УДК 338.45:621.31

С. В. Нараєвський,
старший викладач кафедри міжнародної економіки,
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ

ЗАЛЕЖНІСТЬ СОБІВАРТОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІД ВАРТОСТІ ГРОШОВИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ РІЗНИХ ВИДІВ ГЕНЕРАЦІЇ

S. Naraievs'kyj,
senior teacher, Department of International Economics,
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

DEPENDENCE OF THE PRIME COST OF ELECTRICAL POWER ON THE COST OF MONEY SUPPLY FOR DIFFERENT TYPES OF GENERATION

Проведено порівняльний аналіз залежності собівартості електроенергії від вартості грошових ресурсів для різних видів генерації. Для порівняння обрано два найбільш поширених види технологій у традиційній енергетиці (теплова на основі вугілля та атомна) і два найбільш перспективних види технологій у альтернативній енергетиці (вітрова та сонячна). Порівняння проводилось у діапазоні від мінімально можливої собівартості електроенергії (мінімальні витрати при максимально можливому коефіцієнті використання встановленої потужності) до максимально можливої собівартості електроенергії (максимальні витрати при мінімально можливому коефіцієнті використання встановленої потужності). Доведено, що вітрова енергетика може забезпечити найнижчу собівартість електроенергії серед усіх досліджуваних видів генерації, в діапазоні від мінімальних до максимальних значень. Теплова енергетика, навпаки, забезпечує найвищу вартість електроенергії, а при максимальних значеннях є повністю не конкурентоздатною. Собівартість електроенергії для атомної та сонячної енергетики є порівняною. При мінімальній собівартості атомна та сонячна енергетика у разі отримання кредитних ресурсів під мінімальні відсотки можуть забезпечувати електроенергією промислових споживачів за існуючими в Україні тарифами.

A comparative analysis of the dependence of the prime cost of electrical power on the cost of money supply for different types of generation was carried out. Two the most popular types of technologies in conventional power industry (thermal one on the basis of coal and nuclear one) and two the largest prospective types of technologies in alternative power industry (wind and solar power) were taken to contrast the situation. The comparison was carried out within the range from the lowest possible cost of electricity (minimum costs with maximum possible utilization coefficient) to the largest possible cost of electricity (maximum cost with the lowest possible utilization coefficient). Wind power can provide the lowest cost of electricity among all other types of generation in question within the range from the minimum to maximum values whereas thermal energy provides the highest cost of electricity and with maximum values it turns to be absolutely uncompetitive. The cost of electricity for nuclear and solar power supply is relative. Upon reception of credit resources with baseline interest nuclear and solar power could provide electricity for industrial consumers as per existing tariffs in Ukraine at the lowest prime cost.

Ключові слова: діапазон собівартості електроенергії, мінімально можлива собівартість електроенергії, максимально можлива собівартість електроенергії, теплова енергетика, атомна енергетика, вітрова енергетика, сонячна енергетика.
Key words: range of electricity supply prime costs, minimal possible cost of electricity, maximum possible cost of electricity, thermal electrical power, nuclear power, wind power, solar power.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проблемні питання, що накопичились в енергетиці України доцільно розподілити на дві окремі частини. Перша частина проблемних питань пов'язана з енергетичною залежністю економіки України від постачання палива з-за кордону. Понад половина необхідних Україні паливно-енергетичних ресурсів імпортується. На відміну від країн Європи, які намагаються отримувати імпортні енергетичні ресурси, як мінімум від трьох — чотирьох незалежних один від одного постачальників, Україна переважну більшість необхідних їй паливно-енергетичних ресурсів отримує від одного по-

