

УДК 51-77: 332.1

JEL Classification: C02, Q16, Q42

DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201909118>

Т.В. КУДІН, аспірант*
С.П. САЯПІН

Еколого-економічна оптимізація розвитку малої біоенергетики

Мета статті - обґрунтувати використання малої біоенергетики на рівні окремого домогосподарства для отримання як додаткового енергопостачання, так і поліпшення локального (в масштабі домогосподарства або селища) стану довкілля.

Методика дослідження. Застосовано порівняльний аналіз ефективності використання окремих типів поновлюваної енергетики на основі компенсаційного припущення Хікса-Кальдерона. Отримано за допомогою методології приведеної вартості (NPV) експлуатаційні характеристики ефективності малих біоенергетичних установок з урахуванням і без урахування екологічної складової.

Результати дослідження. Аналіз показників економічної ефективності малої біоенергетики дав підстави стверджувати, що вона не в змозі конкурувати з генерацією сонячними електростанціями (СЕС), якщо не враховувати фактора поліпшення стану довкілля за рахунок дезактивації відходів життєдіяльності та економічної активності домогосподарств. У цьому випадку суттєво зменшується термін окупності біоенергетичного обладнання.

Елементи наукової новизни. Використання компенсаційного припущення Хікса-Кальдерона при оцінці терміну окупності біоенергетичного обладнання.

Практична значущість. Дослідження спрямоване на поліпшення інвестиційної привабливості малої біоенергетики та базується на порівняльному аналізі експлуатаційних характеристик установок вітчизняного і зарубіжного походження. Табл.: 2. Рис.: 2. Бібліогр.: 19.

Ключові слова: біоенергетика; домогосподарство; термін окупності; еколого-економічна оптимізація; вартість одиниці енергії; ставка дисконту.

Кудін Тімур Валерійович - аспірант кафедри аграрного консалтингу і туризму, Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, вул. Героїв Оборони, 11)

E-mail: ktimur3@rambler.ru

Саяпін Сергій Петрович - старший викладач кафедри інформаційних систем, Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, вул. Героїв Оборони, 11)

E-mail: sayapin_sp@ukr.net

Постановка проблеми. Головна тенденція розвитку української біоенергетики базується на припущенні, що основна маса сировини постачається за рахунок залишків виробництва великого аграрного бізнесу, який головним чином спеціалізується на галузі рослинництва. При цьому, поза межами уваги дослідників залишилися інтереси малого бізнесу та домогосподарств. Вважається, що внесок малого бізнесу і домогосподарств у поновлювану енергетику полягає в інвестуванні в сонячну та вітрову енергетику [18]. Головною причиною цього є наявність широкого кола компаній, які пропонують подібні проекти «під ключ» та повна ав-

томатизація процесів отримання і використання енергії. Окремо варто відзначити зростання кількості пропозицій обладнання, зокрема, в популярних маркетплейсах України [1, 2, 12]. Однак, якщо розглядати не тільки енергетичну, а й екологічну складову діяльності аграрного бізнесу, то переробка залишків виробництва дрібних фермерських господарств і відходів домогосподарств за рахунок біоенергетики стає більш актуальною. Звідси детальнішого аналізу потребують джерела сировини для малої біоенергетики. Слід підкреслити, що абсолютна більшість сіл України та приватного сектору забудови міст не має централізованої каналізації і власних сміттєзвалищ. Питання утилізації рідких і твердих відходів кожне домогосподарство вирішує самостійно і, переважно, на території власної земельної ділян-

* Науковий керівник - Т.П. Кальна-Дубінюк, доктор економічних наук.

© Т.В. Кудін, С.П. Саяпін, 2019

ки. Цілком можливо припустити, що вплив таких локальних систем відведення каналізаційних стоків та сміттєзвалищ виявляє негативний екологічний ефект, який можна порівняти з ефектом сміттєзвалищ великих міст [10]. Тому використання як енергетичної сировини відходів домогосподарств, що залишаються в незначному віддаленні від житлового будинку та водозаборів домогосподарств (колодязів і свердловин), має значний позитивний ефект, який відповідно гіпотезі Хікса-Кальдерона суттєво перевищує економічний [17].

Якщо вважати, що домогосподарство не має власного аграрного бізнесу, а здає паї в оренду, то залишається присадибна ділянка величиною 0,1-0,3 га, на якій існують залишаються рештки аграрної продукції та життєдіяльності.

У сільській місцевості значна частина домогосподарств утримують велику рогату худобу та свиней з метою товарного виробництва продукції як для власного споживання, так і для реалізації. Однак не слід розраховувати, що відходів одного домогосподарства, яке не займається виробництвом товарної аграрної продукції, достатньо для забезпечення всіх його енергетичних потреб. Так, якщо домогосподарство за рік споживає сукупний деякий обсяг енергії, а один кілограм біомаси містить 4 Мдж або 0,278 кВт*год, то для домогосподарства, яке споживає за рік, наприклад, 1000 кВт*год, потрібно використати 3,6 т біомаси, а для генерації 6000 кВт*год потрібно 21,6 т. І це без урахування втрат на трансформацію первинної енергії в електроенергію.

Слід підкреслити, що при трансформації біоенергії в електричну енергію коефіцієнт корисної дії не перевищує 30%, але при генерації теплової енергії він підвищується до 80%. При цьому треба враховувати, що в біоенергетиці діє ефект масштабу - ефективність генерації енергії (теплової, електричної) підвищується із зростанням потужності генератора [19].

У такому випадку найчастіше в енергетиці використовуються два показники економічної ефективності, а саме: вартість встановлення одиниці потужності (1 кВт) і порівняльна величина вартості одиниці енергії (1 кВт*год). Для біоенергетики вартість встановлення одиниці потужності знаходиться в межах 3-5 тис. USD за кВт, а порівняльна вартість 1 кВт*год становить від 0,08

до 0,15 USD [5]. Ці показники набагато гірші від подібних характеристик сонячної енергетики (СЕС), або вітрової генерації (ВГ) у сприятливих цьому типу генерації регіонах (узбережжя морів, гірських регіонах).

Однак, якщо виключно за економічними показниками біоенергетика для домогосподарств не є інвестиційно привабливою, включення екологічної складової суттєво змінює ситуацію.

