

УДК 621.311

Ірина Соколовська, к.т.н., <https://orcid.org/0000-0003-1959-9837>

Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150,
Україна

e-mail: is2002@ukr.net

СВІТОВИЙ ДОСВІД ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

Анотація. Показано позитивний досвід використання в енергосистемах різних технологій як споживачів-регуляторів для управління енергоспоживанням, що сприяє підвищенню надійності та стійкості енергосистем, а також зменшує потребу у будівництві нових генеруючих потужностей, зокрема дорогих пікових. Розглянуто світовий досвід правової підтримки використання споживачів-регуляторів в енергосистемах на міжнародному, національному та регіональному рівнях, а саме: директиви та регламенти 4-го Енергетичного Пакета ЄС; закони США про незалежність і національну безпеку, про поліпшення енергоефективності, про дослідження та розробки для модернізації електромережі та результати виконання розроблених на їх основі програм; закони та підзаконні акти окремих штатів США та Канади щодо сприяння енергозбереженню та зменшенню викидів парникових газів шляхом збільшення використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та інших новітніх технологій; ефективність системи заходів DSM (Demand Side Management). У зазначених документах важлива роль відведена як використанню таких технологій як ВДЕ, накопичувачів енергії, «розумних» мереж тощо, так і можливості об'єднання споживачів різних категорій та правилам їх участі у ринку електроенергії у недискримінаційний спосіб. Показано поступове збільшення підтримки використання споживачів-регуляторів в законодавчих та інших національних документах України, зокрема в новому законі про розвиток установок зберігання енергії, Національному плані дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 р., Національній транспортній стратегії України на період до 2030 р. тощо, які відповідають основним положенням європейських директив, а також зазначена необхідність враховувати широке впровадження нових технологій, таких як Smart Grid, регулювання споживання будинків, використання зарядних станцій електротранспорту тощо.

Ключові слова: енергосистема, нормативно-правове забезпечення, споживачі-регулятори.

1. Вступ

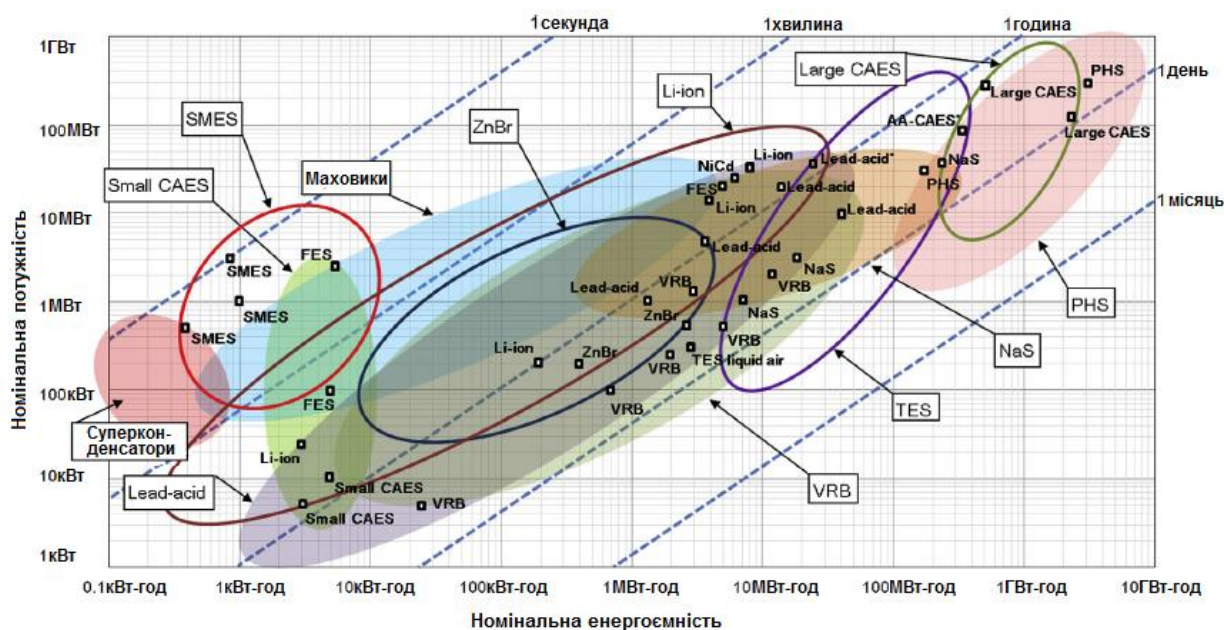
Використання споживачів-регуляторів електричних навантажень на базі електротеплового перетворення енергії як одного із засобів підвищення маневреності об'єднаної енергетичної системи України в умовах прогнозованих у той час дестабілізуючих впливів загострення графіків споживання електричної енергії та інтеграції переривчастих джерел відновлюваної енергії передбачав ще ряд положень Енергетичної стратегії України до 2030 р., схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 1071-р [1]. Концептуальні положення використання споживачів-регуляторів на рівні енергосистеми розглянуто в роботі [2]. Правову основу для безперешкодної діяльності у цій сфері складають патенти, зокрема, одними з перших були патенти України [3]–[5].

На сьогодні у світі накопичено вже чималий досвід використання споживачів-регуляторів в енергосистемах: існує понад 5300 патентів щодо використання різних споживачів-регуляторів для

забезпечення стабільної економічно ефективної роботи енергосистеми [6]. В цих патентах розглядаються як окремі установки, так і схеми включення їх до складу енергосистеми загального користування або автономної енергосистеми, а також режими їх роботи у складі цих енергосистем, зокрема участь у регулюванні добових графіків навантаження, підтримування заданої реактивної складової електричної потужності, забезпечення резервної потужності.

Використання споживачів-регуляторів значною мірою залежить від ефективності систем зберігання енергії для її використання на вимогу. Протягом останнього століття способи зберігання енергії розвивалися та адаптувалися до змін в енергетичних потребах та досягнень у галузі технологій. Системи зберігання енергії забезпечують широкий спектр технологічних підходів до управління енергопостачанням, для створення більш стійкої енергетичної інфраструктури та забезпечення економії коштів комунальним підприємствам та споживачам [7].

На рисунку 1 показано характеристики основних видів накопичувачів енергії, а в таблиці 1 наведено наявні та потенційні можливості зберігання електричної енергії [8].



Позначки:

SMES – Superconducting Magnetic Energy Storage – надпровідникові магнітні накопичувачі
 CAES – Compressed Air Energy Storage – накопичувачі енергії стисненого повітря
 Small CAES – малі накопичувачі енергії стисненого повітря
 Large CAES – великі накопичувачі енергії стисненого повітря
 AA-CAES – розширені адіабатичні накопичувачі енергії стисненого повітря
 FES – Flywheel Energy Storage – маховикові накопичувачі енергії
 Lead-acid – Lead-acid batteries – свинцево-кислотні батареї

Li-ion – Lithium-ion batteries – літій-іонні батареї
 NiCd – Nickel-cadmium batteries – нікель-кадмієві батареї
 NaS – Sodium-sulfur batteries – натрій-сірчані батареї
 ZnBr – Zinc Bromine flow battery – цинк-бромні проточні батареї
 VRB – Vanadium Redox Flow Battery – ванадієві проточні редокс-батареї
 TES – Thermal Energy Storage – зберігання теплової енергії
 PHS – Pumped Hydroelectric Storage – гідроакumuлююча електростанція
 Liquid air – зберігання енергії скрапленого повітря

Рис. 1. Порівняння номінальної потужності та номінальної енергоемності з тривалістю розряду за номінальної потужності різних видів накопичувачів енергії [8]

В Україні готується до впровадження система інтелектуальних мереж Smart Grid, яка сприяє підвищенню ефективності та надійності електропостачання, зростанню рівня безвідмовної роботи систем та зменшенню техногенного впливу на довкілля [9]. Споживач у складі Smart Grid має бути активним суб'єктом, тобто мати здатність активного управління навантаженням та інтерактивної енергоінформаційної взаємодії з ринком і мережею в режимі, наближеному до реального часу [10].

Таблиця 1. Огляд наявних та потенційних можливостей зберігання електричної енергії для різних застосувань [8]

Область застосування	Технічні характеристики області застосування			Технології зберігання електроенергії	
	Потужність	Швидкодія	Тривалість розряду	Випробувані	Перспективні
Якість енергії	~ <1 МВт;	~ мілісекунди, <1/4 циклу	від мілісекунд до секунд	Маховики, батареї, SMES, конденсатори, суперконденсатори	Проточні батареї
Спроможність підтримувати безперервність електропостачання у разі збоїв	~ 100 кВт – 10 МВт	до ~ 1 с	від секунд до хвилин і навіть години	Батареї та проточні батареї	Паливні елементи, маховики, суперконденсатори
Енергоменеджмент	велика (> 100 МВт), середня/мала (~ 1–100 МВт)	хвилини	години – дні	Великі – PHS, CAES, TES; малі – батареї, проточні батареї, TES	Маховики, паливні елементи
Інтеграція відновлюваної енергетики – згладжування переривчастої генерації	до ~ 20 МВт	зазвичай до 1 с, <1 циклу	від хвилин до годин	Маховики, батареї, суперконденсатори	Проточні батареї, SMES, паливні елементи
Інтеграція відновлюваної енергетики – резервне живлення	~ 100 кВт – 40 МВт	від секунд до хвилин	до днів	Батареї та проточні батареї	PHS, CAES, сонячне паливо, паливні елементи
Аварійне резервне живлення	до ~ 1 МВт	від мілісекунд до хвилин	до ~ 24 год.	Батареї, маховики, проточні батареї	Малі CAES, паливні елементи
Телекомунікаційне резервне живлення	до декількох кВт	мілісекунди	від хвилин до годин	Батареї	Паливні елементи, суперконденсатори, маховики
Слідування за навантаженням і підтримання напруги	рівень МВт (до сотень МВт)	до ~ 1 секунди	від хвилин до декількох годин	Батареї, проточні батареї, SMES	Паливні елементи
Зміщення в часі	~ 1–100 МВт і більше	хвилини	~ 3–12 год.	PHS, CAES, батареї	Проточні батареї, сонячне паливо, паливні елементи, TES
Обмеження максимуму навантаження	~ 100 кВт – 100 МВт і більше	хвилини	рівень годин, ~ <10 год.	PHS, CAES, батареї	Проточні батареї, сонячне паливо, паливні елементи, TES
Вирівнювання навантаження	рівень МВт (до декількох сотень МВт)	хвилини	~ 12 год. і більше	PHS, CAES, батареї	Проточні батареї, сонячне паливо, паливні елементи, TES