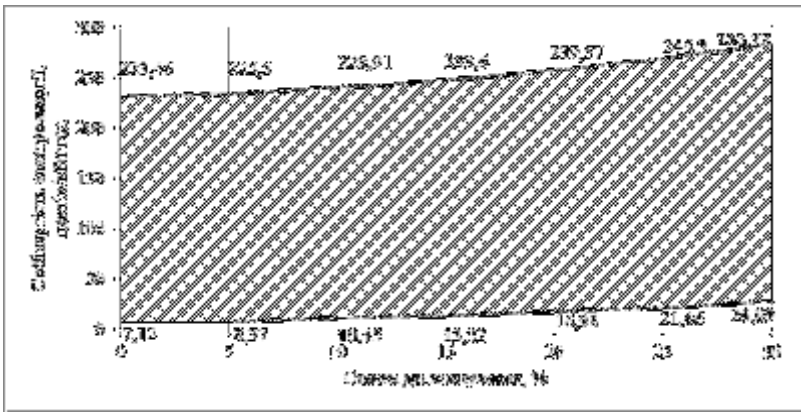

Рис. 1. Діапазон собівартості електроенергії для ТЕС

стачальника (Російська Федерація), або через територію цього ж постачальника. Друга частина проблемних питань, розв'язанню яких присвячена ця стаття, пов'язана із застарілим, значно спрацьованим та неефективним обладнанням, що використовується на електростанціях України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питанням подолання енергетичної залежності економіки України присвячена значна кількість наукових праць, зокрема працівників Інституту відновлюваних джерел енергії НАН України. Проблеми пов'язані зі спрацюванням основного обладнання та неефективною роботою українських електростанцій розглядаються у роботах А.К. Шидловського [1, с. 37—54], С.О. Кудрі [2, с. 25—47] та інших. Актуальність дослідження зумовлена, критичною ситуацією в енергетиці України та необхідністю вибору таких технологій генерації електроенергії, що зможуть забезпечити найбільш дешеве її виробництво і бути введені в експлуатацію в короткі терміни.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою статті є проведення порівняльного аналізу залежності собівартості електроенергії від вартості грошових ресурсів для різних видів генерації. Завданнями статті є наступне: проведення розрахунку собівартості електроенергії для різних видів генерації у традиційній (теплова та атомна) та альтернативній (вітрова та сонячна) енергетиці; врахування впливу вартості грошових ресурсів на собівартість електроенергії; вибір одного з видів генерації електроенергії, що може забезпечити її найнижчу собівартість. Методологічну основу становлять методи статистичного дослідження, дисконтування грошових потоків, порівняльного аналізу, логічного узагальнення.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основні об'єкти енергетичного комплексу України, в переважній більшості, відпрацювали свій ресурс і потребують заміни чи глибокої модернізації. Серед чотирнадцяти основних теплових електростанцій (ТЕС) України, лише на Зуївській ТЕС (м. Зугрес, Донецька обл.) фактичний термін експлуатації котлів та турбін становить 32 роки і не перевищує проектний (40 років). На тринадцяти інших ТЕС фактичний термін експлуатації становить від 40-ка років на Вуглегірській ТЕС (м. Світлодарськ, Донецька обл.) до 75-ти років на Курахівській ТЕС (м. Курахове, Донецька обл.) [2, с. 37 — 38]. Кількість відпрацьованих годин енергоблоками ТЕС України становить від 125 — 130 тис. годин, окремі енергоблоки на Запорізькій ТЕС (м. Енергодар, Запорізька обл.) та Вуглегірській ТЕС до понад 300 тис. годин на Придніпровській ТЕС (с. Чаплі, Самарський район, Дніпропетровська обл.) та Добротворській ТЕС (смт. Добротвір, Кам'янка-Бузький район, Львівська обл.). Планове напрацювання енергетичного обладнання для ТЕС має становити 100 тис. годин. Тож, на всіх без виключення ТЕС України цей показник перевищено, а іноді у декілька разів [3].

Ситуація у атомній енергетиці України виглядає не набагато краще за теплову енергетику. Енергоблоки український атомних електростанцій (АЕС) починаючи з 2012 р. досягли проектного терміну використання і, в подальшому, повинні виводитись з експлуатації, або проходити процедуру подовження проектного терміну експлуатації, що потребує значних додаткових інвестицій. Це стосується тринадцяти енергоблоків з п'ятнадцяти працюючих у атомній енергетиці України. Лише по одному енергоблоку на Рівненській та Хмельницькій АЕС були введені в XXI ст. і їх проектний термін експлуатації розрахований до 2034—2035 рр. [2, с. 38 — 39].

