

ЕНЕРГОБІЗНЕС

ІНФОРМАЦІЙНО-
АНАЛІТИЧНИЙ
ЖУРНАЛ

№ 34–35 (1299–1300)
26.09.2023



УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ –
КЛЮЧ ДО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ – КЛЮЧ ДО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

Фарід Сафаров, Дмитро Олефір,
Юрій Привалов, Ігор Блінов, Євген Парус



Сучасний розвиток енергетичної системи України відбувається в умовах функціонування сегментів лібералізованого ринку електричної енергії, збільшення частки відновлюваних джерел енергії в загальному балансі ОЕС України та значних втрат, що зазнала енергетика України внаслідок воєнних дій та руйнування електроенергетичної інфраструктури. Сьогодні необхідним є пошук шляхів забезпечення переходу в Україні від традиційної системи електропостачання до принципово нової моделі побудови системи електропостачання на основі технології Smart Grid.

Важливим етапом такого переходу є схвалення Кабінетом міністрів України Концепція впровадження "розумних мереж" в Україні до 2035 року [1], в якій визначені загальні напрями впровадження і використання технологій «розумних мереж»

в енергетичному секторі України та сформовано план заходів щодо реалізації цієї Концепції. Зокрема в Концепції зазначено, що: «необхідно забезпечувати управління попитом електричної енергії, зокрема розробити стратегії для регулювання попиту, у тому числі місцевого, та здійснювати контроль за навантаженням за допомогою електронного обліку».

В широкому сенсі управління попитом (англ. Demand Response) є зміною споживання електроенергії її кінцевими споживачами на запит диспетчерської служби, у відповідь на зміну цін на електроенергію або інші економічні стимули, або коли надійність функціонування електроенергетичної системи є під загрозою. Управління попитом відрізняється від зміни обсягів електроспоживання за потребами технологічних процесів на підприємствах чи потребами життєдіяльності

домогосподарств саме наявністю стимулів щодо зміни графіків електроспоживання.

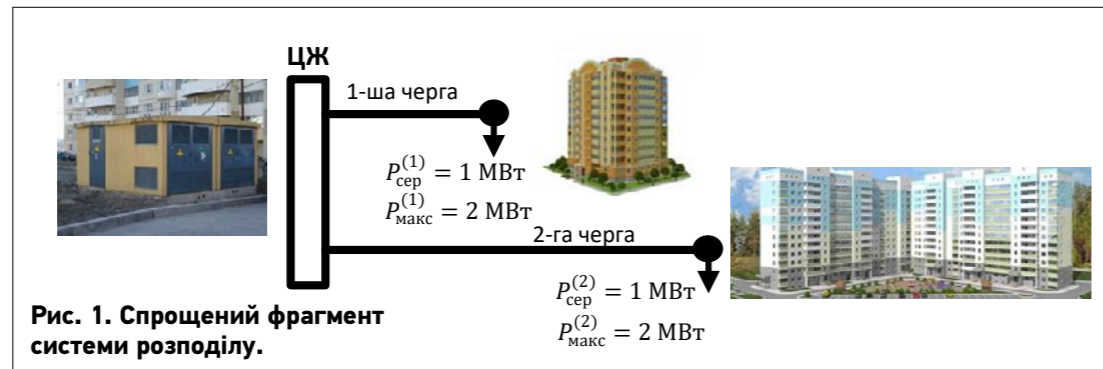
Запровадження елементів Demand Response задля забезпечення надійності електроенергетичної системи набуло особливої актуальності після пошкодження енергосистеми України внаслідок ракетних атак протягом 2022-2023 рр., що обумовило виникнення проблем із постачанням електроенергії споживачам як через мережеві обмеження, так і по балансу потужностей в ОЕС України.

В осінньо-зимовий період (ОЗП) 2022/2023 більшість споживачів електроенергії України були знеструмлені принаймні 8-10 годин на добу через застосування диспетчерами НЕК «Укренерго» графіків обмежень потужності чи графіків аварійних відключень (далі – ГАВ) для збереження надійної роботи енергосистеми країни. При цьо-

му, обсяги споживання, які заводяться під черги ГАВ, складаються відповідно до [1], та залежать від споживання електричної потужності в годину суміщеного максимуму навантаження ОЕС України в режимний день замірів грудня попереднього року кожного ОСР.

Споживання електроенергії має стохастичний характер, і, зазвичай, відрізняється від обсягів електроспоживання, заведених під черги ГАВ, і, як правило, є меншим за максимальний обсяг споживання електроспоживача. Для визначення основних причин такого явища, розглянемо спрощений фрагмент системи розподілу, відображений на рис.1.

