

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-117>

УДК 33:502/504

РОЗВИТОК ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ НА ОСНОВІ ДОМОГОСПОДАРСТВ-ПРОС'ЮМЕРІВ: ОЦІНКА РИЗИКІВ І ЗАХОДИ СПРИЯННЯ¹

DEVELOPMENT OF DECENTRALIZED ENERGY SOURCES AND DEMAND MANAGEMENT SYSTEMS BASED ON HOUSEHOLD PROSUMERS: RISK ASSESSMENT AND SUPPORT

Письменна Уляна Євгенівна

доктор економічних наук, доцент,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0123-1973>

Кривда Олена Віталіївна

кандидат економічних наук, доцент,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4398-6298>

Трипольська Галина Сергіївна

кандидат економічних наук, старший науковий співробітник,
Державна установа «Інститут економіки та прогнозування НАН України»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8830-7036>

Pysmenna Uliana, Kryvda Olena

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Trypolska Galyna

SO «Institute for Economics and Forecasting,
Ukrainian National Academy of Sciences»

Стаття присвячена питанню відновлення енергетичного потенціалу країни, втраченого внаслідок російської агресії, шляхом розроблення науково-практичного базису для створення нової децентралізованої потужності – самозабезпеченого попиту на базі малих виробників та домогосподарств-прос'юмерів. Сформовані механізми управління інституційними та економічними змінами, спрямованими на максимізацію участі домогосподарств-прос'юмерів у ринку електроенергії. Обґрунтовано види ризиків, що супроводжують розвиток цих суб'єктів ринку електричної енергії, порівняно з традиційною енергогенерацією. Оцінено фінансово-економічні та ринкові ризики, визначено фактори впливу на них, імовірність сили дії кожного фактора, корисність результату та запропоновано відповідні заходи регуляторної політики щодо їх зменшення. Доведено важливість створення стимулів для продажу надлишків електроенергії на ринку в рамках програм управління попитом, посилення інвестиційних можливостей домогосподарств, удосконалення технологій та режимів експлуатації обладнання прос'юмерів, технічної підтримки і здеешевлення обладнання.

Ключові слова: прос'юмери, домогосподарства, активний споживач, система управління попитом, енергетичний ринок.

¹ Публікація підготовлена у рамках виконання наукового проєкту «Розроблення економічних механізмів підвищення енергоефективності та сталого розвитку відновлюваної енергетики у домогосподарствах України» (№ д/р 0122U001233), який фінансується Національним фондом досліджень України.



The paper aims to consider the issues of Ukraine's energy potential restoration, which has been lost as a result of Russian aggression, by means of the development of scientific and practical basis for the creation of new decentralized power generating capacities and self-sufficient demand based on small producers and prosumer households. Established are the mechanisms for managing of institutional and economic changes aimed at maximizing the participation of prosumer households in the electricity market. The types of risks that accompany the development of these power market participants has been studied, as compared to conventional "grey" power generation. Assessed are the financial and economic and market risks and the influencing factors, the effect probability of each factor, the result utility. Proposed are the appropriate regulatory policy measures for the risks reduction. The importance of creating incentives for the sale of excess electricity on the market within the framework of demand management programs, the strengthening of investment opportunities and resources of households, the improvement of technologies and operation modes of prosumer equipment, the technical support as well as the equipment cost lowering is proven. It is shown that various price regulation measures on the energy market (price caps, setting tariffs for households below the market level) can significantly reduce the attractiveness of prosumer projects and increase financial, economic and market risks. At the same time, it is emphasized that low-efficiency operation of prosumer equipment is also a risk factor, which significantly increases the payback period of the investment. Therefore, the parallel operation of energy storage systems, the use of technically advanced models of equipment and the introduction of novations are needed to enhance the prosumers' efficiency. It is shown that the regulatory policy should promote the entrance of new participants-prosumers into the decentralized electricity supply field on the organized market segments as well as locally with the help of institutional promotion of market presence: the introduction of aggregators, specific balancing groups, the development of microgrids, the improvement of SMART grid standards.

Keywords: prosumers, households, active consumer, demand management system, power market.

