресурсів і безліччю інших заходів, які деталізуються в програмах і планах загальнодержавного, регіонального й локального рівня.

Окремо слід говорити про економічні й правові механізми регулювання зазначених процесів, і хоча це вже виходить за рамки наміченої теми, варто згадати про доцільність впровадження у фінансово-господарчий обіг категорії "енергетичної вартості" продукції й відповідних фіскальних і стимулюючих інструментів.

По-друге, вкрай актуальним, стратегічно важливим для економічної безпеки країни є завдання заміщення принаймні 12-15 млрд м³ імпортного газу еквівалентним об'ємом водню як реагенту в хімічному виробництві, й у якості палива в енерготехнологічних установках. Загалом потрібний об'єм водню складає 20-25 млрд м³. Тому для зменшення залежності вітчизняної економіки від імпорту природного газу необхідно в максимальній мірі застосувати альтернативні способи виробництва водню в промислових масштабах без використання вуглеводневої сировини.

Такою альтернативою є одержання водню шляхом електролізу води, а також видобуток його з величезних запасів сірководню, що накопичилися в глибинних шарах Чорного моря [72]. І якщо в глобальному вимірі, імовірно, найбільше мотивують розвиток широкомасштабної водневої економіки екологічні проблеми, то для України питання про "водневу економіку" набуває особливої актуальності по самій своїй суті, обертаючись на життєву необхідність.

По-третє. Стратегічні розрахунки на можливість забезпечити базові енергетичні потреби України власними ресурсами вугілля донецького басейну виявилися перекресленими навалюю сучасних східних вандалів. Перед лицем підсиленого газового шантажу з боку монополій і нафтобензинової залежності навіть атомна генерація, будь вона раптово подвоєна, не наповнить баки автомобілів, танків і літаків, тракторів і комбайнів. Не вирішить це завдання і водень як такий – не заллеш його просто так в автомобільний бак.

А що ж робити, якщо треба орати, сіяти й косити – єдине, що ще добре виходить у нашої економіки, тільки удобрювати необхідно, а добриво – той самий аміак, що виробляють із водню за допомогою природного газу. Однак, уже згадувалося, що виробляти його можна й без газу. І отримувати з нього не тільки добриво, але й пре-

красне пальне, яке й у баки заливати можна, і по трубопроводах транспортувати на близькі й далекі відстані, тим більше, що в Україні є відповідна інфраструктура. На цей виклик потрібна "несиметрична" (за новітньою термінологією) відповідь, і вона є, точніше, дві. Два, образно говорячи, "сюжети" у цьому сценарії.

Згадана в першому розділі технологія газифікації вугілля, яка дозволяє готувати добротне паливо – синтез-газ для газових турбін і котлів, придатне для переробки і в рідкі фракції. Суміш монооксиду вуглецю й водню (CO і H₂) у різних співвідношеннях, що зветься синтез-газом, утворюється як з вугілля, так і з будь-якої іншої вуглеводневоємної сировини. За допомогою реакції Фішера-Тропша проводиться конверсія синтез-газу в метанол і далі – у гас, дизпаливо й високооктановий бензин. В умовах того дефіциту первинних енергоносіїв, який організували Україні східні сусіди, можна прогнозувати різкий стрибок виробництва метанолу, причому слід очікувати створення нових потужних (до 1 млн т на рік) агрегатів, автономних в енергетичному відношенні й високоефективних за витратами сировини. У той же час є передумови для створення в районах, багатих на вуглеводневу сировину (кам'яне й буре вугілля, торф, відходи деревообробки й зернового виробництва, біогаз тощо), великих комплексів з виробництва метанолу з подальшим транспортуванням його в райони споживання трубопроводами або переробкою на місці в інші види енергії.

Саме такий сюжет розкриває простір для тотального відновлення ставшого непридатним устаткування базової генерації української енергосистеми – шляхом повсюдного встановлення ПГУ із внутрішньоцикловою газифікацією, що працюють на газоводневих сумішах з когенеративним циклом і без нього. Повні цикли виробництва газових і парових турбін, котлів, теплотехнічного й електротехнічного устаткування в Україні давно освоєні, тому не існує технічних перешкод для практичного втілення такого сценарію [51, 68].

