

А.І. Замулко, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0001-8018-6332  
О.С. Іщенко, аспірантка, ORCID 0000-0003-3315-4842  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського"

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТАРИФІВ НА ПЕРЕРИВАННЯ В УМОВАХ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

*Використання графіків відключення обмеження споживачів від електроенергії для зменшення навантаження ОЕС України є застарілою моделлю і не може відповідати нормам та вимогам нової моделі ринку електричної енергії України. Вивчення бажань та потреб споживачів є досить перспективним напрямом у підвищенні ефективності функціонування механізму балансування на ринку електроенергії та є важливим фактором при розрахунку тарифів на переривання. У даній роботі для мінімізації витрат через переривання електроенергії у споживача розглянуто створення гібридного економетричного підходу, який об'єднує переваги і дозволяє мінімізувати недоліки двох моделей: популярної моделі опитування споживачів та економетричної моделі. Економетрична модель, яка використовує додану вартість, створену групою споживачів за рік, є практичним способом оцінки витрат на заплановані відключення. Метод опитування споживачів є найпопулярнішим інструментом для оцінки надійності в умовах ринку електричної енергії. У роботі пропонується використовувати загальнодоступні дані споживачів зібраних за допомогою простого опитування споживачів щодо їх дії у разі небажаних перебоїв з подачі електричної енергії з урахуванням специфіки їх роботи. Варто зазначити, що дане дослідження фокусується на сценарії переривання, який призведе до найбільших витрат при відключенні, воно охоплює лише зимові відключення після обіду та виключає вплив різниці часу доби та сезону.*

**Ключові слова:** обмеження споживачів електричної енергії, вартість переривання для споживача, тарифи на переривання, економетрична модель, опитування споживачів, гібридна модель.

**Вступ.** Закон України «Про ринок електричної енергії» поставив питання перегляду ряду нормативних документів з організації обмеження споживачів на роздрібному ринку електричної енергії. Для керування безпекою постачання електричної енергії і мінімізації відключень електроенергії у споживачів на роздрібному ринку існує необхідність узгодження принципів і інструментів для організації такої роботи на ринку.

Відсутність ефективного впровадження механізму балансування на ринку електричної енергії України створює всі умови для ймовірних відключень електроенергії у споживачів, що в свою чергу може принести значні економічні збитки всім учасникам ринку.

Низький рівень інтеграції ОЕС України з енергосистемами інших країн створює умови, в яких залучення можливостей споживачів щодо керування своїм електроспоживанням зможе істотно вплинути на вирішення питання забезпечення надійності електропостачання споживачів і стабільної роботи енергосистеми в цілому.

Необхідність забезпечення балансу між побажаннями споживачів електричної енергії та можливостями суб'єктів електроенергетики є досить перспективним напрямом у підвищенні ефективності функціонування та удосконалення механізму балансування на ринку електроенергії та є важливим фактором при розрахунку тарифів на переривання.

**Мета роботи:** підвищення ефективності функціонування механізму балансування на ринку електричної енергії України шляхом залучення можливостей тарифних систем.

### **Матеріал і результати досліджень**

**Аналіз ситуації з ймовірними відключеннями споживачів електричної енергії.** Відсутність палива на станціях, незбалансованість планування енергоспоживання і проведення ремонтів негативно впливають на надійність і безперебійність електропостачання [1]. До визначальних ризиків, усунення або мінімізація яких має бути реалізована на ринку електричної енергії можна віднести:

- збільшення імпортової залежності від постачання вугілля та газу на виробництво електричної енергії - являє собою політичний, екологічний і соціальний ризик з високою ймовірністю настання і несе в собі значні наслідки.

-розвиток генеруючих потужностей (будівництво нових та /або реконструкція діючих) з необхідними за критеріями операційної безпеки характеристиками – являє собою технологічний ризик з високою ймовірністю настання і несе в собі критичні наслідки.

-недофінансування в розвиток електричних мереж через недостатній обсяг інвестицій.

-зниження рівня технічного та оперативного обслуговування електричних мереж.

Удосконалення методів та моделей для розрахунку обмежень цін може призвести до посилення конкуренції та інновацій на балансуєчому ринку.

#### **Графіки обмеження споживачів електричної енергії.**

У попередній моделі ринку електричної енергії для зменшення дефіциту потужності було обрано графіки обмеження та аварійного відключення споживачів. Ці неринкові механізми обмеження споживачів електричної енергії є застарілим варіантом і не мають місця впровадженій новій моделі ринку електроенергії України [8]. Згідно Закону [9] для забезпечення безпеки постачання електричної енергії учасники ринку повинні планувати і вживати заходів відповідно до Правил про безпеку постачання електричної енергії.