Зазвичай вважається, що екологічну складову позитивних або негативних змін доквілля, за винятком деяких випадків, важко оцінити у грошовому виразі (підвищення або зменшення врожайності, зростання рівня захворюваності в районі екологічної небезпеки, витрат на поліпшення якості води для водопостачання населенню та підприємствам). Сучасна економічна теорія дозволяє суттєво розширити можливість використання грошових оцінок змін стану доквілля завдяки припущенню Хікса-Кальдерона (Wanted to Pay - Згоден Сплатити [17]), яке можна трактувати, що суспільні втрати від погіршення стану зовнішнього середовища в деякому районі можна оцінити як обсяг платежів, які погоджується сплатити населення, щоб поліпшити його стан. При цьому важливу роль відіграє рівень екологічної свідомості населення щодо можливих загроз із виключенням тези «не знаєш про наслідки, значить все гаразд».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями доцільності та ефективності розвитку біоенергетики в Україні займалися наступні дослідники: В.С. Бондар, А.В. Фурса, М.Я. Гументик [3], Ю.М. Гальчинська [4], Г.Г. Гелетука, Т.М. Железна, О.М. Шпичак, О.В. Боднар [13], М.П. Талавиря, В.В. Байдала Загальна постановка задачі накопичення процесу енергетичних трансформацій у сільському господарстві з позицій фізіократичних поглядів представлена у роботі О. Шпичака, О. Боднар. На підставі світової статистики показано, що за рахунок інноваційних технологій збільшення показників ефективності аграрного виробництва відбувається при зменшенні обсягів енергетичних ресурсів, вкладених у землю. Подібні процеси повинні відбуватись і в безпосередньому енергетичному забезпеченні діяльності аграрного сектору, в якому звичайні домогосподарства, як і раніше, відіграють значну роль, забезпечуючи бізнес основними компонентами аграрного виробництва

(земля, трудові ресурси) і виробляючи значну частину товарної продукції [8].

На даний час головна увага більшою мірою приділяється великій біоенергетиці, яка відповідно до енергетичної стратегії до 2035 р. повинна забезпечити 11% від загального енергоспоживання [6]. Однак існуючі темпи розвитку біоенергетики не надають підстав для надмірного оптимізму, тому пропонується ряд заходів із поліпшення ситуації, де головна увага приділяється державній підтримці, іноземним і внутрішнім інвестиціям великого бізнесу [3]. При цьому практично в абсолютній більшості робіт головна увага приділяється біоенергетиці великих потужностей (починаючи з 1 мегавату встановленої потужності) та можливості їх забезпечення енергетичною сировиною, а вартість встановлення перевищує 1 млн USD [4, 5]. Проте поза межами уваги вітчизняних учених залишаються питання впливу на ефективність біоенергетики таких важливих факторів, як наявність сировини, яку можна отримати з 1 га лісу, вартість логістичних операцій з однією енергетичною одиницею сировини. Усі ці питання на кількісному рівні враховуються в країнах ЄС при оцінках параметрів ефективності біоенергетики [16].

Стосовно малої біоенергетики, то на відміну від сонячної і вітрової енергетики біоенергетика, за наявності запасів сировини, може генерувати енергію за відповідної потреби в будь-який час незалежно від фізичних умов.

Багато функціонуючих і планованих бізнес-проектів аграрного й лісгосподарського спрямування здатні забезпечити сировиною біоенергетику без залучення додаткових площ та ресурсів. Крім того, окремі домогосподарства можуть отримати додатковий дохід постачаючи біосировину для невеликих (локальних) біоенергетичних генераторів [19], можливо на паритетних засадах наступного використання генерованих потужностей.

У цьому контексті розглянемо деякі технічні подробиці. Так, усім двигунам внутрішнього згоряння, що працюють на газоподібному паливі, потрібний очищений газ, бажано за якісними чи енергетичними параметрами, близькими до природного чи зрідженого нафтового газу. В іншому випадку неминуче відбудеться надмірний знос двигуна та зменшення його потужності. Тому система очищення являє собою важливу складову

установки газифікатора. Газифікаційні технології ефективні для невеликих потужностей генерації від 10 до 100 кВт [19].

Що стосується ефективності систем внутрішнього згоряння, то 1 кВт·год можна отримати від спалювання 1,1-1,5 кг дерева або 1-3,6 кг відходів рослинництва.

Різні методи генерації використовуються для різних видів біомаси. Типові деревинні біомаси спалюються або газифікуються для виробництва електроенергії. Стебло кукурудзи і солома пшениці подрібнюються для спалювання або перетворюються в газ у анаеробному реакторі. Рідкі відходи життєдіяльності та побуту людей і тварин перетворюються в анаеробному реакторі в помірно енергетичний газ. Більшість типів біомаси може перетворюватися в біопаливо шляхом піролізу [14]. При цьому потрібно враховувати фактори сезонності надходження сировини, площу та потужності для її зберігання й переведення у більш концентровану форму технологічно та економічно придатної для цього сировини (брикетування, виробництво пелет тощо).

Зупинимося на екологічній складовій діяльності малої біоенергетики. Компенсаційний принцип Пігу дозволяє використати погіршення або поліпшення локального стану зовнішнього середовища при виборі методу енергозабезпечення. Тобто домогосподарство може поступатися часткою власних доходів від використання біоенергетики в обмін на поліпшення стану зовнішнього середовища [10, 17].

Мета статті - обґрунтувати використання малої біоенергетики на рівні окремого домогосподарства для отримання як додаткового енергопостачання, так і поліпшення локального (в масштабі домогосподарства або селища) стану довкілля.

Для досягнення поставленої мети планується виконання таких завдань:

- 1) побудувати цільову функцію корисності домогосподарства для впровадження малої біоенергетики з урахуванням еколого-економічного ефекту;

- 2) оцінити термін окупності біоенергетичного обладнання з урахуванням ступеня ризику інвестувань та макроекономічної ситуації;

- 3) проаналізувати стан внутрішнього ринку біоенергетичного обладнання;

4) надати рекомендації щодо використання біоенергетики залежно від параметрів домогосподарства.