Для оновлення обладнання української енергетики доцільно намагатися залучати кошти іноземних інвес-

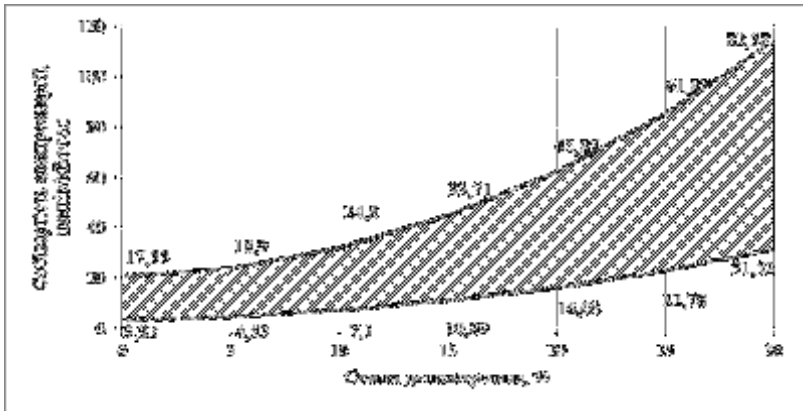

Рис. 2. Діапазон собівартості електроенергії для АЕС

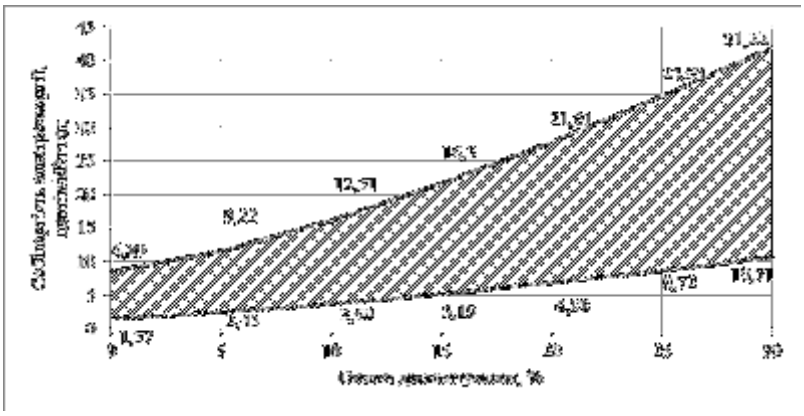

Рис. 3. Діапазон собівартості електроенергії для ВЕС

торів, оскільки протягом досить нетривалого періоду (до десяти років) знайти декілька десятків мільярдів доларів в економіці України буде надзвичайно складно.

Розрахунки собівартості електроенергії для різних видів генерації зроблені на основі статистичних даних, наведених у звітах міжнародних організацій, що працюють у галузі традиційної (Міжнародна енергетична агенція (International Energy Agency — IEA), Європейська технічна асоціація електричної та теплової енергії (VGB Power Tech)) та альтернативної енергетики (Міжнародне агентство з відновлюваної енергії (International Renewable Energy Agency — IRENA), Організація з відновлювальної енергетики у XXI ст. (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century — REN 21)), а також енергетичних відомств та наукових установ окремих країн (Міністерство енергетики США (US Department of Energy), Інститут Фраунгофера для сонячних енергетичних систем (Fraunhofer Institut for solar energy systems — Fraunhofer ISE), Міністерство енергетики та вугільної промисловості України).

Витрати у розрахунках поділялись на п'ять складових: інвестиційні, експлуатаційні, паливні, екстернальні (екологічна складова), ліквідаційні. Таким чином, було охоплено весь життєвий цикл роботи енергетичного об'єкту, від моменту початку його спорудження (інвестиційні витрати), далі етап експлуатації (експлуатаційні та паливні витрати) та етап припинення виробництва електроенергії і виведення енергетичного об'єкту з експлуатації (ліквідаційні витрати). Також враховувались екстернальні витрати, що мають включати весь обсяг коштів, необхідних для подолання негативного впливу на оточуюче середовище від будівництва, експлуатації та виведення з дії енергетичного об'єкту.

У дослідженні розглядались два види технологій традиційної енергетики (теплова енергетика на основі вугілля та атомна енергетика) як найбільш поширені на сьогодні, а також два види альтернативних технологій (вітрова енергетика та сонячна енергетика) як найбільш перспективні для використання в майбутньому.

Собівартість електроенергії для кожної з технологій генерації визначалась в діапазоні від найкращого з можливих варіантів (мінімальні витрати при максимально можливому коефіцієнті використання встановленої потужності) до найгіршого з можливих варіантів (максимальні витрати при мінімально можливому коефіцієнті використання встановленої потужності).