Що стосується сировини для газифікаційних станцій і внутрішньоциклових агрегатів ГТУ-ПГУ, то нею можуть слугувати, як зазначено ви-

ще, не обов'язково високосортне енергетичне вугілля Донецького басейну, а практично будь-яке низькосортне, некондиційне й буре вугілля, вугільна крихта плюс усяка органіка, яка в принципі може горіти, аж до хмизу. Крім того, відома й апробована у світі технологія підземної газифікації вугільних шарів, непридатних для шахтної розробки, яка дозволить втягнути в паливно-енергетичний баланс України величезну кількість некондиційних шарів і прошарків, ресурси яких у Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні оцінюються в 74 млн т, що дозволяє одержати за пропонованою технологією понад 60 млрд м³ синтез-газу, в тому числі 27 млрд м³ водню. При цьому собівартість отриманого синтез-газу виявляється нижче сланцевого й близька до природного газу, який видобувається в Україні [73].

Другий сюжет, пов'язаний із подвійним призначенням аміаку, полягає в доцільності створення інтегрованого з водневим циклом широкомасштабного виробництва аміаку за допомогою альтернативних технологій.

Але для реалізації цих сценаріїв все-таки потрібен деякий "пусковий" енергетичний потенціал – для забезпечення реакцій одержання синтез-газу і його конверсії в метанол, електролізу у водневому циклі й електрохімічного синтезу аміаку. Економічна життєздатність такого виробництва може бути забезпечена тільки "дешевою" електроенергією, яку можна одержати:

- а) від АЕС;
- б) з відновлюваних джерел.

Таким чином, життєво необхідна Україні дешева електроенергія від відновлюваних джерел!

По-четверте. Це і є ще одне із ключових завдань для сталого розвитку.

Хоча фахівці відразу заперечать – немає таких відновлюваних джерел, щоб отримана від них енергія була дешевою. Але ми їм заперечимо: енергія вітру, сонця, хвиль, тепло землі й моря – дармова, дороговартісною її робить технологія добування (видобутку) і підготовки до споживання згідно з вимогами споживача й доставка до нього.

У разі якщо цю енергію брати там, де вона найбільш інтенсивна, якщо немає необхідності в доведенні її "консистенції" до якихось споживчих стандартів, якщо не потрібно її куди-небудь

далеко транспортувати й дець зберігати, якщо її відразу "ужити" на місці одержання (як огірок із грядки), то, мабуть, коштувати такий "огірок" буде гранично мало.

Місцем для видобутку такої дешевої енергії в Україні є морський шельф – величезний простір, майже 70 тис. км², з буйними вітрами, яскравим сонцем, невщухаючими хвилями, те що вже десятирок років освоює Європа, розгорнувши у своїх офшорах величезні вітроферми більш ніж на 5 ГВт потужностей, і розраховує довести їх у найближчі 5-7 років до 40 ГВт [71], що майже дорівнює потужності всієї енергосистеми України.

Але на відміну від Європи нам не потрібно транспортувати по підводних кабелях на десятки кілометрів відновлювану електроенергію, вироблену на шельфі й у безлічі лиманів і заток. Нам потрібно розмістити на плавучих платформах, побудованих за проектами найпростіших дебаркадерів і доків на наших суднобудівних заводах (у Миколаєві й Херсоні) з нашого дешевого металу (Кривий ріг, Маріуполь) і цементу (Миколаїв, Луцьк), вітрогенератори й фотоелектричні станції, виготовлені на наших заводах (у Дніпропетровську, Краматорську й Києві), укомплектувати їх електролізерами й хімічними синтезаторами вітчизняного виробництва (Харків, Запоріжжя і т.д.) і качати по трубопроводах або доставляти танкерами водень, аміак, прісну воду, хлор, соду й інші супутні продукти переробки трьох невичерпних природних ресурсів – повітря, води й Сонця з його теплом і світлом [26, 41, 71, 74].

До них під'єднуються сполучені виробництва мінеральних добрив, найбільш затребуваного матеріалу сучасних будівельних технологій – полівінілхлориду (ПВХ), придушеного зовнішньою конкуренцією (або загубленого внутрішніми умільцями), реанімується велике електромашинобудування, відновлюється будівництво малотоннажних (каботажних і річкових) суден, випуск різноманітного оснащення – насосів, компресорів, приводів і інше, й інше.

У такий спосіб і створюється розгалужена багаторівнева індустрія радикальної трансформації енерготехнологічного змісту економічної моделі України шляхом переорієнтації її на задоволення насамперед власних потреб (а не попитів

олігархату) задля порятунку від утоплення "самих себе своїми руками".