Методологія дослідження. Проведено порівняльний аналіз ефективності використання окремих типів поновлюваної енергетики на підставі параметрів, що використовуються у світовій енергетиці: вартість встановлення одиниці потужності, вартість одиниці енергії за термін експлуатації, термін окупності обладнання. За допомогою компенсаційного припущення Хікса-Кальдерона враховується ефект локального поліпшення довкілля при використанні малої біоенергетики. Отримано на підставі методології приведеної вартості (NPV) експлуатаційні характеристики ефективності малих біоенергетичних установок з урахуванням і без урахування екологічної складової.

Виклад основних результатів дослідження. У процесі дослідження розглянуто експлуатаційні характеристики існуючих видів генерації електроенергії, як альтернативних, так і традиційних.

Перший показник має назву порівняння вартості енергії за час експлуатації - (Levelized Cost of Energy (LCOE)). Він вимірюється у USD/мВт·год, або USD/кВт·год.

Оцінка загальної вартості одиниці енергії визначається як сума інвестиційних та експлуатаційних витрат, поділена на величину енергії, генерованої за час експлуатації $C_{\Sigma/1}$. Як грошові витрати, так і спожита електроенергія дисконтуються у часі [15]:

$$C_{\Sigma/1} = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_t}{(1+r)^t}}, \quad (1)$$

де I_t - інвестиційні витрати за рік t ; M_t - операційні витрати за рік t ; F_t - витрати на спожиту зовнішню енергію за рік t ; E_t - генерація електроенергії за рік t , r - ставка дисконтування; T - термін експлуатації обладнання.

Крім цього показника, поширеним параметром у світовій енергетиці вважається вартість встановлення одиниці потужності, який виражається у USD/кВт.

Однак для того, щоб інвестування в поновлювану енергетику стало домінуючим та масовим типом інвестування в Україні, потрібно ввести критерій ефективності інвесту-

вань не тільки з метою отримання енергії для власного споживання. Це забезпечується за рахунок впровадження «зеленого» тарифу, за яким домогосподарство може постачати залишки генерованої енергії в національну енергомережу.

Проте на даний час діє більш зручний і ефективний для інвестора принцип вільного доступу до мережі, коли домогосподарство (інвестор) оплачує тільки різницю між спожитою і генерованою електроенергією. Якщо обсяг генерованої електроенергії більший від спожитого, то різниця сплачується власнику потужностей генерації за відповідним методом генерації «зеленим тарифом» [7]. У разі, якщо власної генерації не вистачає, енергія з мережі оплачується за мережевим тарифом.

У кожній країні існує власна стратегія визначення «зелених» тарифів. Наявність «зеленого» тарифу дозволяє розглядати інвестування в поновлювану енергетику як фінансовий інструмент, що означає можливість порівняння прибутковості та ступеня ризику інвестувань у поновлювану енергетику з іншими варіантами. Тому тут пропонується використання крім двох визначених вище характеристик відношення дисконтного прибутку, отриманих після закінчення терміну окупності, до сумарних дисконтних витрат за час експлуатації. Цей показник можна вважати фактором інтегральної прибутковості проекту інвестувань у поновлювану енергетику:

$$r_{I/T} = \frac{\sum_{t=T_0+1}^T \frac{Pr(t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}, \quad (2)$$

де $Pr(t)$ - прибуток за рік t , T_0 - термін окупності в роках.

Величина «зеленого» тарифу для всіх видів поновлюваної енергетики у розвинутих країнах ЄС знаходиться практично на рівні тарифів на електроенергію для промисловості та суттєво менша, ніж тарифи для населення [11].

В Україні впровадження «зеленого» тарифу відбулось у ситуації, яка суттєво відрізняється від розвинутих країн ЄС. Вона характеризується низькою платоспроможністю населення і, як наслідок, низькими тарифами на електроенергію та катастрофічним станом традиційної енергетики. Виходом з цієї ситу-

ації було визначення «зелених» тарифів на рівні суттєво перевищуючими тарифи енергоспоживання для населення, що й пожвавило процес інвестування в поновлювану енергетику. Однак в умовах України абсолютну перевагу віддали сонячній енергетиці [11, 18] та вітрогенераторам, або їх комплексам.

На наш погляд, зростанню попиту саме на СЕС сприяли, крім економічно привабливого тарифу, більший природний потенціал всієї території України для сонячної енергетики, зручні умови підключення, що не виключають споживання електроенергії з мережі по діючому тарифу (у середньому 5 центів за 1 кВт·год) і тому не вимагає придбання дорогого й громіздкого обладнання для акумулювання електроенергії. Однак крім стимулів розвитку поновлюваної енергетики існують і негативні фактори - скасування «зеленого» тарифу наземної сонячної генерації для домогосподарств [7], або стабільні неофіційні повідомлення відносно можливості перегляду або скасування «зеленого» тарифу.

Проаналізуємо детальніше загальну вартість одиниці енергії (1) як у поновлюваній, так і традиційній енергетиці, яка розглядається як вартість у доларах США одиниці енергії (1МВт·год) під час експлуатації обладнання (рис. 1).

За останні три роки суттєво зменшилася вартість генерації в поновлюваній енергетиці, особливо це стосується сучасних СЕС, розташованих на земній поверхні. З'ясувалося, що розташування СЕС на дахах суттєво погіршує економічний ефект. Крім того, скасування обмеження максимальної встановленої потужності в 30 кВт, поліпшує інвестиційну привабливість малої поновлюваної енергетики.

Якщо провести порівняння вартості одиниці енергії традиційної та поновлюваної енергетики, то вже на даний час встановилась рівновага між цінами. Однак при цьому не враховується ефект погіршення стану зовнішнього середовища від теплової енергетики, або можливості глобальної катастрофи (Чорнобиль, 1986, Фукусіма, 2011) [11].



Рис. 1. Порівняльна вартість генерації в поновлюваної і традиційної енергетиці (USD/MВт·год)

Джерело: [15].

Слід підкреслити, що відповідно вартісних оцінок одиниця енергії біоенергетики суттєво відстає від сонячної енергетики. Крім того, «зелений» тариф для біоенергетики становить 110 євро/ МВт·год, що при поточному курсі 1,12 USD/€ буде 123 USD. А

це відповідає медіанній оцінці собівартості вартості 1МВт·год. Тобто, якщо для біоенергетики віддавати за цією ціною електроенергію в мережу, то навряд чи можна досягти позитивного ефекту на відміну від сонячної енергетики, для якої менша собівартість

(40 євро/МВт·год) і більший «зелений» тариф (180 євро/МВт·год). Тому позитивний ефект від біоенергетики полягає насамперед у можливості утилізації як відходів економічної діяльності, так і життєдіяльності домогосподарств. Це особливо актуально в умовах відсутності в абсолютній більшості сіл та осередків приватної забудови міст централізованої каналізації та сміттєзвалищ.