Найбільш поширеним видом генерації електроенергії в Україні тривалий час була і залишається теплова енергетика. У 2013 р. встановлена потужність ТЕС та ТЕЦ України складала 35 615,9 МВт (63,7 % від загальної встановленої потужності енергетики України 55 913,6 МВт). Об'єктами теплової енергетики України у 2013 р. було вироблено 95 487,5 млн кВт.год (49,12 % від загальних обсягів виробництва електроенергії України — 194 377,3 млн кВт.год) [4, с 5]. Коефіцієнт використання встановленої потужності, що використовувався в дослідженні для розрахунків собівартості електроенергії виробленої ТЕС становив 50—70 %. Такий діапазон вважається оптимальним для теплової генерації, хоча в енергетиці України за декілька останніх років цей показник знаходиться в межах 30 %, що пов'язано зі значним спрацюванням обладнання, яке потребує значного обсягу ремонтних робіт. Результати розрахунків собівартості електроенергії виробленої ТЕС з врахуванням вартості грошей з часом наведені на рис. 1.

Верхній діапазон вартості електроенергії для ТЕС є абсолютно не конкурентоспроможний (понад два дол. за кВт.год виробленої електроенергії), що пов'язано з її негативним впливом на оточуюче середовище. За результатами дослідження "The True Cost of Electric Power" проведеного за підтримки REN 21, автори якого намагалися охопити усю доступну інформацію стосовно екологічної складової (екстернальних витрат), теплова енергетика на основі вугілля, виявилася найбільш затратною технологією виробництва електроенергії. Екстернальні витрати для вугільної ТЕС становлять 0,013 — 2,02 дол./кВт.год [5, с. 16, 32].

За своїм поширенням атомна енергетика в Україні займає друге місце після теплової. У 2013 р. встановлена потужність атомної енергетики складала 13 835 МВт, що становило 24,74 % загальної потужності електроенергетики України. На АЕС України у 2013 р. було вироблено 83 209,0 млн кВт.год (42,81 % загально виробництва електроенергії в Україні) [4, с. 5]. Коефіцієнт використання встановленої потужності для АЕС у дослідженні становив 70—90 %. Протягом останніх років на АЕС України коефіцієнт використання встановленої потужності був близько 70 %. Для порівняння АЕС у США працюють з коефіцієнтом використання встановленої

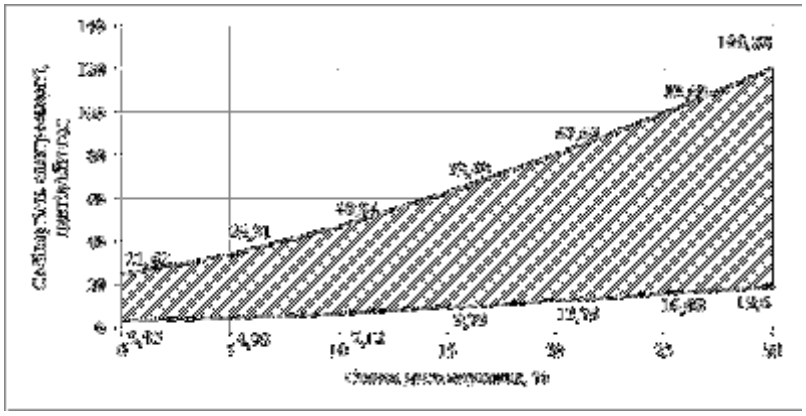

Рис. 4. Діапазон собівартості електроенергії для СЕС

потужності близько 90 %. Результати розрахунків собівартості електроенергії виробленої АЕС з врахуванням вартості грошей з часом наведені на рисунку 2.

Серед альтернативних технологій отримання енергії найбільш поширеною та доступною за ціною є вітрова енергетика. В Україні у 2013 р. загальна встановлена потужність об'єктів вітрової енергетики складала 361,3 МВт (0,65 % загальної потужності електроенергетики України), а обсяги виробництва електроенергії вітровими електростанціями (ВЕС) становили 638,6 млн кВт.год [4, с. 5]. Коефіцієнт використання встановленої потужності для ВЕС у дослідженні становив 25 — 40 %, що відповідає розрахункам REN 21 [6, с. 64]. Результати розрахунків собівартості електроенергії виробленої ВЕС з врахуванням вартості грошей з часом наведені на рисунку 3.

Наступною за поширенням серед альтернативних технологій отримання енергії після вітрової енергетики йде сонячна енергетика. У 2013 р. в Україні загальна встановлена потужність об'єктів сонячної енергетики складала 612,3 МВт (0,92 % загальної потужності електроенергетики України), а обсяги виробництва електроенергії сонячними електростанціями (СЕС) становили 570,0 млн кВт.год [4, с. 5]. Коефіцієнт використання встановленої потужності для СЕС у дослідженні становив 10 — 30 %, що відповідає розрахункам REN 21 [6, с. 64]. Результати розрахунків собівартості електроенергії виробленої СЕС з врахуванням вартості грошей з часом наведені на рисунку 4.