Принципово вимогою Закону [9] є необхідність забезпечення балансу між побажаннями споживачів та можливостями суб'єктів електроенергетики, зокрема в частині, забезпечення надійного постачання електричної енергії. Тому важливим є :

- 1) розробка системи показників для оцінки надійності електропостачання;
- 2) встановлення відповідальності суб'єктів електроенергетики та споживачів за зниження рівня надійності постачання електричної енергії;
- 3) встановлення відповідності плати за електричну енергію з нормованим рівнем надійності з її фактичним рівнем.

Все це є досить перспективним напрямом у підвищенні ефективності функціонування та удосконалення механізму балансування на ринку електроенергії та є важливим фактором при розрахунку тарифів на переривання.

**Використання фінської моделі в умовах ринку електричної енергії України.** У цій роботі використані результати опитування споживачів для оцінки витрат на переривання споживача (ВПС) від електроенергії, проведене у Фінляндії [10]. Поєднання результатів цього опитування з аналітичними методами, представляє більш об'єктивну, просту у здійсненні та оцінці та більш надійну гібридну методологію. Використання даного методу в українських реаліях дозволить знайти підхід до споживача шляхом виявлення специфіки і потреб кожного. Рухаючись від часткового до загального – від виявлення потреб окремого споживача в окремій галузі можна зробити припущення, що у більшості випадків поведінка схожих за параметрами споживачів у даній галузі може бути схожа, отже і гібридна модель може стати універсальною для галузі в цілому.

Існує дві ситуації, коли проводиться оцінка витрат на переривання споживача. Перша ситуація - методологія збору необхідних вхідних даних та відповідних інструментів для оцінок та пропозицій щодо економічної доцільності ВПС. Коли обрано відповідний інструмент для збору даних, виникає наступний момент. Як необроблені дані можна і потрібно інтерпретувати, щоб отримати якомога прозоріші результати, це є другою фазою повного та надійного аналізу ВПС.

#### **Підходи до аналізу витрат на переривання споживача.**

Будучи популярною сферою інтересів, існує багато запропонованих методологій оцінки ВПС. У звіті робочої групи CIGRE за 2001 р. вони згруповані як непрямі аналітичні методи, опитування споживачів [11].

#### **Непрямі аналітичні методи**

Ключова ідея цього підходу полягає у використанні загальнодоступних та об'єктивних даних для вивчення ВПС представлених у табл.1 [12–14].

Таблиця 1 – Дані для вивчення ВПС

Валовий внутрішній продукт (ВВП)	Річне споживання енергії	Досягнута пікова потужність	Оборот або створена додана вартість у країні, регіоні чи групі споживачів
----------------------------------	--------------------------	-----------------------------	---

Цей метод може бути вигідним з точки зору простоти і вимагає набагато менше використаних періодів для дослідження, дешевший та найголовніше, що даний метод призводить до об'єктивних оцінок у порівнянні з іншими. Наприклад, визначення функції збитків для споживачів (ФЗС) шляхом ділення ВВП на річне споживання енергії в країні дає приблизне уявлення про грошові втрати, зазанані цією країною протягом певного періоду часу. Тим не менше, запропоновані витрати споживача за допомогою цього методу дають середні результати, оскільки всі сегменти споживачів з чіткими характеристиками

споживання електроенергії аналізуються разом. Через це аналітичні методи не завжди доцільно використовувати для обробки даних.

### Опитування споживачів

Найбільш поширений інструмент для оцінки витрат на відключення [15–23]. В опитуваннях споживачів основною задачею є якомога найкраще оцінити свої збитки. Цей підхід є досить специфічним для споживача, але вважається об'єктивнішим за інші. Розробляючи гіпотетичні сценарії відключень за допомогою ретельно підготовленої анкети, споживачу пропонується оцінити економічні збитки, що були зазначені протягом заздалегідь визначеного сценарію. Існує три основних способи збору даних. Перший - це метод готовності прийняти (ГП). ГП споживач має визначити суму компенсації, яку він/вона готовий прийняти, щоб зазнати гіпотетичного відключення. Інший - метод готовності платити (ГПл). Тут, щоб уникнути певного відключення, споживач визначає суму грошей, яку він/вона готовий заплатити. Теоретично об'єктивна оцінка результатів ГП та ГПл очікується однаковою. Економічна цінність певного переривання в певному середовищі повинна бути унікальною за своєю природою, оскільки, наприклад, вартість одного конкретного зіпсованого матеріалу однакова, і вона повинна бути незалежною від того, хто оцінює витрати. Тим не менше, опитування споживачів [24] показують, що між показниками ГП та ГПл існує значний розрив. Це цілком очікувана ситуація, коли враховується поведінкова упередженість споживача. Можна очікувати, що хтось схильний перебільшувати свої втрати, і він/вона готовий вимагати вищої компенсації у випадку тієї ж ситуації, тоді як інший у такій же ситуації готовий платити набагато менше, щоб уникнути цього. Цей феномен робить довіру до цих методів досить низькою. Однак, встановлюючи нижчі та вищі межі очікуваних витрат на відключення, це цінний інструмент для досліджень ГП та ГПл [24]. Третім і останнім способом збирання даних для опитування споживачів є підхід прямої вартості (ПВ). За допомогою підходу ПВ споживача безпосередньо просять надати відповіді з приводу економічної цінності окремих сценаріїв відключення. Безпосередня оцінка економічних збитків зменшує упередження, які можуть виникнути. Тому цей прийом вважається більш надійним у порівнянні з першими двома. Однак існує наступні проблеми - проблема нульових відповідей та стратегічних реакцій є критичним моментом для дослідження.