Область застосування	Технічні характеристики області застосування			Технології зберігання електроенергії	
	Потужність	Швидкодія	Тривалість розряду	Випробувані	Перспективні
Сезонне зберігання енергії	енергоменеджмент, 30–500 МВт	хвилини	до тижнів (досить довга тривалість зберігання)	PHS, TES, паливні елементи	Великі CAES, сонячне паливо
Підтримання генераторного режиму під час провалу напруги мережі	зазвичай нижче ніж 10 МВт	~ мілісекунди	до хвилин	Маховики, батареї	Проточні батареї, SMES, суперконденсатори
Стабілізація передавання та розподілення	до 100 МВт	~ мілісекунди, <1/4 циклу	від мілісекунд до секунд	Батареї, SMES	Проточні батареї, маховики, суперконденсатори
Пуск із повністю знеструмленого стану	до ~ 40 МВт	~ хвилини	від секунд до годин	Малі CAES, батареї, проточні батареї	Паливні елементи, TES
Регулювання та керування напругою	до декількох МВт	мілісекунди	до хвилин	Батареї, проточні батареї	SMES, маховики, суперконденсатори
Придушення флуктуацій мережі	до рівня МВт	мілісекунди	до ~ хвилин	Батареї, маховики, проточні батареї, конденсатори, SMES, суперконденсатори	-
Гарячий резерв	до рівня МВт	до декількох секунд	від 30 хв. до декількох годин	Батареї	Малі CAES, маховики, проточні батареї, SMES, паливні елементи
Застосування для транспортування	до ~ 50 кВт	мілісекунди-секунди	від секунд до годин	Батареї, паливні елементи, суперконденсатори	Маховики, зберігання скрапленого повітря, сонячне паливо
Надійність обслуговування кінцевого споживача електроенергії	~ до 1 МВт	мілісекунди, <1/4 циклу	час зберігання за номінальної потужності 0,08–5 годин	Батареї	Проточні батареї, маховики, SMES, суперконденсатори
Запуск електродвигуна	до ~ 1 МВт	мілісекунди – секунди	від секунд до хвилин	Батареї, суперконденсатори	Маховики, SMES, проточні батареї, паливні елементи
Джерело безперебійного живлення	до ~ 5 МВт	зазвичай до секунд	від ~ 10 хв до 2 год.	Маховики, батареї, суперконденсатори	SMES, малі CAES, паливні елементи, проточні батареї
Відстрочка модернізації ліній електропередач	~ 10–100 + МВт	~ хвилини	час зберігання за номінальної потужності 1–6 год.	PHS, батареї	CAES, проточні батареї, TES, паливні елементи
Холодний резерв	~ 1–100 МВт	<10 хв	час зберігання за номінальної потужності ~ 1–5 год.	Батареї	CAES, проточні батареї, PHS, паливні елементи

Участь активних споживачів в управлінні попитом дозволить знизити потребу у великих резервах потужності й будівництві нових генеруючих об'єктів, в т.ч. дорогих пікових. З іншого боку, інтерактивний зв'язок між споживачем і генераторами дозволить останнім оптимізувати режими роботи електростанцій, продовжуючи їх «життя» і знижуючи ресурсомісткість виробництва енергії, що сприятиме підвищенню надійності та стійкості Smart Grid.

В цілому, завдяки активним споживачам якісно збільшується загальна виживаність і комплексна техніко-економічна та енергетична ефективність енергосистеми. Тому забезпечення активності споживачів відноситься до числа ключових завдань у розвитку Smart Grid в усьому світі, зокрема саме це було одним з основних завдань проєкту ЄС «EcoGrid EU project: A Smart Grid prototype for the Future» [11], який став переможцем EU Sustainable Energy Award 2016 (EUSEW16) в категорії «Споживачі», зокрема за розроблення рекомендацій щодо використання ринкових механізмів та смарт-контролю за споживанням електроенергії для залучення приватних споживачів на добровільній основі до збалансування енергосистеми з високою часткою джерел енергії, що коливаються [12].

Враховуючи усе вищенаведене, можна вважати актуальним завданням широке використання споживачів-регуляторів різних типів. Питання ефективності управління неодноразово розглядалось у літературі, наприклад, у роботі [13] розглянуто позитивний досвід використання різних технологій, зокрема системи DSM (Demand Side Management), у різних країнах (США, Німеччині, Фінляндії тощо) в різних масштабах; в роботі [14] показано, що елементи системи DSM може бути ефективно впроваджено і в умовах України, але наразі недостатньо інформації щодо відповідного нормативно-правового забезпечення.

Метою цієї статті є огляд наявного стану правової бази використання споживачів-регуляторів у енергосистемах різних країн світу на міжнародному, національному та регіональному рівнях для визначення доцільності впровадження подібних законодавчих актів в Україні.

2. Європейські законодавчі документи стосовно споживачів-регуляторів

На міжнародному рівні у 2019 р. в ЄС прийнято 4^й Енергопакет «Чиста енергія для всіх європейців» («Clean energy for all Europeans package»), спрямований на поступовий перехід до чистої енергії та вуглецево-нейтральної економіки, який замінив 3^й Енергопакет 2009 р. внаслідок значних змін в енерготехнологіях, що призвели до різкого зростання потужностей відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), масового застосування накопичувачів енергії, впровадження приладів з віддаленим керуванням їхнього енергоспоживання тощо. 4^й Енергопакет призначений для організації внутрішніх ринків енергії країн-членів ЄС та загальноєвропейського ринку енергії, зокрема й із залученням нових, малих учасників ринку. В рамках 4^{го} Енергопакета вжито терміни, які стосуються участі споживачів у регулюванні режимів в енергосистемі, наприклад: гнучкість попиту, керовані навантаження, керування (управління) попитом, засоби накопичення (energy storage), проз'юмер (учасник ринку, який є одночасно споживачем та виробником електроенергії), агрегатор, самоспоживач ВДЕ тощо [15]–[16].

4^й Енергопакет складається з восьми основних документів (Директив та Регламентів ЄС), обов'язкових в країнах-членах ЄС, серед яких шість безпосередньо стосуються, серед іншого, споживачів-регуляторів, а саме:

1. Директива ЄС 2018/2001 щодо сприяння використанню енергії з ВДЕ [17], в якій зазначено, що малі установки можуть принести велику користь для підвищення суспільного визнання та забезпечення розгортання проєктів з ВДЕ, зокрема на місцевому рівні, тому для них потрібно створювати відповідні умови, зокрема тарифи на постачання електроенергії, винятки з тендерних процедур тощо, для чого у законодавствах країн-членів має бути визначення малих виробників, а у правилах державної допомоги – визначення малих установок, що є важливим для забезпечення правової визначеності для інвесторів. Окремо зазначена необхідність створення умов для переходу до децентралізованого виробництва енергії, зокрема розвитку децентралізованих технологій

відновлюваної енергетики та зберігання енергії на недискримінаційних умовах і без перешкод для фінансування інвестицій в інфраструктуру.

Важлива роль відводиться ВДЕ-спільнотам (renewable energy communities – юридичним особам – спільнотам громадян, які об'єдналися для виробництва енергії з ВДЕ, її споживання, накопичення, надання енергетичних послуг тощо) і які можуть конкурувати на рівних з іншими виробниками та спрямовані на збільшення участі місцевих жителів у проєктах з відновлюваної енергетики. Передбачена інформаційна, технічна та фінансова підтримка ВДЕ-спільнот, зокрема пряма підтримка, якщо вони відповідають вимогам до малих установок.

2. Директива ЄС 2019/944 щодо спільних правил внутрішнього ринку електроенергії [18] передбачає створення нових можливостей для участі споживачів у ринку, зокрема керування своїм споживанням для забезпечення гнучкості енергосистеми та отримання вигоди від нижчих цін на електроенергію або інших заохочувальних платежів, відповідно вводиться поняття «активні споживачі» (active customers), які можуть діяти безпосередньо або через об'єднання. Для цього необхідно надавати інформацію споживачам про їх електроспоживання в режимі реального часу, що має забезпечити розгортання Smart Grid. Окремо зазначено, що керування споживанням має ключове значення для ефективної інтеграції електромобілів в електромережі, що матиме вирішальне значення для декарбонізації транспорту.

В цій директиві підкреслено, що всі групи споживачів повинні мати доступ до ринків електроенергії для торгівлі своєю гнучкістю попиту, наприклад, через накопичення енергії, та самостійно виробленою електроенергією. Впровадження нових технологій сприятимуть цій діяльності. Важлива роль у цьому відводиться агрегаторам (фізичним або юридичним особам, що об'єднують навантаження кількох споживачів або вироблену ними електроенергію для продажу, купівлі або аукціону на будь-якому ринку електроенергії) як посередникам між групами клієнтів і ринком, які в недискримінаційний спосіб можуть брати участь разом із виробниками на всіх ринках електроенергії, включаючи допоміжні послуги та ринки потужності.

