

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

І.М. Карп, академік НАН України
Інститут газу НАН України,
вул. Дегтярівська, 39, Київ, 03113, Україна.
E-mail: karpkiiev@gmail.com

Функціонування української енергосистеми сьогодні пов'язане з ризиками втрати транзиту природного газу, майже повною залежністю від імпорту нафтопродуктів, технологічним відставанням у виробництві, споживанні та транспортуванні електричної енергії. Основними світовими трендами у цьому секторі енергетики є зростання частки децентралізованого виробництва енергії, використання відновлюваних джерел, впровадження засобів акумуляції енергії у комунально-побутовому секторі та в масштабах енергосистем. Тому необхідним є створення «розумних» електромереж, спроможних приймати значні кількості електроенергії від автономних джерел без втрати стійкості енергосистем. Бібл. 7, табл. 1.

Ключові слова: енергетика, споживання, акумуляція, виробництво, децентралізована енергетика, технологічний прогрес.

Споживання електричної енергії. Основна мета енергетики, як це сформульовано в [1], «забезпечення гарантованої відповідності генеруючих потужностей обсягам та режимам споживання електроенергії в об'єднаній енергетичній системі України, зокрема, в частині наявності регулюючих потужностей». Отже, ключовим параметром назване споживання електроенергії «нетто», яке становить приблизно 120 млрд. кВт-год. Серед найбільших споживачів – населення, що споживає 30, металургія – 25, комунально-побутовий сектор – 13, транспорт – 6%. Як буде змінюватися споживання електроенергії в часі у перспективі, залежить від багатьох факторів [2]. На нашу думку, у середньостроковому періоді немає підстав очікувати швидкого значного зростання споживання та відповідно виробництва електроенергії. Це пов'язано зі зменшенням у структурі виробництва ВВП обсягу енергоємних виробництв та збільшенням у ньому частки послуг; впровадженням енергозберігаючих заходів; зменшенням чисельності населення. У довгостроковому періоді можливі зміни у такій найбільш енергоємній галузі, як металургія, а саме збільшення частки електросталі у її загальному виробництві. Випереджаюче зростання частки електросталі у порівнянні з її виробництвом за технологією «доменна піч – кисневий конвертер» є загальносвітовою тенденцією останніх десятиріч. Виплавка сталі у дугових електричних печах (ЕДП) у США складає 63% (2014 р.), в Україні – 7%. Технологія виплавки у ЕДП енергетично значно ефективніша, ніж за технологією «доменна піч – кисневий конвертер». За період з 2001 по 2010 р. виплавка електросталі у США збільшилася з 38 до 61%, одночасно загальні витрати первинної енергії на виробництво сталі зменшилися на 37%. Аналогічні приклади можна навести і для інших країн. За останні 15 років виробництво електросталі в Росії збільшилося більше, ніж удвічі, до 20 млн. тонн, перевищивши показники Німеччини та зрівнявшись з показником Японії. Поступово виплавка електросталі в Україні може збільшуватися за рахунок створення нових відносно невеликих потужностей у 100 – 250 тис. т/рік, наприклад, як на заводах «Азовелектросталь» у Маріуполі та ТОВ «Електросталь» у Курахове. Обмежуючим фактором збільшення виплавки електросталі називають проблеми з металобрухтом. Проте це не відповідає дійсності. Україна експортує металобрухт. Потенціал металобрухту в Україні буде збільшуватися внаслідок відновлення виробничих потужностей та заміни автомобілів на електромобілі.

Можливе зростання потреби у виробництві електроенергії пов'язане з розвитком електроавтомобілебудування, яке є справжнім проривом у транспортній енергетиці. Аналіз стану електромобілебудування показує, що після 2025 року всі нові автомобілі, а також автобуси, вантажні машини і трактори будуть на електричній тязі. Підставами для такого твердження є кілька факторів. Електричний двигун у чотири рази більш енергоефективний, ніж двигун внутрішнього згорання (ДВЗ). Вар-

тість електроенергії на однакову відстань у 10 разів менша, ніж рідкого моторного палива. Електромобіль Tesli Model S має всього 18 рухомих частин у порівнянні з більше ніж 2000 у звичайних авто. Tesla дає гарантію на нескінченний пробіг. Конкурувати з такими показниками неможливо.

