

**АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ СТИМУЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ МАЛОЇ
РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НА БОЦІ ПОБУТОВОГО СПОЖИВАЧА В
РИНКОВИХ УМОВАХ**

А. М. Пустовий, аспірант

Ю. А. Веремійчук, кандидат технічних наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

E-mail: pustovoy.tech@gmail.com

Анотація. Проведено дослідження механізмів стимулювання розвитку виробництва електричної енергії з відновлюваних джерел енергії на ринкових засадах. Проведено аналіз правових, організаційних та економічних стимулів, реалізованих державою для споживача з власною генерацією. Представлено схеми взаємодії суб'єктів ринку електроенергії та досліджені доступні формати функціонування генерації на стороні побутового споживача з порівняльним аналізом. У ході дослідження визначено суб'єктів та характер впливу відповідно до кожної представленої моделі взаємодії. Проведена оцінка моделей на предмет ризиків, які можуть виникати з боку побутових активних споживачів.

Встановлено, що для подальшого розвитку надійності системи електропостачання та підвищення ефективності існуючих моделей споживачів малої потужності необхідно гармонізувати підходи до реалізації фотоелектричних станцій з європейськими нормативними вимогами. Набуло подальшого розвитку бачення способів удосконалення правового регулювання для підвищення привабливості взаємодії активних побутових споживачів з ринком електричної енергії та покращення технічних взаємних впливів енергосистеми.

Ключові слова: *активний споживач, побутовий споживач, самовиробництво, власне споживання, зелений тариф, генерація, відновлювані джерела енергії*

Актуальність. Збільшення частки використання електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел, є пріоритетним напрямком в реалізації енергетичної стратегії України, особливо в частині підвищення енергетичної безпеки та намірів стати рівноправним суб'єктом нової кліматично нейтральної політики ЄС. З 2009 року в Україні діє модель «зеленого тарифу», що направлена на становлення споживачами установок, які використовують відновлювані джерела енергії, що передбачає продаж надлишків (понад спожиті обсяги) електричної

енергії в ОЕС України. Ця модель дозволила досягти відчутної частки «чистої» електроенергії в енергобалансі країни. Однак поряд з позитивним ефектом на шляху досягнення European Green Deal з'явилися різноманітні зловживання споживачів, що призвели до збільшення обсягів покладання спеціальних обов'язків (PCO) на Укренерго та негативно впливають як на якість електричної енергії в мережі, так на ринок в цілому. Такі фактори призвели до неузгодженості цілей програми та загального ефекту, що стимулює розробку змін до моделі «зеленого» тарифу, з метою переходу до справедливих ринкових відносин. В енергетичному законодавстві діє ряд нормативно-регуляторних обмежень, які мають суттєвий вплив на ефективність моделей взаємодії активного споживача з електромережею та постачальником, такі як «зелений» тариф, самовиробництво та використання власної генерації. Незважаючи на це, стимулювання розвитку виробництва електричної енергії з відновлюваних джерел на ринкових засадах та задоволення попиту, в якій споживач з власною генерацією буде мати дієві механізми взаємодії з ринком електроенергії, є актуальним завданням сьогодення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в країнах Європи бере свої витoki з кінця ХХ століття, коли країни Європейського Союзу мали суттєвий дефіцит генерації електричної енергії. Для створення сприятливих умов будівництва нових потужностей країнами було запроваджено пільгові механізми, такі як «зелені тарифи», «зелені» сертифікати, податкові пільги та субсидії [1]. У кінці першого десятиліття ХХІ століття, на підґрунті боротьби з глобальним потеплінням та збереженням екології, Україна слідувала прикладу європейських сусідів та запровадила «зелений тариф». Наряду з цим механізмом періодично виникали інші субсидії для сприяння швидкому росту потужностей ВДЕ в структурі генерації України. Це дало суттєвий поштовх до розвитку альтернативної енергетики. Однак, в період 2018-2020 року, стрімке зниження цін на технології ВДЕ та непрогнозовано високі на той момент ставки «зеленого» тарифу створили умови, коли енергосистема не встигала нарощувати маневрені потужності для балансування генерації стохастичного характеру, потужність яких за 2019 рік відобразила приріст у 110 % [2]. У свою чергу, це

призвело до систематичного обмеження генерації ВДЕ диспетчером енергосистеми в 2020-2021 роки (рис 1).

