

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОГЕНЕРАЦІЇ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

- БЕШТА О.С. д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: beshtaa@nmu.one
- АЗЮКОВСЬКИЙ О.О. канд. техн. наук, професор, перший проректор Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», e-mail: azalex@nmu.one
- ХУДОЛІЙ Є.П. молодший науковий співробітник кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: eugeniya@ukr.net
- ХУДОЛІЙ С.С. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: khudolii.s.s@nmu.one
- БАЛАХОНЦЕВ О.В. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: balakhontsev.o.v@nmu.one

Мета роботи. Оцінити економічну привабливість альтернативної енергетики, і, зокрема технології «Vehicle-to-grid» (V2G), тобто використання батареї електромобіля для когенерації в мережу. Визначити економічні показники та умови, за якими ця технологія стане привабливою для власників електромобілів.

Методи дослідження. Для розрахунку економічних показників використані прогнози Національної комісії регулювання електроенергетики України, дані аналітики та виробників електромобілів.

Отримані результати. Виконаний огляд тенденцій в галузі альтернативної енергетики в Україні і, зокрема, електричної мобільності в контексті їх економічної доцільності. Проведено аналіз тарифів на електроенергію, отриману від відновлених джерел і зроблений прогноз щодо частки альтернативної енергетики України в майбутньому. Розглянуті аспекти технології V2G – використання батареї електромобілів як проміжного накопичувача енергії, заряджання їх під час низького нічного тарифу на електроенергію і віддачі в енергомережу для часткового покриття пікового навантаження. Показано, що скорочення терміну служби батарей через збільшення циклів заряду-розряду робить цю ідею непрацездатною за сучасним рівнем тарифу на когенерацію.

Наукова новизна. Доведено, що для забезпечення привабливості технології V2G для власника електромобіля необхідне збільшення ємності акумуляторів електромобілів, підвищення потужності пристроїв заряджання і розряджання та підвищення рівня «зеленого» тарифу або встановлення спеціального тарифу для когенерації від електромобілів.

Практична цінність. Надані числові значення тарифів на електроенергію та параметри заряду-розряду батарей електромобілів, необхідні для техніко-економічного обґрунтування технології когенерації з батареєю електромобілів в енергомережу. Визначені межі тарифів та параметри системи, за якими технологія V2G стане самоокупною.

Ключові слова: відновлювана енергетика; зелений тариф; електромобілі; когенерація; техніко-економічне обґрунтування.

I. ВСТУП

Відновлювані джерела та електричні транспортні засоби (ЕТЗ) широко обговорюються у всьому світі. Обидві ці технології часто називають «зеленими», «чистими» або «екологічними». Скорочення викидів CO₂ також є одним з пріоритетів міжнародних організацій, таких як Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй.

Тим часом, визнається, що частка відновлювальних джерел енергії в загальному обсязі виробництва

енергії все ще невелика. Більшість країн забезпечують себе енергією шляхом спалювання газу та вугілля, тобто викопного палива, у рідкісних випадках, як у Франції чи Україні, головним енергоресурсом є ядерна енергетика. Електричні транспортні засоби насправді не є «100% зеленими» – вони живляться електроенергією, отриманою від «не зелених» електростанцій. Щоб зробити наше середовище дійсно чистішим, відновлювані джерела енергії повинні бути розгорнуті в набагато більших масштабах, ніж це є зараз.

Відомо, що обидві технології, про які йдеться,

дуже дорогі. Вітрогенератори та фотоелектричні панелі (Photovoltaic panels, PV) не можуть конкурувати з тепловими станціями, коли мова йде про ціну кіловат-годин електроенергії. Ціна на електромобілі стрімко падає, але їх акумулятори все ще залишаються слабкою ланкою. Вони (акумулятори) дорогі, деградують з часом швидше, ніж інші компоненти транспортного засобу, і вимагають переробки.

Саме тому багато міжнародних фондів спільно з владою країн надають фінансові стимули для сприяння відновлюваної енергетики та електричної мобільності. Уряди купують кіловат-години, вироблені відновлюваними джерелами енергії, за високою ціною, а компанії з виробництва електромобілів, як Tesla або Nissan, забезпечують безкоштовну заміну батареї [1].

Україна в цьому відношенні є цікавим випадком – сонячна енергетика підтримується урядом, електромобілі – фактично ні, але обидві технології швидко поширюються. Головне питання - чи будуть відновлювані джерела енергії доцільними, коли державні стимули припиняться.

II. МЕТА РОБОТИ

Необхідно тверезо оцінити економічну віддачу від альтернативної енергетики і, зокрема, використання електромобіля для когенерації в мережу з боку

власника. Для цього слід розрахувати прибуток, який отримуватиме власник електромобіля від когенерації і порівняти його з додатковими витратами на обслуговування електромобіля. За даними розрахунків слід визначити умови окупності технології V2G.