І це не фантазія від Жуль Верна (його фантазії вже давно втілилися в реальність) – у циклі робіт автора з колегами [26, 36, 41, 71, 74] представлені розгорнуті обґрунтування й розрахунки, що підтверджують "життєздатність" наведених сценаріїв при використанні тих самих інвестиційних коштів, які розумні "попередники" мали намір викидати на екстравагантні проекти LNG-терміналів, "вишки Бойка", видобуток сланцевого газу, танкерного сполучення з Катаром та ін.

Висновки. У даній роботі розкритий нерозривний зв'язок безлічі суперечливих проблем розвитку сучасного суспільства, які виникли у сфері енергетики, екології й економіки, набули глобального характеру, зокрема, у загрозливих проявах зміни клімату, і вимагають об'єднання зусиль усього світового співтовариства на їх подолання.

В індустріальних державах і країнах, що розвиваються, за останні півтора десятиріччя створений різноманітний арсенал ефективних засобів придушення, компенсації, запобігання й виключення негативних факторів антропогенного впливу на навколишнє середовище й клімат планети, застосування яких впорядковано, регламентовано й приписано найважливішими рішеннями й документами всесвітніх і міжнародних організацій, об'єднаних загальним баченням самих насутишніх задач сучасності, які склали пакет "Стратегії сталого розвитку" і в такій якості визнані усім світовим співтовариством в особі урядів, громадських структур цивільного суспільства, авторитетних наукових установ, провідних корпорацій і більшістю громадян планети.

У роботі показані механізми дії тих засобів і заходів, які орієнтовані на вирішення завдань, поставлених "Стратегією...", зокрема, можливе їхнє застосування в умовах України.

В Україні все є, вистачило б ... кризового менеджменту.

Далі буде.

1. Куцан Ю.Г. Впровадження проекту програми розвитку ООН щодо інтеграції положень Конвенцій РІО в еко-

номіку України // Енергетика та електрифікація. – 2014. – № 9. – С. 9–12.

2. Біла Г.Ю., Запорожець Ю.М. Можливості перетворення загрозливих звалищ відходів на переробні енергетичні комплекси: приклад миколаївського глиноземного заводу // Відновлювана енергетика. – 2012. – № 3. – С. 10–16.

3. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 27 июля 2012 года. 66/288. Будущее, которого мы хотим / <http://www.se4all.org/wp-content/uploads/2014/02/Rio+20-Outcome-Document-RUS.pdf>

4. Йоханнесбургская декларация по устойчивому развитию. От наших истоков к будущему / http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/pdf/decl_wssd.pdf

5. Фрай К. Экология или энергетическая безопасность – что важнее? // Вопросы экономики. – 2006. – № 4. – С. 104–113.

6. Статистический Ежегодник мировой энергетики 2014 / <https://yearbook.enerdata.ru/>

7. BP Energy Outlook 2035. January 2014 / http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/Energy-Outlook/Energy_Outlook_2035_booklet.pdf

8. Киотский протокол. Суть и цели данного документа. История его составления и подписания странами-членами мирового сообщества / <http://ref.by/refs/97/28355/1.html>

9. International Energy Outlook 2013 / [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf)

10. Rick Strait and Manoj Nagvekar. Carbon dioxide capture and storage in the nitrogen and syngas industries / <http://www.kbr.com/Newsroom/Publications/Articles/Carbon-Dioxide-Capture-and-Storage-in-the-Nitrogen-Syngas-Industries.pdf>

11. Zampara M. and Capros P. EU energy, transport and GHG emissions trends to 2050 / http://www.e3mlab.eu/e3mlab/presentations/EU%20Energy,%20transport%20and%20GHG%20emissions%20Trends_ECRAN_UPDATE.pdf

12. Mantzos L., Capros P., Kouvaritakis N. et al. European energy and transport trends to 2030 // January 2003 / http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/trends_2030/1_pref_en.pdf

13. Hydrogen-enriched natural gas: bridge to an ultralow carbon world / Copyright © 2009 National Grid Atlantic Hydrogen Inc. <http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/225.pdf>.