Уявімо, що у центрі живлення (ЦЖ на рис.1), тобто на трансформаторній підстанції, де Оператор системи передачі або Оператор системи розподілу має засоби дистанційного вимкнення окремо



двох колективних споживачів (наприклад, двох житлових будинків). Споживачі кожного з будинків у звичайному побутовому житті вмикають електроприлади не одночасно, і тому середня статистична потужність електроспоживання, зазвичай, суттєво нижча за максимальну потужність електроспоживання в умовах одночасного ввімкнення споживачами всіх (або майже всіх) побутових електроприладів:

Припустимо, що у кожному з двох колективних споживачів середньостатистична потужність електроспоживання становить 1 МВт, а максимальна – 2 МВт. При цьому Оператор системи розподілу розділяє загальний обсяг електроспоживання обох будинків на дві черги планових відключень електроспоживання, та заводить під кожну з черг обмеження електроспоживання один з будинків (рис.1). Для подолання дефіциту генерації або мережових обмежень в енергосистемі Оператор системи передачі застосовує графіки обмеження електроспоживання та по чергово вимикає на кілька годин один з будинків із розрахунку на сумарне зменшення електричного навантаження у фрагменті системи розподілу (рис.1) з 2 до 1 МВт. Наприклад, при вимкненні колективного споживача 1-ої черги маємо:

Восени 2022 року у перші кілька днів після перших руйнувань енергетичної інфраструктури споживачі електричної енергії активно відреагували на заклик енергетиків зменшити обсяги електроспоживання, знизивши навантаження побутового сектору в енергосистемі більш ніж на третину. Пізніше Кабінет Міністрів України на своєму урядовому порталі розмістив інформацію про необхідність обмеження споживання електричної енергії у години максимуму навантаження та причини застосування таких заходів [2]. Фактично, це був перший випадок свідомого застосування елементів "Demand Response" [3] в Україні. В умовах дефіциту резервів генеруючих потужностей для балансування в ОЕС України, єдиним елементом для підтримання енергетичної безпеки країни стає управління попитом на електроенергію.

Проте, із запровадженням в енергосистемі України регулярних графіків відключення електроенер-

гії, обсяги споживання електроенергії кінцевими споживачами збільшилися із середньостатистичного майже до максимального значення. Про такі висновки свідчать дані електронних кабінетів постачальників електроенергії. Дійсно, на противагу нормальним режимам електропостачання, коли побутові споживачі асинхронно вмикають електроприлади протягом доби, в умовах графіків планової подачі електроенергії лише на кілька визначених годин, споживачі електроенергії намагаються максимально задовольнити власні побутові потреби за кілька годин наявності електроенергії у будинку, збільшуючи навантаження у ці години до максимуму:

В результаті, для подолання дефіциту генерації в енергосистемі, Оператор системи розподілу, додатково до планового графіка вимкнення груп споживачів по черзі, нерідко змушений був застосовувати аварійні вимкнення й інших споживачів (для наведеного на рис.1 прикладу – споживачів електроенергії в обох будинках).

Аналогічна ситуація спостерігалася під час енергетичної кризи у штаті Техас зимою 2021 року, коли планові по чергові вимкнення споживачів електричної енергії призводили до загального збільшення обсягів електроспоживання. Тобто описаний вище ефект є природньою властивістю попиту на електричну енергію. За даними європейського енергетичного співтовариства, еластичність попиту на електричну енергію в Європі у 2020 році становила 0,13. Відносно низьке значення еластичності попиту на електричну енергію свідчить про слабку реакцію споживачів на зміну ціни. А у випадках регулярних перерв в електропостачанні попит на електричну енергію набуває властивостей товарів Гіффена. Тобто, в умовах запровадження графіків по чергової подачі електричної енергії слід очікувати збільшення навантаження заживлених споживачів.

В умовах масштабних руйнувань енергетичної інфраструктури в Україні дефіцит генерації в енергосистемі відчуватиметься у воєнний та післявоєнний періоди. А у періоди зимових максимумів електроспоживання виникатиме потреба у запро-

вадженні графіків по чергової подачі електричної енергії. Тому, для посилення реакції споживачів на потреби змінити графік електроспоживання, необхідно вживати додаткових, передусім економічних стимулів.