Проаналізуємо економічну та екологічну складові використання біоенергетичної установки. При цьому цільова функція, крім економічної складової - безпосередній ефект зменшення споживання вартісних енергоресурсів, повинна мати й екологічну складову, що пов'язано з локальним ефектом (характерно для присадибної ділянки домогосподарства).

Розглянемо оптимізаційну задачу енергетичного забезпечення окремого домогосподарства з урахуванням споживання енергії, наявних ресурсів і локальної екологічної складової. Введемо наступні позначення:

E_{ep} - середньорічне споживання електроенергії (кВт·год); E_{mp} - середньорічні витрати енергії на нагрівання, охолодження, висушування (кВт·год); E_x - електроенергія потрібна для функціонування біоенергетики (кВт·год), D_i ($i=1,2,3,\dots,m$) - залишки від рослинництва ($i=1$); тваринництва ($i=2$); життєдіяльності ($i=3$); інші енергетичні залишки ($i>3$), τ ; μ_i - теплотворна здібність i енергетичний залишок (кВт·год/т); $\sum_{i=1}^m \mu_i D_i$ - біоенергетичний потенціал домогосподарства, кВт·год; k_1 ; k_2 - коефіцієнти корисної дії генерації електричної та теплової енергії, T_0 - термін окупності обладнання; T - термін його експлуатації, років, Крім того, введемо величини мережевого та «зеленого» тарифів за кВт·год - $\tau_c = 0,05\text{€}$; $\tau_{z3} = 0,1\text{€}$.

Річний біоенергетичний баланс домогосподарства можна представити у вигляді:

$$E_{ep} + E_{mp} + E_x = k_1 \zeta \sum_{i=1}^m \mu_i D_i + k_2 (1 - \zeta) \sum_{i=1}^m \mu_i D_i + \Delta, \quad (3)$$

де ζ - частка електрогенерації; $1 - \zeta$ - частка теплогенерації; $\Delta > 0$ - дефіцит; $\Delta < 0$ - профіцит біоенергетичного балансу підприємства. Вважаємо, що у разі дефіциту він покривається за рахунок енергопостачання з електромереж за мережевим тарифом, а профіциту - енергія постачається в мережу за «зеленим» тарифом для біоенергетики. Проаналізуємо обґрунтованість біо-

енергетичного проекту з позицій привабливості інвестицій. Для цього введемо фінансові параметри проекту. Відомо, що вартість встановлення одиниці потужності (1 кВт) для біоенергетики знаходиться в діапазоні 3-5 тис. USD, позначимо цю величину p_0 , потужність біоенергетичної установки позначимо x . Вважаємо, що цієї потужності повинно бути достатньо для переробки всіх енергетичних залишків домогосподарства. При цьому передбачається, що енергоустановка може працювати цілий рік, тобто 8760 годин. Звідси виникає умова на встановлену потужність:

$$x > \frac{1}{8760} (k_1 \zeta \sum_{i=1}^m \mu_i D_i + k_2 (1 - \zeta) \sum_{i=1}^m \mu_i D_i) = \frac{\bar{k} D_\Sigma}{8760}. \quad (4)$$

Якщо позначимо $\sum_{i=1}^m \mu_i D_i = D_\Sigma$; $k_1 \zeta + k_2 (1 - \zeta) = \bar{k}$. (5)

Стосовно величини μ , то коефіцієнт переведення тонни біомаси в тонни нафтового еквівалента становить 0,09, а 1 т нафтового еквівалента дорівнює 11,63 МВт·год, або 11630 кВт·год. Це означає, що для переведення біомаси в тоннах у кВт·год множник дорівнює: $\mu = 0,09 \cdot 11630 = 1046,7$.

Зважений показник корисної дії \bar{k} зручно використовувати залежно від часток енергетичної сировини, яка спрямовується на генерацію електроенергії $k_1=0,2$ і на генерацію тепла $k_2=0,8$. Тоді річний прибуток від біогенерації енергії з урахуванням витрат на енергозабезпечення:

$$Pr_r = \tau_c (\bar{k} \cdot D_\Sigma - E_x). \quad (6)$$

Оскільки в проекті здійснюється еколого-економічна оптимізація, то проводиться оцінка вартості видалення або дезактивації найбільш екологічно небезпечних складових біоенергетичного потенціалу - залишків тваринництва і життєдіяльності господарства, що здійснюватиметься при їх використанні в біоенергетиці. Тобто цю величину потрібно додати до прибутків від біоенергетичного проекту:

$$Pr_{ek} = 1 (D_2 p_2 + D_3 p_3), \quad (7)$$

де $1 \geq 1$ - суб'єктивний коефіцієнт оцінки поліпшення стану зовнішнього середовища; p_2 і p_3 - вартість дезактивації або вивезення 1 тонни залишків тваринництва і життєдіяльності домогосподарств відповідно.

Тоді загальний прибуток від біогенерації визначається:

$$Pr_\Sigma = Pr_r + Pr_{ek} = \tau_c (\bar{k} \cdot D_\Sigma - E_x) + 1 (D_2 p_2 + D_3 p_3). \quad (8)$$

Проведемо оцінку терміну окупності біоенергетичного обладнання, який використовує всі залишки економічної активності та

життєдіяльності домогосподарства. Для цього знайдемо дисконтний прибуток від використання біогенератора за термін окупності та порівняємо його до обсягу інвестувань - p_0x . Для здійснення оцінок потрібно визначити показник макроекономічної і політичної стабільності - дисконтну ставку. Оскільки всі розрахунки відбуваються у відносно стабільних грошових одиницях євро і доларах США, то як ставку дисконту r приймаємо ставку по валютних депозитах в Україні, яка належить проміжку 2-5%. Однак з урахуванням ризиків, властивих всім формам аграрного бізнесу, цей діапазон потрібно розширити до 10%. На підставі оцінки дисконтного потоку прибутку на часовому інтервалі окупності можна отримати вираз для оцінки цього інтервалу [9]:

$$T_0 = - \text{Ln}(1 - p_0 \cdot x \cdot r / \text{Pr}_\Sigma) / \text{Ln}(1 + r). \quad (9)$$

Розглянемо представлений алгоритм оцінки терміну окупності на прикладі. Нехай

домогосподарство або група домогосподарств виробляють 25 т біомаси на рік. Половина такої використовується для генерації електроенергії, інша половина - для генерації тепла. Тоді відповідно до (5) коефіцієнт зваженої корисної дії дорівнює 0,5. Відповідно до (4) розрахуємо оцінку мінімальної потужності біоенергетичної установки:

$$x > \frac{0,5 \cdot 25 \cdot 1046,7}{8760} \approx 1,5 \text{ кВт}.$$

Звідси потужності у 2 кВт буде достатньо для переробки 25 т біомаси, а це означає, що вартість проекту (визначення потужності) становить 8 тис. євро.