Постановка проблеми. Відновлювальна енергетика, а особливо сонячна, мала найвищі темпи зростання серед інших відновлюваних джерел енергії в Україні протягом 2019–2021 рр. За даними Міжнародного агентства з відновлювальної енергетики (IRENA), На початок 2022 р. загальна встановлена потужність фотовольтаїчних генеруючих установок (без урахування 0,4 ГВт, розташованих на територіях, тимчасово окупованих росією до 24 лютого 2022 р.) сягнула 7,6 ГВт або 80% від загальної встановленої потужності ВДЕ в Україні (у т.ч. 45 тис. установок для споживачів з загальною потужністю 1,2 ГВт). У 2021 р. Україна посідала 7 місце в Європі за розвитком сонячної генерації [1].

Внаслідок російських атак на енергетичні об'єкти України пошкоджено приблизно половину енергооб'єктів країни [2]. Також через обстріли відновлювана енергетика (сонячна, вітрова, біоенергетика), на частку якої у 2021 р. припадало 7,9% виробництва електроенергії, втратила суттєву частину генерації. На сьогодні близько 13% українських фотоелектричних потужностей окуповані. Близько 8% загальної встановленої сонячної потужності знищено або пошкоджено, у т.ч. сотні установок прос'юмерів [3]. На початок 2022 р. в Україні було 17,7 млн споживачів електроенергії, з них 17,2 млн домогосподарств та 0,5 млн комерційних клієнтів. Внаслідок бойових дій попит на електроенергію знизився на 30–35% порівняно з 2021 р. Також змінилася структура споживання через зупинку промис-

лових підприємств та масове переміщення споживачів зі Сходу на Захід України [4].

Проте, незважаючи на це, протягом останнього року в Україні спостерігається певний розвиток відновлюваних джерел енергії. На початок 2024 р. встановлена потужність об'єктів ВДЕ зросла порівняно з 2022 р. на 238 МВт і склала 8773 МВт. Близько 157 МВт нових вітроелектростанцій, 56 МВт СЕС і 23 МВт потужностей на біомасі отримали пільговий тариф. Загальна встановлена потужність біогазових комплексів не змінилася і становить 135 МВт [5; 6]. Після звільнення тимчасово окупованих територій об'єкти ВДЕ поступово вводилися в експлуатацію. Наприклад, звільнена Трифонівська СЕС поступово відновила виробництво електроенергії та сприяла забезпеченню енергетичних потреб Херсонської області. Однак через пошкодження обсяг виробництва зеленої електроенергії станцією не перевищив 15% від встановленої потужності 10 МВт (близько 20% сонячних панелей). Крім того, ОСП «Херсонобленерго» також зіткнувся з технічними труднощами при прийомі більших обсягів виробленої електроенергії через значні пошкодження мережі [4].

Ведеться відновлення виробничого потенціалу енергетики шляхом першочергової реалізації проектів децентралізованої генерації зі швидкими термінами введення в експлуатацію. USAID придбало для українських міст півтори тисячі компактних електростанцій, 91 газопоршневу електростанцію із когене-

раційними установками. На теперішній час триває встановлення таких агрегатів у 32 містах України. USAID у травні 2024 р. оголосило додатковий тендер на закупівлю ще 44 електростанцій потужністю від 50 кВт до 3,7 МВт [7]. Промислові підприємства поступово реалізують проекти з самозабезпечення енергією. Так, «Кривий Ріг Цемент» має намір будувати енергогенерацію потужністю 24 МВт і систему накопичення електроенергії потужністю 40 МВт для самозабезпечення та надання послуг з балансування на енергетичному ринку [8].

Таким чином, актуальним стає розроблення науково-практичного базису для обґрунтування інструментів енергетичної політики, спрямованої на відновлення енергетичного потенціалу шляхом створення оптимізованих самодостатніх енергетичних систем із високим ступенем децентралізації за участю малих і побутових споживачів. Важливою є оцінка ризиків, що супроводжують цей процес, і розроблення дієвих заходів регуляторної політики у сфері управління попитом на енергію щодо попередження ризиків і подолання наслідків їхньої дії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз переваг гнучкості та оптимізованої роботи мережі, виконаний Гогом та ін., свідчить, що загальна системна вартість децентралізованої системи, яка повністю забезпечується прос'юмерами, майже на п'яту частину менша, ніж централізованої, оскільки її гнучкість значно збільшується завдяки оптимізації навантаження, а втрати – зменшуються на третину внаслідок децентралізації енергопостачання [9]. Вважається, що процеси переходу на відновлювальні джерела енергії в енергобалансі та становлення прос'юмерів є паралельними. Обґрунтовано, що 80-95% попиту на електроенергію за певних умов може бути забезпечено малими енергогенеруючими потужностями [10].