III. ОГЛЯД СКЛАДОВИХ ЗАТРАТ ТА ТАРИФІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Що стосується виробництва енергії, то Україна має дещо специфічну позицію. Країна успадкувала важку промисловість та потужну енергетику від Радянського Союзу. Після розпаду останнього, а також економічних та політичних потрясінь, галузь важкої промисловості поступово занепадає [2].

Між тим, електростанції все ще існують. В Україні є потужна річка Дніпро з дев'ятьма гідроелектростанціями, потужність найбільшої з яких (Запорізька гідроелектростанція) - 1,5 млн. кВт. Крім того, є 4 атомні електростанції, в тому числі найбільша - в місті Энергодар, яка має 6 блоків потужністю 1 млн. кВт кожен - вона задовольняє близько 25% енергетичного попиту країни. На рис. 1 [6] показаний прогнозований розподіл виробничих потужностей до 2035 року.

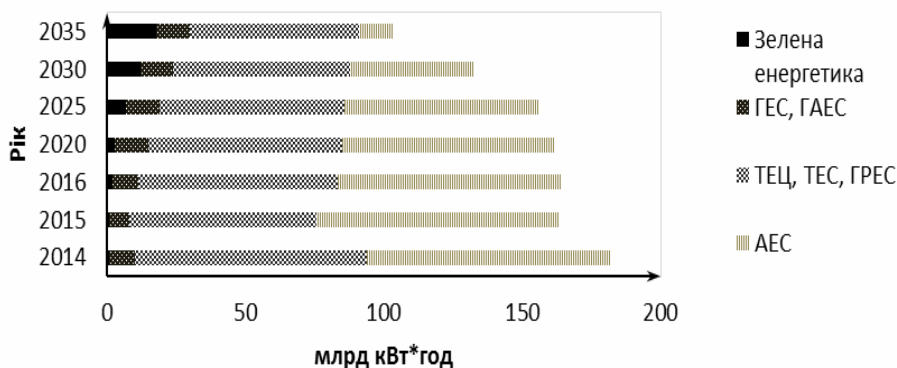


Рисунок 1. Прогноз виробництва енергії за типом в Україні

Саме тому електроенергія в Україні є однією з найдешевших у світі, ціна однієї кВт*год становить приблизно 0,06 євро [3]. Франція, що має найбільшу частку ядерної енергії у світі, також має низьку ціну на електроенергію – 0,1472 євро за кВт*год, що на 26,5% нижче, ніж у середньому в Євросоюзі (0,2002 євро за кВт*год) [4].

Без сумніву, відновлювані джерела енергії не можуть конкурувати з традиційною енергетикою в Україні. Окрім деяких віддалених районів, розташо-

ваних далеко від централізованої мережі, з фінансової точки абсолютно недоцільно встановлювати вітрогенератори або сонячні панелі. Українська влада вибрала свій курс на зелену енергетику та розробила фінансові механізми, що сприятимуть її широкому використанню. Але за певних причин ці механізми стали справді ефективними лише нещодавно, і це спричинило швидке зростання сонячних електростанцій (СЕС) в Україні, як це показано на рис. 2 [5], [6].

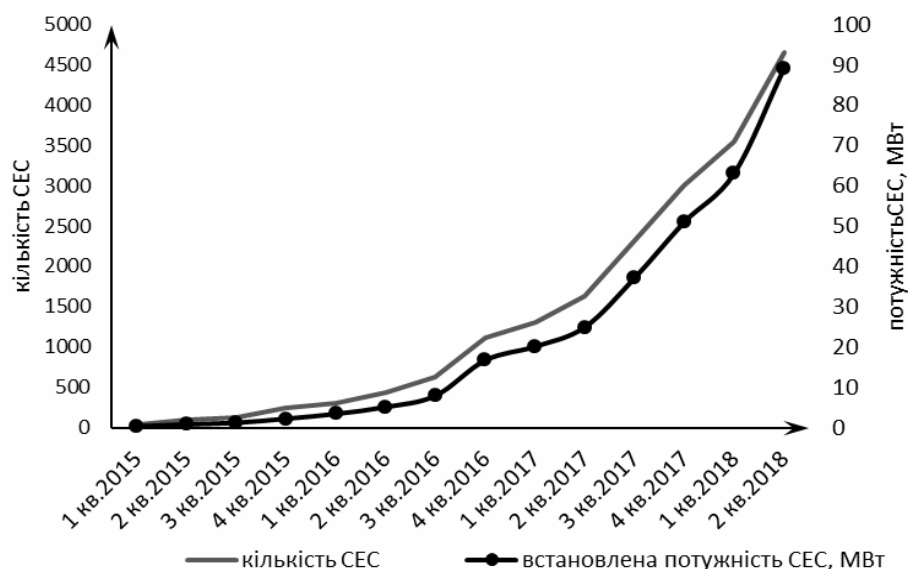


Рисунок 2. Зростання кількості сонячних станцій в Україні

В даний час невелика сонячна станція потужністю 10 кВт коштує приблизно 15 тис. євро, термін окупності становить близько 4-5 років.