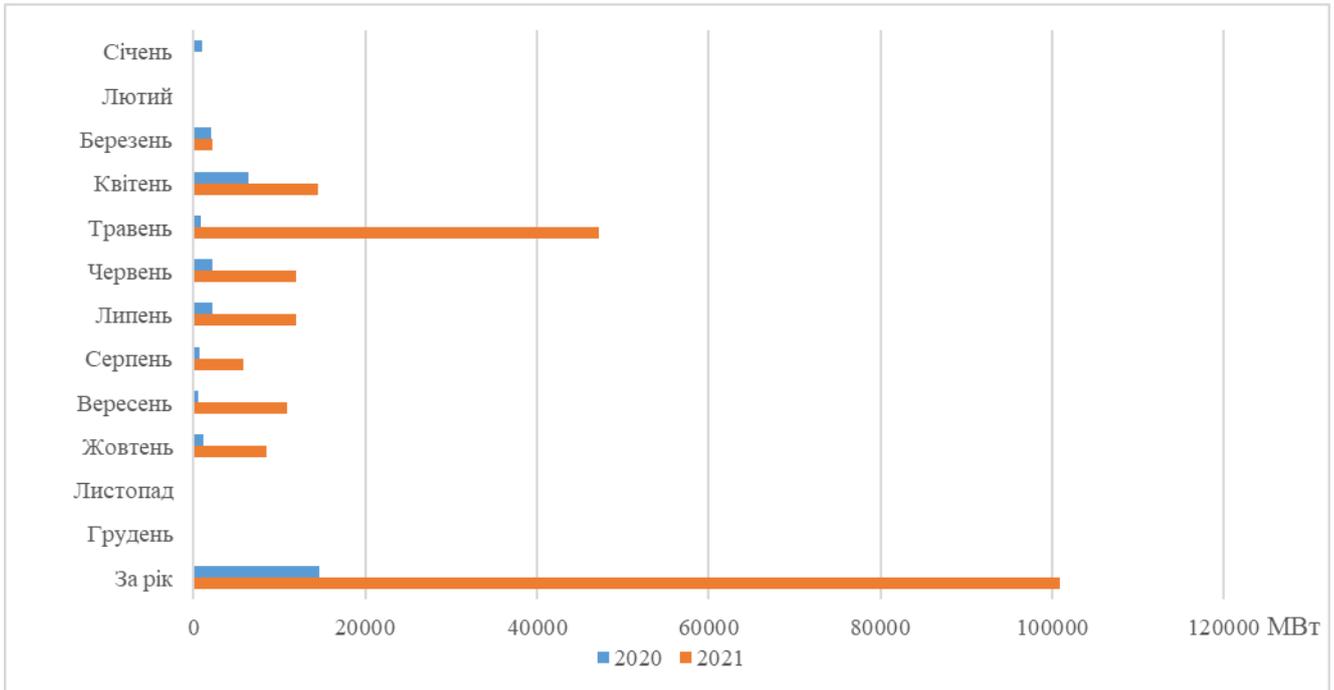


Рис. 1. Обмеження потужності ВДЕ оператором системи за 2020-2021 р.р.

Також суттєво зросли зобов'язання держави перед виробниками електричної енергії (ЕЕ) з ВДЕ, що посприяло затримкам у виплатах інвесторам та погіршення інвестиційного клімату. Після цього було переглянуто сітку ставок «зеленого тарифу» та застосовано понижуючі коефіцієнти для майбутніх підключень, а також для об'єктів, які були введені в експлуатацію до 2015 року [3,4]. Важливо відмітити, що впровадження відкритого ринку ЕЕ в 2019 році створило новий поштовх розвитку ВДЕ, але тепер вже безпосередньо на стороні споживача [5]. Враховуючи сформований стан на ринку електроенергії до початку війни і нині, коли українська енергетична система продовжує зазнавати значного руйнування виникає ряд викликів, поміж яких слід відмітити :

- безпосереднє убезпечення від загроз пошкодження та/або знищення генеруючих/розподільчих об'єктів;

- зменшення навантаження в умовах роботи розподільної мережі в аварійних режимах та розосередження генерації.

- забезпечення стійкості енергосистеми, при перенесені генерації ближче до споживачів.