Прос'юмери, оснащені системами накопичення енергії, здатні брати участь у посиленні гнучкості енергосистеми та реагування на попит, «зрізати піки», тобто зміщувати вироблену електроенергію на години пікового навантаження та забезпечувати балансування локального попиту та виробництва в рамках різних форм ринкової співпраці (комунальні підприємства, агрегатори, «віртуальні електростанції») [11]. Управління попитом є керованою зміною споживання електроенергії в часі, тому оптимізація споживання є засобом управління попитом з боку споживача,

пов'язаним із досягненням більш рівномірного споживання протягом доби (зменшення пікових навантажень енергоспоживчих пристроїв) завдяки розподілу споживачем обсягів споживання у часі. Для споживачів-прос'юмерів така оптимізація досягається переміщенням споживання у години максимальної генерації, а економічно оптимальне споживання – переміщенням споживання у години мінімальних цін. Для споживачів із системами накопичення енергії – шляхом використання таких систем для мінімізації відбору електроенергії з мережі, а також зменшення загального обсягу споживання завдяки підвищеній ефективності споживання (використання енергоспоживчих пристроїв вищого класу енергоефективності, підвищення класу енергоефективності будівлі, зміна енергоспоживчої поведінки на більш ощадну тощо).

Досліджені стимули зростання кількості активних споживачів, а саме, застосування динамічних у часі ринкових цін разом з відповідними системами вимірювання, зниження плати за приєднання, механізми ціноутворення для нових балансуєчих груп, пряма торгівля [12]. Достатні цінові стимули та зменшення бар'єрів є ключовими умовами для участі в таких секторах агрегованих малих прос'юмерів [13]. Котілайнен наголошує на важливості розподіленого накопичення енергії як важливого ресурсу гнучкості мережі, адже економічно ефективно зберігання енергії підвищує актуальність розподіленої генерації та цінність системи споживачів [11].

Оцінка надійності та ризиків реагування на попит (РП) для забезпечення вивільнення потужності в мережах розподілу виконана Сиррі та Манкареллою [13]. Судта та Сінгх [14] визначено та проаналізовано моделі навантаження за допомогою кластеризації та аналізу кривої попиту прос'юмерів. Трипольською та ін. [15] встановлено, що для стимулювання децентралізованої генерації необхідне підвищення цін на електроенергію в мережі та зниження вартості обладнання для домогосподарств, які бажають інвестувати в енергогенеруюче обладнання та експлуатувати його. Встановлено економічну недоцільність експлуатації виключно автономних генеруючих потужності домогосподарств за існуючих фіксованих цін на електроенергію для цієї категорії споживачів. Механізми збільшення присутності малих виробників на організованих сегментах ринку електроенергії досліджені у роботах [16–18], де наголошено

на важливості усунення ринкових бар'єрів та значенні нових ринкових суб'єктів – агрегаторів. Проте, питання оцінки ризиків малих виробників-прос'юмерів, зокрема на базі домогосподарств, потребує подальшого наукового обґрунтування. Регуляторна політика, яка сприяє становленню прос'юмерів, за своєю суттю є політикою зменшення таких ризиків і формування стимулів для активних споживачів.

Формулювання цілей статті. Головною метою роботи є дослідження можливих інституційних та фінансово-економічних ризиків та розроблення заходів щодо подолання їхнього впливу при створенні малих оптимізованих енергетичних систем із високим ступенем децентралізації за участю малих і побутових прос'юмерів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для енергетичних компаній характерні як загальні ризики, так і специфічні, властиві тому чи іншому виду діяльності, залежно від сфери їх функціонування. Аналіз ризиків передбачає необхідність урахування специфіки роботи енергетичних компаній, а саме: ринкові умови та вплив ринкової влади крупних гравців на ціни; розбіжність інтересів бізнесу, а саме оперативної комерційної ефективності та довгострокових суспільних цілей; високий рівень заборгованості на енергоринку і зокрема на балансуєчому сегменті; висока капіталомісткість технологій енергогенерації; волатильність цін на природний газ для установок маневреної генерації.