З рис. 2 видно, що темпи приросту сонячних станцій в Україні виглядають дуже перспективно, але ситуація насправді не така оптимістична. Зелений тариф, що є основною причиною цього розвитку, поступово знизиться до рівня звичайного тарифу. Ідея полягала в тому, щоб поліпшити технологію відновлюваних джерел енергії завдяки її практичному використанню, і, таким чином, знизити ціни на сонячні та вітрові станції, сприяючи їх широкому виробництву. Тим не менш, слід розуміти, що така політика є фактично фінансовим тягарем для бюджету країни. Наприклад, у Німеччині ця стратегія не спрацювала в повній мірі як очікувалося - країна значною мірою інвестувала у розвиток технології сонячних панелей, але, по-перше, сонячні станції не згенерували стільки

енергії, як це було передбачено, оскільки погода в Німеччині є переважно хмарною, та, по-друге, китайські виробники перехопили технологічні досягнення і вийшли на ринок із нижчими цінами [7].

Тому, врешті-решт, уряди перестануть підтримувати відновлювані джерела енергії за допомогою зелених тарифів. Спочатку співвідношення «зеленого тарифу» та ціни на звичайні кВт*год було 10:1, в даний час воно становить близько 3:1. Очікується, що в певний момент собівартість (але не ціна) відновлюваних кВт*год буде конкурентоспроможною у порівнянні із ціною кВт*год, отриманих від викопного палива. Національна комісія регулювання енергетики та комунального господарства України [3] прогнозує, що це відбудеться у 2030 році. Зелений тариф знижуватиметься, тоді як ціна на звичайні кіловат-години зростатиме, як це показано на рис. 3 [6].

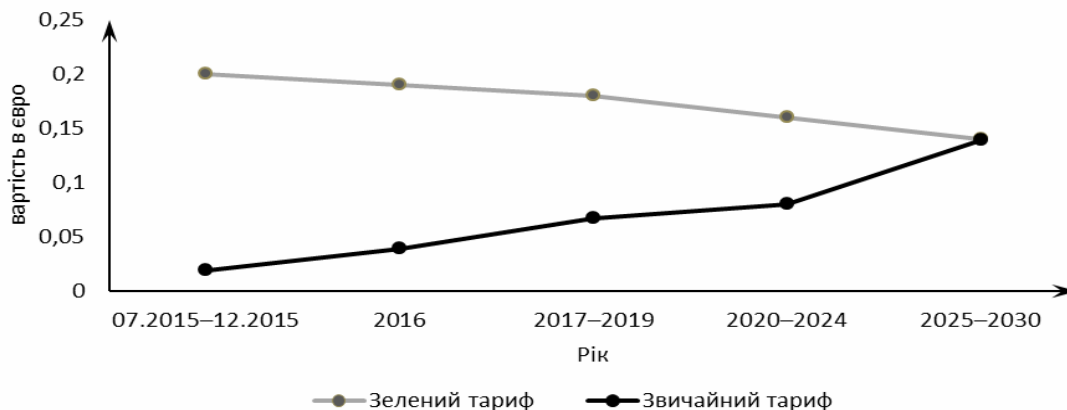


Рисунок 3. Зелений тариф і ціна на звичайну електроенергію в Україні до 2030 року

Таким чином, час спливає. За десять років у нас буде від 5 % до 8 % відновлюваних джерел енергії у загальному обсязі виробництва енергії України. Разом з гідроенергетикою це становитиме до 18% «зеленої» енергії в Україні.

IV. ЕКОНОМІКА ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Рух на електриці надзвичайно дешевий в Україні. Це тому, що 1 літр бензину коштує близько 1 євро, що приблизно дорівнює вартості палива в Європі, а 1 кВт*год електроенергії коштує приблизно 1/6-й її європейської ціни.

Автомобіль-седан середнього розміру потребує близько 16 кВт*год на 100 км, що означає, що проїзд 100 км на електроенергії коштує менше 1 євро, а проїзд на цю відстань на бензині становить 6-8 євро

в міському циклі. Навіть з урахуванням додаткових витрат на технічне обслуговування акумуляторів електромобілів, це ілюструє вражаючу різницю. Саме тому Україна демонструє таке стрімке зростання продажів електромобілів - +402 % у 2017 році (Європа - + 78 %, Китай - + 175 %) [8]. Тим часом продажі звичайних автомобілів скоротились на 68 %, частково через триваючу економічну рецесію, але, головним чином, завдяки очевидним перевагам електромобілів.

Ліва частина ринку електромобілів (76 %) належить Nissan Leaf - одному з найдешевших електричних транспортних засобів, хоча ця цифра має тенденцію до зниження (у 2016 році вона становила 87 %), що зображено на рис. 4.