Практично всі автомобільні компанії світу припинили розвивати звичайне автобудування і вкладають великі інвестиції у створення електромобілів. Показово те, що у цю справу вкладають кошти комп'ютерні компанії. Компанія Foxconn, що виробляє айпади, оголосила про внесення 1 млрд. дол. у розробку електромобіля. Аналогічно виробляють електромобілі компанії Apple, Uber, Google. Тобто цілий ряд комп'ютерних компаній увійшов у цей ринок. Це пов'язано з тим, що сучасні електромобілі – це комп'ютери на колесах. Безпілотні автомобілі – це вже не майбутнє, а сучасність. Сотні таких автомобілів вже рухаються по дорогах загального користування. Tesla вже створила на 90% безпілотник, який завершать на 100% у 2018 році. Компанія «Ніссан» готує безпілотник на 2018 рік. Безпілотний автомобіль («гугломобіль») сканує оточуючу ситуацію за допомогою пристрою – лідара. Лідар виконує мільйони вимірювань на секунду, проводить аналіз і видає керуючий сигнал. Вартість цього основного елемента керування безпілотним автомобілем з 2012 до 2014 року, тобто за три роки, зменшилася із \$70 тисяч до однієї тисячі і анонсована на 2017 рік у \$250.

Прогрес у розвитку електромобілебудування буде залежати від вартості автомобілів. Сьогодні електрокар Tesli коштує \$35–40 тис. (у 2013 р. – \$75 тис.), у 2020 році буде коштувати \$30 тис., а у нижньому ціновому сегменті – \$20 тис. Середня вартість звичайного автомобіля у США на цей час становить \$33 тис.

Розроблення нових технологій виробництва електроенергії. Наразі весь світ опікується пошуком нових ефективних енергетичних технологій. З цією метою створено міжнародний консорціум Mission Innovation у складі 21-ї країни з бюджетом \$15 млрд., який за п'ять років буде збільшено до \$30 млрд. Четверть фінансування надають США. До справи долучився Білл Гейтс, який створив і фінансує структуру із 30 країн для комерціалізації нових енергетичних технологій. Україна в консорціумі не входить. Які нові технології будуть створені в результаті такого мозкового штурму, покаже час. Але вже сьогодні можна спробувати визначити деякі спрямування у розвитку нових енергетичних технологій.

У великій енергетиці, тепловій і атомній – це розроблення технологій та обладнання з використанням супернадкритичного циклу на робочому тілі CO₂ замість водяної пари. Використання CO₂ удвічі (приблизно пропорційно співвідношенню щільностей диоксида вуглецю та пари) зменшує габарити основного енергетичного обладнання та відповідно площі під будівництво ТЕС та АЕС. У США вже виділено 115 млн. дол. на спорудження дослідно-промислової установки потужністю 10 МВт. Координатором та співвиконавцем проекту є GTI – Інститут газових технологій.

Іншою тенденцією є використання кисню при спалюванні вугілля з метою збільшення концентрації CO₂ та її депонування. У Німеччині побудовано першу в світі екологічно чисту теплову електростанцію, яку можна назвати кліматично безпечною. В основі технології використовується система спалювання вугілля з киснем з наступним очищенням димових газів та вилученням і подальшим захороненням CO₂- (CCS – Carbon Capture and Storage). Оксид вуглецю у балонах доставляють до місць захоронення у пористих породах на глибину 1000 м. Вартість станції – 70 млн. євро. Основною перешкодою для будівництва таких станцій є їхня висока вартість. Для пошуку інвестицій планується організувати активну торгівлю квотами на викиди CO₂. Такі проекти існують у багатьох країнах, але, на нашу думку, внаслідок значних витрат власної енергії на виробництво кисню (20%) їхня реалізація знаходиться під питанням. Технологія спалювання вугілля з киснем у сполученні із газифікацією вугілля у киплячому шарі під тиском розробляється компанією Pratt & Whitney Rocketdyne.

Найбільші технологічні зрушення очікуються у зв'язку з розвитком автономної (розподіленої) енергетики. Як первинні джерела будуть все ширше використовуватися відновлювані джерела, природний газ, вторинне тепло, відходи. Ці зрушення торкнуться не тільки генерації, але й транспортування енергії, а також структури енергетики та електричних мереж.

Твердоокисні паливні елементи. Досягнутий електричний ККД високотемпературного паливного елемента складає 56,6%. Первинним паливом є природний газ або пропан-бутан. У технологічній схемі використовується термохімічна регенерація теплоти анодного газу по технології, запропонованій українським вченим Вільямом Григоровичем Носачем. Слід відзначити стрімке падіння вартості встановленої потужності паливних елементів, яка сьогодні становить до \$1800/кВт, що можна порівняти з вартістю традиційної генерації. Американське агентство ARPA-E (Advanced Research Projects Agency-Energy) – підрозділ Департаменту енергетики США, оголосило конкурс на створення

генеруючої установки DFC/T (direct fuel cell / turbine) потужністю до 100 кВт з ККДел=75% на основі паливного елемента та безлопаткової мікротурбіни. Як для циклу sCO₂, так і для цього гібриду будуть потрібні безпаливні турбіни, по суті, турбодетандери. В Україні є спеціалісти і великий досвід виробництва таких детандерів. Прогрес у створенні паливних елементів та використання українських розробок у галузі турбін та термоелектрики дають надію на досягнення такого результату. У серпні 2017 р. компанія Mitsubishi Hitachi Power Corporation продемонструвала подібний гібрид потужністю 250 кВт з ККДел 55%.