На практиці до ризикових ситуацій з низьким рівнем небезпеки відносять соціальні ризики. Це насамперед корупційні ризики, ризики конфліктів інтересів, ризики втрати ділової репутації. Територіальні ризики, пов'язані з особливостями соціально-економічної та політичної ситуації в Україні, є зовнішніми і слабкокерованими, однак їх неможливо не враховувати під час прийняття та уточнення стратегічних рішень. Помірний рівень небезпеки мають екологічні та інвестиційні ризики. Високий рівень небезпеки мають територіальні, фінансові, ринкові та регуляторні ризики. Виробничо-технічні ризики є значними за ймовірністю виникнення та небезпеки впливу, а особливо ризики, пов'язані з технологічними порушеннями та аваріями через помилкові дії персоналу та ризики невиконання договірних зобов'язань підрядниками та партнерами. Можна виділити ризик, пов'язаний з роботою основного виробничого устаткування. Воєнний ризик є чи не найбіль-

шим і актуальним для України. Саме з огляду нього децентралізовані системи енергозабезпечення найменш схильні до цілеспрямованого руйнівного впливу воєнного ризику і мають більшу стійкість, чим більша частка їх самозабезпеченості.

Серед ризиків, характерних для становлення нових енергетичних технологій та техно-економічних трансформацій енергетичного балансу, найчастіше виникають інвестиційні ризики (ризики зриву термінів та збільшення вартості проєктів), ризики зміни цін на ринку електроенергії та потужності, ризики втрати активів, експлуатаційно-технологічні ризики, ризики ліквідності та залучення фінансування. Ризики зміни цін на енергію та енергетичну сировину є одними з найбільш некерованих видів ризику. З боку якісної оцінки, діють ринкові, фінансові, регуляторні ризики, проте вимірними є лише фінансові та ринкові.

Проведемо визначення та оцінку зведеного фінансово-економічного ризику розвитку прос'юмерів в Україні. Фактори впливу на ступінь ризику за результатами аналізу кон'юнктури енергетичних ринків визначені наступні:

- наявність чи відсутність спеціального механізму ціноутворення на енергію, вироблену прос'юмерами;
- низькі ціни на електроенергію на організованих сегментах ринку, спричинені регуляторними обмеженнями;
- встановлення тарифів на електроенергію для побутових споживачів, нижчих за ринкову вартість;
- величина нормованої вартості енергії (LCOE), виробленої прос'юмерами;
- ступінь сприяння інвестиціям у прос'юмерів;
- рівень доходів та ресурси домогосподарств-прос'юмерів;
- експлуатація та повнота використання енергогенеруючого обладнання, технічна можливість участі в системах РП та надання допоміжних системних послуг.

Показник ефективності прос'юмера, запропонований нами у [16], є сукупністю порівняльної ефективності сторони споживання та абсолютної ефективності сторони виробництва, яка виражена як сума економії витрат на спожиту енергію та прибутку, отриманого від відпуску електроенергії у мережу або продажу на організованих сегментах ринку електроенергії. Корисність результату (ефективності прос'юмера) під дією факторів з ура-

хуванням імовірності значення того чи іншого фактора оцінена як добуток імовірності значення кожного фактора та результату.

У таблиці 1 наведено результати оцінки ступеня ризику за шкалою:

– високий (В) – ефективність прос'юмера менша 0,08 євро/кВт·год (значення за помірного впливу всіх факторів), при якому реалізація проектів домогосподарств-прос'юмерів є утрудненою;

– помірний (П) – ефективність прос'юмера у діапазоні 0,08-0,10 євро/кВт·год. При цьому можливе забезпечення реалізації проектів домогосподарств-прос'юмерів із помірним інвестиційним ризиком;

– низький (Н) – ефективність прос'юмера більша 0,10 євро/кВт·год. При цьому створені сприятливі умови для суттєвого розвитку домогосподарств-прос'юмерів та створення передумов енергетичної трансформації.