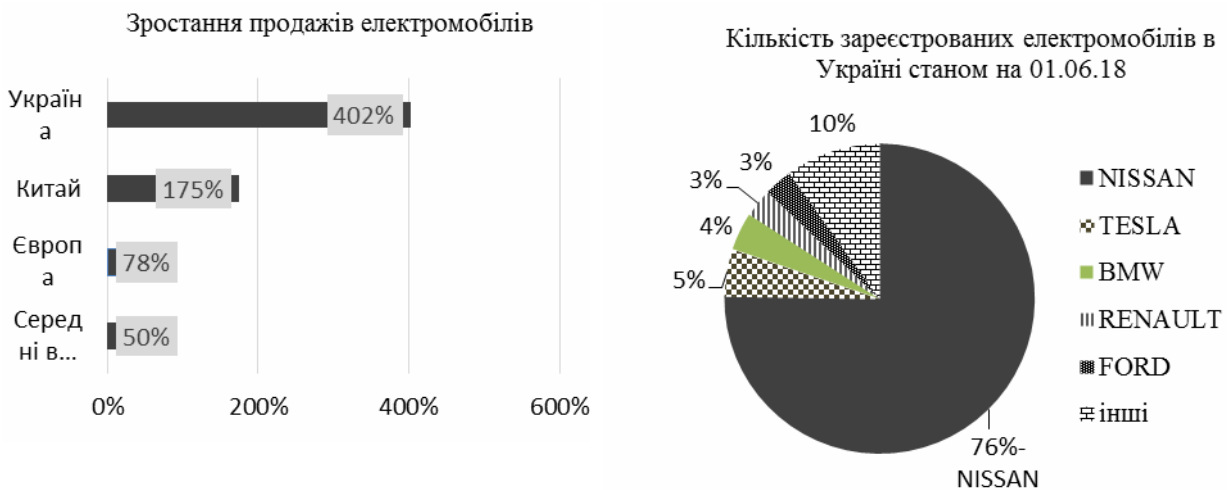


Рисунок 4. Продажі електромобілів в Україні в 2018 році

Слід врахувати, що інфраструктура зарядних станцій в Україні просто не існує. У великих містах є лише декілька станцій швидкої зарядки, а також кілька станцій повільної зарядки. Крім того, уряд не надає ефективної фінансової підтримки для розвитку електричної мобільності в країні. Не зважаючи на це, впевнене зростання кількості електромобілів на дорогах України показує, що електрична мобільність в Україні є де-факто самоокупною.

Можливо, бензинові автомобілі є навіть екологічно чистіші за електричні - бортові каталітичні перетворювачі та інші заходи щодо зменшення шкідливих речовин у сучасних автомобілях часто працюють краще, ніж фільтрувальні пристрої на вугільних електростанціях. Незважаючи на це, електричні транспортні засоби мають одну основну перевагу – гальмування в рекуперативному режимі. Коли автомобіль уповільнюється, частина його кінетичної енергії може бути утилізована і повернута до батареї, що неможливо у випадку бензинових автомобілів. Саме тому електричні транспортні засоби завжди будуть потребувати менше еквівалентних кіло-

ват-годин, ніж звичайні транспортні засоби. Неминуче, звичайні автомобілі перестануть існувати.

V. КОНЦЕПЦІЯ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ – МЕРЕЖА» (V2G)

Ідея V2G (vehicle-to-grid, електричний транспортний засіб – мережа) полягає в тому, щоб використовувати батареї електричних транспортних засобів як тимчасове місце зберігання електричної енергії, щоб вирівнювати навантаження в електричних мережах [10]. Час стоянки електромобілів, як і більшості звичайних приватних автомобілів – 85 % [11]. Їхні акумулятори можуть бути заряджені в нічний час, коли навантаження на мережу є низьким (і електрика дешева), а потім енергію можна повернути до мережі протягом годин пікового попиту. Вибір часу підходить як для комунальників, так і для власників електромобілів. Енергогенеруючі підприємства можуть отримати користь від згладження кривої попиту, а власники електромобілів можуть заробляти гроші за різницю між тарифами на заряджання і генерацію.

Фактично, такі проекти, як Tesla Powerwall і Tesla Powerpack служать для такої ж мети. Такі великі інвестиції також повинні продемонструвати життєздатність концепції V2G; але справа в тому, що збільшення циклів заряджання знижує термін служби батареї. Питання полягає в тому, чи зможуть власники електромобілів окупити батареї за рахунок прибутку на різниці тарифів.

VI. ПРИКЛАД ДОСЛІДЖЕННЯ: ПРИВАТНА СОЛЯЧНА СТАНЦІЯ ТА КОГЕНЕРАЦІЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Щоб оцінити рентабельність на стороні спожи-

вача, розглянемо типове господарство середнього класу в Україні. Взимку люди часто використовують електричне опалення на додаток до газових / вугільних або пелетних котлів, та, крім того, витрачають більше енергії на освітлення. Влітку кондиціонер є одним з основних споживачів. Середня широта в Україні становить 48°, а інтенсивність сонячного опромінення - близько 1380 кВт/м² [12]. Графік на рис. 5 ілюструє щоденне споживання у порівнянні з генерацією для типового господарства із сонячною станцією потужністю 10 кВт.