Розвиток децентралізованої енергетики на цьому етапі буде пов'язаний із вивченням та розробленням нових технологій перетворення енергії – прямого перетворення хімічної та теплової у електричну (спочатку теплової в механічну, а механічну – в електричну). На першому етапі слід очікувати створення гібридних комбінацій теплових джерел з двигунами різних конструкцій – газовими ДВЗ на природному газі та генераторному газі, дизельними з використанням біодизеля, вільнопоршневих двигунів, двигунів Стірлінга. Технологічним проривом можна вважати створення компанією Тойота у 2014 році гібридного електрокара із вільнопоршневими двигунами та електрогенератором, у яких зворотнопоступальний рух циліндрів безпосередньо перетворюється у змінний трифазний струм, який і рухає двигун. Вважається, що такий гібрид буде мати попит доки не будуть створені дешеві акумулятори, які б забезпечили пробіг електричних автомобілів у 1000 км.

Окремо треба зупинитися на *двигунах Стірлінга*. Теплові двигуни Стірлінга останнім часом привернули значну увагу енергетичної спільноти. Існують різні думки щодо їхньої ефективності. Песимістичні оцінки дають ККД на рівні 20%, а максимальну досягнуту потужність 7,5 кВт., оптимістичні – 45%, а потужність – 250 кВт (демонстраційна установка показана у Китаї у 2005 р.). Зараз йдеться про те, що незабаром буде створено двигун потужністю 1000 кВт.

У 2012 році у США компанією Soony Corporation було запатентовано новий тип теплового двигуна, подібного двигуну Стірлінга, у якому використовується внутрішня циркуляція робочого тіла. Але, на відміну від нього, у двигуні Суні має місце зовнішня його циркуляція, що гарантовано збільшує його ККД та надійність [3]. ККД двигуна є здобутком від множення ККД ідеального циклу Карно на внутрішній ККД двигуна. У випадку двигуна Суні це

$$\text{ККД}_{\text{Карно}} = 1 - T_2/T_1 = 1 - 259,1^\circ\text{K}/922^\circ\text{K} = \mathbf{71,83\%}.$$

Приймаючи внутрішні теплові втрати та втрати на тертя у 20%, отримаємо

$$\text{ККД}_{\text{ДВ}} = 71,3\% * 0,8 = \mathbf{57,5\%}.$$

Це рекордний результат для двигунів. Навіть при охолодженні робочого тіла (повітря) у середовищі з температурою 293°K загальний ККД двигуна буде **54,6%**, що теж немало. ККД може бути підвищений шляхом використання водню або гелію як робочого тіла. Проте двигун Суні існує тільки у вигляді патенту. Також треба прийняти до уваги ККД нагрівача гарячого циліндра, якщо він працює на газовому паливі, а не є сонячним. Температура вихідних газів такого нагрівача має бути вища температури циліндра. В цьому випадку треба застосовувати високоефективну регенерацію теплоти.

Паливом для двигунів як внутрішнього, так і зовнішнього згоряння повинен бути генераторний газ, отриманий газифікацією вугілля або біомаси. Для двигунів внутрішнього згоряння використання генераторного газу ускладнюється необхідністю його глибокого очищення до вмісту смол не вище 50 мг/м³. Інститутом газу НАН України розроблено технологію та обладнання газифікації біомаси у оберненому процесі з так званою зворотною або зустрічною хвилею [4]. Технологія дозволяє отримувати силовий генераторний газ, який потребує мінімум очищення.

Енергетична спільнота приділяє велику увагу процесам газифікації органіки. У Франкфурті 28-29 березня 2018 р. відбудеться міжнародний саміт з газифікації, для участі в якому вже зареєструвалося 82 міжнародні компанії. Серед них такі відомі, як Shell International, Thyssen Krupp Uhde GmbH, Volkswagen, EON Gasification Development AB, GE Power & Water Gasification, Linde AG, Foster Wheeler Italiana SRL, Sasol Technology (Pty) Ltd та інші.