Річний прибуток від енергетичної складової відповідно до (6) без урахування витрат на генерацію дорівнює:

$$\text{Pr}_r = 0,05 \cdot 25 \cdot 0,5 \cdot 1046,7 = 654 \text{ євро}.$$

Звідси відповідно до (9) термін окупності залежно від ставки дисконту представлено в табл. 1 та на рис. 2.

1. Терміни окупності біоенергетичного обладнання без урахування - T_0 і з урахуванням екологічної складової - T_e (роки)

| $r(\%)$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| $T_0(\text{ген.})$ (роки) | 13 | 14,1 | 15,2 | 16,8 | 19,3 | 22,7 | 28,7 | 48,4 | - |
| $T_0(\text{сум.})$ (роки) | 6,6 | 6,9 | 7,2 | 7,5 | 7,9 | 8,3 | 8,7 | 9,3 | 9,9 |

Джерело: Власні розрахунки.

Навіть за мінімальної дисконтної ставки 1% термін окупності буде 13 років, а при ставці, що перевищує 8%, терміну окупності взагалі не існує. Наведені обчислення наявно демонструють, що без урахування екологічної складової малі біоенергетичні проек-

ти малоефективні й не можуть конкурувати, наприклад, із СЕС невеликої потужності, тоді як для останніх притаманні суттєво менші вартості встановлення потужності, менші собівартості одиниці енергії і менші терміни окупності.

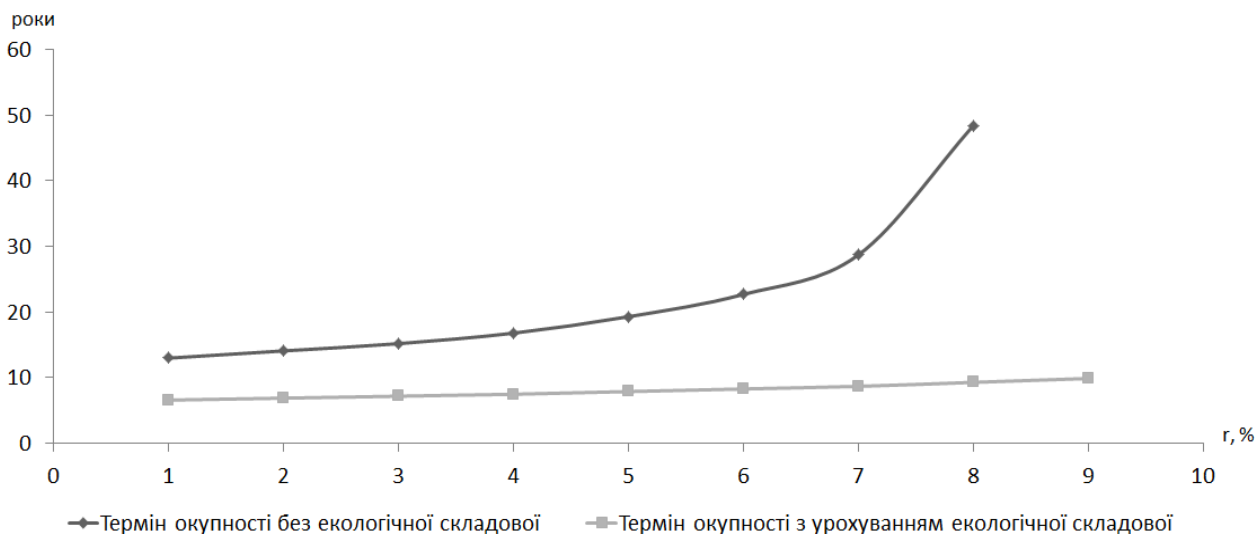


Рис. 2. Термін окупності, років, залежно від ставки дисконту

Джерело: Власні розрахунки.

Проаналізуємо як змінюються зазначені показники з урахуванням екологічної складової малої біоенергетики. Припустимо, що 8 т із 25 т - це залишки тваринництва і життєдіяльності домогосподарств. Дезактивація або вивезення 1 т коштує 50 євро. Коефіцієнт γ , який характеризує відношення власника домогосподарства до локального стану зовнішнього середовища, дорівнює 1,5. У випадку врахування екологічної складової на підставі (8) річний прибуток буде:

$$Pr_{\Sigma} = Pr_{Г} + Pr_{ек} = 654 + 1,5 \cdot 8 \cdot 50 = 1254 \text{ євро.}$$

Оцінимо відповідно до (9) термін окупності з урахуванням екологічної складової. Урахування екологічної складової суттєво зменшує термін окупності і використання біоенергетики стає суттєво привабливішим. Враховуючи все більше поширення «зеленого» туризму в сільській місцевості, фактор поліпшення локального екологічного стану монетизується ще в більшому ступені.

Розглянемо можливість практичного втілення в діяльність сільських домогосподарств малої та екологічно спрямованої біоенергетики (табл. 2).