Так для зниження потреби у запровадженні графіків по чергової подачі електроенергії необхідно активніше реалізовувати заходи із регулювання рівнів електроспоживання у побутовому секторі відповідно до регламентів 4-го енергетичного пакету Європейського Союзу [4]. Слід зазначити, що основні заходи регулювання рівнів електроспоживання побутового сектору дієві саме як спосіб уникнення аварійних відключень споживачів. В умовах запровадження графіків по чергової подачі електричної енергії попит на електроенергію набуватиме ознак аномальної еластичності, і навантаження заживлених споживачів збільшуватиметься навіть за збільшення вартості електричної енергії.

Способам та підходам до управління електроспоживанням присвячено багато публікацій, зокрема [5-9]. Основні підходи до впливу на добовий графік електроспоживання відображені на рис.2. [10, 11].

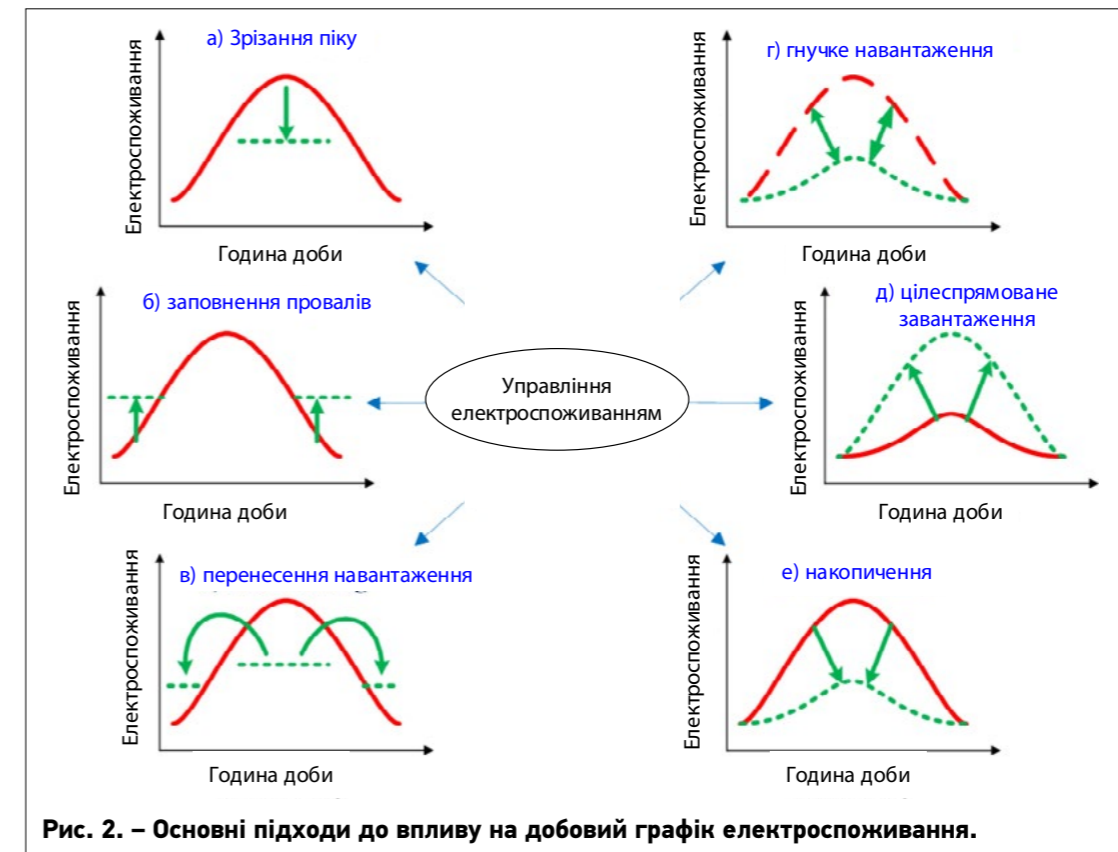
Найбільш поширеними способами регулювання графіків навантаження побутових споживачів (які, зазвичай не мають складних систем автоматичної зміни потужності за віддаленим запитом з диспетчерського центру), є зрізання піку елек-

троспоживання (рис.2,а) та перенесення навантаження на непікові години доби (рис.2,в).

До основних способів стимулювання побутових споживачів змінити власний графік електроспоживання відносять:

- інформування населення про дефіцит генерації в енергосистемі та потребу зменшити електроспоживання;
 - запровадження тарифів на електричну енергію, які стимулюють побутових споживачів зменшувати електроспоживання у пікові години доби та переносити використання побутових електроприладів на години нічного мінімуму електроспоживання;
 - регулювання побутовим споживачем власного графіка електроспоживання як оплачувана послуга для служби диспетчерського управління.
- Розглянемо детальніше наведені способи стимулювання побутових споживачів для коригування власного графіка електроспоживання. Інформування населення про дефіцит генерації в енергосистемі.