Відновлювана енергетика. Розвиток відновлюваної енергетики за останнє десятиріччя став основним трендом світової енергетики. За даними Міжнародного енергетичного агентства загальна потужність відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у світі вже перевищила сумарну потужність атомних і теплових станцій. Тільки за 2015 рік приріст потужностей ВДЕ склав 130 ГВт. З кожного долара, що інвестується в енергосектор, 60 центів припадає на ВДЕ. Проте постачання енергії від ВДЕ нестабільне, за незначними виключеннями субсидується державами та існує завдяки так званім «зеленим» тарифам. Засоби акумуляції енергії знаходяться ще в стадії розроблення і є дуже вартісними – \$350/кВт. У зв'язку з цими факторами частина країн повертається до вугільної енергетики. В цьому

сенсі показовим є приклад Німеччини, яка має найпотужнішу економіку в Європі. Після аварії на японській АЕС «Фукусіма» в Німеччині було прийнято рішення про зупинку всіх АЕС і зараз вже зупинено вісім із 17 АЕС. Частка виробництва енергії на АЕС становила 30% і було прийняте рішення замінити її ВДЕ. Почалося активне будівництво вітрових станцій (ВЕС), і сьогодні частка енергії, що виробляється ВЕС, становить 10%. Ще стільки ж додають сонячна та біоенергетика. Але альтернативна енергетика виявилася дуже вартісною, на її субсидування вже витрачено 100 млрд. євро. Для запобігання втратам економіки країни уряд Німеччини прийняв рішення про будівництво вугільних станцій, незважаючи на протести екологів. І зараз у Німеччині будуються 23 вугільних електростанції загальною потужністю 24 ГВт. Загалом у Німеччині частка енергії, що виробляється на вугільних ТЕС, становить 40%. У Німеччині ККД вугільних електростанцій доведено майже до 50%. Електростанція Lünen потужністю 750 МВт має ККД 45,95%.

В Україні встановлена потужність ВДЕ на даний час становить 1,5%, а виробництво – 0,9%. Відповідно до [5] передбачено, що встановлена потужність ВДЕ без гідроелектростанцій у 2020 р. буде складати 5550 МВт (близько 10% від значення 2015 року, а виробництво 12660 ГВт, тобто відповідно 7,7%) (таблиця).

Категорія об'єкта електроенергетики	Встановлена потужність		Виробництво електроенергії	
	МВт	% до 2015 р.	ГВт-г	% до 2015 р.
Фотоелектростанції	2300	4,1	2420	1,47
Вітроелектростанції	2280	4,07	5900	3,6
Гідроелектростанції	5350	9,57	13340	8,14
Біоелектростанції	950	1,69	4220	2,58
Геотермальні електростанції	20	0,035	120	0,073
Всього	10900	19,49	26000	15,88
Без гідроелектростанцій	5550	9,92	12660	7,73

На перспективу на декілька десятиріч можливо вважати досягнення цієї частки в Україні не більше ніж 20%. Таку частку, як відомо, планується досягти у ЄС до 2020 р. Якщо національний план буде виконано, то це обійдеться українським платникам податків у суму близько 5 млрд. грн. до 2020 року. Ключовим для України питанням розвитку ВДЕ поряд із сучасними технологіями є якомога точніше визначення їхнього потенціалу.

Акумуляція. Насправді корінну революцію у споживанні та транспортуванні електроенергії зробить створення недорогих акумуляуючих засобів у широкому діапазоні потужностей – від декількох кіловат до десятків мегават.

Світова потужність виробництв акумуляторів на цей час складає 103 ГВт-год, передбачається, що у 2021 році вона досягне 278 ГВт-год (у 2,5 разу за 4 роки). Найбільшим споживачем акумуляторів є підприємства комунально-побутової сфери. Протягом 2014-2015 років 80% від 520 МВт приросту потужностей акумуляторів припало саме на цей сектор. До 2020 року приріст акумуляторних потужностей у цьому секторі складе 9000 МВт (приріст у 17 разів!). Із збільшенням застосування акумуляторів стануть непотрібними дорогі та екологічно обтяжливі гідроакумуляуючі станції. Будуть створені технології, коли населення зможе акумуляувати енергію, в тому числі отримуючи її від відновлюваних джерел, та витрачати за потребою.

Слід зазначити, що приріст обсягу використання акумуляторних потужностей спостерігається не тільки в цьому секторі. Компанія GE та Southern California Edison розробила гібрид авіаційної турбіни з акумуляторами для балансування між виробництвом енергії відновлюваними джерелами та флуктуаціями у споживанні. Потужність турбіни 50 МВт, блок акумуляторів має потужність 10 МВт та ємність 4,3 ГВт-год. Це вже масштаби енергосистеми.