14. Rong Lan, John T. S. Irvine & Shanwen Tao. Synthesis of ammonia directly from air and water at ambient temperature and pressure // Scientific reports / – Published 29 January 2013 / <http://www.nature.com/srep/2013/130129/srep01145/pdf/srep01145.pdf>

15. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года // ИНЭИ РАН, АЦ. – 2014. – 168 С. / <http://ac.gov.ru/files/publication/a/2194.pdf>

16. Везируглу Т.Н., Сахин Ш. Энергетика 21-го века: водородная энергетика // Альтернативная энергетика и экология. – ISJAE. – 2014. – № 2. – С. 12–28.

17. *Tsutomu Watanabe*. Clean coal technology required for the future and development of IGCC technology // The Ninth IERE GM / Central & East Europe Forum, 9–13 November 2009, Bucharest, Romania / http://www.ccpower.co.jp/en/research/pdf/doc/9th-iere-gps_ccp.pdf
18. *Roadmap for moving to a low-carbon economy in 2050* / http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index_en.htm
19. *Michael Obeiter, Kristin Meek, Rebecca Gasper*. Power Sector Opportunities for Reducing Carbon Dioxide Emissions. – December 2014/ <http://www.wri.org/power-sector-opportunities-reducing-carbon-dioxide-emissions>
20. *Michael Nicoletta*. Carbon dioxide Capture and Storage (CCS) / http://www.che.utexas.edu/course/che359&384/lecture_notes/topic_2/CO2_cap_store_1.ppt
21. *Ways to Reduce Carbon Dioxide Emissions* / <http://teeic.indianaffairs.gov/er/carbon/carboninfo/reduce/index.htm>
22. *Renewables 2013. Global status report* / <http://www.unep.org/pdf/GSR2013.pdf>
23. *Оффшорные ветряные электростанции: обзор* / <http://www.renewable.com.ua/wind-energy/40-offshornye-ventrjanye-elektrostantsii-obzor.html>
24. *Ronald Michalsky, Bryon J. Parman, Vincent Amano-Boadu, Peter H. Pfromm*. Solar thermochemical production of ammonia from water, air and sunlight: Thermodynamic and economic analyses // *Energy*. – 2012. – Vol. 42. – Iss. 1. – P. 251–260. <http://www.ScienceDirect.com/science/article/pii/S0360544212002654>
25. *Мхитарян Н.М., Кудря С.А., Яценко Л.В., Шинкаренко Л.Я.* Состояние и перспективы использования водорода в возобновляемой энергетике // *Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ*. – 2012. – № 5–6. – С. 68–79.
26. *Запорожець Ю.М., Кудря С.А.* Ветросолнечные энергетические комплексы с водородным циклом // *Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ*. – 2011. – № 8. – С. 66–75.
27. *Wind Power-to-Gas (P2G) technology* / <http://energystoragejournal.com/wind-instrument-power-to-gas-technology/>
28. *Carl-Jochen Winter*. Hydrogen energy – Abundant, efficient, clean: A debate over the energy-system-of-change // *International journal of hydrogen energy*. 2009, 34. pp. S1–S52 / http://www.itshytime.de/hytime/JHEvol34_14S1.pdf
29. *Кузык Б.Н., Яковец Ю.В.* Россия: стратегия перехода к водородной энергетике – М.: Институт экономических стратегий, 2007. – 402 с.
30. *Кривцова В.И., Олейников, А.М. Яковлев А.И.* Неисчерпаемая энергия. Кн. 4. Ветроводородная энергетика. – Харьков: Нац. Аэрокосмич. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2007. – 606 с.
31. *Прохоров И.Ю., Акимов Г.Я.* Фотоэнергетика и водородная энергетика: возможности и достижения // *Наука та інновації*. – 2009. – Т. 5. – № 6. – С. 11–24.
