

Кулапін О.В., аспірант
Махотіло К.В., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

УСЕРЕДНЕНА ПОВЕДІНКОВА МОДЕЛЬ НАВАНТАЖЕННЯ ПОБУТОВОГО СПОЖИВАЧА

Протягом останнього десятиліття виникла проблема ефективного управління зростаючим обсягом нестабільних відновлюваних джерел енергії, таких як фотоелектричні системи, та змінливого попиту на електроенергію від нових споживачів, таких як електромобілі та індивідуальні системи зберігання енергії. Ця проблема викликає значний інтерес у високотехнологічних дослідженнях [1]. Дослідження показують, що процеси споживання енергії домогосподарств та виробництва в житловому секторі є недостатньо дослідженими та слабо контрольованими в енергетичних системах. З'являється новий учасник у енергетичних системах - просьюмери, що означає побутових абонентів, які можуть виробляти енергію, а не лише споживати.

Класичні підходи до моделювання енергоспоживачів базуються на використанні даних про всі доступні електроприймачі чи історії загального енергоспоживання. Ці методи використовуються для розрахунку або передбачення майбутнього енергоспоживання. Вони мають свої переваги та недоліки, але всі вони вимагають значної кількості точних і докладних даних про споживачів. У випадку домогосподарств, збір таких даних ускладнюється як великою обсяговістю, так і конфіденційними вимогами.

З появою нових видів споживачів, таких як електромобілі та домашні системи зберігання енергії, виникають проблеми з недостатністю глибоких фонових даних про їхні навантаження. У зв'язку з цим виникає потреба в розробці методів моделювання навантаження побутових споживачів і просьюмерів, що зможуть точно відтворювати особливості графіків навантаження як існуючих споживачів, так і нових, що нещодавно приєдналися до енергосистеми.

Методи моделювання енергоспоживання домогосподарств можна поділити на дві основні категорії: "зверху-вниз" і "знизу-вгору". Моделі "зверху-вниз" оцінюють загальне енергоспоживання житлового сектору енергосистеми країни або регіону, а потім конвертують ці загальні дані в інформацію про енергоспоживання конкретного побутового споживача. Ці моделі можуть відносно легко враховувати зміни макроекономічних показників, таких як ціни на енергоносії та рівень доходів, а також темпи розвитку технологій та зміни клімату. З іншого боку, моделі "знизу-вгору" описують споживання енергії окремими споживачами або будинками, а потім екстраполюють ці результати на рівень міста, регіону або країни.

Яскравим прикладом моделей «зверху-вниз» є типові графіки електричних навантажень. Зазвичай вони будуються на основі даних режимного дня або на усереднених даних репрезентативних споживачів. Об'єктом дослідження є моделі побутового навантаження, придатні для вирішення завдань управління роботою вузла розумної мережі котеджного селища просьюмерів. Для досягнення цієї мети використовувалися типові графіки навантаження середньостатистичної сім'ї, яка включає двох працюючих дорослих і двох дітей. Однак ці графіки мають занадто плавний характер, що може ускладнити алгоритми управління при зіткненні з різкими змінами в реальних профілях навантаження. Оскільки відсутні архівні дані щодо енергоспоживання конкретного споживача, для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати модель поведінкового навантаження.

Аналізуючи режими споживання нового абонента, для якого відсутня історія даних щодо його навантаження, складно використовувати традиційні регресійні моделі. В цьому випадку, ефективним видається підхід, представлений у роботі [3]. Зокрема, це множинна регресія, яка враховує поведінкові патерни використання електроприладів у побуті. У цій моделі кожен мешканець домогосподарства розглядається як незалежний агент, який керується власними бажаннями та типовими моделями поведінки. Згідно з психологічною моделлю поведінки, люди приймають рішення, включаючи використання електроприладів, враховуючи свої поточні бажання та обираючи оптимальні дії з наявних варіантів. Модель поведінкового навантаження використовує спрощені моделі бажань

побутового споживача електроенергії. Наприклад, кожні 5 годин виникає бажання поїсти, а вранці робочого дня появляється бажання вийти на роботу. Вибір доступних дій для людини, яка споживає енергію та прагне задовольнити свої бажання, залежить від наявних в домогосподарстві пристроїв, таких як мікрохвильова піч, електрочайник, лампи, водонагрівачі тощо. Зрозуміло, що момент виникнення бажань і вибір способів їх задоволення є випадковими величинами з певними законами розподілу ймовірностей.

На основі проведених досліджень виявлено, що вказаний підхід ефективно використовується для створення реалістичних профілів навантажень різних домогосподарств, які точно відтворюють особливості їх реальних графіків навантажень. Ці особливості включають розташування і форму максимумів і мінімумів навантажень, кількість і величину стрибків навантаження, а також коефіцієнти форми і заповнення графіків.