Для стимулювання розвитку генерації на боці споживача [6] ще на початку століття було запроваджено стимулюючі економічні моделі, що спрацювали достатньо позитивно. Сьогоднішні виклики та реалії економічного стану не дозволяють підтримувати розвиток пільгових механізмів [7], тому проводяться розробки моделей ринкового стимулювання суб'єктів до створення нових дрібних об'єктів генерації [8]. Останнім нововведенням, що кардинально змінює відносини побутових споживачів (ПС) та малих непобутових споживачів (МНС) (обидві категорії споживачів відповідають категорії приєднання за стандартними умовами), які мають генеруючі установки на базі використання альтернативних джерел енергії механізми Net Billing. За новим затвердженим законом [9], споживачі, як і раніше, зможуть здійснювати продаж надлишкової електричної енергії, обмежуючись лише договірною потужністю приєднання до мереж ОСР, однак сальдування коштів буде відбуватись відповідно до ринкових цін на електричну енергію на РДН. Тобто нині, окрім пільгової моделі «зеленого» тарифу, додається можливість продажу надлишків за ринковими умовами та спрощується процедура приєднання генеруючих установок споживача, що не передбачають передачі електричної енергії в мережу ОСР [10].

Така модель, наразі, вводиться не як заміна «зеленому тарифу», а паралельно з ним. З огляду на те, що термін дії всіх договорів за «зеленим тарифом» спливає 31 грудня 2029 року [4], модель Net Billing, у нинішньому вигляді стане основою правовідносин просьюмерів, що вже мають діючі договори з постачальниками по завершенню їх терміну дії.

Мета дослідження - аналіз механізмів стимулювання розвитку малої розподіленої генерації на боці побутового споживача в ринкових умовах.

Матеріали та методи дослідження. Відповідно до Директиви Європейського Парламенту та Ради 2018/2021 від 11.12.2018 «Про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел» ринкові моделі (Feed-in-Premium або контракти на різницю) визначені як стандартні схеми підтримки в Європі для

об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з відновлюваних джерел. В Україні основні положення цієї директиви з урахуванням особливостей функціонування ринку електроенергії були реалізовані як перехід до "зеленої" трансформації енергетичної системи України [9]. Особливість цих нововведень відобразилася на споживачах, які володіють власною сонячною генерацією. Тому виникають різні правові, організаційні та економічні механізми взаємодії побутового споживача з суб'єктами ринку електроенергії.

Результати досліджень та їх обговорення.

ФЕС на боці ПС з використанням моделі «зеленого» тарифу.

У моделі «зеленого тарифу» для ПС, що зображено на рис. 2, взаємодіють такі суб'єкти: ПС, постачальник універсальних послуг (ПУП), регулятор (НКРЕКП) та мережі ОСР.

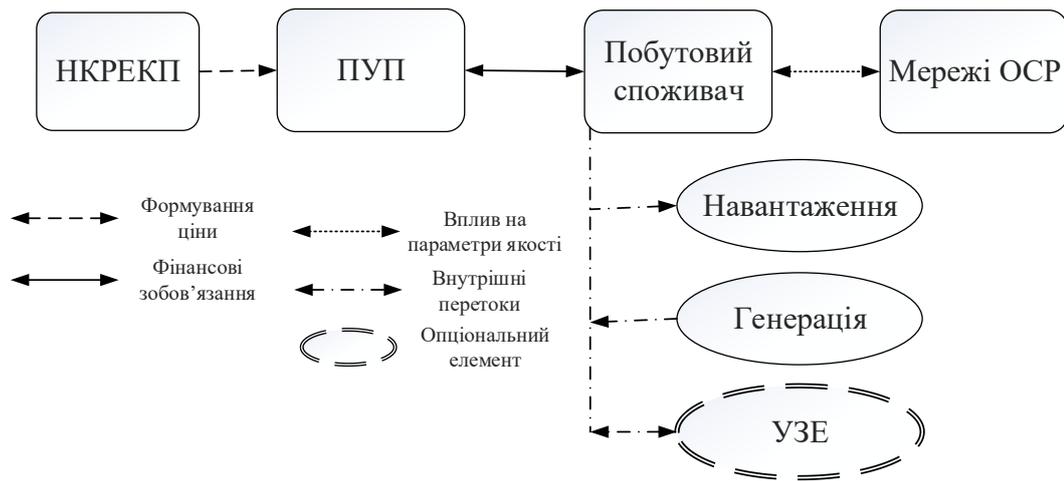


Рис. 2. Схема взаємодії суб'єктів за "зеленим тарифом" для ПС

Між суб'єктами встановлені енергетичні та економічні зв'язки. Економічні зв'язки позначені синіми стрілками, енергетичні внутрішні та зовнішні (з точки зору ПС) жовтими та зеленими відповідно.