Метою діяльності громадянських енергетичних спільнот (Citizen Energy Communities), які є новим типом суб'єктів господарювання через структуру членства, має бути забезпечення доступною енергією певного виду та енергопослугами своїх членів або акціонерів, а не отримання прибутку, як у традиційних енергопідприємствах. Підкреслюється, що громадяни повинні мати можливість добровільно брати участь у такій діяльності чи покидати такі спільноти. В державах-членах ЄС на законодавчому рівні має бути передбачено, що громадянські енергетичні спільноти можуть бути організацією, наприклад, асоціацією, кооперативом, партнерством, неприбутковою організацією або малим чи середнім підприємством; їх права та обов'язки такі самі, як й інших електроенергетичних компаній на ринку відповідно до ролей, які вони виконують, наприклад, кінцевих споживачів, виробників, постачальників або операторів розподільчих систем. В той же час вони повинні бути фінансово відповідальними за балансування в енергосистемі.

На сьогодні існують правові та комерційні бар'єри, які заважають споживачам брати участь у ринку електроенергії, наприклад, непропорційні збори за внутрішню спожиту електроенергію, зобов'язання подавати електроенергію, вироблену власними силами, до енергосистеми тощо. Щоб подолати ці бар'єри, держави-члени ЄС у своєму національному законодавстві повинні забезпечити положення щодо податків і зборів для різних груп споживачів. Також має бути забезпечено існування спеціальних процедур для децентралізованої та/або розподіленої генерації з урахуванням їх обмеженого розміру та потенційного впливу.

3. Директива ЄС 2018/2002 про енергоефективність оновлена [19], яка доповнює чинну Директиву 2012/27/EU, зокрема визначає мету підвищення енергоефективності в Європейському Союзі в порівнянні з нинішніми рівнями щонайменше на 32,5% до 2030 року.

Директива 2012/27/EU про енергоефективність [20] встановлює спільні рамки для інструментів сприяння енергоефективності для досягнення визначеної мети. Одним з таких інструментів визначено регулювання попиту на основі інформації про споживання та розрахунки. В цій директиві

зазначено, що держави-члени мають забезпечити всі умови для заохочення споживачів брати участь у регулюванні попиту, роботі оптових і роздрібних ринків. Для цього доступ на ринок енергетичних послуг, у т.ч. з балансування та допоміжних послуг, для всіх учасників має бути заснований на основі прозорих і недискримінаційних критеріїв, а також необхідні стимули для надання системних послуг, зокрема за допомогою мережевих тарифів. Критеріями енергоефективності для управління електромережами вважають доступність системних послуг для заходів з регулювання попиту, керування попитом, розподіленої генерації на організованих ринках електроенергії, зокрема зміщення навантаження кінцевих споживачів з пікових на позапікові години, регулювання попиту розосереджених споживачів. Мережеві тарифи повинні сприяти розвитку Smart Grid, включно зі встановленням лічильників, які можуть вести облік електроенергії, поданої в енергосистему кінцевим споживачем. Ці тарифи мають мотивувати споживачів для участі у регулюванні попиту за допомогою динамічного ціноутворення, наприклад, за періодами пікового навантаження.

4. Регламент ЄС 2018/1999 про управління Енергетичним Союзом та боротьбу зі зміною клімату [21] серед національних цілей та завдань держав-членів ЄС, зокрема щодо інтеграції ринку, містить вимоги, щоб споживачі брали участь в енергетичній системі там, де це можливо, та отримували вигоду від самостійної генерації та впровадження нових технологій, зокрема використання ВДЕ, розумних лічильників тощо. Для цього необхідно планувати інформування споживачів та заходи з навчання згідно з Директивою 2012/27/EU. В інтегровані звітності про внутрішній енергетичний ринок, енергетичну безпеку, відновлювану енергетику потрібно вносити інформацію про реалізацію визначених цілей та відповідних заходів, у т.ч. з підвищення гнучкості національної енергосистеми, зокрема завдяки використанню місцевих джерел енергії, реагуванню на попит та зберіганню енергії.

5. Регламент ЄС 2019/942 про створення Агентства Європейського Союзу з питань співробітництва між енергетичними регуляторами (ACER) [22] містить вимоги щодо моніторингу оптових та роздрібних ринків електроенергії, дотримання прав споживачів відповідно до Директиви ЄС 2019/944, недискримінаційного доступу до мереж, включаючи доступ до виробленої електроенергії з ВДЕ, регуляторних бар'єрів для нових учасників ринку та менших суб'єктів, включаючи громадянські енергетичні спільноти. Зазначено, що ACER відкритий для участі третіх країн, які уклали угоди з ЄС і прийняли та застосовують відповідні норми законодавства ЄС у сфері енергетики, зокрема стосовно доступу сторін до інфраструктури, торгівлі енергією та експлуатації системи, участі й захисту споживачів тощо.

6. Регламент ЄС 2019/943 про внутрішній ринок електроенергії [23] визначає, що мета декарбонізації енергосистеми створює нові можливості та виклики для учасників ринку, а розвиток технологій сприяє новим формам участі споживачів, зокрема можливості повною мірою брати участь у ринку на рівних з іншими учасниками ринку, а також надати їм можливість керувати своїм енергоспоживанням. Завданням є забезпечення недискримінаційних умов для гнучкої генерації, реагування на попит та зберігання енергії, підвищення енергоефективності, отримання ринкової винагороди за електроенергію, вироблену з ВДЕ. Для цього ринкові правила мають забезпечити належні інвестиційні стимули; ціни на електроенергію повинні визначатися через попит і пропозицію; тарифи на підключення та користування електромережею не повинні дискримінувати зберігання енергії та створювати перешкоди для участі в регулюванні попиту та підвищенні енергоефективності, а також для власного виробництва та власного споживання. Для торгівлі на ринках на добу наперед і внутрішньодобових ринках оператори ринку повинні надавати пропозиції мінімальним розміром 500 кВт або менше. Системні оператори мають надавати пріоритет установкам для виробництва електроенергії з ВДЕ електричною потужністю менше 400 кВт за умови безпечної роботи національної електроенергетичної системи. Держави-члени, які мають проблеми з достатністю ресурсів, повинні, зокрема, прийняти відповідні заходи для усунення будь-яких виявлених нормативних недоліків з метою досягнення поставлених завдань.

Крім 4^{го} Енергопакета існують й інші законодавчі акти у зазначеній сфері, так, Резолюція Європейського Парламенту від 10.07.2020 р. (2019/2189(INI)) [24] визначає комплексний європейський підхід до зберігання різних видів енергії, у тому числі електричної та теплової, з огляду на декарбонізацію енергетичного сектору, який передбачає, що держави-члени мають повністю вивчити свій потенціал зберігання енергії, Європейська Комісія має розробити всеохоплюючу стратегію зберігання енергії для переходу до високоенергоєфективної економіки, що базується на ВДЕ, враховуючи всі доступні технології, та забезпечити рівні умови для всіх учасників. Окремо підкреслюється роль активних споживачів у децентралізованому зберіганні енергії згідно з Директивами ЄС 2019/944 та 2018/2001. Також визначені регуляторні бар'єри, тому Комісія та держави-члени мають забезпечити узгодженість та уникати дублювання в законодавстві на європейському, національному чи регіональному рівнях. Регламент ЄС 2021/1153 [25] визначає, що фокус політики щодо транс'європейської енергетичної інфраструктури має бути, зокрема, на розвиток Smart grids, накопичення електроенергії тощо, а також зазначено, що транскордонні проєкти зі зберігання відновлюваної енергії мають право на отримання фінансової підтримки ЄС.

Стратегія ЄС щодо інтеграції енергетичної системи [26], тобто скоординованого планування та експлуатації енергосистеми «в цілому» з кількома енергоносіями, інфраструктурами та секторами споживання, передбачає активну роль споживачів у постачанні енергії: «вертикально» – децентралізовані виробники та споживачі активно сприяють загальному балансу та гнучкості системи; «горизонтально» – обмін енергією відбувається між секторами-споживачами, наприклад, споживачі постачають електроенергію, яку вони виробляють індивідуально або як частина енергетичних спільнот.

3. Законодавчі документи стосовно споживачів-регуляторів на національному рівні

Проблема підвищення ефективності та надійності електроенергетики вирішується на національному рівні в усьому світі. Так, у США у 2007 р. прийнято Закон про незалежність і національну безпеку (Energy Independence and Security Act (EISA) of 2007), який (з урахуванням поправок 2022 р.): сприяє розвитку технологій використання ВДЕ для генерації енергії; сприяє розвитку технологій інтеграції електричного транспорту та засобів зарядки в електромережу для підтримки її надійності, зокрема для реагування на попит, формування навантаження протягом доби, аварійного живлення та регулювання частоти, повторного використання відпрацьованих акумуляторів електромобілів як стаціонарних накопичувачів у мережі; передбачає дослідження та розроблення 10-річної дорожньої карти щодо інтеграції складових комерційних і житлових будівель в електромережу як динамічного енергетичного навантаження і ресурсу для оптимізації споживання енергії; передбачає створення Консультативної ради зі зберігання енергії з метою розроблення 5-річного плану фундаментальних і прикладних досліджень, щоб США мали конкурентоспроможну на глобальному рівні вітчизняну галузь зберігання енергії для електромобілів, стаціонарного застосування, а також передачі та розподілу електроенергії, для чого створюються чотири дослідницькі центри з накопичення енергії для перетворення фундаментальних досліджень у прикладні технології; підтримує дослідження та інвестиції у Smart Grid для повноцінного використання як традиційних централізованих ресурсів генерації та передачі енергії, так і розподілених ресурсів споживачів, зокрема ВДЕ, накопичувачів енергії, інфраструктури зарядки електромобілів, технологій «автомобіль-мережа» тощо. Згідно з цим законом на федеральному рівні створюється Консультативний комітет зі Smart Grid, який, крім іншого, повинен сприяти розробленню відповідних протоколів, стандартів та технологій і впроваджувати їх на практиці, у т.ч. для регулювання роботою енергопідприємств, включаючи допомогу з боку споживачів для зниження пікового навантаження та підтримування стабільної роботи мережі. Передбачаються й заходи з розроблення та впровадження економічно ефективних інтегрованих енергетичних систем та відповідних технологій [27]–[28].