32. *Steve Colt*. Economic Analysis of an Integrated Wind-Hydrogen Energy System for a Small Alaska Community // DOE Award Number: DE-FC26-01NT41248, Final Technical Report. – December 2008 / http://www.iser.uaa.alaska.edu/Publications/integ_wind/Integrated_wind_hydro-gen_final.pdf
33. *Штильрайн Э.Э., Малышенко С.П., Кулешов Г.Г.* Введение в водородную энергетику / под ред. В.А. Легасова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 264 с.
34. *Пономарев-Степной Н.Н., Пахомов В.В.* Водородная экономика и будущее человечества. 2007 / <http://www.inrus.com/index.php?section=docsys&cmd=details&id=30>
35. *Гольцов В.А.* Доктрина водородной цивилизации: может ли человечество предотвратить экологическую катастрофу // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2012. – №4. – С. 15–39.
36. *Запорожець Ю.М., Кудря С.О.* Кроки до водневої економіки // *Відновлювана енергетика XXI століття. XI міжнародна науково-практична конференція*, 2010. – С. 82–85.
37. *Гольцов В., Гольцова Л., Везироглу Н.* Водородная экономика: история, современность, перспективы // Вторая международная конференция "БЕРЛИН–ПМ'2006" / <http://www.vebro.ru/M5.htm>
38. *Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справ. изд.* // Гамбург Д.Ю., Семенов В.П., Дубовкин Н.Ф., Смирнова Л.Н.; Под ред. Д.Ю. Гамбурга, Н.Ф. Дубовкина. – М.: Химия, 1989. – 672 с.
39. *Puharich A.* Water Decomposition by AC Electrolysis / <http://www.rexresearch.com/puharich/1puhar.htm>
40. *Monjid Hamdan*. PEM Electrolyzer Incorporating an Advanced Low-Cost Membrane // Project ID# PD030.– May16, 2012 / http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/progress12/ii_d_1_hamdan_2012.pdf
41. *Запорожець Ю.М.* Газоводородные технологии и возможности интеграции ресурсов возобновляемой энергии с традиционными системами энергообеспечения как средства преодоления глобальной экологической угрозы // *Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ*. – 2011. – № 8. – С. 66–75.
42. *Яковлев А.И., Щекин А.Р.* Водородсодержащий синтез-газ и синтетический метанол – перспективные топлива для энергетики // *Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ*. – 2013. – № 3. – С. 27–40.
43. *Бабанин И.В., Чупров В.А.* Сокращение потребления природного газа и перспективы электроэнергетики: "атомный" и "парогазовый" сценарии // *Вести в электроэнергетике*. – 2006. – № 5 / http://www.escoecosys.narod.ru/2007_1/art129.pdf
44. *Романов В.В., Филоненко А.А., Чобенко В.Н.* Применение газотурбинных технологий – эффективный путь модернизации энергетики Украины // *Наукові праці. Серія "Техногенна безпека"*. – Миколаїв: ЧДУ ім. П.Могили, 2005. – Том 41. – Випуск 28. – С. 163–167.
45. *Шеберстов О.М.* Стан теплових електростанцій України, перспективи їх оновлення і модернізації // *Енергетика і електрифікація*. – 2004. – № 12. – С. 1–6.
46. *Водородное будущее энергетической отрасли* / <http://www.smartgrid.ru/sg-industriya/tehnologii-i-resheniya/vodorodnoe-budushchee-energeticheskoy-otrasli/>
47. *R. Daniel Brdar, Robert M. Jones*. GE IGCC Technology and Experience with Advanced Gas Turbines // *GE Power Systems – GER-4207* / <http://www.netl.doe.gov/>