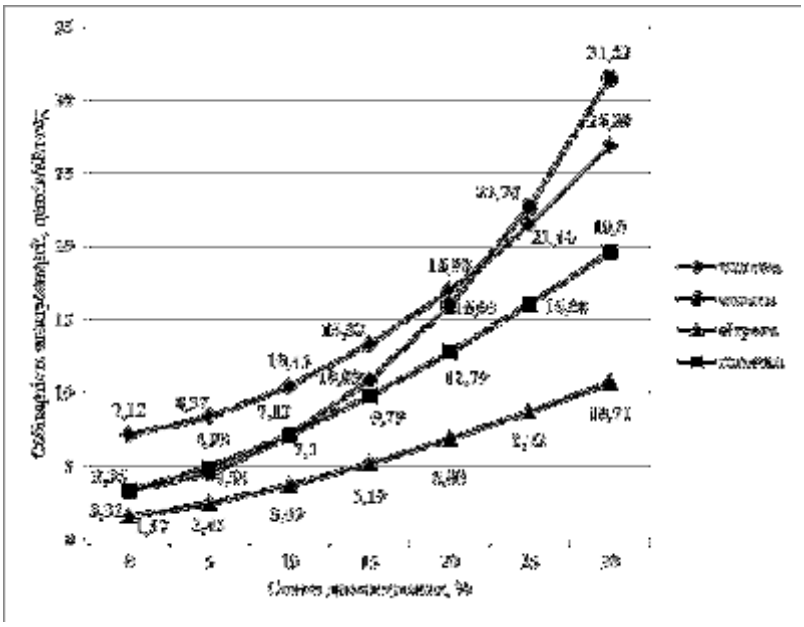

Рис. 5. Мінімально можлива собівартість електроенергії

Проводячи порівняння залежності собівартості різних видів енергетичних технологій від вартості грошових ресурсів слід окремо розглянути мінімально можливу собівартість електроенергії (найкращий варіант з усіх можливих(рис. 5)) та максимально можливу собівартість електроенергії (найгірший варіант з усіх можливих (рис. 6)).

При мінімально можливій собівартості електроенергії найдешевшою є електроенергія вироблена ВЕС. Її собівартість змінюється від 1,57 центів/кВт.год виробленої електроенергії при нульовій ставці дисконтування до 10,71 центів/кВт.год при ставці у 30 %. Собівартість електроенергії ВЕС на всьому мінімальному діапазоні вкладається в межі існуючого в Україні "зеленого" тарифу (177,9 — 194,85 коп./кВт.год). Тобто в таких умовах ВЕС можуть працювати ефективно і прибутково.

Електроенергія вироблена на АЕС є другою за собівартістю у нижній межі мінімально можливого діапазону (3,32 центів/кВт.год при нульовій ставці дисконтування). Але вже при ставці дисконтування у 15 % (10,89 центів/кВт.год) вона перевищує собівартість електроенергії виробленої на СЕС (9,79 центів/кВт.год), а при ставці дисконтування у 25 % (22,78 центів/кВт.год) перевищує навіть собівартість електроенергії виробленої на ТЕС (21,46 центів/кВт.год). Це зумовлено значною сумою ліквідаційних витрат (можуть дорівнювати, чи навіть перевищувати інвестиційні витрати) та найбільш тривалим етапом виведення АЕС з експлуатації (близько п'ятдесяти років) порівняно з іншими видами генерації, і саме ця складова при зростанні вартості грошових ресурсів негативно впливає на зростання собівартості виробленої електроенергії.