У 2015 р. як доповнення EISA був прийнятий Закон про поліпшення енергоефективності (Energy Efficiency Improvement Act of 2015), в якому, зокрема, визначено правила використання «мережевого водонагрівача» – електричного водонагрівача, обладнаного механізмом автоматичного регулювання і призначеного лише для використання як частини електричного теплового накопичувача або програми регулювання попитом [29].

У 2019 р. прийнято новий Закон про дослідження та розробки для модернізації електромережі (Grid Modernization Research and Development Act of 2019), який доповнює EISA та Закон про енергетичну політику 2005 року [30]. Цей закон посилює роль споживачів-регуляторів на фоні впровадження новітніх технологій під час модернізації електромережі, зокрема це стосується подальшого розвитку Smart Grid, технологій зберігання енергії, інтегрування станцій зарядки електромобілів в енергосистему для балансування навантаженням на локальному рівні та підтримки частоти тощо. Вводиться термін «гібридна енергосистема» як така, що складається з двох або більше спільно розташованих або спільно керованих підсистем вироблення енергії, накопичення енергії або інших енергетичних технологій.

На основі закону EISA було виконано ряд грантових програм, орієнтованих на сприяння використанню «розумних» технологій в електромережі, включаючи інвестиції на датчики, пристрої управління та програмне забезпечення, що дозволяють широкому спектру приладів, обладнання, транспортних засобів, генераторів та обладнання для передачі та розповсюдження брати участь у функціонуванні Smart Grid (загальна кількість «розумних» лічильників має бути 65 млн), а також створення центру обміну інформацією Smart Grid; ряд проєктів з енергозбереження у сільській, міській, приміській місцевостях, орієнтованих на підвищення надійності мережі, вдосконалення регулювання частоти й управління піковою енергією та зменшення потреби в нових електростанціях. За даними 2015 р. в результаті робіт, виконаних на базі EISA, спостерігалось середнє зниження енергоспоживання на 2,2% та зменшення пікового навантаження на 1,8% на розподільну мережу. Якщо подібні проєкти застосовуватимуться по всій електромережі США, це призведе до зниження попиту на енергію приблизно на 6500 МВт на рік [31].

Розроблена в США стратегічна «Дорожня карта до 2030 р.» (Grid 2030 Roadmap) передбачає, зокрема, залучення споживачів до участі будівельних/промислових навантажень у додаткових послугах [32].

4. Законодавчі документи стосовно споживачів-регуляторів на регіональному рівні

У ряді країн відповідні законодавчі рішення приймаються на регіональному рівні. В США у 30 штатах прийнято місцеві закони та підзаконні акти щодо сприяння енергозбереженню та зменшенню викидів парникових газів шляхом збільшення використання ВДЕ та інших новітніх технологій, зокрема в штаті Каліфорнія це також стосується зберігання енергії, у штаті Мічіган – покриття максимуму навантаження [33], у штаті Коннектикут – отримання економії електроенергії внаслідок виконання програми регулювання навантаженням та вимоги щодо встановлення до кінця 2030 року 1000 МВт накопичувачів енергії, під'єднаних до розподільчих мереж [33]–[34], у штаті Невада – програми регулювання навантаженням та обмеження навантаження у певний час, для чого зміщується споживання енергії роздрібним споживачем з одного періоду на інший [35], у штаті Массачусетс – програми активного реагування на попит, зокрема зниження енергоспоживання у пікові години, залучення споживачів-виробників електроенергії до роботи енергосистеми, використання ВДЕ, впровадження накопичувачів енергії, сприяння впровадженню електромобілів і зарядного обладнання тощо [36]; у штаті Огайо – зниження енергоспоживання у пікові години, впровадження Smart Grid, використання ВДЕ, впровадження технологій накопичення енергії [37], у штаті Пенсильванія – зниження енергоспоживання у пікові години, впровадження технологій «розумних» лічильників [38] тощо. Відповідно до прийнятих законів розробляються програми щодо енергоефективності та енергозбереження, в яких чітко визначаються завдання для конкретних енерговиробників, електророзподільчих компаній тощо та графік виконання, причому оцінюється

співвідношення витрат на виконання цих програм та очікуваної їх ефективності, наприклад, у штаті Пенсильванія завдяки виконанню зазначених заходів за період 2013–2021 рр. отримано загальну економію 27 673 МВт·год/рік електроенергії та зменшення попиту в години пік на 5,5647 МВт/рік [33], [39].

У штаті Техас Рада з надійності електроенергетики штату (Electric Reliability Council of Texas – ERCOT) активно впроваджує використання споживачів-регуляторів в енергосистемі. ERCOT є першим незалежним системним оператором (НСО) у США, що обслуговує понад 26 млн споживачів, на які припадає 90% електроспоживання штату. Членами ERCOT є споживачі, комунальні підприємства, виробники електроенергії, продавці енергії, роздрібні електропостачальники, електроенергетичні компанії, що належать інвесторам (провайдери передачі та розподілу), електроенергетичні компанії муніципальної власності [40]. У 2002 р. було прийнято концепцію Ресурсів споживачів-регуляторів PRR 307, орієнтовану на ринок ERCOT, але на практиці її впровадження почалось з 2006 р [41].

У ринковій моделі ERCOT споживачі-регулятори є ресурсом, здатним контролювати зменшувати або збільшувати споживання в рамках диспетчерського управління та оперативно реагувати на зміни частоти (подібно дії регулятора генератора) для забезпечення допоміжних послуг. Споживачі-регулятори можуть надавати такі послуги як підвищення чи зниження регульовальної потужності, підтримка швидкодіючого та не обертового резерву. Ресурсом сукупного навантаження вважається сукупність окремих вимірювальних ділянок, кожна з яких має менше 10 МВт можливостей реагування на попит, і всі вони розташовані в одній зоні навантаження. У січні 2023 р. оновлено настанови щодо процесів кваліфікування та тестування споживачів, які мають намір стати регуляторами (або змінити свій статус), для кожного типу послуг окремо [42]. У грудні 2022 р. ERCOT прийняв Програму добровільного скорочення енергоспоживання для великих «гнучких» клієнтів, таких як підприємства з вироблення біткоїнів, в години «пік» для підтримки надійності та стійкості електромережі Техасу [43].

Як показав досвід ERCOT, ціновий вплив на активну участь споживачів на оптових ринках електроенергії дає суттєву економію: невелика кількість споживачів, які стратегічно зменшили попит на електроенергію у відповідь на цінові сигнали лише за п'ять загальних днів у 2012 та 2013 роках, змогли зменшити витрати на електроенергію для всіх споживачів у штаті на понад 200 млн USD, а потенційна економія споживачів ERCOT становить до понад 300 млн USD всього за шість днів [44].

Досвід США в галузі управління електроспоживанням показав, що система заходів DSM (Demand Side Management) виявилася ефективною для вирішення ряду проблем, що виникли через дефіцит і подорожчання енергетичних ресурсів у 70-х роках 20-го століття, а також необхідності в нових генеруючих потужностях. DSM докладно описано в багатьох публікаціях, зокрема в [14]. Впровадження DSM у США здійснювалось на основі Закону про регулювання політики у сфері комунальних послуг [45]. З того часу DSM впроваджувалась та активно вдосконалювалась в різних країнах світу, і на сьогодні DSM вважається ключовим елементом електромережі майбутнього, а її складовими, крім традиційних, є також ВДЕ, «розумні» електроприлади, інтелектуальні датчики та вимірювальні пристрої, системи накопичення енергії тощо. Визначено та усунуто також всілякі бар'єри для програм DSM, які дають змогу учасникам отримувати економічну вигоду. З'явилися моделі трансактивного контролю як спосіб організації кількох споживачів без шкоди для їхньої автономії, а DSM застосовують для макромереж (66–765 кВ), мінімереж (120 В–33 кВ), мікро- та наномереж (12 В п.с. – 220 В з.с.), а також Smart Grid [46]–[52]. У [14] також показано можливість впровадження DSM в Україні.

У провінції Онтаріо, Канада, де порівняно з 2019 р. прогнозується значне зростання потреб в електроенергії на 9,8 ТВт·год до 2028 р. та 16,8 ТВт·год до 2033 р., а збільшення пікового навантаження на 1,4 ГВт у 2028 р. та на 2,0 ГВт у 2033 р., забезпечення їх значної частини має вирішуватись завдяки покращенню енергоефективності, для чого приймаються програми енергозбереження та управління енергоспоживанням (Electricity Conservation and Demand

Management, CDM) [53]. Рамкова програма CDM на 2021–2024 рр. (загальний бюджет 1,034 мільярда USD) впроваджується згідно з Директивою міністра енергетики відповідно до Закону про електроенергетику 1998 року [54]. Прикладом участі побутових споживачів у роботі енергосистеми є аукціони потужності, в яких беруть участь також промислові і комерційні споживачі, що забезпечують реагування на попит, імпорт за межами Онтаріо, виробництво та зберігання енергії. Ці аукціони є гнучким механізмом балансування та забезпечують необхідну пікову потужність з різноманітними ресурсами, які конкурують за те, щоб бути доступними для літнього та/або зимового періодів зобов'язань. Зазначеними питаннями займається Незалежний оператор електроенергетичної системи (Independent Electricity System Operator, IESO). Урядова політика та програми спрямовані на підтримку надійності системи, зокрема IESO було наказано укласти контракт на 10 років (з 2021) на виконання проекту щодо зберігання енергії (Oneida Energy Storage Project) потужністю 250 МВт/1000 МВт·год для забезпечення потужностей та послуг з регулювання [55]–[56].