technologies/coalpower/turbines/refshelf/igcc-h2-sygas/IGCC%20GTs%20(GER4207).pdf

48. *Tim Bradley, Joseph Fadok*. Advanced hydrogen turbine development update // Proceedings of the ASME Turbo Expo 2009: Power for Land, Sea and Air, GT2009. Orlando, Florida, USA. – 2009, June 8-12. – С. 1–9.

49. *Применение газификации углей в электроэнергетике* // Институт проблем естественных монополий. Электронный ресурс / <http://www.combienergy.ru/nts18.html>

50. *Christer Björkqvist*. Progress Towards Implementation of IGCC-CCS in Europe // ICEPAG 2010. – International Colloquium on Environmentally Preferred Advanced Power Generation. Costa Mesa, California. – 2010, February 9-11. – P. 1–4.

51. *Запорожец Ю.М., Кудря С.А., Резцов В.Ф.* Парогазовые технологии и нетрадиционное топливо – перспективы развития маневренной генерации в энергетике Украины // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. – 2013. – № 8. – С. 10–22.

52. *Livshits M., Kribus A.* Solar hybrid steam injection gas turbine (STIG) cycle // Solar Energy, Vol. 86, Iss. 1. January 2012. – P. 190–199.

53. *Craig Turchi*. CSP and Natural Gas Hybrids // NREL. – April 19, 2012. – P. 16 / http://www.cleanskies.org/wp-content/uploads/2012/04/Turchi_CERF3_04192012.pdf

54. *Вечер А.А., Чернякова К.В.* Водородная энергетика – один из способов рационального использования энергии атомных электростанций // Альтернативная энергетика и экология. – ISJAEЕ. – 2007. – № 12. – С. 78–81.

55. *William C. Leighty*. Alternatives to Electricity for Transmission and Annual-scale Firming Storage for Diverse, Stranded, Renewable Energy Resources: Hydrogen and Ammonia / <http://www.indiaenergycongress.in/montreal/library/pdf/15.pdf>

56. *William C. Leighty*. Solid State Ammonia Synthesis (SSAS) Pilot Plant Demonstration System for Renewable Energy (RE) Firming Storage, Transmission, and Export // Alaska Applied Sciences, Inc. / http://www.akenergyauthority.org/EmergingEnergyTechnologyFund/EETF-AC_Stage1_Review/Abstracts/001.pdf

57. <http://schriftsteller.livejournal.com/749366.html> // Электронный ресурс.

58. *Корейский автомобиль на аммиаке* // <http://techvesti.ru/node/6558>

59. *VI Национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата* // Киев. – 2013. – 342 с.

60. *Каплун В.В.* Конвенції Ріо як синергетичний інструментарій сталого розвитку паливно-енергетичного комплексу України // Энергетика та електрифікація. – 2014. – № 8. – С. 11–14.

61. *Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря* / <http://www.ukrstat.gov.ua/>

62. *Національні рахунки України за 2013 рік.*

Статистичний бюллетень // Держстат України. – Київ. – 2014. – 23 с.

63. *Вольчин І.* Шляхи покращання екологічних показників роботи енергетики України. Оновлена енергетична стратегія України // IV міжнародна науково-практична конференція "Екологічні аспекти роботи енергетики України. Шляхи зменшення негативного впливу на навколишнє середовище". – Вінники, жовтень 2012 р.

64. *Энергоэффективность в промышленности* / <http://energy-efficiency.in.ua/energoeffektivnost-v-promyshlennost.html>

65. *Мацевитый Ю.М., Стогний Б.С., Шидловский А.К.* Научно-техническое обеспечение долгосрочных планов развития энергетики Украины // Энергетика та електрифікація. – 2013. – № 1. – С. 48–52.

66. *Праховник А.В., Попов В.А., Находов В.Ф., Баталов А.Г., Денисевич К.Б.* Развитие маневренной генерации ОЭС Украины как фактор повышения энергетической безопасности государства // Энергетика та електрифікація. – 2008. – № 7. – С. 9–12.

67. *Енергоефективність, енергозбереження в Україні.* Реанімаційний пакет реформ / http://platformareform.org/wpcontent/uploads/2014/05/%D0%95%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%B7%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%A0%D0%9F%D0%A0-final-15-08-14.pdf

68. *Запорожец Ю.М.* Теплові електростанції України перед дилемою: або закриття, або інтенсивне відновлення // Наукові праці. Серія "Техногенна безпека". – Миколаїв: ЧДУ ім. П.Могили. Випуск 198. – Том 210. – 2013. – С. 31–39.

69. *Каиуба А.* Украинская экономика дистрофической была, есть и будет. По матер. УНИАН, 05.01.2011. <http://news.finance.ua/ru/~2/0/all/2011/01/05/222913>.

70. *Экспорт и импорт Украины.* <http://index.minfin.com.ua/index/gdp/eximp.php>

71. *Запорожец Ю.М.* "Морской водород" для экономики Украины // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. – 2013. – № 3. – С.13–26.

72. *Борц Б.В., Неклюдов И.М., Полевич О.В., Ткаченко В.И., Шилиев Б.А.* Альтернативная сероводородная энергетика Черного моря. Состояние, проблемы, перспективы. – Ч. 1. // Альтернативная энергетика и экология. – ISJAEЕ. – 2006. – № 12. – С. 23–30.

73. *Стефаник Ю.В., Храмов В.М.* Оцінка ресурсів вугілля Львівсько-Волинського басейну, придатних для отримання водню методом підземної газифікації // Фундаментальні проблеми водневої енергетики. Наукова звітна сесія. – Київ, 25.11.2010. – С. 35–36.

74. *Запорожец Ю.М.* Комплексное использование энергосырьевых ресурсов акваторий шельфа: химпром на морских платформах // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. – 2013. – № 17. – С. 10–22.