Можливості застосування даного способу стимулювання побутових споживачів змінити графіки електроспоживання значно розширилися із масштабним впровадженням останні роки в Україні онлайн-сервісів. Так систему оповіщення можливо реалізувати, наприклад, через застосунок «Дія» (або інші застосунки, як-то «Київ цифровий» для мешканців Києва).



Основний алгоритм функціонування системи оповіщень наступний:

1) при виникненні проблем з електроживленням певного регіону через мережві обмеження, або внаслідок виникнення небалансу потужності в енергосистемі, диспетчер НЕК «Укренерго» через електронні засоби зв'язку, або через засоби SCADA надсилає відповідним диспетчерам ОСР інформацію про обсяг необхідного зменшення електроспоживання у певному регіоні України;

2) диспетчер ОСР, який отримав команду від диспетчера НЕК «Укренерго» на зменшення навантаження, формує відповідний сигнал, який надсилається до електронної системи «Дія» із визначенням місцевості, у якій необхідно зменшити електроспоживання;

3) застосунок «Дія» розсилає оповіщення громадянам, які зареєстрували у застосунку своє місце проживання на визначеній території.

Сигнал оповіщення може містити, наприклад, наступну інформацію:

«Шановні споживачі електроенергії! Просимо терміново вимкнути електроприлади великої потужності (бойлери, пральні та посудомийні машини, електроплити та інші) з метою зменшення навантаження на енергосистему країни. У випадку ігнорування цього повідомлення, через 15(20) хвилин будуть застосовані графіки аварійних відключень».

Система оповіщень передбачає солідарну відповідальність побутових споживачів за адекватну реакцію на сигнал про потребу зменшити електроспоживання і високого рівня відповідальності не слід очікувати. Тим не менш, в разі отримання споживачем сигналу про ймовірність аварійних відключень електропостачання, від споживача очікуються наступні мінімальні дії:

- збереження відкритих на настільному комп'ютері документів та ймовірне вимкнення комп'ютера для запобігання його пошкодженню внаслідок раптового зникнення електричного живлення;
- утримання від увімкнення потужних електроприладів, в яких повне виконання заданих функцій здійснюється за значні проміжки часу (посудомийні машини, пральні машини, електричні прилади для приготування їжі із програмованими функціями);
- ймовірне зменшення потужності електричних обігрівачів, бойлерів, пральних та посудомийних машин, електрочайників, тощо;
- вимкнення частини освітлювальних приладів та систем.

Таким чином, система оповіщень про ймовірність аварійних вимкнень електричної енергії, як мінімум, призводитиме до не збільшення обсягів електроспоживання, а в ряді випадків – до помітного зменшення електричного навантаження у системі розподілу.

Тарифні стимули до зміни графіків електроспоживання.

В Україні вже багато років для побутових споживачів пропонуються тарифні плани зі зменшеною вартістю електричної енергії у нічні години доби. Застосування таких тарифних планів стимулює споживача електричної енергії переносити запуск потужних побутових приладів на нічні години доби. При цьому сучасні технології дозволяють споживачу не здійснювати ввімкнення електроприладів безпосередньо у задану годину доби. Так багато сучасних побутових приладів мають функцію «відкладеного старту», за допомогою якої можливо запрограмувати автоматичне увімкнення приладу у нічний час. Аналогічні можливості надають сучасні «розумні розетки».

Побутові споживачі в Україні, як правило, пасивно ставляться до переходу на електроспоживання з кількома тарифами, оскільки впровадження таких систем розрахунків вимагає встановлення відповідних багатотарифних лічильників електричної енергії. При цьому в ряді випадків споживачі змушені сплачувати вартість нових лічильників та витрати на їх встановлення.

Тому, для пришвидшення процесів розповсюдження багатотарифних лічильників електроенергії, необхідна спеціальна державна програма оновлення лічильників електричної енергії для побутових споживачів.