На цій схемі зв'язок Регулятор-ПУП зумовлений тим, що Регулятор встановлює фіксований тариф на постачання електричної енергії ПС.

За умов застосування до побутового споживача «зеленого» тарифу, розрахунок виплати/плати за згенеровану/спожиту електроенергію, здійснюється на основі показників обліку, а саме:

$$W_i = W_{ген}^i - W_{спож}^i \quad (1)$$

де $W_{ген}^i$ – обсяг виробленої електроенергії генеруючими установками споживача;

$W_{спож}^i$ – обсяг електроенергії, спожитої навантаженням споживача

За фактом розрахункового періоду, сальдування обсягів згенерованої/спожитої ЕЕ:

$$\Delta W_{pn} = \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

За умови $\Delta W_{pn} < 0$, побутовий споживач отримує зобов'язання сплатити за розрахунковий період плату, обсягом:

$$B_{плати} = \Delta W_{pn} \square T_{nc} \quad (3)$$

де T_{nc} – тариф на електричну енергію для побутового споживача.

За умови $\Delta W_{pn} > 0$, ПУП отримує зобов'язання сплатити на користь побутового споживача за розрахунковий період виплату обсягом:

$$B_{виплати} = \Delta W_{pn} \square T_{zm} \quad (4)$$

де T_{zm} – ставка «зеленого» тарифу, закріплена у договорі купівлі-продажу електричної енергії, для побутового споживача.

Побутові споживачі, що використовують модель «зеленого» тарифу, фокусуються на мінімізації витрат і максимізації прибутків від продажу електроенергії. Це стимулює встановлення фотоелектричних модулів у напрямку півдня, що призводить до пікової генерації опівдні, коли рівень сонячного випромінювання є максимальним. У результаті мережа стикається з піковою генерацією від більшості локальних СЕС одночасно, що створює навантаження на інфраструктуру.

ФЕС на боці ПС за моделлю самовиробництва без УЗЕ.

За умови заключення приватним домогосподарством договору купівлі-продажу ЕЕ за механізмом самовиробництва, схема взаємодії суб'єктів зображена на рис. 3, в структуру розрахунків сальдування обсягів коштів додається ринок електричної енергії.

Розрахунок обсягів виплати/плати за вироблену/спожиту електричну енергію, відбувається за таким алгоритмом:

Визначаються режим роботи споживача відносно мережі:

$$P_i = P_{ген}^i - P_{спож}^i \quad (5)$$

$$-P_{дог} \leq P_i \leq P_{дог} \quad (6)$$

Для $\forall P_i > 0$, що відповідає роботі споживача в генеруючому режимі (відносно оператора мереж), виконується розрахунок премії за виробництво ЕЕ:

$$\Pi_i = P_i^+ \cdot C_i^{PДН} \cdot t_i \quad (8)$$

де $C_i^{PДН}$ – ціна електричної енергії, що сформувалась на сегменті ринку «доба наперед», на відповідний розрахунковий період (годину); t_i – розрахунковий період (година).

Для $\forall P_i < 0$, що відповідає режиму роботи споживача в режимі навантаження, розраховується обсяг зобов'язань ПС за спожиту ЕЕ:

$$Z_j = P_i^- \cdot T_{nc} \cdot t_i \quad (9)$$

За фактом календарного місяця, формуються результуючі фінансові зобов'язання ПС та ПУП:

$$\text{якщо } \sum_{i=1}^n \Pi_i > \sum_{j=1}^k Z_j \rightarrow V_{виплати} = \sum_{i=1}^n \Pi_i - \sum_{j=1}^k Z_j, \text{ інакше } V_{плати} = \sum_{j=1}^k Z_j - \sum_{i=1}^n \Pi_i \quad (10)$$

Споживачі, які експлуатують відновлювані джерела енергії за моделлю самовиробництва, орієнтовані на максимальне використання виробленої електроенергії для власних потреб. Це дозволяє їм знизити витрати на споживання з мережі. Для досягнення цієї мети споживачам доводиться адаптувати свої графіки споживання таким чином, щоб наблизити їх до графіків генерації, що стимулює енергетичну самостійність та ефективність.