2. Річні експлуатаційні параметри біоенергетичних установок, наявних на ринку України

| Назва, марка, виробник та його представництво у веб-мережі | Вартість встановлення потужності, євро | Енергетична сировина, т/рік | Річний вихід біогазу (м ³) та енергетичний еквівалент (кВт*год) | Спожита за рік з мережі електроенергія, кВт*год | Вихід біодобрив, т/рік |
|--|--|-----------------------------|---|---|-----------------------------------|
| Сімейна біогазова установка, БГУ-20, ТОВ «Екотенк», http://ekotenk.com.ua/products/prod4 | 5752 | 112 | [4380] (45 000) | Не вказано | 350 |
| Біогазова установка, ПП "Империя Биогаза", https://elektromontazh-odessa.uaprom.net/p818452971-komplekt-mobilnoj-biogazovoj.html | 57890 | 1100 | [69 000] (450 000) | 9 000 | 1000 тон рідких органічних добрив |

Джерело: URL : <http://ekotenk.com.ua/products/prod4>; <https://elektromontazh-odessa.uaprom.net/p818452971-komplekt-mobilnoj-biogazovoj.html>.

Тут зазначено лише два зразки представленого виробниками обладнання, що мають найбільш повні та правдоподібні характеристики. Перша установка може бути використана невеликою групою домогосподарств (4-5), тоді як друга прийнятна для кооперування на рівні невеликого населеного пункту (100-200 домогосподарств) чи територіально відокремленого фермерського господарства з промисловими масштабами виробництва продукції тваринництва. За цими двома прикладами вже можна стверджувати про вплив ефекту масштабу (друга установка ефективніша). В обох установках як додатковий дохід запропоновано виробництво біодобрив. Однак відсутність їхніх характеристик не дозволяє за методами аналогів встановити ціну, тому це можна виокремити в подальшому та додати відповідний показник до виразу (8), за яким провадиться оцінка прибутку.

За наявною інформацією [1, пункт «Біогазові установки»], на українському ринку біоенергетичного обладнання представлено досить обмежений асортимент продукції. Наприклад, виробники не надають обсягів витрат мережевої електроенергії для безперервної роботи установки. На відміну від ринку розвинутих країн, кінцевим продуктом генерації вказується біогаз, а не зручніша в такому випадку електроенергія. Швидше за все, більшість із представлених зразків ще недостатньо апробовані на практиці, тому виробники не мають практично підтверджених експлуатаційних характеристик та статистичних даних за різних умов експлуатації, що визначають економічну ефективність створеного обладнання. Тобто ситуація набагато гірша, ніж на ринку СЕС та ВГ обладнання, що, звісно, не сприяє зростанню обсягу інвестицій в біоенергетику. Разом із тим тільки відкрита із зарубіжними виробниками конкуренція на ринку

мало енергетичного обладнання може вивести Україну на заплановані показники розвитку біоенергетики.

Висновки. Нині показники ефективності поновлюваної енергетики вже досягли таких традиційної енергетики навіть без урахування екстерналій (негативний вплив через довкілля діяльності однієї галузі на іншу), що створюється традиційною енергетикою.

Як показав аналіз показників економічної ефективності малої біоенергетики, вони не в змозі конкурувати з сонячною енергетикою, якщо не враховувати фактора поліпшення стану довкілля за рахунок дезактивації відходів життєдіяльності та економічної активності домогосподарств. У цьому випадку суттєво зменшується термін окупності біоенергетичного обладнання.

Український ринок біоенергетичного обладнання пропонує надзвичайно обмежений асортимент для домогосподарств, недостатньо представлено його обґрунтовані експлуатаційні характеристики, що становить

одну з причин низької інвестиційної привабливості малої біоенергетики. Основним економічним параметром біогазових установок вітчизняного обладнання, на відміну від зарубіжного (там показники генерації електроенергії представлені як кінцевий продукт, значно зручніший для кінцевого споживача), є добовий вихід неочищеного від домішків біогазу з непевним відсотком вмісту метану, теплотворна здатність якого навіть при оптимальних якісних показниках складає в середньому 66% від аналогічного об'єму природного газу.

Враховуючи ефект масштабу, більш економічно обґрунтована кооперація домогосподарств одного населеного пункту у використанні потужнішої біогазової установки з досконалішим комплектом обладнання та рівнем автоматизації та механізації технологічних процесів. Це суттєво знижує вартість одиниці енергії та посилює вихідні характеристики біогенерації.

Список бібліографічних посилань

1. Альтернативні джерела енергії в Україні. Маркетплейс PROM.UA URL : <https://prom.ua/ua/Alternativnye-istochniki-energii> (дата звернення 23.07.2019 р.).
2. Альтернативні джерела енергії. Маркетплейс ROZETKA.COM.UA URL : <https://rozetka.com.ua/ua/alternativnie-istochniki-energii/c4629914/> (дата звернення 23.07.2019 р.).
3. Бондар В. С., Фурса А. В., Гуменчик М. Я. Стратегія та пріоритети розвитку біоенергетики в Україні. *Економіка АПК*. 2018. № 8. С. 17.
4. Гальчинська Ю. М. Оцінка потенціалу біомаси побічної продукції сільськогосподарських культур в аграрному секторі економіки. *Економіка АПК*. 2019. № 5. С. 15-24.
5. 1731-29 Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Частина 1. URL : <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/60547/11-Geletukha.pdf?sequence=1> (дата звернення 12.07.2019 р.).
6. Енергетична стратегія до 2035 URL : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/docscatalog/document?id=245213112> (дата звернення 10.07.2019 р.).
7. Закон про зелений тариф на електроенергію. URL : https://utem.org.ua/ua/cats/zakon_o_zelenom_tarife (дата звернення 5.07.2019 р.).
8. Сільське господарство України, 2017. Статистичний збірник. Державна служба статистики України. URL : http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/09/zb_sg2017_pdf.pdf.
9. Скрипник А. В., Букін Е. К. Аналіз ефективності та ризиків інновацій в аграрному секторі економіки України : монографія. Київ : ЦП Компрінт, 2017. 342 с.
10. Скрипник А., Міхно І., Басараб Р. Екологічні та економічні наслідки складування побутових відходів та їх вплив на екосистему. *Економіка АПК*. 2017. № 11. С. 45-53.
11. Скрипник А. В. Енергетичний сектор економіки України з позиції суспільного добробуту : монографія. Київ : ЦП Компрінт, 2017. 430 с.
12. Сонячні електростанції під ключ в Україні. Маркетплейс PROM.UA URL : <https://prom.ua/ua/Sonyachni-elektrostantsiyi-pid-kluch.html> (дата звернення 23.07.2019 р.).
13. Шпичак О. М., Боднар О. В. Енергетичний підхід щодо оцінки трансформацій в сільському господарстві через призму фізіократичних поглядів у контексті інноваційних процесів. *Економіка АПК*. 2015. № 10. С. 5-16.