Таблиця 1

Фактори, які впливають на ступінь фінансово-економічного ризику прос'юмерів

№	Фактор	Значення	Ефективність прос'юмера, євро/кВт·год	Імовірність	Корисність	Ступінь ризику
1	Спеціальний механізм ціноутворення («зелені» тарифи) та рівень спеціальних ставок тарифів, євро/кВт·год	Відсутній	0,03	0,1	0,003	В
		Помірний 0,145	0,07	0,7	0,049	П
		Високий 0,163	0,08	0,2	0,016	П
2	Величина верхніх прайскепів на ринку, євро/МВт·год	Сильні обмеження < 150	0,05	0,4	0,020	В
		Слабкі обмеження > 150	0,09	0,6	0,054	П
3	Величина фіксованого тарифу для населення, євро/кВт·год	Діючий 0,115	0,08	0,6	0,048	П
		0,16	0,11	0,3	0,033	Н
		відсутній	0,12	0,1	0,012	Н
4	LCOE енергогенеруючого обладнання з/без системи накопичення, євро/кВт·год	Висока 0,05	0,08	0,4	0,032	П
		Середня 0,04	0,09	0,5	0,045	П
		Низька 0,03	0,10	0,1	0,010	П
5	Наявність пільгових кредитів / компенсації інвестиційних витрат прос'юмерів	Покриття 30% вартості	0,10	0,5	0,050	П
		Покриття 50% вартості	0,11	0,3	0,033	Н
		Покриття 80% вартості	0,13	0,2	0,026	Н
6	Сукупні ресурси на одне домогосподарство на місяць, тис. грн	Низькі < 15	0,08	0,6	0,048	П
		Середні 15....50	0,085	0,3	0,026	П
		Високі > 50	0,09	0,1	0,009	П
7	Режим експлуатації (КВВП), %	низький < 0,2	0,05	0,3	0,015	В
		середній 0,2...0,4	0,08	0,5	0,040	П
		високий > 0,4	0,10	0,2	0,020	П

Джерело: побудовано авторами на основі даних [1; 4; 16; 17]

Як видно з таблиці, високий ризик присутній при несприятливій кон'юнктурі сегментів ринку, на яких прос'юмери за наявності агрегаторів можуть або могли би брати участь (низькі ціни на електроенергію), а саме, через регуляторні обмеження цін або недоліки методики ціноутворення. Також високий ступінь ризику формується у разі нестворення спеціальних цінових режимів як для виробників з НВДЕ, а особливо у поєднанні з ринковими ціновими обмеженнями. Регулювання цін на електроенергію для домогосподарств посилює ризик, оскільки нівелює або, принаймні, суттєво зменшує вигоду домогосподарства від самозабезпечення електроенергією. Низькоефективна експлуатація обладнання прос'юмера також є фактором ризику, що значно збільшує термін окупності інвестиції.

Висновки. Метою заходів енергетичної політики побудови механізму управління попитом на енергоносії та створення оптимізованих енергетичних систем за участі домогосподарств-прос'юмерів є керування фінансово-економічним ризиком прос'юмерів, яке полягає у збільшенні імовірності тих значень факторів впливу, яким відповідають найбільші значення ефективності прос'юмера та недостатні імовірності. Такі заходи наступні:

– фактори 1, 2 – створення високих стимулів для продажу надлишків електроенергії на ринку («зелений» тариф, високі ціни балансуємого сегменту та сегменту допоміжних системних послуг);

– фактор 3 – перехід до ринкових цін для побутових споживачів, здешевлення вартості енергогенеруючого обладнання (зняття мит, трансфер технологій, власне виробництво, компенсація частини інвестицій);

– фактори 4-6 – посилення інвестиційних можливостей домогосподарств (зростання ресурсів домогосподарства, середньодушового доходу, наявність пільгових кредитів);

– фактор 7 – удосконалення технологій прос'юмерів (паралельна експлуатація систем накопичення енергії, застосування більш технічно досконалих моделей обладнання, впровадження новацій).