Очікується, що кількість таких споживачів зростатиме разом із розвитком технологій та зниженням їх вартості, однак допоки споживач буде мати протипагу у

вигляді «зеленого» тарифу або інших субсидійованих моделей, про масовість самовиробництва говорити зарано.

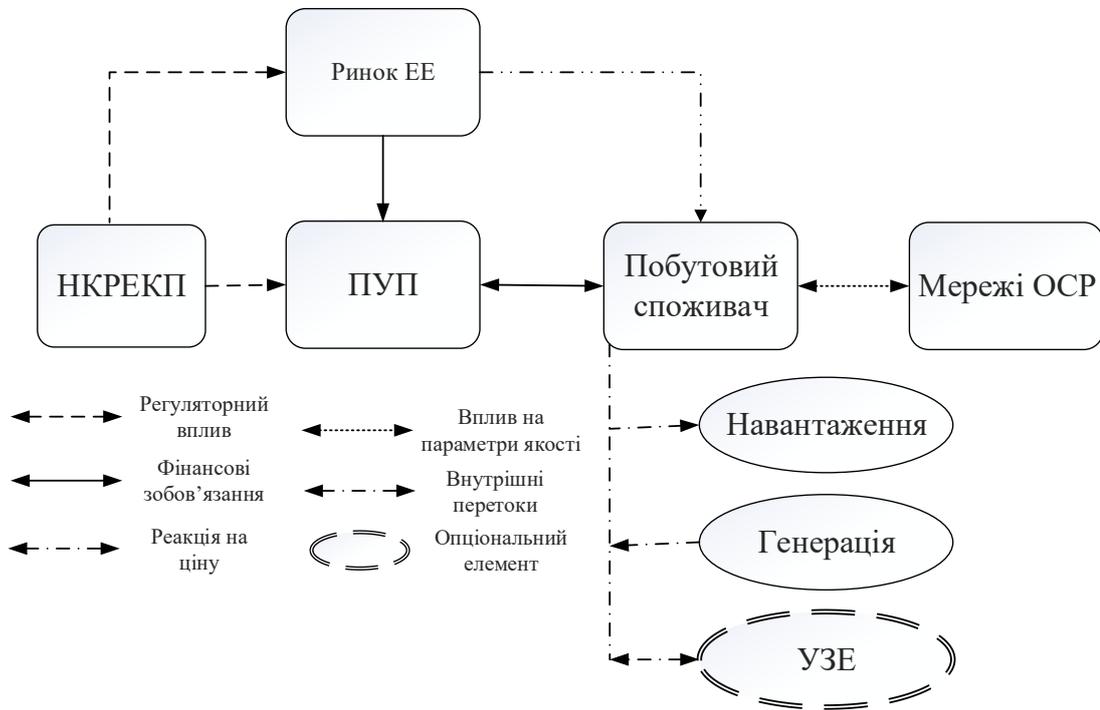


Рис. 3. Схема взаємодії суб'єктів за моделлю самовиробництва для ПС

ФЕС на боці ПС за моделлю самовиробництва з УЗЕ.

За умови, що ПС має у використанні УЗЕ, що надає можливість експортувати накопичену електричну енергію в мережу (рис.3), в алгоритм розрахунку обсягів сплати вносяться зміни.

Так, у формулі 8, якщо в певний розрахунковий період t_i , $C_i^{РДН} > T_{nc}$, то в розрахунковій формулі приймається $C_i^{РДН} = T_{nc}$. Таке обмеження діє як запобіжник, що унеможливорює для ПС маніпулювання власним режимом споживання/генерації електричної енергії таким чином, щоб споживати ЕЕ для заряджання УЗЕ за T_{nc} , а потім здійснювати експорт в години, коли ринкова ціна перевищує тариф для побутового споживача.

Слід зазначити, заборона на продаж електроенергії за ціною, вищою за визначену на РДН у кожен розрахунковий період, обмежує можливості активних

споживачів використовувати УЗЕ для маніпуляцій із тарифами або балансування навантаження в системі.