5. Законодавчі документи стосовно споживачів-регуляторів в Україні

В Україні, з огляду на курс євроінтеграції, здійснюються відповідні заходи, у т.ч. щодо правової підтримки споживачів-регуляторів. Так, Енергетичною стратегією України на період до 2035 року [57] розвиток обладнання для акумулювання енергії визначено як один з пріоритетів енергетичної політики.

В Україні чинними є Правила роздрібного ринку електричної енергії (затверджені постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 312) [58], згідно з якими у Договорі споживача про надання послуг з розподілу електричної енергії треба зазначити «заходи з підтримання стійкості енергосистеми, порядок введення обмежень та відключень при дефіциті електричної енергії та потужності в енергосистемі». Крім того, електроустановки споживачів треба забезпечити «технічними засобами контролю й управління споживанням електричної енергії та величини потужності». Також зазначено, що участь споживача у графіках обмеження споживання електричної енергії, обмеження споживання електричної потужності тощо визначаються Кодексом систем розподілу (затвердженим постановою НКРЕКП від 14 березня 2018 року № 310), Кодексом системи передачі (затвердженим постановою НКРЕКП від 14 березня 2018 року № 309) та умовами відповідного договору.

У 2022 р. прийнято закон про розвиток установок зберігання енергії [59], який відповідає основним принципам правового регулювання систем зберігання енергії в країнах ЄС і сприятиме впровадженню об'єктів «зеленої» енергетики в ОЕС України [60]. Цей закон вводить нові терміни: зберігання енергії, установка зберігання енергії, оператор установки зберігання енергії, повністю інтегровані елементи мережі. Також визначено права та обов'язки нового учасника на ринку електроенергії – оператора установки зберігання енергії; врегульовано питання ліцензування діяльності зі зберігання енергії та можливості використання установки зберігання енергії споживачами та виробниками електроенергії; введено заборону для оператора системи передачі та операторів систем розподілу провадити діяльність зі зберігання енергії, крім окремих випадків. Відповідні зміни внесено в Закон України «Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг», Закон України «Про ринок електричної енергії», Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії».

Закон України «Про альтернативні джерела енергії» «визначає правові, економічні, екологічні та організаційні засади використання альтернативних джерел енергії ... у паливно-енергетичному комплексі», зокрема визначає «зелений» тариф на електроенергію, вироблену споживачами, у тому числі енергетичними кооперативами [61].

Згідно з Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 р. передбачається введення в експлуатацію 1250 МВт нових високоманеврених потужностей з можливістю швидкого пуску та 640 МВт установок зберігання енергії, з яких у 2021 р. першу

установку потужністю 1 МВт та ємністю 2,25 МВт/год було введено в експлуатацію в м. Енергодар, та схвалено інвестиційний проєкт щодо будівництва ПрАТ «Укргідроенерго» установок зберігання енергії потужністю 197 МВт для надання допоміжних послуг з регулювання частоти та активної потужності [62].

У 2018 р. в Україні прийнята Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року [63], в якій одним із завдань зазначено розвиток електротранспорту, зокрема міського. Очікується, що це, разом з іншими передбаченими заходами, призведе до збільшення частки використання електротранспорту та електромобілів у внутрішньому сполученні до 75% у 2030 р., збільшення рівня застосування альтернативних видів палива та електроенергії до 50% до 2030 р., зменшення обсягу викидів парникових газів до 60% від рівня 1990 р., а забруднюючих речовин – до 70% від рівня 2015 р. Розпорядженням КМУ від 07 квітня 2021 р. № 321-р затверджено план заходів з реалізації зазначеної стратегії, який містить, зокрема, завдання щодо розроблення державної політики та нормативно-правових актів щодо розвитку інфраструктури зарядних станцій для електричних транспортних засобів, у тому числі з метою участі їх на ринку електричної енергії, забезпечення управління попиту та балансування енергетичної системи, приєднання електростанцій до електромережі [64]. В роботі [65] запропоновано використовувати електромобілі як активно-адаптивні споживачі-регулятори, зокрема розроблено типові шаблони енергоефективних режимів споживання / генерації електричної енергії тяговими батареями в умовах конкретної електричної мережі й користувача та запропоновано методику розрахунку електричних навантажень міських електричних мереж з використанням таких споживачів-регуляторів. Такий підхід відповідає Директиві ЄС 2019/944 [18]. Виконання поставлених завдань потребує відповідного удосконалення законодавства та економічного механізму сприяння його виконанню, що частково відображено в [64].

Біоенергетична асоціація України запропонувала використання біогазових установок для балансування енергосистеми за трьома напрямками: 1) вироблення електроенергії тільки у пікові ранішні та вечірні години (тариф 26 євроцентів/год.); 2) переведення ТЕЦ, яка спалює тверду біомасу, в режим пікових годин з виробленням електроенергії без відпуску теплової енергії, необхідне в цей час споживачу тепло накопичувати в акумуляторі теплової енергії (тариф 28 євроцентів/год.); 3) переведення діючих газових установок на природному газі на біометан (тариф нижчий, ніж для нових установок). Усі три варіанти є обґрунтовано здійсненними та економічно доцільними [66].

6. Висновки

1. Світовий досвід доводить, що використання споживачів-регуляторів з метою регулювання частоти та потужності є перспективним напрямком розвитку енергосистем.

2. Нормативно-правова та фінансова підтримка використання споживачів-регуляторів у енергосистемах з боку міжнародних організацій та національних і регіональних органів країн є важливим чинником для впровадження та розвитку нових технологій у сфері ВДЕ, зберігання енергії, Smart Grid тощо, а також управління енергоспоживанням, що сприяє підвищенню енергоефективності енергосистеми в цілому та можливості задовольняти зростаючий попит на електроенергію без введення нових генеруючих потужностей.

3. В Україні є всі можливості та проводиться робота з вдосконалення правової бази відповідно до міжнародних законодавчих документів, таких як Директиви ЄС, для використання споживачів-регуляторів у енергосистемах, але ця робота має продовжуватися з урахуванням як модернізації традиційних технологій, так і впровадження нових, таких як Smart Grid, регулювання споживання будинків, використання зарядних станцій електротранспорту тощо.

Посилання

1. Енергетична стратегія України до 2030 року, схвалена розпорядженням Кабміну України від 24.07.2013 р. № 1071-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#Text> (дата звернення: 28.04.2023).

2. Дубовський С.В., Ленчевський Є.А., Мартиненко С.А. Автоматичне управління сучасними споживачами-регуляторами як засіб забезпечення стабільності частоти в ОЕС України на рівні вимог УСТЕ. *Проблеми загальної енергетики*. 2009. Вип. 19. С. 23—30.
3. Маневрена енергетична система: пат. 81868 Україна: МПК H02J 15/00. № a200609668; заявл. 08.09.2006. 4 с. URL: <https://iprop-ua.com/inv/sa6gr3hx/> (дата звернення: 28.04.2023).
4. Об'єднана енергосистема і спосіб експлуатації об'єднаної енергосистеми: пат. 89502 Україна: МПК: H02J 3/00, H02J 3/28. № a200703049; завл. 22.03.2007; опубл. 10.02.2010, Бюл. № 3. 9 с. URL: <https://uapatents.com/9-89502-obehdnana-energosisistema-i-sposib-ekspluataci-obehdnano-energosisitemi.html> (дата звернення: 28.04.2023).
5. Теплоелектроцентральної, спосіб її експлуатації, об'єднана енергосистема та спосіб її експлуатації: пат. 104217 Україна: МПК H02J 3/06, H02J 15/00, F01K 7/00. № a201204952; заявл. 20.04.2012; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. 9 с. URL: <https://uapatents.com/11-104217-teploelektrocentral-sposib-ekspluataci-obehdnana-energosisistema-ta-sposib-ekspluataci.html> (дата звернення: 28.04.2023).
6. Объединенная энергосистема и способ эксплуатации объединенной энергосистемы: пат. 2354024C1 Российская Федерация: МПК H02J 3/00. № 2007136922/09; заявл. 08.10.2007; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 12. 15 с. URL: <https://patents.google.com/?q=~patent%2fRU2354024C1> (дата звернення: 03.02.2023).
7. Energy Storage Technologies. *Energy Storage Association*. URL: <http://energystorage.org/energy-storage/energy-storage-technologies> (дата звернення: 03.02.2023).
8. Luo X., Wang J., Dooner M., Clarke J. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*. 2015. № 137. P. 511—536. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>
9. Розумні мережі (Smart Grid). *Укренерго майбутнього*. URL: <https://ua.energy/majbutnye-ukrenergo/smart-grid/> (дата звернення: 15.02.2023).
10. Данилин И. Активный потребитель как элемент интеллектуальной энергосистемы. *Умные измерения*. 2012. № 5. URL: http://www.e-apbe.ru/media_about_us/archive/detail.php?ID=204738 (дата звернення: 15.02.2023).
11. EU Commission Task Force for Smart Grids. Expert Group 1: Functionalities of smart grids and smart meters. Final Deliverable. URL: http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/doc/expert_group1.pdf (дата звернення: 15.02.2023).
12. Experience with Consumer Communications and Involvement in Smart Grid. URL: http://www.eu-ecogrid.net/images/Frontpage/WP-4_final-english-summary.pdf (дата звернення: 15.02.2023).
13. Lund P.D., Lindgren J., Mikkola J., Salpakari J. Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 45. P. 785—807. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.057>
14. Згуровец А.В., Костенко А.П. Эффективные методы управления потреблением электрической энергии. *Проблеми загальної енергетики*. 2007. Вип. 2(16). С. 75—80.
15. Clean energy for all Europeans package. *An official website of the European Union*. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en (дата звернення: 07.02.2023).
16. Зінченко А. Стимулювання розподіленої генерації в 4-му Енергетичному Пакеті ЄС. Київ, 2020. 57 с. URL: <https://ua.boell.org/sites/default/files/2020-10/Стимулювання%20розподіленої%20генерації%20в%204му%20Енергетичному%20Пакеті%20ЄС.pdf> (дата звернення: 07.02.2023).
17. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*. 21.12.2018. L 328. P. 82—209. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001> (дата звернення: 07.02.2023).
18. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity. *Official Journal of the European Union*. 14.06.2019. L 158. P. 125—199. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944> (дата звернення: 07.02.2023).
19. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency. *Official Journal of the European Union*. 21.12.2018. L 328. P. 210—230. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&rid=7> (дата звернення: 09.02.2023).
20. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 14.11.2012. L 315. P. 1—68. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:en:PDF> (дата звернення: 09.02.2023).
21. Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*. 21.12.2018. L 328. P. 1—77. URL:

- https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.328.01.0001.01.ENG (дата звернення: 16.03.2023).
22. Regulation (EU) 2019/942 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 establishing a European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators. *Official Journal of the European Union*. 14.6.2019. L 158. P. 22—53. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0942&rid=4> (дата звернення: 17.03.2023).
 23. Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity. *Official Journal of the European Union*. 14.6.2019. L 158. P. 54—124. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0943&from=EN> (дата звернення: 12.03.2023).
 24. European Parliament resolution of 10 July 2020 on a comprehensive European approach to energy storage (2019/2189(INI)). *Official Journal of the European Union*. 15.9.2021. С 371. P. 58—67. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020IP0198> (дата звернення: 12.03.2023).
 25. Regulation (EU) 2021/1153 of the European Parliament and of the Council of 7 July 2021 establishing the Connecting Europe Facility and repealing Regulations (EU) No 1316/2013 and (EU) No 283/2014. *Official Journal of the European Union*. 14.7.2021. L 249. P. 38—81. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:32021R1153> (дата звернення: 10.04.2023).
 26. Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration. Communication from the Commission to the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 8.7.2020. COM(2020) 299 final. 22 p.
 27. Energy Independence and Security Act of 2007. Public Law 110–140—Dec. 19, 2007. 311 p. URL: <https://www.congress.gov/110/plaws/publ140/PLAW-110publ140.pdf> (дата звернення: 17.04.2023).
 28. Energy Independence and Security Act of 2007. Public Law 110–140. As Amended Through P.L. 117–328, Enacted December 29, 2022. 130 p. URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/COMPS-8929/pdf/COMPS-8929.pdf> (дата звернення: 17.04.2023).
 29. S. 535 (114th): Energy Efficiency Improvement Act of 2015. URL: <https://www.govtrack.us/congress/bills/114/s535/text> (дата звернення: 17.04.2023).
 30. H.R. 5428, Grid Modernization Research and Development Act of 2019. URL: <https://science.house.gov/imo/media/doc/Grid%20Modernization%20Research%20and%20Devlopment%20Act.pdf> (дата звернення: 17.04.2023).
 31. Ungar L., Brinker G., Langer T., Mauer J. Bending the Curve: Implementation of the Energy Independence and Security Act of 2007. October 2015. Report E1503. URL: <https://aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/e1503.pdf> (дата звернення: 17.04.2023).
 32. Plugging America into Clean Energy Clean Energy / U. S. Department of Energy. Future Needs of the Electricity Grid Future Needs of the Electricity Grid /DOE Grid Tech Team. 26 January 2012. URL: <http://energy.gov/sites/prod/files/2013/05/f0/2012GTT-NARUC-web.pdf> (дата звернення: 17.04.2023).
 33. Summary of Legislation and Regulations included in the Annual Energy Outlook 2022 / Independent Statistics & Analysis. U.S. Energy Information Administration. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/assumptions/pdf/summary.pdf> (дата звернення: 17.04.2023).
 34. Connecticut State Senate, Public Act No. 21-53. An Act Concerning Energy Storage, SB 952, signed by governor on June 16, 2021. URL: <https://www.cga.ct.gov/2021/act/Pa/pdf/2021PA-00053-R00SB-00952-PA.PDF> (дата звернення: 14.04.2023).
 35. An Act relating to energy efficiency programs; requiring the Public Utilities Commission of Nevada to establish for each electric utility in this State annual goals for energy savings resulting from the implementation of energy efficiency programs... State of Nevada, Senate Bill 150 (June 15, 2017). URL: <https://www.leg.state.nv.us/App/NELIS/REL/79th2017/Bill/4986/Text> (дата звернення: 14.04.2023).
 36. Massachusetts Department of Public Utilities. Three-Year Electric & Gas Energy Efficiency Plans 2022–2024. URL: <https://ma-eeac.org/wp-content/uploads/Exhibit-1-Three-Year-Plan-2022-2024-11-1-21-w-App-1.pdf> (дата звернення: 14.04.2023).
 37. To make changes to the renewable energy, energy efficiency, and peak demand reduction requirements ... State of Ohio. S.B. 310 (Sept 12, 2014). URL: <https://legiscan.com/OH/text/SB310/id/1060683> (дата звернення: 14.04.2023).
 38. Pennsylvania Public Utility Commission. Act 129 Information. URL: http://www.puc.pa.gov/filing_resources/issues_laws_regulations/act_129_information.aspx (дата звернення: 14.04.2023).
 39. Semi-Annual Report to the Pennsylvania Public Utility Commission. Phase IV of Act 129. Program Year PY13 (June 1, 2021 – May 31, 2022) for Pennsylvania Act 129 of 2008 Energy Efficiency and Conservation Plan. URL: https://pplelectric.com/-/media/PPLElectric/Save-Energy-and-Money/Docs/Act129_Phase4/PPLPY13SemiAnnualReport20220115.ashx (дата звернення: 19.04.23).
 40. Electric Reliability Council of Texas (ERCOT). URL: <https://www.ercot.com/> (дата звернення: 19.04.23).

41. The History of Load Participation in ERCOT. URL: https://www.energy.gov/sites/default/files/2015/06/f24/the_history_of_load_participation_in_ercot_mark_patterson.pdf (дата звернення: 19.04.23).
42. Load Resource Participation in the ERCOT Markets. Load Resource Qualification. URL: <https://www.ercot.com/services/programs/load/laar/> (дата звернення: 19.04.23).
43. ERCOT Creates Voluntary Curtailment Program for Large Flexible Customers During Peak Demand. URL: <https://www.ercot.com/news/release/2022-12-06-ercot-creates-voluntary> (дата звернення: 19.04.23).
44. King R., Crawford J., Huddleston B., Isser S. The Debate About Demand Response and Wholesale Electricity Markets / The South-central Partnership for Energy Efficiency as a Resource. URL: <https://eepartnership.org/wp-content/uploads/2015/12/The-Debate-About-Demand-Response-Final-12.02.2015.pdf> (дата звернення: 19.04.2023).
45. The Public Utility Regulatory Policies Act. Smithsonian Museum of American History. Retrieved 12 Apr 2014. URL: <https://americanhistory.si.edu/powering/past/history4.htm> (дата звернення: 19.04.2023).
46. Singh A., Doolla S., Banerjee R. Demand Side Management. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*. 2017. P. 487—496. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10156-3>
47. Jafari M., Malekjamshidi Z. Chapter 17 – A review of energy management methods for residential renewable energy systems. *Advances in Smart Grid Power System: Network, Control and Security*. Edited by A. Tomar, R. Kandari. 2021. P. 437—460. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824555-2.00024-1>
48. Felder F.A. Chapter 7 – The Evolution of Demand-Side Management in the United States. *Towards the End of Demand Growth. Energy Efficiency*. 2013. P. 179—200. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397879-0.00007-4>
49. Koul B., Singh K., Brar Y.S. Chapter 4 – An introduction to Smart Grid and demand-side management with its integration with renewable energy. *Advances in Smart Grid Power System: Network, Control and Security*. Edited by A. Tomar, R. Kandari. 2021. P. 73—101. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824337-4.00004-7>
50. Marques L., Heleno M., Uturbey W. 11 – Transactive control for residential demand-side management: Lessons learned from noncooperative game theory. *Decentralized Frameworks for Future Power Systems: Operation, Planning and Control Perspectives*. 2022. P. 277—317. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91698-1.00006-6>
51. Dahiru A.T., Daud D., Tan C.W., Jagun Z.T., Samsudin S., Dobi A.M. A comprehensive review of demand side management in distributed grids based on real estate perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. 30 p. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25146-x>
52. Module 14: Demand-side management. *Sustainable energy regulation and policymaking for Africa*. 100 p. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/2009-02/Module14_0.pdf (дата звернення: 19.04.2023).
53. 2021–2024 Conservation and Demand Management Framework Mid-Term Review. *Independent Electricity System Operator*. December 2022. 98 p. URL: <https://saveonenergy.ca/-/media/Files/SaveOnEnergy/2021-2024-Conservation-and-Demand-Management-Framework-Mid-Term-Review.ashx> (дата звернення: 21.04.2023).
54. Minister's Directive to the Independent Electricity System Operator 1314/2022. URL: <https://www.ontario.ca/page/directive-order-council-13142022> (дата звернення: 21.04.2023).
55. 2021 Annual Acquisition Report. *Independent Electricity System Operator*. URL: <https://www.ieso.ca/en/Sector-Participants/Planning-and-Forecasting/Annual-Acquisition-Report> (дата звернення: 21.04.2023).
56. Oneida Energy Storage Project. URL: <https://www.snfuture.com/projects/oneida-energy-storage/> (дата звернення: 21.04.2023).
57. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>. (дата звернення: 24.04.2023).
58. Правила роздрібного ринку електричної енергії: постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 312. URL: <https://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18/paran28#n28> (дата звернення: 15.03.2023).
59. Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку установок зберігання енергії: Закон України від 15.02.2022 № 2046–IX. URL: <http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc34?id=&pf3511=72789&pf35401=559388> (дата звернення: 24.04.2023).
60. Рада прийняла закон про системи накопичення електроенергії. URL: <https://mind.ua/news/20236182-rada-prijnyala-zakon-pro-sistemi-nakopichennya-elektroenergiyi> (дата звернення: 24.04.2023).
61. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20.02.2003 № 555-IV. *Офіційний веб-портал Верховної Ради України*. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 24.04.2023).
62. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року: проект розпорядження Кабінету Міністрів України в остан. ред. станом на 21.09.2022. URL: <https://sae.gov.ua/uk/content/elektronni-consultatsii> (дата звернення: 24.04.2023).
63. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80> (дата звернення: 07.02.2023).
64. Про затвердження плану заходів з реалізації Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 07.04.2021 р. № 321-р. URL:

<https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-planu-zahodiv-z-realizaciyi-nacionalnoyi-transportnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku-321-070421> (дата звернення: 07.02.2023).