Разом із цим, регуляторна політика має сприяти участі нових учасників-прос'юмерів у децентралізованому електропостачанні на організованих сегментах ринку та локально за допомогою інституційного сприяння ринковій присутності: запровадженню агрегаторів, специфічних балансуємих груп, розвитку мікромереж, підвищення стандартів мереж до SMART.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Renewable Energy Statistics 2022, IRENA, 2022. URL: <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>
2. Україна наближається до самозабезпечення природним газом. Міністр енергетики України Герман Галущенко. Укрінформ. 25.01.2024 URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3818278-ukraina-blizka-do-samozabezpecenna-gazom-galusenko.html>
3. Укренерго: Децентралізація енергетики врятує енергетичну систему від російських ракет. RFI. 04.04.2024. URL: <https://www.rfi.fr/uk>
4. Ukrainian energy sector evaluation and damage assessment – VI (as of January 24, 2023). Cooperation for Restoring the Ukrainian Energy Infrastructure project. Task Force. URL: https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/2023_01_24_UA_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_Version_VI.pdf
5. Занурені в темряву, або як відновити енергосистему України. Король Данило. 30.05.2024. URL: https://www.koroldanylo.com.ua/news/zanureni_u_temriavu_abo_jak_vidnoviti_energosisistemu_ukrayini_5637
6. SAF Ukraine. Power Generation in Ukraine in 2023. URL: <https://saf.org.ua/news/1866/>
7. Розподілена генерація — питання виживання України. Сергій Апостолака. Економічна Правда, 21.06.2024. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2024/06/21/715565/>
8. Виробнича компанія з Кривого Рогу побудує власну електростанцію за 15 млн. Особи. Червень 2024. URL: <https://www.osoby.com.ua/vyrobnycha-kompaniya-z-kryvogo-rogu-pobuduye-vlasnu-elektrostantsiyu-za-15-mln/>
9. Gough M., Ashraf P., Santos S.F., Javadi M., Lotfi M., Osario G.J., Catalao J.P.S. Optimization of Prosumer's Flexibility Taking Network Constraints into Account. In Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe); IEEE: Madrid, Spain, June 2020; pp. 1–6.
10. Sotnyk, I.; Kurbatova, T.; Kubatko, O.; Prokopenko, O.; Prause, G.; Kovalenko, Y.; Trypolska, G.; Pysmenna, U. Energy Security Assessment of Emerging Economies under Global and Local Challenges. *Energies* 2021, 14, 5860.

11. Kotilainen, K. Energy prosumers' role in the sustainable energy system. In *Affordable and Clean Energy. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*; Leal Filho, W., Azul, A. M., Brandli, L., Salvia, A. L., Wall, T., Eds.; Springer Nature Switzerland AG: Cham, Switzerland, 2021; pp. 1–14. ISBN 978-3-319-95863-7
12. Grzanic, M.; Capuder, T.; Zhang, N.; Huang, W. Prosumers as active market participants: A systematic review of evolution of opportunities models and challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2022, 154, 111859.
13. Syrri Angeliki L. A., Mancarella P. Reliability and risk assessment of post-contingency demand response in smart distribution networks, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 7, 2016, Pages 1–12, ISSN 2352-4677, <https://doi.org/10.1016/j.segan.2016.04.002>.
14. Sudta P., Singh J.G. An approach to prosumer modeling and financial assessment with load clustering algorithm in an active power distribution network, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 38, 2024, 101249, ISSN 2352-4677. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101249>
15. Трипольська Г., Письменна У., Кубатко О. Схеми державної підтримки розвитку автономних генеруючих потужностей відновлюваної енергетики у приватних домогосподарствах України. *Науковий вісник Міжнародної асоціації науковців*. 2024. 3. 10.56197/2786-5827/2024-3-2-7
16. Zhou M., Pysmenna U., Kubatko O., Voloshchuk V., Sotnyk I., Trypolska G. Support for household prosumers in the early stages of power market decentralization in Ukraine. *Energies*. 2023. No. 16, 6365. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16176365>
17. Малі учасники ВДЕ-ринку в Україні. Дослідження сегменту генерації встановленою потужністю до 1 МВт. Представництво Фонду ім. Г. Бюлля в Україні, 2020. URL: <https://ua.boell.org/sites/default/files/2020-08/МаліучасникиВДЕ-ринкувУкраїні.pdf>
18. Письменна У. Є., Трипольська Г. С., Кубатко О. В. Енергоринок України і малі виробники: можливості інтеграції. *Економіка та суспільство*. 2023. № 53. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-53-97>

REFERENCES:

1. Renewable Energy Statistics 2022, IRENA (2022). Available at: <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>
2. Ukrayina nablyzhayet'sya do samozabezpechennya pryrodnyim hazom. Ministr enerhetyky Ukrayiny Herman Halushchenko. [Ukraine is close to self-sufficiency in natural gas. Minister of Energy of Ukraine Herman Galushchenko]. *Ukrinform*. 25.01.2024 Available at: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3818278-ukraina-blizka-do-samozabezpechenna-gazom-galusenko.html>
3. Ukrenerho: Detsentralizatsiya enerhetyky vryatuye enerhetychnu systemu vid rosiys'kykh raket [Ukrenergo: Decentralization of power will save the energy system from Russian missiles]. *RFI*. 04.04.2024. Available at: <https://www.rfi.fr/uk>
4. Ukrainian energy sector evaluation and damage assessment – VI (as of January 24, 2023). Cooperation for Restoring the Ukrainian Energy Infrastructure project. Task Force. Available at: https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/2023_01_24_UA_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_Version_VI.pdf
5. Immersed in darkness, or How to restore the power system of Ukraine. Korol Danylo, 30.05.2024. Available at: https://www.koroldanylo.com.ua/news/zanureni_u_temriavu_abo_iak_vidnoviti_energosisystemu_ukrayini_5637
6. SAF Ukraine (2023). Power Generation in Ukraine in 2023. Available at: <https://saf.org.ua/news/1866/>
7. Rozpodilena heneratsiya — pytannya vyzhyvannya Ukrayiny [Distributed generation is a matter of Ukraine's survival]. *Serhiy Apostolaka. Ekonomichna Pravda*, 21.06.2024. Available at: <https://www.epravda.com.ua/columns/2024/06/21/715565/>
8. Vyrobnycha kompaniya z Kryvoho rohu pobuduye vlasnu elektrostantsiyu za 15 mln. [The production company from Kryvyi Rih will build its own power plant for 15 million]. *Osoby*. June, 2024. Available at: <https://www.osoby.com.ua/vyrobnycha-kompaniya-z-kryvogo-rogu-pobuduye-vlasnu-elektrostancziyu-za-15-mln/>
9. Gough M., Ashraf P., Santos S. F., Javadi M., Lotfi M., Osario G. J., Catalao J. P. S. (2020). Optimization of Prosumer's Flexibility Taking Network Constraints into Account. In *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*; IEEE: Madrid, Spain, June 2020; pp. 1–6.
10. Sotnyk, I.; Kurbatova, T.; Kubatko, O.; Prokopenko, O.; Prause, G.; Kovalenko, Y.; Trypolska, G.; Pysmenna, U. (2021) Energy Security Assessment of Emerging Economies under Global and Local Challenges. *Energies*, 14, 5860.
11. Kotilainen, K. (2021) Energy prosumers' role in the sustainable energy system. In *Affordable and Clean Energy. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*; Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Salvia, A. L., Wall, T., Eds.; Springer Nature Switzerland AG: Cham, Switzerland; pp. 1–14. ISBN 978-3-319-95863-7

12. Grzanic, M.; Capuder, T.; Zhang, N.; Huang, W. (2022). Prosumers as active market participants: A systematic review of evolution of opportunities models and challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 154, 111859.
13. Syrri Angeliki L. A., Mancarella P. (2016) Reliability and risk assessment of post-contingency demand response in smart distribution networks, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 7, Pages 1–12, ISSN 2352-4677, <https://doi.org/10.1016/j.segan.2016.04.002>.
14. Sudta P., Singh J.G. (2024) An approach to prosumer modeling and financial assessment with load clustering algorithm in an active power distribution network, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 38, 101249, ISSN 2352-4677. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101249>
15. Trypolska G., Pysmenna U., Kubatko O. (2024) Ckhemy derzhavnoyi pidtrymky rozvytku avtonomnykh heneruyuchykh potuzhnostey vidnovlyuvanoyi enerhetyky u pryvatnykh domohospodarstvakh Ukrayiny. [State support schemes for the development of autonomous generating capacities of renewable energy in private households of Ukraine.] *Scientific bulletin of the International association of scientists*, no. 3. DOI: <https://doi.org/10.56197/2786-5827/2024-3-2-7>.
16. Zhou M., Pysmenna U., Kubatko O., Voloshchuk V., Sotnyk I., Trypolska G. (2023) Support for household prosumers in the early stages of power market decentralization in Ukraine. *Energies*. No. 16, 6365. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16176365>.
17. Small participants in the RES market in Ukraine. Research of the generation segment with an installed capacity of up to 1 MW. Boell Foundation in Ukraine (2020). Available at: <https://ua.boell.org/sites/default/files/2020-08/МаліучасникиВДЕ-ринкувУкраїні.pdf>
18. Pysmenna U., Trypolska G., Kubatko O. (2023) Enerhorynok Ukrayiny i mali vyrobnyky: mozhyvosti intehratsiyi [Energy industry of Ukraine and small producers: opportunities for integration]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, vol. 53. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-53-97>