Розвиток потужних систем резервування показує, що в майбутньому відпаде потреба в піковій генерації. На даний час для покриття пікових навантажень використовуються, в тому числі, газові генератори. У США вони складають приблизно третину від всієї потужності генерації, хоча використовуються протягом 6% часу. Потужні системи резервування дозволять купувати енергію вночі, а продавати вдень замість використання пікових генераторів. У США планується створити систему резервування вартістю \$5 млрд. Вона буде економічно виправданою при ціні зберігання \$350/кВт-год,

що вже досягнуто. Компанії, які працюють у цьому бізнесі, стверджують, що після 2020 року не буде побудовано жодного пікового генератора.

Само по собі зрозумілий розвиток виробництва акумуляторів для транспортних засобів. Перелік таких виробництв великий. Корпорація Tesla Елон Маск оголосила у липні 2017 р. про будівництво у Аделаїді (Австралія) літій-іонної батареї 100 МВт/129 МВт-год. Німеччина розробила проект будівництва заводу вартістю 500 млн. євро для складання літій-іонних енергозберігаючих пристроїв для Daimler AG, що виробляє автомобілі класу люкс Mercedes-Benz та Maybach. Найбільша зарядна станція для електромобілів вже побудована в Австралії. Вона заряджає автомобіль Tesla Model S та X за 30 хв і забезпечує пробіг у 270 км.

Принциповою залишається вартість акумуляторів. Зростання виробництва літій-іонних батарей супроводжується зниженням їхньої вартості. Агентство Bloomberg New Energy Finance прогнозує зниження вартості літій-іонних акумуляторів у 2030 році до \$120/кВт-год порівняно з більше \$300/кВт-год сьогодні (\$1000/кВт-год у 2010 році). Проблемою може стати кількість літію у земній корі, хоча вважається, що його вистачить на 100 років з урахуванням зростання потреб. Родовища літію в Україні є у Кіровоградській та Донецькій областях.

ВДЕ та електричні мережі. Для підключення енергії від ВДЕ та інших установок розподіленої генерації до існуючих мереж необхідно провести їхню перебудову та вдосконалення з метою забезпечення прийому великих обсягів потужностей, що потребує значного часу та інвестицій. У США вважають, що існуючі мережі непридатні для цього, оскільки застарілі, не мають достатньої кількості акумуляюючих потужностей та перетворювачів енергії. Передбачається, що для доведення цих мереж до придатного стану потрібно не менше 10 років. Зростання обсягу генерації від ВДЕ та постачання енергії від них у централізовані електричні мережі, «скидання» в мережу надлишків енергії від автономних джерел та ряд інших явищ взаємодії регіональних та центральних мереж спричинили вимогу створення нової енергетичної інфраструктури, яка отримала назву «енергетичної хмари» (Energy Cloud). Ця нова інтелектуальна інфраструктура повинна забезпечити двосторонній потік енергії, бути орієнтованою на перехід від централізованого керування до мультиагентного [6].

Енергія з відходів. Не можна обійти увагою участь енергетичних компаній у розширенні ресурсної бази енергетики за рахунок використання різноманітних відходів, у першу чергу твердих побутових відходів (ТПВ) та забезпечення вирішення двоєдиної задачі енергетики і екології. Ще у 2010 році у країнах ЄС працювало 395 сміттєспалювальних заводів (ССЗ), серед них у Франції 128, Німеччині 73, Італії 51, Великобританії 22, Швейцарії 30, Бельгії 22. В Україні є один ССЗ. Зараз ССЗ будуються у Великобританії, Литві, Польщі, Китаї, Індії, Австралії, Дубаї та інших країнах. Будуються також заводи по спалюванню мулів стічних вод у киплячому шарі. Так, фінська компанія Outotech будує такий завод потужністю 100 тис. тонн мулів на рік у Цюріху. Їхньому будівництву сприяє повна заборона депонування сміття та мулу на полігонах та різке обмеження використання подібних відходів у сільському господарстві. Це треба мати на увазі при плануванні будівництва ССЗ в Україні.

Забезпеченість первинними енергоресурсами. З точки зору забезпечення України первинними ресурсами стан енергетики можна розглядати як надзвичайний.

Природний газ. У 2016 році споживання газу продовжило скорочуватися і становило 33,2 млрд.м³. Власний видобуток склав 20,1 млрд.м³. Проведений нами аналіз показує, що Україна зможе обійтися обсягом власного видобутку за умови інтенсивного впровадження енергозберігаючих технологій, заміщення газу альтернативними джерелами палива і енергії та збільшення видобутку. Крім того, слід підкреслити, що це можливо тільки за умови консервації сучасної структури загального споживання, у тому числі енергетики. Для виробництва мінеральних добрив буде потрібний імпорт.