65. Луценко І.М., Федоряченко С.О., Бешта О.О., Весела М.А. Наукові основи ефективної інтеграції електротранспорту в інфраструктуру населених пунктів України. URL: <http://www.kdpu-nt.gov.ua/uk/content/naukovi-osnovy-efektyvnoyi-integraciyi-elektrotransportu-v-infrastrukturu-naselenyh-punktiv> (дата звернення: 07.02.2023).
66. У біоенергетичній асоціації запропонували біогазові установки для балансування енергосистеми. URL: <https://kosatka.media/uk/category/elektroenergiya/news/v-bioenergeticheskoy-associacii-predlozhili-biogazovye-ustanovki-dlya-balansirovki-energosisitemy> (дата звернення: 10.02.2023).

WORLD EXPERIENCE IN LEGAL SUPPORT FOR THE USE OF CONSUMERS-REGULATORS IN POWER SYSTEMS

Irina Sokolovska, PhD (Engin.), <https://orcid.org/0000-0003-1959-9837>

General Energy Institute of NAS of Ukraine, 172, Antonovycha St., Kyiv, 03150, Ukraine
e-mail: is2002@ukr.net

Abstract. *The positive experience of using various technologies in power systems as consumers-regulators for energy management is shown, which helps to increase the reliability and stability of power systems, and also reduces the need for new generating capacities, including expensive peak ones. The world experience of legal support for the use of consumers-regulators in power systems at the international, national, and regional levels is considered, namely: directives and regulations of the 4th European EU Energy Package; laws of the USA about independence and national security, energy efficiency improvements, research and development for grid modernization, and the results of the programs developed based on them; laws and regulations of the U.S.A. states and Canada to promote energy savings and reduce greenhouse gas emissions through increased use of renewable energy sources (RES) and other new technologies; the effectiveness of the system of measures DSM (Demand Side Management). In these documents, an important role is assigned to both the use of technologies such as RES, energy storage, Smart Grid, etc., and the possibility to combine consumers of different categories and the rules for their participation in the electricity market in a non-discriminatory way. An increase step by step in support for the use of consumers-regulators in power systems in the legislative and other national documents of Ukraine, in particular, in the new law on the development of energy storage installations, the National Action Plan for Renewable Energy for the period up to 2030, the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030, etc., which meet the main provisions of European directives, and it is also shown the need to take into account the wide introduction of new technologies such as Smart Grid, building consumption regulation, the use of electric vehicle charging stations, etc.*

Keywords: consumers-regulators, legal support, power system.

References

1. Enerhetychna stratehiia Ukrainy do 2030 r., skhvalena rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 24.07.2013 r. № 1071-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#Text> (Last accessed: 28.04.2023) [in Ukrainian].
2. Dubovskoy, S.V., Lenchevsky, Ye.A., & Martynenko, S.A. (2009). Automatic management modern consumer-regulate are decision question of providing frequency stability in of union OES of Ukraine, with demand of UCTE. *The Problems of General Energy*, 1(19), 23–30 [in Ukrainian].
3. Manevrena enerhetychna systema: Pat. 81868 Ukraine: MPK H02J 15/00. № a200609668; zaiavl. 08.09.2006. 4 p. URL: <https://iprop-ua.com/inv/sa6gr3hx/> (Last accessed: 28.04.2023) [in Ukrainian].
4. Integrated electricity system and an operating method for the integrated electricity system: Pat. 89502 Ukraine: MPK: H02J 3/00, H02J 3/28. № a200703049; zaiavl. 22.03.2007; opubl. 10.02.2010, Biul. № 3. 9 p. URL: <https://uapatents.com/9-89502-obehdnana-energosisistema-i-sposib-ekspluatatsii-obehdnano-energosisitemi.html> (Last accessed: 28.04.2023) [in Ukrainian].
5. Teploelektrotsentral, sposib yii ekspluatatsii, obiednana enerhosystema ta sposib yii ekspluatatsii: Pat. 104217 Ukraine: MPK H02J 3/06, H02J 15/00, F01K 7/00. № a201204952; zaiavl. 20.04.2012; opubl. 10.01.2014. Biul. № 1. 9 p. URL: <https://uapatents.com/11-104217-teploelektrocentral-sposib-ekspluatatsii-obehdnana-energosisistema-ta-sposib-ekspluatatsii.html> (Last accessed: 28.04.2023) [in Ukrainian].

6. Obiednana enerhosystema ta sposib ekspluatatsii obiednanoi enerhosytemy: Pat. 2354024C1 Russian Federation: MPK H02J 3/00. № 2007136922/09; zaiavl. 08.10.2007; opubl. 27.04.2009, Biul. № 12. 15 p. URL: <https://patents.google.com/?q=~patent%2fRU2354024C1> (Last accessed: 03.02.2023) [in Russian].
7. Energy Storage Technologies. *Energy Storage Association*. URL: <http://energystorage.org/energy-storage/energy-storage-technologies> (Last accessed: 03.02.2023).
8. Luo, X., Wang, J., Dooner, M., & Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*, 137, 511–536. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>
9. Rozumni merezhi (Smart Grid). *Ukrenerho maibutnoho*. URL: <https://ua.energy/majbutnye-ukrenergo/smart-grid/> (Last accessed: 15.02.2023) [in Ukrainian].
10. Danilin I. (2012). Aktivnyy potrebitel kak element intellektualnoy energosistemy. *Umnyye izmereniya*. 5. URL: http://www.e-apbe.ru/media_about_us/archive/detail.php?ID=204738 (Last accessed: 15.02.2023) [in Russian].
11. EU Commission Task Force for Smart Grids. Expert Group 1: Functionalities of smart grids and smart meters. Final Deliverable. URL: http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/doc/expert_group1.pdf (Last accessed: 15.02.2023).
12. Experience with Consumer Communications and Involvement in Smart Grid. URL: http://www.eu-ecogrid.net/images/Fronpage/WP-4_final-english-summary.pdf (Last accessed: 15.02.2023).
13. Lund, P.D., Lindgren, J., Mikkola, J., & Salpakari, J. (2015). Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 785–807. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.057>
14. Zgurovets, O.V., & Kostenko, A.P. (2007). Effective methods for managing the consumption of electric energy. *The Problems of General Energy*, 2(16), 75–80 [in Russian].
15. Clean energy for all Europeans package. *An official website of the European Union*. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en (Last accessed: 07.02.2023).
16. Zinchenko, A. Stymuliuvannia rozpodilenoї heneratsii v 4-mu Enerhetychnomu Paketi YeS. Kyiv, 2020, 57 p. URL: <https://ua.boell.org/sites/default/files/2020-10/Стимулювання%20розподіленої%20генерації%20в%204му%20Енергетичному%20Пакеті%20ЄС.pdf> (Last accessed: 07.02.2023) [in Ukrainian].
17. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*, 21.12.2018, L 328, 82–209. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001> (Last accessed: 07.02.2023).
18. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity. *Official Journal of the European Union*, 14.6.2019, L 158, 125–199. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944> (Last accessed: 07.02.2023).
19. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency. *Official Journal of the European Union*, 21.12.2018, L 328, 210–230. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&rid=7> (Last accessed: 09.02.2023).
20. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*, 14.11.2012, L 315, 1–68. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:en:PDF> (Last accessed: 09.02.2023).
21. Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*, 21.12.2018, L 328, 1–77. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.328.01.0001.01.ENG (Last accessed: 16.03.2023).
22. Regulation (EU) 2019/942 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 establishing a European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators. *Official Journal of the European Union*, 14.6.2019, L 158, 22–53. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0942&rid=4> (Last accessed: 17.03.2023).
23. Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity. *Official Journal of the European Union*, 14.6.2019, L 158, 54–124. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0943&from=EN> (Last accessed: 12.03.2023).
24. European Parliament resolution of 10 July 2020 on a comprehensive European approach to energy storage (2019/2189(INI)). *Official Journal of the European Union*, 15.9.2021, C 371, 58–67. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020IP0198> (Last accessed: 12.03.2023).
25. Regulation (EU) 2021/1153 of the European Parliament and of the Council of 7 July 2021 establishing the Connecting Europe Facility and repealing Regulations (EU) No 1316/2013 and (EU) No 283/2014. *Official Journal*