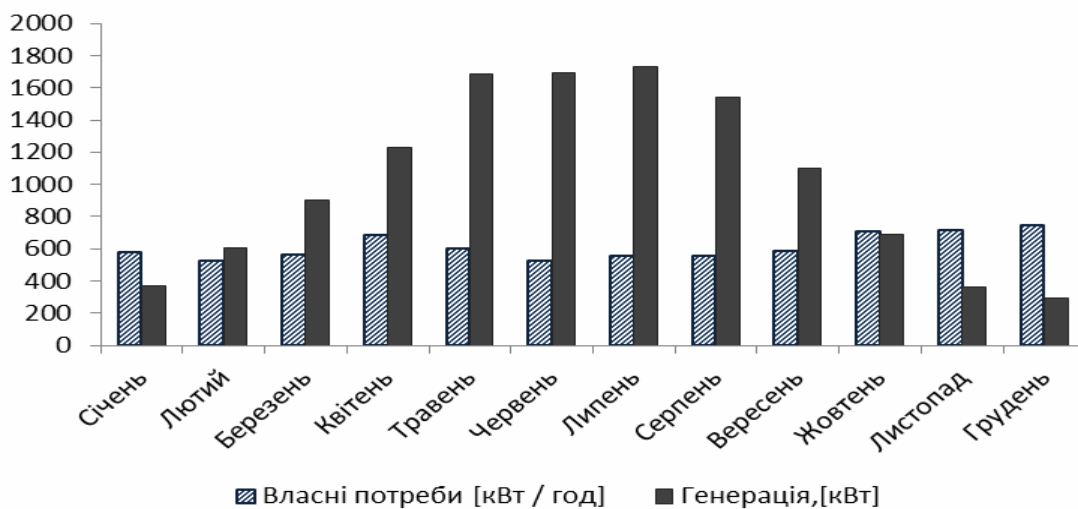


Рисунок 5. Середньодобове споживання типового домогосподарства та виробництво електроенергії (станція 10 кВт)

У табл.1 наведені індикативні фінансові показники для трьох сонячних станцій потужністю 10 кВт, 20 кВт та 30 кВт [3].

Таблиця 1. Окупність сонячних станцій

Індикатор	Потужність сонячної станції [кВт]		
	10	20	30
Вартість станції (з установкою) [EUR]	14489	24155	32500
Щорічне виробництво [кВт]	14747	26269	36657
Середньодобове виробництво [кВт]	72,2	144,4	216,6
Середньодобове споживання за власними потребами * [кВт]	12,1		
Середній валовий дохід за добу [EUR]	9,6	21,2	32,7
Валовий річний дохід [EUR]	3509,8	7726,3	11942,8
Окупність [років]	4,1	3,1	2,7

* Враховуються тільки денні години

Дані показують, що сонячна станція - це хороша інвестиція з періодом окупності 3-4 років. Чим більша потужність станції, тим більше щоденний дохід, оскільки споживання є постійним. Ось чому,

незважаючи на більші капітальні вкладення, окупність більш потужної станції є швидшою.

Щоб оцінити привабливість концепції V2G для типового власника електромобіля, ми припускаємо, що він або вона щодня їздить на роботу, середній

щоденний пробіг становить 68,5 км [11]. Таким чином, необхідно 11 кВт*год. З 40 кВт-год батареї Nissan Leaf, власник електромобіля має у своєму розпорядженні 29 кВт-год., які можна отримати вночі за дешевим тарифом і продати в мережу під час паркування автомобіля (за умови що є зарядна станція, яка дозволяє когенерувати в енергосистемі). Оскільки зараз для цього немає спеціального

тарифу, ми припускаємо, що власник буде оплачувати за діючими зеленими тарифами. Табл.2 підсумовує розрахунки часу, енергії та грошей на стороні користувача. Зверніть увагу, що 11 кВт/год, необхідні для проїзду в дорогу, не враховуються, оскільки ця енергія, яку власник має використати для подорожі у будь-якому випадку.

Таблиця 2. Розрахунок показників V2G

Час		Потужність та енергія		Гроші	
Щоденне переміщення [год]	2	Ємність акумулятора [кВт*год]	40	Тариф [EUR / кВт*год]	0,03
Час перебування на стоянці [год]	10	Витрати на енергоносії для подорожі [кВт*год]	11	Зелений тариф [EUR / кВт*год]	0,18
Вільний час заряджання вночі [год]	12	Доступна енергія для генерації [кВт*год]	29	Щоденні витрати на оплату * [EUR]	0,87
Фактичний час генерації [год]	7	Потужність заряджання/генерації [кВт]	3	Щоденний прибуток від генерації [EUR]	5,22
Фактичний час заряджання вночі [год]	11	Фактична генерація [кВт*год]	29	Валовий річний дохід [EUR]	1131

* Енергія, необхідна для проїзду, не береться до уваги.