У зв'язку з очікуваним введенням на повну потужність газопроводу OPAL, будівництвом другої нитки Північного та Південного потоків після 2019 р. слід передбачити можливість припинення транзиту природного газу з Росії до Європи через Україну. (Газопровід OPAL з'єднує північ Німеччини, куди надходить газ із Північних потоків з Росії, з півднем Німеччини, де має місце найбільше споживання газу). Заборону на його використання слід розглядати як тимчасову, бо його функціонування вигідно і Росії, і Європі. Росія зацікавлена у припиненні транзиту через Україну з політичних причин, бо це один з вагомих факторів тиску на повернення України в зону впливу Росії. Крім того, це розв'язує руки для повномасштабного ведення військових дій проти України. Припинення транзиту ускладнює або робить практично неможливим його постачання з західного напрямку, оскільки Європа не має власного ресурсу газу для України. Закупівля його для потреб України ймовірна тільки теоретично. Слід враховувати, що транспортні можливості – реверсні газопроводи – відсутні. Якщо

навіть такі маршрути будуть знайдені, то висока вартість транзиту газу через території європейських країн зробить його закупівлю з заходу недоступним для слабкої української економіки.

Для збільшення власного видобутку газу необхідне посилення розвідувального буріння, запровадження нових технологій інтенсифікації видобутку та підвищення коефіцієнта вилучення запасів, глибоке та горизонтальне буріння.

Необхідно також опрацювати питання з'єднувального газопроводу Північ – Південь із Польщі (від терміналу у Свиноуйсьце) для прийняття регазифікованого газу із США або інших джерел, довести до повної чіткості питання про створення терміналу для прийому скрапленого газу в одному з Чор-номорських портів. Уже зараз необхідно опрацювати питання найбільш економічної експлуатації ук-раїнської ГТС, яка розрахована на транспортування більше 200 млрд.м³ природного газу, у т.ч. транзит 140 млрд. м³, а буде транспортувати у багато разів менше – практично майже тільки для внутрішніх потреб.

Газозбереження має стати одним з основних пріоритетів енергозбереження. Найбільш вагомий внесок слід очікувати від повної термомодернізації будівель, заміщення газу іншими енергоносіями для населення та промисловості.

Нафтопродукти. Не може вважати себе енергетично та у військовому відношенні безпечною країна, яка на 85% залежить від імпорту нафтопродуктів. Половина нафтопродуктів імпортується Україною з Білорусі, 15-20% з Росії, 10-11% з Литви, а решта – з Румунії та Польщі. Якщо припиниться імпорт нафтопродуктів з Росії та припиниться або зменшиться з Білорусі, то Україна опиниться у критичному стані. Нафтопродукти перейдуть до категорії дефіциту, ціни на них підвищаться, а про військові дії вже не йдеться. Ціни зростають вже зараз пропорційно здешевленню гривні. Власна переробка фактично перестала існувати. Із семи нафтопереробних заводів працюють на неповну потужність тільки Кременчуцький (на нафті українського видобутку) та Шебелинський газопереробний. Зупинені Надвірнянський, Дрогобицький та Херсонський заводи, сумнівні перспективи відновлення роботи Одеського НПЗ. Зупинено найбільший в Європі Лисичанський нафтопереробний завод, який знаходиться на лінії розмежування із самопроголошеними територіями. Необхідно осучаснення Кременчуцького НПЗ та Шебелинського ГПЗ у напрямку підвищення ступенів переробки нафти та якості нафтопродуктів відповідно до сучасних вимог. Слід розглянути питання про будівництво нових сучасних НПЗ та організацію постачання до них нафти. Конче необхідно створення стратегічних запасів нафтопродуктів, про що вже багато років йде мова.

Вугілля. Запасів вугілля в Україні достатньо для задоволення енергетичних та технологічних потреб. Внаслідок складних гірничо-геологічних умов видобуток значної частки вугілля дотується з державного бюджету. Частина високоякісного вугілля для потреб металургії, а тепер і для енергетики імпортується. Обсяги власного видобутку залежатимуть від політичних рішень щодо визначення статусу тимчасово окупованих територій Донбасу. Прогнозується поступове збільшення у видобутку частки вугілля газової групи завдяки модернізації теплової енергетики та відповідному зростанню потреби у вугіллі газових марок.

Теплова енергетика. Стан теплової енергетики України незадовільний. Близько 80% енергоблоків ТЕС та ТЕЦ перевищило межу фізичного зношення у 200 тис. год. Тому докорінна її модернізація та будівництво нових потужностей є вкрай актуальними. Встановлена потужність теплової енергетики становить 35,3 ГВт. Коефіцієнт її використання у 2016 році становив 22,2%, тобто практично використовується близько 8 ГВт.