- of the European Union, 14.7.2021, L 249, 38–81. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:32021R1153> (Last accessed: 10.04.2023).
26. Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration. Communication from the Commission to the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 8.7.2020. COM(2020) 299 final. 22 p.
 27. Energy Independence and Security Act of 2007. Public Law 110–140—Dec. 19, 2007, 311 p. URL: <https://www.congress.gov/110/plaws/publ140/PLAW-110publ140.pdf> (Last accessed: 17.04.2023).
 28. Energy Independence and Security Act of 2007. Public Law 110–140. As Amended Through P.L. 117–328, Enacted December 29, 2022. 130 p. URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/COMPS-8929/pdf/COMPS-8929.pdf> (Last accessed: 17.04.2023).
 29. S. 535 (114th): Energy Efficiency Improvement Act of 2015. URL: <https://www.govtrack.us/congress/bills/114/s535/text> (Last accessed: 17.04.2023).
 30. H.R. 5428, Grid Modernization Research and Development Act of 2019. URL: <https://science.house.gov/imo/media/doc/Grid%20Modernization%20Research%20and%20Devlopment%20Act.pdf> (Last accessed: 17.04.2023).
 31. Ungar, L., Brinker, G., Langer, T., & Mauer, J. (2015). Bending the Curve: Implementation of the Energy Independence and Security Act of 2007. October 2015. Report E1503. URL: <https://aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/e1503.pdf> (Last accessed: 17.04.2023).
 32. Plugging America into Clean Energy Clean Energy / U. S. Department of Energy. Future Needs of the Electricity Grid Future Needs of the Electricity Grid /DOE Grid Tech Team. 26 January 2012. URL: <http://energy.gov/sites/prod/files/2013/05/f0/2012GTT-NARUC-web.pdf> (Last accessed: 17.04.2023).
 33. Summary of Legislation and Regulations included in the Annual Energy. Outlook. 2022 / Independent Statistics & Analysis. U.S. Energy Information Administration. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/assumptions/pdf/summary.pdf> (Last accessed: 17.04.2023).
 34. Connecticut State Senate, Public Act No. 21-53. An Act Concerning Energy Storage, SB 952, signed by governor on June 16, 2021. URL: <https://www.cga.ct.gov/2021/act/Pa/pdf/2021PA-00053-R00SB-00952-PA.PDF> (Last accessed: 14.04.2023).
 35. An Act relating to energy efficiency programs; requiring the Public Utilities Commission of Nevada to establish for each electric utility in this State annual goals for energy savings resulting from the implementation of energy efficiency programs..., State of Nevada, Senate Bill 150, (June 15, 2017). URL: <https://www.leg.state.nv.us/App/NELIS/REL/79th2017/Bill/4986/Text> (Last accessed: 14.04.2023).
 36. Massachusetts Department of Public Utilities. Three-Year Electric & Gas Energy Efficiency Plans 2022–2024. URL: <https://ma-eeac.org/wp-content/uploads/Exhibit-1-Three-Year-Plan-2022-2024-11-1-21-w-App-1.pdf> (Last accessed: 14.04.2023).
 37. To make changes to the renewable energy, energy efficiency, and peak demand reduction requirements..., State of Ohio, S.B. 310, (Sept 12, 2014). URL: <https://legiscan.com/OH/text/SB310/id/1060683> (Last accessed: 14.04.2023).
 38. Pennsylvania Public Utility Commission. Act 129 Information. URL: http://www.puc.pa.gov/filing_resources/issues_laws_regulations/act_129_information.aspx (Last accessed: 14.04.2023).
 39. Semi-Annual Report to the Pennsylvania Public Utility Commission. Phase IV of Act 129. Program Year PY13 (June 1, 2021 – May 31, 2022) for Pennsylvania Act 129 of 2008 Energy Efficiency and Conservation Plan URL: https://pplelectric.com/-/media/PPLElectric/Save-Energy-and-Money/Docs/Act129_Phase4/PPLPY13SemiAnnualReport20220115.ashx (Last accessed: 19.04.23).
 40. Electric Reliability Council of Texas (ERCOT). URL: <https://www.ercot.com/> (Last accessed: 19.04.23).
 41. The History of Load Participation in ERCOT. URL: https://www.energy.gov/sites/default/files/2015/06/f24/the_history_of_load_participation_in_ercot_mark_patterson.pdf (Last accessed: 19.04.23).
 42. Load Resource Participation in the ERCOT Markets. Load Resource Qualification. URL: <https://www.ercot.com/services/programs/load/laar/> (Last accessed: 19.04.23).
 43. ERCOT Creates Voluntary Curtailment Program for Large Flexible Customers During Peak Demand. URL: <https://www.ercot.com/news/release/2022-12-06-ercot-creates-voluntary> (Last accessed: 19.04.23).
 44. King, R., Crawford, J., Huddleston, B., & Isser, S. The Debate About Demand Response and Wholesale Electricity Markets / The South-central Partnership for Energy Efficiency as a Resource. URL: <https://eepartnership.org/wp-content/uploads/2015/12/The-Debate-About-Demand-Response-Final-12.02.2015.pdf> (Last accessed: 19.04.2023).
 45. The Public Utility Regulatory Policies Act. Smithsonian Museum of American History. Retrieved 12 Apr 2014. URL: <https://americanhistory.si.edu/powering/past/history4.htm> (Last accessed: 19.04.2023).
 46. Singh, A., Doolla, S., & Banerjee, R. (2017). Demand Side Management. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 487–496. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10156-3>
 47. Jafari, M., & Malekjamshidi, Z. (2021). Chapter 17 – A review of energy management methods for residential renewable energy systems. *Advances in Smart Grid Power System: Network, Control and Security*, Edited by A. Tomar, R. Kandari, 437–460. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824555-2.00024-1>

48. Felder, F.A. (2013). Chapter 7 – The Evolution of Demand-Side Management in the United States. *Towards the End of Demand Growth. Energy Efficiency*, 79–200. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397879-0.00007-4>
49. Koul, B., Singh, K., & Brar, Y.S. (2021). Chapter 4 – An introduction to smart grid and demand-side management with its integration with renewable energy. *Advances in Smart Grid Power System: Network, Control and Security*, Edited by A. Tomar, R. Kandari. 73–101. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824337-4.00004-7>
50. Marques, L., Heleno, M., & Uturbey, W. (2022). 11 – Transactive control for residential demand-side management: Lessons learned from noncooperative game theory. *Decentralized Frameworks for Future Power Systems: Operation, Planning and Control Perspectives*, 277–317. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91698-1.00006-6>
51. Dahiru, A.T, Daud, D., Tan, C.W., Jagun, Z.T., Samsudin, S., & Dobi, A.M. (2023). A comprehensive review of demand side management in distributed grids based on real estate perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 30 p. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25146-x>
52. Module 14: Demand-side management. *Sustainable energy regulation and policymaking for Africa*, 100 p. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/2009-02/Module14_0.pdf (Last accessed: 19.04.2023).
53. 2021-2024 Conservation and Demand Management Framework Mid-Term Review. *Independent Electricity System Operator*, December 2022. 98 p. URL: <https://saveonenergy.ca/-/media/Files/SaveOnEnergy/2021-2024-Conservation-and-Demand-Management-Framework-Mid-Term-Review.ashx> (Last accessed: 21.04.2023).
54. Minister's Directive to the Independent Electricity System Operator 1314/2022. URL: <https://www.ontario.ca/page/directive-order-council-13142022> (Last accessed: 21.04.2023).
55. 2021 Annual Acquisition Report. *Independent Electricity System Operator*. URL: <https://www.ieso.ca/en/Sector-Participants/Planning-and-Forecasting/Annual-Acquisition-Report> (Last accessed: 21.04.2023).
56. Oneida Energy Storage Project. URL: <https://www.snfuture.com/projects/oneida-energy-storage/> (Last accessed: 21.04.2023).
57. Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2035 roku “Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist”: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 18.08.2017 № 605-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>. (Last accessed: 24.04.2023) [in Ukrainian].
58. Pravyla rozdribnogo rynku elektrychnoi enerhii: postanova NKREKP vid 14.03.2018 № 312. URL: <https://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18/paran28#n28> (Last accessed: 15.03.2023) [in Ukrainian].
59. Pro vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo rozvytku ustanovok zberihannia enerhii: Zakon Ukrainy vid 15.02.2022 № 2046-IX. URL: <http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc34?id=&pf3511=72789&pf35401=559388> (Last accessed: 24.04.2023) [in Ukrainian].
60. Rada pryiniala zakon pro systemy nakopychennia elektroenerhii. URL: <https://mind.ua/news/20236182-rada-prijnyala-zakon-pro-sistemi-nakopichennya-elektroenergiyi> (Last accessed: 24.04.2023) [in Ukrainian].
61. Pro alternatyvni dzherela enerhii: Zakon Ukrainy vid 20.02.2003 № 555-IV. *Ofitsiyni veb-portal Verkhovnoi Rady Ukrainy*. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (Last accessed: 24.04.2023) [in Ukrainian].
62. Pro Natsionalnyi plan dii z vidnovliuvanoi enerhetyky na period do 2030 roku: proiekt rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy v ostan. red. stanom na 21.09.2022. URL: <https://sae.gov.ua/uk/content/elektronni-consultatsii> (Last accessed: 24.04.2023) [in Ukrainian].
63. Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30.05.2018 r. № 430-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80> (Last accessed: 07.02.2023) [in Ukrainian].
64. Pro zatverdzhennia planu zakhodiv z realizatsii Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 07.04.2021 r. № 321-r. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/prozatverdzhennya-planu-zahodiv-z-realizatsiyi-nacionalnoyi-transportnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku-321-070421> (Last accessed: 07.02.2023) [in Ukrainian].
65. Lutsenko, I.M., Fedoriachenko, S.O., Beshta, O.O., & Vesela, M.A. Naukovi osnovy efektyvnoi intehratsii elektrotransportu v infrastrukturu naselenykh punktiv Ukrainy. URL: <http://www.kdpu-nt.gov.ua/uk/content/naukovi-osnovy-efektyvnoyi-integratsiyi-elektrotransportu-v-infrastrukturu-naselenyh-punktiv> (Last accessed: 07.02.2023) [in Ukrainian].
66. U bioenerhetychnii asotsiatsii zaproponuvaly biohazovi ustanovky dlia balansuvannia enerhosystemy. URL: <https://kosatka.media/uk/category/elektroenergiya/news/v-bioenergeticheskoy-associacii-predlozhili-biogazovye-ustanovki-dlya-balansirovki-energosisystemy> (Last accessed: 10.02.2023) [in Ukrainian].

Надійшла до редакції: 27.04.2023