Крім того, активні побутові споживачі, незважаючи на свою потенційну гнучкість у використанні енергії, не мають прямого доступу до енергетичного ринку, більше їх вплив на ринкові показники повністю відсутній. Вони працюють у межах жорстко зарегульованих тарифів і правил, які не враховують змінні тарифи, обсяги споживання чи специфіку локальної генерації та можливостей використання УЗЕ.

Висновки і перспективи.

Встановлено, що запропоновані механізми розширюють можливість для побутових споживачів взаємодіяти з суб'єктами ринку електроенергії за різними сценаріями. Крім цього, побутові споживачі набувають економічної та технічної обізнаності щодо впровадження та експлуатації ВДЕ.

У результаті аналізу запропонованих механізмів встановлено, що для ефективного використання локальної генерації та реалізації потенціалу активних споживачів необхідно вдосконалити регуляторну базу. Такі рішення дозволять створити для споживачів гнучкі механізми інтеграції з ринком та отримувати вигоди від змінних тарифів, оптимізації графіків споживання з використання накопичувачів енергії. Лише за таких умов локальна генерація зможе стати ключовим елементом сталого розвитку енергетичного сектору.

Список використаних джерел

1. Гелетуха Г., Железна Т., Дроздова О. Аналіз механізмів стимулювання розвитку «зеленої» електроенергетики в європейському союзі. Промышленная теплотехника. 2011. Т. 34, № 5. С. 35–41. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/60373>

2. Держенергоєфективності. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф (станом на 01.01.2020). Київ, 2020. 4 с. URL: https://saee.gov.ua/sites/default/files/VDE_2019.pdf

3. Григор'єва Х. Державне стимулювання альтернативної енергетики. Юридичний вісник. 2021. № 4. С. 109–117. URL: <https://doi.org/10.32837/yuv.v0i4.2223>

4. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 № 555-IV : станом на 1 січ. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>
5. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII : станом на 15 листоп. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>
6. Базюк Т. М. Підвищення енергоефективності локальних систем енергопостачання із активними споживачами та розосередженою генерацією : автореф. дис. канд. техн. наук: 141. Київ, 2016. 23 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/18290>
7. Григор'єва Х. А. Правове стимулювання альтернативної енергетики в Польщі та в Україні (біоенергетичний розріз). Східна політика Європейського Союзу: здобутки, виклики та перспективи: матеріали VI Українсько-п. наук. форуму, м. Львів, 27–28 трав. 2021 р. Львів, 2021. С. 213–218.
8. Пустовий А. М., Веремійчук Ю. А. Особливості функціонування сонячної генерації малої потужності в ОЕС України в умовах зеленої трансформації. Енергетика та автоматика. 2024. Т. 71, № 1. С. 102–113. URL: [https://doi.org/10.31548/energiya1\(71\).2024.102](https://doi.org/10.31548/energiya1(71).2024.102)
9. Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та "зеленої" трансформації енергетичної системи України : Закон України від 30.06.2023 № 3220-IX : станом на 30 черв. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20#Text>
10. Про затвердження Кодексу систем розподілу : Постанова Нац. коміс., що здійснює держ. регулювання у сферах енергетики та комун. послуг від 14.03.2018 № 310: станом на 12 жовт. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#Text>

References

1. Geletukha, H., Zhelezna, T., Drozdova, O. (2011). Analiz mekhanizmiv stymuliuvannia rozvytku «zelenoi» elektroenerhetyky v yevropeiskomu soiuzi [Analysis of subsidy systems for renewable power in the European Union]. Promyshlennaia teplotekhnika, 34 (5), 35–41. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/60373>
2. Derzhenerhoefektyvnosti. Informatsiia shchodo potuzhnosti ta obsiahiv vyrobnytstva elektroenerhii ob'iektamy vidnovliuvanoi elektroenerhetyky, yakym vstanovleno «zelenyi» taryf (stanom na 01.01.2020) [State Agency for Energy Efficiency. Information on the capacity and volumes of electricity production by renewable energy facilities that have a "green" tariff (as of 01.01.2020). Kyiv, 2020], 4. Available at: https://saee.gov.ua/sites/default/files/VDE_2019.pdf
3. Hryhorieva, Kh. (2021). Derzhavne stymuliuvannia alternatyvnoi enerhetyky. [State stimulation of alternative energy: comparative and legal analysis]. Yurydychnyi visnyk, 4, 109–117. Available at: <https://doi.org/10.32837/yuv.v0i4.2223>
4. Pro alternatyvni dzherela enerhii : Zakon Ukrainy vid 20.02.2003 № 555-IV : stanom na 1 sich. 2025 r. [On alternative energy sources: Law of Ukraine dated 20.02.2003 No. 555-IV: as of Jan. 1, 2025]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>