Ми прийняли потужність розряду на рівні 3 кВт, що дорівнює зарядці в «повільному» режимі.

Типовий представник середнього класу приїжджає працювати о 8:00 і виїжджає о 18:00. Це дає десять годин часу на стоянці, або 30 кВт*год, які можна генерувати до мережі. Але він цього не може собі дозволити, тому що потрібен заряд, щоб доїхати додому (не кажучи вже про те, що ніхто не погодиться повністю вичерпати акумулятор). Тому фактичний час генерації менше.

Таким чином, розрахунки показують, що ємність акумулятора є основним обмежуючим чинником. Якщо в автомобілі була б батарея більшої ємності та номінальна потужність була вищою, можна б було використовувати всі доступні вікна часу, і власник отримав би більше прибутку.

Однак, більш важливим є те, що валовий річний дохід не настільки великий, щоб зробити цю ідею привабливою для власника. Найважливішим аспектом, який слід враховувати, є зниження терміну служби батареї через збільшення річних циклів заряду/розряду. Залежність нелінійна, чим глибше розряд, тим швидше знижується акумулятор. За приблизною оцінкою, 300 циклів зарядки знижує ємність акумулятора на 20 % [13]. Припустимо, що власник буде змушений замінити батарею ЕМ, коли її потужність зменшиться до 80 % (що є досить реалістичним припущенням). Використовуючи електромобіль тільки для їзди, термін служби акумулятора становить 4,2 роки. Використовуючи акумулятор для V2G, власник

повинен повністю заряджати і повністю вичерпувати запас енергії щодня, термін служби не буде перевищувати 1,5 роки. Враховуючи високу ціну на акумулятор (приблизно 5000 євро для Nissan Leaf 40 кВт*год.), користувач не отримає ніякого прибутку - весь накопичений прибуток буде витрачено на покупку нової батареї.

Звичайно, це дуже грубий розрахунок. Ми прийняли багато припущень, наприклад, дуже низький тариф на заряджання та дуже вигідний зелений тариф, і все ж це показує, що ця ідея зараз не є життєздатною.

У майбутньому, коли в українських містах з'являться набагато більше електромобілів, що зможуть надати необхідну підтримку енергомережі для вирівнювання навантаження, а також, коли буде присутня інфраструктура заряджання/когенерації на місці, а акумулятори будуть дешевшими, тоді ідея V2G може стати життєздатною.

VII. ВИСНОВКИ

Привабливість відновлюваної енергетики в усьому світі та зокрема в Україні, залежить виключно від державної підтримки. Із зниженням зеленого тарифу, так само буде знижуватись і кількість нових сонячних станцій. Зрештою, вони займуть деяку невелику нішу у виробництві електроенергії в країні і будуть продовжувати повільно зростати.

Електричні транспортні засоби є вигідними для кінцевих користувачів навіть без підтримки уряду.

Незалежно від того, наскільки ціни на паливо/електроенергію зміняться у майбутньому, рекупераційне гальмування завжди буде вирішальною перевагою електромобілів. Усі технологічні тенденції сприяють розвитку електричної мобільності.

Життєздатність концепції V2G залишається сумнівною. Зокрема, в Україні це, швидше за все, не відбудеться через брак інфраструктури та державних стимулів. Коли інфраструктура буде розгорнута в достатньому масштабі, зелений тариф буде вже занадто низьким, щоб зробити його привабливим для власників електромобілів. Для цього необхідні такі тенденції:

- збільшення ємності акумулятора;
- покращення технології швидкої зарядки;
- зниження вразливості акумуляторів до циклів заряджання;
- підвищення різниці нічних та пікових тарифів або встановлення спеціального тарифу на електроенергію, отриману від електромобілів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Car Maintenance. (2019) [Електронний ресурс]. - Режим доступу https://www.tesla.com/en_EU/support/car-maintenance?redirect=no
- [2] Part 1: Instability in a Crucial Country: Stratfor geopolitical survey. (2019). [Електронний ресурс]. - Режим доступу <https://worldview.stratfor.com/article/part-1-instability-crucial-country>
- [3] Тариф на електроенергію в Україні: звіт НКРЕ (2017) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=30038>
- [4] Prices for electricity in France (2018) [Електронний ресурс].- Режим доступу <https://en.selectra.info/energy-france/guides/electricity/cost>
- [5] Статистика по приватним сонячним електростанціям в Україні на кінець 2017 року: статистичний звіт компанії Altec Ltd. [Електронний ресурс]– Режим доступу <https://altec.in.ua/about/news/korporativnye-novosti/215-statistika-po-chastnym-solnechnym-stanciyam-v-ukraine-na-konec-2017-goda - 2017>
- [6] Звіт державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (2017) [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>
- [7] Moves Toward Green Energy Hamper Germany's Economy. (2019). Retrieved from <https://worldview.stratfor.com/article/moves-toward-green-energy-hamper-germanys-economy>
- [8] Україна входить у Топ-10 країн з продажу електромобілів (2018). [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2018/03/13/634925/>
- [9] Yazdanie, M., Noembrini, F., Dossetto, L., & Boulouchos, K. (2014). Corrigendum to «A comparative analysis of well-to-wheel primary energy demand and greenhouse gas emissions for the operation of alternative and conventional vehicles in Switzerland, considering various energy carrier production pathways» [Journal of Power Sources 249 (2014) 333–348]. *Journal Of Power Sources*, 256, 485-486. doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.088
- [10] Vehicle-to-grid. (2019) [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>
- [11] Electric vehicles in Europe: report of the European Environment Agency (2016). Режим доступу <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe/download>
- [12] Енергія Сонця. (2019). [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>
- [13] Arcus, C., & Arcus, C. (2019). Battery Lifetime: How Long Can Electric Vehicle Batteries Last? [Електронний ресурс]. - Режим доступу <https://cleantechnica.com/2016/05/31/battery-lifetime-long-can-electric-vehicle-batteries-last/>
- [14] Beshta, A. Combined power electronic converter for simultaneous operation of several renewable energy sources [Текст]/ Aziukovskyi, O., Balakhontsev, A., & Shestakov, A. (2017). 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). doi:10.1109/mees.2017.8248898
- [15] Beshta, O. Design of electromechanical system for parallel hybrid electric vehicle. Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems [Текст]/ Balakhontsev, A. & Albu, A. (2013). 29–35. doi: 10.1201/b16355-5

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОГЕНЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

- БЕШТА А.С.** д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе Национального технического университета «Днепровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: beshtaa@nmu.one;
- АЗЮКОВСКИЙ А.А.** канд. техн. наук, профессор, первый проректор Национального технического университета «Днепровская политехника», e-mail: azalex@nmu.one;
- ХУДОЛЕЙ Е.П.** младший научный сотрудник кафедры электропривода Национального технического университета «Днепровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: eugeniya@ukr.net;
- ХУДОЛІЙ С.С.** канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электропривода Национального технического университета «Днепровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: khudolii.s.s@nmu.one
- БАЛАХОНЦЕВ О.В.** канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электропривода Национального технического университета «Днепровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: balakhontsev.o.v@nmu.one

Цель работы. Оценить экономическую привлекательность альтернативной энергетики и, в частности технологии «Vehicle-to-grid» (V2G), то есть использование батареи электроавтомобиля для когенерации в сеть. Определить экономические показатели и условия, по которым эта технология станет привлекательной для владельцев электроавтомобилей.

Методы исследования. Для расчета экономических показателей использованы прогнозы Национальной комиссии регулирования электроэнергетики Украины, данные аналитики и производителей электроавтомобилей.

Полученные результаты. Выполнен обзор тенденций в области альтернативной энергетики в Украине и, в частности, электрической мобильности в контексте их экономической целесообразности. Сделан анализ тарифов на электроэнергию, полученную от возобновляемых источников энергии и сделан прогноз касательно доли альтернативной энергетики в энергогенерации Украины в будущем. Рассмотрены аспекты технологии V2G - использование батареи электроавтомобилей в качестве промежуточного накопителя энергии, зарядка их во время низкого ночного тарифа на электроэнергию и отдача в энергосеть для частичного покрытия пиковой нагрузки. Показано, что сокращение срока службы батарей из-за увеличения циклов заряда-разряда делает эту идею несостоятельной при текущих уровнях тарифов на электроэнергию.

Научная новизна. Доказано, что для обеспечения привлекательности технологии V2G для владельца электроавтомобиля необходимо увеличение емкости аккумуляторов электроавтомобилей, повышение мощности заряда и разряда и уровня «зеленого» тарифа или введение специального тарифа для когенерации от электроавтомобилей.

Практическая ценность. Даны числовые значения тарифов на электроэнергию и параметры заряда-разряда батарей электроавтомобилей, необходимые для технико-экономического обоснования технологии когенерации от батарей электроавтомобилей в энергосеть. Определены граничные значения тарифов и параметры системы, при которых технология V2G может стать экономически оправданной.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика; зеленый тариф; электроавтомобили; когенерация; технико-экономическое обоснование.

TECHNICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION OF COGENERATION TECHNOLOGY WITH THE USE OF ELECTROMOBILE

- BESHTA A.S.** Doctor of technical sciences, professor, vice-rector for science of the National Technical University «Dnipro polytechnic», Dnipro, Ukraine, e-mail: BeshtaA@nmu.one
- AZIUKOVSKI A.A.** PhD in technical sciences, professor, chief vice-rector of the National Technical University «Dnipro polytechnic», Dnipro, Ukraine, e-mail: azalex@nmu.one
- KHUDOLII E.P.** Junior researcher of the National Technical University «Dnipro polytechnic», Dnipro, Ukraine, e-mail: eugeniya@ukr.net

KHUDOLII S.S. PhD in technical sciences, associate professor of the National Technical University «Dnipro polytechnic», Dnipro, Ukraine, e-mail: khudolii.s.s@nmu.one

BALAKHONTSEV O.V. PhD in technical sciences, associate professor of the National Technical University «Dnipro polytechnic», Dnipro, Ukraine, e-mail: balakhontsev.o.v@nmu.one

Purpose. To evaluate the economic attractiveness of alternative energetics, and in particular Vehicle-to-grid (V2G) technology, i.e. the use of an electric vehicle battery for cogeneration into the network. Determine the economic indicators and conditions under which this technology will be attractive to electric vehicle owners

Methodology. The forecasts of the National Electricity Regulatory Commission of Ukraine, analytics data and manufacturers of electric vehicles were used to calculate economic indicators

Findings. The overview of the trends in alternative energetic in Ukraine and, in particular, electric mobility in the context of their economic feasibility is completed. The analysis of electricity tariffs received from renewed sources is carried out and the forecast for the share of alternative energy of Ukraine in the future is made. Aspects of V2G technology are considered - the use of electric vehicle battery as an intermediate energy storage, charging them during low nightly electricity tariff and return to the grid for partial coverage of peak load. It is shown that the shortening of the battery life due to the increase of charge-discharge cycles makes this idea incapable at the current level of cogeneration tariff.

Originality. It is proved that to increase the attractiveness of V2G technology for the electric vehicle owner, it is necessary to increase the capacity of electric vehicle batteries, to increase the capacity of charging and discharging devices and to increase the level of the «green» tariff or set a special tariff for cogeneration from electric vehicles.

Practical value. The numerical values of electricity tariffs and the parameters of charge-discharge of electric vehicle batteries necessary for the feasibility study of cogeneration technology from electric vehicle batteries to the power grid are given. The tariff limits and system parameters for which the V2G technology will become self-sufficient are determined..

Keywords: renewable energy, green tariff, electric vehicles, co-generation, feasibility study

REFERENCES

- [1] Car Maintenance. (2019). Retrieved from https://www.tesla.com/en_EU/support/car-maintenance?redirect=no [Accessed 6 Jun. 2019].
- [2] Part 1: Instability in a Crucial Country: Stratfor geopolitical (2019). Retrieved from <https://worldview.stratfor.com/article/part-1-instability-crucial-country>
- [3] Electricity Tariff in Ukraine: NERC Report Retrieved from <http://www.nerc.gov.ua/?id=30038>
- [4] How Much Does Electricity Cost in France? (2019). Retrieved from <https://en.selectra.info/energy-france/guides/electricity-cost>
- [5] Report of the State Agency for Energy Efficiency and Energy Conservation of Ukraine (2017) Retrieved from <https://altec.in.ua/about/news/korporativnyenovosti/215-statistika-po-chastnym-solnechnym-stanciyam-v-ukraine-na-konec-2017-goda - 2017>
- [6] Energy of the sun | Ukraine's State Energy Efficiency. (2019). Retrieved from <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>
- [7] Moves Toward Green Energy Hamper Germany's Economy. (2019). Retrieved from <https://worldview.stratfor.com/article/moves-toward-green-energy-hamper-germanys-economy>
- [8] Ukraine is among the top 10 countries for the sale of electric motors <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2018/03/13/634925/>
- [9] Yazdanie, M., Noembrini, F., Dossetto, L., & Boulouchos, K. (2014). Corrigendum to «A comparative analysis of well-to-wheel primary energy demand and greenhouse gas emissions for the operation of alternative and conventional vehicles in Switzerland, considering various energy carrier production pathways» [Journal of Power Sources 249 (2014) 333–348]. *Journal Of Power Sources*, 256, 485-486. doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.088
- [10] Vehicle-to-grid. (2019). Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>
- [11] Electric vehicles in Europe: report of the European Environment Agency (2016). Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe/download>
- [12] Energy of the Sun.. (2019). Retrieved from <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>
- [13] Arcus, C., & Arcus, C. (2019). Battery Lifetime: How Long Can Electric Vehicle Batteries Last? | Clean Technica. Retrieved from <https://cleantechnica.com/2016/05/31/battery-lifetime-long-can-electric-vehicle-batteries-last/>
- [14] Beshta, A., Aziukovskyi, O., Balakhontsev, A., & Shestakov, A. (2017). Combined power electronic converter for simultaneous operation of several renewable energy sources. *2017 International Conference On Modern Electrical And Energy Systems (MEES)*. doi: 10.1109/mees.2017.8248898
- [15] Beshta, O., Balakhontsev, A., & Albu, A. (2013). Design of electromechanical system for parallel hybrid electric vehicle. *Energy Efficiency Improvement Of Geotechnical Systems*, 29-35. doi: 10.1201/b16355-5