References

1. Alternatyvni dzherela enerhii v Ukraini [Alternative energy sources in Ukraine]. (2019). Marketpleis PROM.UA. Retrieved from: <https://prom.ua/ua/Alternativnye-istochniki-energii> [In Ukrainian].
2. Alternatyvni dzherela enerhii [Alternative energy sources in Ukraine]. (2019). Marketpleis ROZETKA.COM.UA. Retrieved from: <https://rozetka.com.ua/ua/alternativnie-istochniki-energii/c4629914/> [In Ukrainian].
3. Bondar, V.S., Fursa, A.V., & Humenyk, M.Ya. (2018). Stratehiia ta priorytety rozvytku bioenerhetyky v Ukraini [Strategy and priorities of bioenergy development in Ukraine]. *Ekonomika APK*, 8, p. 17 [In Ukrainian].
4. Halchynska, Yu.M. (2019). Otsinka potentsialu biomasy pobichnoi produktsii silskohospodarskykh kultur v ahrarnomu sektori ekonomiky [Estimation of the potential of biomass by-products of agricultural crops in the agricultural sector of the economy]. *Ekonomika APK*, 5, pp. 15-24 [In Ukrainian].
5. Heletukha, H.H. & Zheliezna, T.A. (2019) Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini. chastyna 1 [Current status and prospects of bioenergy development in Ukraine. Vol. 1]. Retrieved from: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/60547/11-Geletukha.pdf?sequence=1> [In Ukrainian].
6. Enerhetychna stratehiia do 2035 [Energy strategy until 2035]. (n.d.). Retrieved from: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/docscatalog/document?id=245213112> [In Ukrainian]
7. Zakon pro zelenyi taryf na elektroenerhiiu [The law on green electricity tariff]. (n.d.). Retrieved from: https://utem.org.ua/ua/cats/zakon_o_zelenom_tarife [In Ukrainian]
8. Silske hospodarstvo Ukrainy 2017: statystychnyi zbirnyk [Agriculture of Ukraine 2017: statistical collection]. (2018). *State Statistics Service of Ukraine*. Retrieved from: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/09/zb_sg2017_pdf.pdf [In Ukrainian]
9. Skrypnyk, A.V. & Bukin, E.K. (2017). *Analiz efektyvnosti ta ryzykiv innovatsii v ahrarnomu sektori ekonomiky Ukrainy: monohrafiia [Analysis of efficiency and risks of innovations in the agrarian sector of Ukrainian economy: monograph]*. Kyiv: TsP Kompriynt [In Ukrainian]

14. Biomass for Electricity Generation by U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program (FEMP)09-15-2016 URL : <https://www.wbdg.org/resources/biomass-electricity-generation> (дата звернення 12.07.2019 р.).

15. Levelized Cost of Energy and Levelized Cost of Storage 8.11.2018 URL : <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-and-levelized-cost-of-storage-2018/> (дата звернення 11.07.2019 р.).

16. Jonga Ric Hoefnagelsa, Elisabeth Wetterlundbc, Karin Petterssonde, André Faaijf, Martin Junginger. Cost optimization of biofuel production - The impact of scale, integration, transport and supply chain configurations. *Applied Energy*. Vol. 195, 1 June 2017, Pages 1055-1070.

17. Just R. E., Hueth D. L., Schmutz A. The welfare economics of public policy. *Edward Elgar Publ. Inc.*, Massachusetts USA, 2004. Pp. 527-554.

18. Skrypnyk Andrey, Namiasenko Yuriy, Sabishchenko Oleksandr. Renewable energy as an alternative of the decentralization energy supply in Ukraine. *International Journal of Innovative Technologies in Economy*. 1(13) February 2018, pp. 120-127.

19. Small-scale Electricity Generation from Biomass URL : https://energypedia.info/images/9/93/Small-scale_Electricity_Generation_From_Biomass_Part-1.pdf.

10. Skrypnyk, A., Mikhno, I., & Basarab, R. (2017). Ekolo-hichni ta ekonomichni naslidky skladuvannia pobutovykh vidkhodiv ta yikh vplyv na ekosystemu [Environmental and economic consequences of household waste storage and their impact on the ecosystem]. *Ekonomika APK*, 11. pp. 45-53 [In Ukrainian]

11. Skrypnyk, A.V (2017). *Enerhetychnyi sektor ekonomiky Ukrainy z pozytsii suspilnoho dobrobutu: monohrafiia* [Energy sector of Ukrainian economy from the standpoint of public welfare: monograph]. Kyiv: TsP Komprint [In Ukrainian]

12. Soniachni elektrostantsii pid kluch v Ukraini [Turnkey solar power plants in Ukraine]. (2019). Marketpleis PROM.UA. Retrieved from <https://prom.ua/ua/Sonyachni-elektrostantsiyi-pid-klyuch.html> [In Ukrainian]

13. Shpychak, O.M. & Bodnar, O.V. (2015). Enerhetychnyi pidkhid shchodo otsinky transformatsii v silskomu hospodarstvi cherez pryzmu fiziokratychnykh pohliadiv u konteksti innovatsiinykh protsesiv [Energy approach to estimation of transformations in agriculture through the prism of physiocratic views in the context of innovative processes]. *Ekonomika APK*, 10, pp. 5-16 [In Ukrainian]

14. Biomass for electricity generation by U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program (FEMP). (2016). Retrieved from: <https://www.wbdg.org/resources/biomass-electricity-generation> [In English].

15. Levelized cost of energy and levelized cost of storage. (2018). Retrieved from: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-and-levelized-cost-of-storage-2018/> [In English].

16. Hoefnagelsa, J.R., Wetterlundbc, E., Petterssonde, K., Faaijf, A., & Junginger, M. (2017). Cost optimization of biofuel production - The impact of scale, integration, transport and supply chain configurations. *Applied Energy*, 195, pp. 1055-1070 [In English].

17. Just, R.E., Hueth, D.L., & Schmutz, A. (2004). *The welfare economics of public policy*. (pp. 527-554). Massachusetts: Edward Elgar Publ. Inc. [In English].