За нашими розрахунками обсяг глибокої модернізації та нового будівництва ТЕС і ТЕЦ складає 12-13 ГВт. Загальні витрати при цьому оцінюються у \$19-20 млрд. Ця цифра може бути уточнена в бік зменшення. Так, потрібно взяти до уваги заплановану добудову двох блоків на ХАЕС потужністю 2,0 ГВт та завершене будівництво потужної ЛЕП напругою 750 кВ від Рівненської та Хмельницької АЕС до підстанції «Київська». Транзитна спроможність такої лінії складає 1,5 ГВт і більше. Це будівництво вносить суттєві корективи в оцінки необхідних обсягів модернізації та будівництва теплових станцій та обсягу резерву.

Ключовим параметром при виборі енергетичних технологій теплових енергоблоків є їхня економічна ефективність, яка в першу чергу залежить від вартості палива. Вартість палива складає 80% від собівартості однієї кіловат-години. З урахуванням світового досвіду перебудову теплової енергетики України слід проводити за такими напрямками: виключення споживання антрацитів і перехід на вугілля газової групи; реконструкція систем пилоподачі для роботи під тиском, що виключає виникнення вибухів у пилопроводах; перехід від рідкого на сухе видалення золи, що зменшує спожи-

вання води та сприяє збереженню довкілля; перехід на ультранадкритичні параметри пари (тиск 280 бар і більше, температура більше 600°C); впровадження сучасних систем газо- та пилоочищення.

Відповідно до [7] передбачено будівництво до 2030 року 8-ми енергоблоків з ультранадкритичними параметрами загальною потужністю 14,045 ГВт (на Зуївській, Луганській, Миронівській, Запорізькій, Придніпровській, Бурштинській, Добровірівській та Зміївській ТЕС), 5-ти блоків з ЦКШ загальною потужністю 3,69 ГВт (Курахівська, Придніпровська, Добровірівська та Слов'янська ТЕС) та ще й за 7-15 років 14-ти блоків ЦКШ на ТЕЦ у 12 містах (Краматорськ, Калуш, Харків, Шостка, Б.Церква, Кам'янськ, Кривий Ріг, Херсон, Миколаїв, Одеса, Дніпро, Северодонецьк) загальною потужністю 4,29 ГВт, всього 22,025 ГВт. Щодо зазначеного вище можна тільки зауважити, що, по-перше, передбачена цим планом потужність нового будівництва завищена майже удвічі і, по-друге, будівництво вугільних ТЕЦ у містах або впритул до них, на нашу думку, неприпустиме. Важко навіть уявити будівництво під'їзних колій, складів вугілля, подрібнювальних млинів, золо- та димовідведення у таких великих містах, як Київ, Харків і Одеса. У промислових містах неприпустиме погіршення стану довкілля. Міські ТЕЦ повинні працювати на газі або частково на альтернативних паливах (відходах).

Висновки.

Подальше функціонування енергетичного сектора України повинно враховувати зміни у світових тенденціях і напрямках розвитку енергетики. Слід взяти до уваги зміни як у споживанні електричної енергії, так і у технологіях її генерації і транспортування. Зміни у обсягах споживання пов'язані з неодмінним випереджаючим виробництвом сталі у електродугових печах, що на сьогодні є загальносвітовою тенденцією, а також розвитком електромобілебудування, яке у найближчі 10-12 років витіснить виробництво автомобілів на рідкому паливі. У частині генерації та транспортування електроенергії слід очікувати конкурентний розвиток розподіленої генерації, акумуляцію енергії, зростання частки генерації з відновлюваних джерел, створення «розумних» електромереж, які забезпечуватимуть прийняття у енергосистему значних обсягів енергії від розподілених джерел із збереженням стійкості системи. Особливу роль слід відвести акумуляції електричної енергії, розвиток якої назавжди виключить необхідність створення та експлуатації пікових потужностей. Суттєві ризики підстерігають енергетичний комплекс України в частині забезпечення потреб у природному газі, нафтопродуктах, вугіллі.

Основна проблема української енергетики полягає в тому, що є загроза опинитися на узбіччі технологічного прогресу в галузі. Деякі з названих вище тенденцій, зокрема щодо розвитку розподіленої енергетики, відображені у [1]. Проте в цьому документі багато часу відведено на реформування галузі, менше уваги приділено питанням технічного прогресу. По суті, консервується незадовільний технологічний стан енергетики, передбачаючи у середньостроковій перспективі так звану маловитратну повузлову модернізацію замість корінної реконструкції і використання сучасних технологій.