Собівартість електроенергії СЕС на всьому мінімальному діапазоні вкладається в межі існуючого в Україні "зеленого" тарифу для об'єктів сонячної енергетики (533,71 — 731,95 коп./кВт.год), але на відміну від ВЕС він має, мінімум, двократний запас. Це підтверджує думки окремих експертів, про те, що "зелений" та-

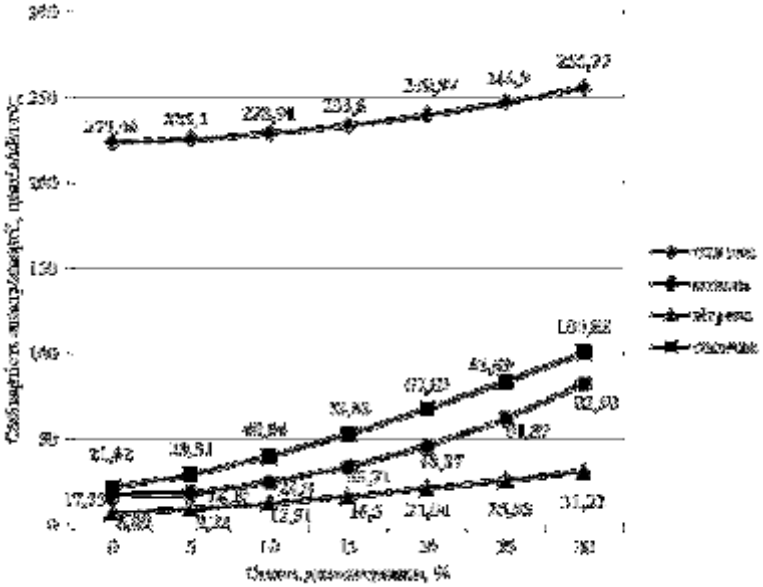

Рис. 6. Максимально можлива собівартість електроенергії

риф для сонячної енергетики в Україні є дещо завищеним і потребує перегляду.

Враховуючи тарифи на електричну енергію, що становлять для споживачів I-го класу напруги — 116,29 коп./кВт.год, а для споживачів II-го класу напруги — 148,02 коп./кВт.год [7] та існуючий курс гривні до долара США (1295,1166 грн за 100 дол.) [8] доцільно розпочинати будівництво: ВЕС маючи можливість отримати кошти під 0 — 25 % річних (собівартість електроенергії до 8,72 центів/кВт.год); АЕС та СЕС — під 0 — 10 % річних (собівартість електроенергії до 7,1 центів/кВт.год та 7,12 центів/кВт.год, відповідно); ТЕС — під 0 — 5 % річних (собівартість електроенергії до 8,37 центів/кВт.год). Ці розрахунки не включають податок на додану вартість (ПДВ). З урахуванням ПДВ споруджувати ТЕС буде взагалі недоцільно, а доцільність спорудження електростанцій інших видів генерації буде залежати від можливості отримати кредитні ресурси на 5 % дешевше ніж у вище наведеному розрахунку.

При максимально можливій собівартості електроенергії будівництво ТЕС буде недоцільним незалежно від вартості грошових ресурсів. Собівартість електроенергії виробленої АЕС (17,55 центів/кВт.год) та СЕС (21,62 центів/кВт.год) навіть при нульовий ставці дисконтування буде перевищувати тарифи на електроенергію в Україні для споживачів I-го та II-го класів напруги. І лише собівартість електроенергії виробленої ВЕС при нульовій ставці дисконтування (6,89 центів/кВт.год) буде нижчою за тариф для споживачів I-го класу напруги, а при ставці дисконтування у 5 % (9,22 центів/кВт.год) нижчою за тариф для споживачів II-го класу напруги.

Основним чинником зростання собівартості електроенергії є екстернальні витрати. При їх повному врахуванні забезпечити собівартість електроенергії, яка б вкладалась в існуючі межі вартості електроенергії для промислових споживачів України, може лише ВЕС, та й то при ставці дисконтування в межах 0—5 %.

ВИСНОВКИ

У процесі аналізу для кожного з видів генерації був визначений діапазон собівартості електроенергії від мінімально можливої собівартості електроенергії (мінімальні витрати при максимально можливому коефіцієнті використання встановленої потужності) до максимально можливої собівартості електроенергії (максимально можливі витрати при мінімально можливому коефіцієнті використання встановленої потужності). Проведено порівняльний аналіз залежності собівартості електроенергії від вартості грошових ресурсів для різних видів традиційної (теплова на основі вугілля та атомна) та альтернативної (вітрова та сонячна) енергетики.

Серед усіх розглянутих видів генерації найбільш дешеву собівартість електроенергії може забезпечити вітрова енергетика. При мінімально можливій собівартості електроенергії вітрова енергія на всьому діапазоні від 0 % до 30 % вкладається в межі існуючого в Україні "зеленого" тарифу, а при максимально можливій собівартості може забезпечити виробництво електроенергії для промислових споживачів I-го та II-го класів напруги при ставці дисконтування в межах 0—5 %.