18. Skrypnyk, A., Namiasenko, Yu., & Sabishchenko, O. (2018). Renewable energy as an alternative of the decentralization energy supply in Ukraine 120. *International Journal of Innovative Technologies in Economy*, 1 (13) [In English].

19. Small-scale electricity generation from biomass. (n.d.). Retrieved from: https://energypedia.info/images/9/93/Small-scale_Electricity_Generation_From_Biomass_Part-1.pdf [In English].

Kudin T.V., Saiapin S.P. Ecological and economic optimization of small bioenergy development

The purpose of the article is to justify the use of small bioenergy at the level of individual households aimed at obtaining both additional energy supply and improvement of the local (on a household or settlement levels) environment.

Research methods. In the course of the study, the comparative analysis of efficiency of the use of individual types of renewable energy was made using the Hicks-Calderon compensation assumption. Using the net present value methodology (NPV), operational efficiency characteristics of small bioenergy plants with accounting local environmental component and without it were received.

Research results. Analysis of cost-effectiveness of small bioenergy has shown that it is notable to compete with generation of solar power plants (SES) it is not taken into account the environmental improvements due to the deactivation of household and economic activity waste. In this case, a payback period of bioenergy equipment, namely biogas plants, is significantly reduced, and attractiveness of the development of this direction of renewable energy is increased. Market research of the biogas equipment market was carried out and a number of proposals were identified, which correspond to the scale of a household, farm or settlement on a cooperative basis. There was carried out refinement of the presented technological parameters of installations in conditions of actual operation for practical implementation of small and environmentally oriented bioenergy households in rural households.

Based on characteristics of standard equipment (cost of power installation, profit), a payback period of equipment depending on a discount rate was estimated. It was shown that favourable payback periods (7-10 years) can be obtained only in a case of improving local environment. Existence of a scale effect in bioenergy suggests that household cooperation is a very promising way of bioenergy development.

Elements of scientific novelty. Scientific novelty of research lies in use of the Hicks-Calderon compensation assumption in estimating a payback period of bioenergy equipment.

Practical significance. The research is aimed at improving investment attractiveness of small bioenergy and is based on a comparative analysis of operational characteristics of plants of domestic and foreign origin. Tabl.: 2. Figs.: 2. Refs.: 19.

Keywords: bioenergy; household; payback period; ecological and economic optimization; cost of energy unit; discount rate.

Kudin Timur Valeriiovych - postgraduate student of the department of agrarian consulting and tourism, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (11, Heroiv Oborony st., Kyiv)

Email: ktimur3@rambler.ru

Saiapin Serhii Petrovych - senior lecturer of the informational systems department, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (11, Heroiv Oborony st., Kyiv)

Email: sayapin_sp@ukr.net

Кудин Т.В., Саяпин С.П. Эколого-экономическая оптимизация развития малой биоэнергетики

Цель статьи - обосновать использование малой биоэнергетики на уровне отдельного домохозяйства для получения как дополнительного энергоснабжения, так и улучшения локального (в масштабе домохозяйства или села) состояния окружающей среды.

Методика исследования. Применён сравнительный анализ эффективности использования отдельных типов возобновляемой энергии на основе компенсационного предположения Хикса-Кальдерона. Получены при помощи методологии приведенной стоимости (NPV) эксплуатационные характеристики эффективности малых биоэнергетических установок с учётом и без учёта экологической составляющей.

Результаты исследования. Анализ показателей экономической эффективности малой биоэнергетики дал основания утверждать, что она не в состоянии конкурировать с генерацией солнечными электростанциями (СЭС), если не учитывать фактора улучшения состояния окружающей среды за счёт дезактивации отходов жизнедеятельности и экономической активности домохозяйств. В этом случае существенно уменьшается срок окупаемости биоэнергетического оборудования.

Элементы научной новизны. Использование компенсационного предположения Хикса-Кальдерона при оценке срока окупаемости биоэнергетического оборудования.

Практическая значимость. Исследование направлено на улучшение инвестиционной привлекательности малой биоэнергетики и базируется на сравнительном анализе эксплуатационных характеристик установок отечественного и зарубежного происхождения. Табл.: 2. Илл.: 2. Библиогр.: 19.

Ключевые слова: биоэнергетика; домохозяйство; срок окупаемости; эколого-экономическая оптимизация; стоимость единицы энергии; ставка дисконта.

Кудин Тимур Валерьевич - аспирант кафедры аграрного консалтинга и туризма, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (г. Киев, ул. Героев Оборона, 11)

E-mail: ktimur3@rambler.ru

Саяпин Сергей Петрович - старший преподаватель кафедры информационных систем, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (г. Киев, ул. Героев Оборона, 11)

E-mail: sayarin_sp@ukr.net

Стаття надійшла до редакції 15.08.2019 р.

Фахове рецензування: 02.09.2019 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Кудін Т. В., Саяпін С. П. Еколого-економічна оптимізація розвитку малої біоенергетики. Економіка АПК. 2019. № 9. С. 118 – 128.

* * *

Новини АПК

Покращення інвестиційного клімату є одним із пріоритетних завдань Уряду, - Тимофій Милованов

13 вересня 2019 р. відбулася робоча зустріч Міністра розвитку економіки, торгівлі і сільського господарства України Тимофія Милованова з Міністром зовнішньої торгівлі та розвитку Фінляндської Республіки Вілле Скіннарі.

Під час зустрічі Тимофій Милованов наголосив, що одними з головних пріоритетів Уряду є забезпечення сталого розвитку економіки України, покращення інвестиційного клімату, проведення земельної реформи та реформи ринку праці, а також забезпечення подальшої взаємодії з МВФ.

Свою чергою Вілле Скіннарі, посилаючись на поточне головування Фінляндії у Раді ЄС, підтвердив готовність Євросоюзу до подальшої підтримки України у проведенні структурних реформ.

Окремо у ході зустрічі співрозмовники наголосили на важливості збільшення обсягів двосторонньої торгівлі із використанням усіх можливостей, що надає режим поглибленої та всеохоплюючої зони вільної торгівлі між Україною та Європейський Союз. Мінекономіки спільно з ДУ «Офіс з просування експорту України» та Міністерством закордонних справ України буде опрацьовано проведення Українсько - Фінляндського бізнес-форуму у І кварталі 2020 року.

Прес-служба Мінекономіки