Сплачувана послуга зміни електроспоживання. Сучасні технології в електротехніці дозволяють автоматизувати процес зменшення потужності за запитом диспетчерського центру тих електроприладів, для яких зменшення потужності не призводитиме до фатального зниження якості результатів їх роботи (наприклад, для електричних обігрівачів та електричних бойлерів). Система автоматичного зменшення потужності побутових електроприладів вимагає встановлення лічильників електроенергії із віддаленим зчитуванням обсягів спожитої електричної енергії для контролю фактичного надання споживачем такої послуги та її фактичного обсягу. Принципово можливі два варіанти реакції споживача на сигнал про зменшення електроспоживання:

- самостійне зниження потужності чи вимкнення електроприладів;
- автоматична зміна потужності електричних приладів за віддаленою командою диспетчерського центру.

Автоматизація процесів регулювання обсягів електроспоживання вимагає розв'язання ряду складних технічних завдань (передусім організації каналу віддаленого управління потужністю окремого електричного приладу). Тому наразі більш перспективним вбачається впровадження послуги зменшення електроспоживання з безпосередньою реакцією споживача на сигнал від

диспетчерського центру. Для реалізації такої системи мінімально необхідно:

- спеціальна державна програма оновлення лічильників із функціями віддаленого зчитування обсягів спожитої електричної енергії для побутових споживачів;
- створення системи оповіщення побутових споживачів про потребу зменшення обсягів електроспоживання;
- розробка узгоджених із Оператором системи розподілу та електропостачальником спеціалізованих тарифних планів із економічними стимулами для споживача щодо надання послуги зменшення електроспоживання за запитом диспетчерського центру.

ВИСНОВКИ:

Аналіз наслідків обмежень електропостачання в умовах дефіциту генерації в енергосистемі висвітив потребу активізації процесів впровадження методів та засобів управління електроспоживанням ("Demand Response"). На короткострокову перспективу, зокрема на час проходження осінньо-зимового максимуму на-

вантажень у 2023-2024 рр., найбільш доцільним, з точки зору витрат часу на реалізацію, є застосування такого способу регулювання споживання, як «Інформування населення про дефіцит генерації в енергосистемі».

За умови активного долучення до його реалізації фахівців профільних міністерств (зокрема Міністерства енергетики України та Міністерства цифрової трансформації України), Оператора системи передачі та Операторів систем розподілу, а за необхідності – органів місцевого самоврядування, можливо у найкоротші терміни реалізувати механізм інформування населення про дефіцит генерації в енергосистемі через застосунок «Дія», та, як наслідок – зменшити кількість застосувань графіків аварійних відключень споживачів при проходженні ОЗП 2023/2024 рр.

Доцільно також запроваджувати такі методи регулювання електроспоживання, як «Тарифні стимули до зміни графіків електроспоживання» та «Сплачувана послуга зміни електроспоживання». Проте, такі заходи мають довготривалий період реалізації, і помітний ефект від їх впровадження слід очікувати у більш тривалій перспективі. ■

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- Концепція впровадження "розумних мереж" в Україні до 2035 року. Розпорядження КМУ від 14.10.2022 р. № 908-р.
- ІНСТРУКЦІЯ про складання і застосування графіків обмеження та аварійного відключення споживачів, а також протиаварійних систем зниження електроспоживання (посилання на електронний ресурс: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0151-07#Text>);
- Посилання на електронний ресурс: <https://www.kmu.gov.ua/news/grafiki-avarijnogo-vidklyuchennya-elektropostachannya-yak-koli-i-dlya-chogo>;
- Посилання на електронний ресурс: https://en.wikipedia.org/wiki/Demand_response;
- Посилання на електронний ресурс: <https://www.entsoe.eu/cep/>;
- Посилання на електронний ресурс: <https://razumkov.org.ua/statti/vprovadzhennia-sistemy-upravlinnia-popytom-elektroenergii-v-ukraini-chastyina-1-oglyad-svitovykh-praktyk>;
- Посилання на електронний ресурс: <https://core.ac.uk/download/pdf/323535909.pdf>;
- Посилання на електронний ресурс: <http://pema.khpi.edu.ua/article/view/260467>;
- Посилання на електронний ресурс: <https://www.energy.gov/oe/demand-response>;
- Посилання на електронний ресурс: <https://corporate.enelx.com/en/question-and-answers/what-is-demand-response-how-does-it-work>.
- Sharma, A.K., Saxena, A. A demand side management control strategy using Whale optimization algorithm. SN Appl. Sci. 1, 870 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0899-0>
- R. Deng, Z. Yang, M. -Y. Chow and J. Chen, «A Survey on Demand Response in Smart Grids: Mathematical Models and Approaches,» in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 11, no. 3, pp. 570-582, June 2015, doi: 10.1109/TII.2015.2414719.