Теплова енергетика на основі вугілля, навпаки забезпечує найвищу собівартість електроенергії. При мінімально можливій собівартості електроенергії ТЕС може забезпечити виробництво електроенергії для промислових споживачів, отримуючи кредитні ресурси під 0—5 %, а при максимально можливій собівартості електроенергії вона є повністю не конкурентоздатною забезпечуючи виробництво дорожче двох дол./кВт.год.

Собівартість електроенергії отриманої на АЕС та СЕС є порівнюваною. При мінімальній собівартості електроенергії атомна та сонячна енергетика можуть забезпечувати промислових споживачів маючи можливість отримувати кредитні ресурси під 0 — 10 %, а при максимальній собівартості електроенергії на всьому діапазоні вони перевищують вартість електроенергії для промислових споживачів.

Подальші наукові дослідження доцільно зосередити на можливості використання окремих видів енергетичних технологій та їх поєднання у енергетичні комплекси окремих адміністративно-територіальних одиниць (областей) України. Необхідно зосередити увагу на порівнянні виробництва та споживання електроенергії, можливості розширеного використання місцевих енергетичних ресурсів, дослідженні наявного вітрового та сонячного потенціалу цих територій. Така інформація не завжди є у відкритому доступі, а вітровий потенціал України досліджений не достатньо, що може ускладнювати проведення відповідної роботи.

Література:

1. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії [Текст]/ Під заг. ред. А.К. Шидловського. — К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. — 560 с.

2. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч. / С.О. Кудря. — К.: НТУУ "КПІ", 2012. — 492 с.

3. НАК "Енергетична компанія України". Характеристика станцій [Електронний ресурс]: Сайт НАК "Енергетична компанія України". — Режим доступу: http://ecu.gov.ua/ua/activity/production/power_plant.html

4. Статистичний бюлетень. Виробництво електроенергії та окремі техніко-економічні показники роботи електростанцій за 2013 рік. Державна служба статистики України. Департамент статистики виробництва. — К.: Дежраналітінформ. 2014. — 17 с.

5. Burtraw, D. Krupnick, A. Sampson, G. The True Cost of Electric Power. Resources For the Foture. — Washington: REN21, 2012. — 48 p.

6. Renewables 2014 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN 21). — Bonn: REN21 Renewables Academy, 2014. — 215 p.

7. Тарифи на електричну енергію (крім населення) [Електронний ресурс]: Сайт ПАТ "Київенерго". — Режим доступу: http://kyivenergo.ua/ee-company/tarifi

8. Офіційний курс гривні до іноземних валют [Електронний ресурс]: Сайт Національного банку України. — Режим доступу: http://www.bank.gov.ua/control/uk/index

References:

1. Shydlovs'kyj, A. K. (2007), Enerhoefektyvnist' ta vidnovliuval'ni dzherela enerhii [Tekst], Ukrains'ki entsyklopedychni znannia, Kyiv, Ukraine.

2. Kudria, S. O. (2012), Netradytsijni ta vidnovliuval'ni dzherela enerhii [Tekst], NTUU "KPI", Kyiv, Ukraine.

3. NAK "Enerhetychna kompaniia Ukrainy" (2014), "Kharakterystyka stantsi", available at: http://ecu.gov.ua/ua/activity/production/power_plant.html (Accessed 20 October 2014).

4. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy (2014), Vyrobnytstvo elektroenerhii ta okremi tekhniko-ekonomichni pokaznyky roboty elektrostantsij za 2013 rik [Tekst], Dezhranalitinform, Kyiv, Ukraine.

5. Burtraw, D. Krupnick, A. Sampson, G. (2012), The True Cost of Electric Power. Resources For the Foture, REN21, Washington, USA.

6. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2014), Renewables 2014 Global Status Report, REN21 Renewables Academy, Bonn, Germany.

7. PAT "Kyivenerho" (2014), "Taryfy na elektrychnu enerhiiu (krim naselennia)", available at: http://kyivenergo.ua/ee-company/tarifi (Accessed 20 October 2014).

8. Natsional'nyj bank Ukrainy (2014), "Ofitsijnyj kurs hryvni do inozemnykh valiut", available at: http://www.bank.gov.ua/control/uk/index (Accessed 20 October 2014).

Стаття надійшла до редакції 03.11.2014 р.