1. Енергетична стратегія України до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
2. Кулик М.М., Горбулін В.П., Кириленко О.В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали). Київ: Інститут загальної енергетики НАН України, 2017. 78 с.
3. Jonson B.W. Adiabatic expansion heat engine and method of operating. Patent US No 8,156,739 B2. 2012.
4. Антошук Т.А., Біліченко М.М., Зелений О.А., Карп І.М., Лисенко А.А., П'яних К.Є., П'яних К.К., Престрелски Даріуш. Спосіб термічної конверсії твердого палива та газогенератор для його здійснення. Патент України на винахід. №112575. 2016. Бюл. № 8.
5. Національний план з відновлюваної енергетики на період до 2020 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 01.10. 2014 року № 902-р.
6. Кириленко О.В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Монографія. Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
7. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок. Проект. Розроблено Міненерговугіллям (2015 рік) на виконання Директиви ЄС по викидах Industrial Emissions Directive (IED, 210/75/EU).

УДК 621.311

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ

И.Н. Карп, академик НАН Украины

Институт газа НАН Украины,

ул. Дегтяривска, 39, Киев, 03113, Украина.

E-mail: karpkiiev@gmail.com

Функционирование украинской энергосистемы в настоящее время связано с рисками потери транзита природного газа, почти полной зависимостью от импорта нефтепродуктов, технологическим отставанием в производстве, потреблении и транспортировке электрической энергии. Основными мировыми трендами в этом секторе энергетики являются рост доли децентрализованного производства энергии, использование возобновляемых источников, внедрение средств аккумуляции в коммунально-бытовом секторе и в масштабах энергосистем. Необходимо создание «умных» электросетей, способных принимать значительные количества электроэнергии от автономных источников без потери устойчивости энергосистем. Библиография, табл. 1.

Ключевые слова: электроэнергетика, потребление, производство, децентрализованная энергетика, аккумуляция, технологический прогресс.

BASIC TENDENCIES FOR THE DEVELOPMENT OF ENERGY OF UKRAINE

I.M. Karp

The Gas Institute of National Academy of Sciences of Ukraine,

39, Degtjarivska St., Kyiv, 03113, Ukraine.

E-mail: karpkiiev@gmail.com

The balance between production and consumption of energy is one of the priority goals of the electric power industry in Ukraine's energy strategy. Electricity consumption in Ukraine is estimated at 120 billion kWh. The main consumers are the population, metallurgy, public utilities and transport (30, 25.13 and 6 percent, respectively). Changes in volumes of consumption can occur due to increased melting of electric steel and the production of electric vehicles. The global trend in generation is the increase in the share of decentralized energy from renewable sources, fuel cells and improved gas engines. A technological breakthrough in the use and transport of electricity is associated with the development of means of accumulation. In recent years, the cost of batteries has decreased and their power has increased. This will lead to their wide application in the utility sphere and energy systems. There will be no need to build peak capacities and pumped storage stations. There are risks in meeting the country's needs for hydrocarbon fuels. The main risk of Ukrainian energy is the danger of being out of technological progress. References 7, table 1.

Key words: power consumption, production, decentralized energy, accumulation, technological progress.

1. Energy Strategy of Ukraine till 2035: Security, Energy Efficiency, Competitiveness. The Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017 No. 605 p. (Ukr)
2. Kulik M.M., Gorbunin V.P., Kyrylenko O.V. Conceptual approaches to the development of Ukrainian energy (analytical materials). Kyiv: Instytut Zahalnoi Enerhetyky Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy, 2017. 78 p. (Ukr)
3. Jonson B.W. Adiabatic expansion heat engine and method of operating. Patent US. No 8,156,739 B2. 2012.
4. Antoshchuk T.A., Bilichenko M.M., Zeleny O.A., Karp I.M., Lysenko A.A., Pyanykh K.E., Pyanykh K.K., Przestrzalski Dariusz. Method of thermal conversion of solid fuel and gas producer for its implementation. Patent of Ukraine. 2014. No 115575. Bullet. No 8. (Ukr)
5. National renewable energy plan for the period up to 2020. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 01.10.2014. No 902-p. (Ukr)
6. Kyrylenko O.V. Intelligent Electric Networks: Elements and Modes. Monographiiia. Kyiv: Instytut Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy, 2016. 400 p. (Ukr)
7. National plan for emission reductions from large combustion plants. Project. Developed by the Ministry of Energy and Coal (2015) for the implementation of the EU Emissions Directive (IED, 210/75 / EU).

Надійшла 23.10.2017
Остаточний варіант 01.12.2017