5. Pro rynek elektrycznoi enerhii : Zakon Ukrainy vid 13.04.2017 № 2019-VIII : stanom na 15 lystop. 2024 r, [On the electricity market: Law of Ukraine dated 13.04.2017 No. 2019-VIII: as of November 15, 2024]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>

6. Baziuk, T. (2016). Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti lokalnykh system enerhopostachannia iz aktyvnymy spozhyvachamy ta rozoseredzhenoiu heneratsiieiu [Energy efficiency improvement for local energy power systems with prosumers and distributed generation]. Extended abstract of dissertation of Candidate of Technical Sciences: 141. Kyiv, 23. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/18290>

7. Hryhorieva, Kh. (2021). Pravove stymuliuvannia alternatyvnoi enerhetyky v Polshchi ta v Ukraini (bioenerhetychnyi rozriz). Skhidna polityka Yevropeiskoho Soiuzu: zdobutky, vyklyky ta perspektyvy [Legal stimulation of alternative energy in Poland and Ukraine (bioenergy section). Eastern policy of the European Union: achievements, challenges and prospects]: materials of the VI Ukrainian-Polish scientific forum, Lviv, 27–28 May 2021, 213–218.

8. Pustovij, A., Veremiichuk, Y. (2024). Osoblyvosti funktsionuvannia soniachnoi heneratsii maloi potuzhnosti v OES Ukrainy v umovakh zelenoi transformatsii [Features of the functioning of small power solar generation in the IPS of Ukraine under the conditions of the green transformation]. Energy and automation, 71 (1), 102–113. Available at: [https://doi.org/10.31548/energiya1\(71\).2024.102](https://doi.org/10.31548/energiya1(71).2024.102)

9. Pro vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo vidnovlennia ta "zelenoi" transformatsii enerhetychnoi systemy Ukrainy : Zakon Ukrainy vid 30.06.2023 № 3220-IX : stanom na 30 cherv. 2024 r. [On Amendments to Certain Laws of Ukraine on the Restoration and "Green" Transformation of the Energy System of Ukraine: Law of Ukraine dated 06/30/2023 No. 3220-IX: as of June 30, 2024]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20#Text>

10. Pro zatverdzhennia Kodeksu system rozpodilu : Postanova Nats. komis., shcho zdiisniue derzh. rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komun. posluh vid 14.03.2018 № 310: stanom na 12 zhovt. 2024 r. [On approval of the Distribution Systems Code: Resolution of the National Commission for State Regulation in the Energy and Utilities Sectors of March 14, 2018 No. 310: as of Oct. 12, 2024]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#Text>

ANALYSIS OF MECHANISMS FOR STIMULATING THE DEVELOPMENT OF SMALL DISTRIBUTED GENERATION ON THE SIDE OF HOUSEHOLD CONSUMER IN MARKET CONDITIONS

A. Pustovij, Y. Veremiichuk

Abstract. *The paper studies the mechanisms for stimulating the development of electricity production from renewable energy sources on a market basis. An analysis of legal, organizational and economic incentives implemented by the state for consumers with their own generation is carried out. Schemes of interaction between electricity market entities are presented and available formats for the operation of generation on the household consumer side are studied with a comparative analysis. During the study, the entities and the nature of the influence are determined in accordance with each presented*

interaction model. The models are assessed for risks that may arise from household active consumers.

It was established that for the further development of the reliability of the electricity supply system and increasing the efficiency of existing models of low-power consumers, it is necessary to harmonize approaches to the implementation of photovoltaic plants with European regulatory requirements. A vision of ways to improve legal regulation to increase the attractiveness of the interaction of active household consumers with the electricity market and improve the technical mutual influences of the power system has been further developed.

Key words: *active consumer, household consumer, self-production, self-consumption, green tariff, generation, renewable energy sources*