Однак використання графіків, отриманих за допомогою такого підходу, також не відповідає вихідному завданню для подальшого моделювання розумної мережі. Кожен створений графік є випадковим та унікальним, і може значно відрізнятися від інших реалізацій щодо наповнення, розміру та часу максимумів і мінімумів вторинного навантаження (рис. 1). Такі відхилення можуть виникати, наприклад, через хаотично розподілені рішення членів сім'ї щодо готування їжі, прання або виходу з дому. Вони є необхідною складовою поведінкової моделі.

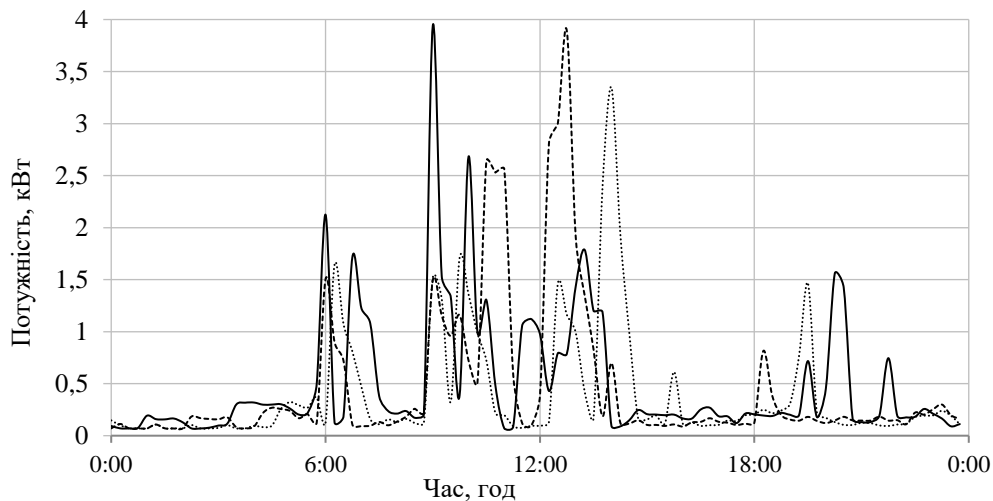


Рисунок 1 - Різні реалізації графіків випадкового навантаження

Для налаштування алгоритму управління розумним вузлом мережі необхідний графік навантаження, який повторюється та відображає специфіку реального споживання, але при цьому відсутні нетипові відхилення. З метою отримання такого графіка пропонується усереднити випадкові профілі навантажень в певні інтервали часу. Для побудови моделі навантаження введено кілька рівнів розбиття даних на часові інтервали. На першому рівні весь рік поділяється на тимчасові проміжки, коли тривалість світлового дня не змінюється більше ніж на 15 хвилин. Можна припустити, що в межах кожного інтервалу режими використання освітлювальних приладів залишаються незмінними. Для широти Харкова налічується 24 таких інтервали тривалістю 10-26 днів.

В кожному інтервалі поділяються на робочі дні та вихідні. Для аналізу побутових споживачів, їх графіка навантаження вихідного дня вирізняється наявністю ранкових і денних максимумів, які за розміром схожі на вечірню максимальну завантаженість робочих днів. Навіть при певних різницях це дослідження не враховує вихідні, святкові дні, суботу та неділю, щоб уникнути зайвих деталей.

Усереднений графік навантаження розташовується між типовим графіком навантаження та випадковим графіком. Його характеристики включають безліч вторинних піків, що зосереджені в області ранкових та вечірніх максимумів, а також піки в інший час доби, характерні для графіків навантаження домогосподарств. Це важливо при використанні моделі для налаштування управління індивідуальною системою накопичення енергії просьюмера. Усереднений графік має сталу добову норму споживання енергії і залишається незмінним. З іншого боку, в порівнянні з випадково

згенерованим графіком, усереднений графік має менший діапазон коливань потужності навантаження (в 2-3 рази), що означає відсутність різких піків навантаження, пов'язаних з одночасним використанням потужної побутової техніки. Недолік такого графіка компенсується енергетичним буфером, який підключений паралельно до основної літій-іонної батареї в системі накопичення енергії просьюмера. Ця модель навантаження використовується для вибору алгоритму управління основними акумуляторами і передає всі особливості енергоспоживання просьюмера в рамках визначеної задачі. Запропонований підхід до моделювання навантаження споживачів-просьюмерів відповідає вимогам задачі управління розумною мережею.

Список використаних джерел:

1 Кулапін О. В., Підходи до визначення та стан розвитку концепцій інтелектуальних енергосистем і віртуальних електростанцій / О. В. Кулапін, К. В. Махотіло // Вісник Національного технічного університету «ХПІ», Серія: Енергетика надійність та енергоефективність, № 29 (1354) 2019. - С. 91-96.

2 Кулапін О. В., Моделювання смарт-мережі споживачів-просьюмерів з фотоелектричними системами / О. В. Кулапін, К. В. Махотіло // Вісник Національного технічного університету «ХПІ», № 14 (1339), 2019. – С. 61-66.

3 Pflugradt, N.; Platzer, B. Behavior based load profile generator for domestic hot water and electricity use // Innostock 12th International Conference on Energy Storage, Lleida, 2012.