Ретельно розроблена анкета опитування споживачів є першою умовою надійного дослідження ВПС. Існує багато факторів, що визначають економічні збитки, пов'язані з перебоями. Сюди входять тривалість і частота відключення електроенергії, сезон, в якому спостерігається переривання (влітку чи взимку), час виникнення (під час або поза робочим часом) та характер відключення (попередньо повідомляється про несподіване відключення або це заплановане відключення). В опитуванні споживачів респондентам пропонувалося передбачити свої збитки у випадку різних сценаріїв відключення, які відрізняються від факторів, наведених вище. Загалом було опитано більше двохсот споживачів комерційного сектору, що дало близько 55% відповідей.

Анкета для сектору послуг (представлена у табл.2) включає низку запитань для кожного споживача.

Таблиця 2 - Анкета з запитаннями для споживача сектору послуг

1.	Щорічне споживання енергії (кВт*год)			
2.	Оборот на рік (€)			
3.	Додана вартість у розрахунку на рік (€)			
4.	Доходи та витрати на рік (€)			
	4.1 прибуток	4.2 зарплата	4.3 матеріал	4.4 витрати
	4.5 амортизаційні відрах. та ін. витр.			
5.	Оцінка витрат на 1, 4 та 8 год несподіваних відключень протягом (€) робочої години			
	1 година		4 години	
			8 годин	
6.	Оцінка витрат на 1, 4 та 8 год несподіваних відключень на вулиці у робочі години (€)			
	1 година		4 години	
			8 годин	
7.	Оцінка витрат на 1 та 8 год запланованих відключень під час робочих годин (€)			
	1 година		8 годин	
8.	Оцінка витрат на 1 та 8 год запланованих відключень поза робочих годин (€)			
	1 година		8 годин	
9.	Оцінка витрат на 1, 4 та 8 год несподіваних відключень у літній період (€)			
	1 година		4 години	
			8 годин	
10.	Оцінка витрат на 1, 4 та 8 год несподіваних відключень у зимовий період (€)			
	1 година		4 години	
			8 годин	
11.	Оцінка витрат на 1 та 8 год запланованих відключень влітку (€)			
	1 година		8 годин	
12.	Оцінка витрат на 1 та 8 год запланованих відключень взимку (€)			
	1 година		8 годин	

У літературі більшість досліджень використовують секторні функції пошкодження споживачів (СФПС), класифікуючи споживачів за галузями промисловості, сфери послуг (або комерції), житла, сільського господарства тощо [25-29]. СФПС створюється шляхом усереднення даних про витрати на відключення, зібраних за допомогою опитувань споживачів, а потім нормалізації величини або середньорічним споживанням енергії, або середнім піковим запитом на енергію тієї ж групи споживачів. При створенні унікальних СФПС кінцевою метою є отримання конкретних результатів оцінки замовника. Однак серед тих самих секторів існують сегменти споживачів, які мають абсолютно різні характеристики використання електроенергії з досить чіткими наслідками можливих сценаріїв відключення. Ось чому застосування інструменту СФПС може дати досить об'єктивні розрахунки. Щоб отримати більш конкретні оцінки споживачів, у цьому опитуванні споживачі сектору послуг у Фінляндії були розділені на підгалузі загальної торгівлі, універмагу, іншої роздрібною торгівлі, готелів, ресторанів, спорту, охорони здоров'я та інших. Дотримуючись цієї логіки, протягом процесу аналізу були визначені та використані функції пошкодження споживачів підсектора (СФПС). У цьому дослідженні нормалізуючими факторами впливу на щорічне споживання енергії споживачами були обрані наступні СФПС:

$$\text{ВПС}_o = \frac{\text{РО}}{\text{РС}}, \quad [\text{€/кВт} \cdot \text{год}] \quad (1)$$

де, РО – річний оборот споживача за t год, РС – річне споживання електроенергії споживачем.

$$\text{ВПС}_{\text{дв}} = \frac{\text{РДВ}}{\text{РС}}, \quad [\text{€/кВт} \cdot \text{год}] \quad (2)$$

де, РДВ – річна додана вартість замовника за t год, РС - річне споживання електроенергії споживачем.

$$\text{ВПС}_{\text{зв}} = \frac{\text{ПВЗВ}}{\text{РС}}, \quad [\text{€/кВт} \cdot \text{год}] \quad (3)$$

де, ПВЗВ – повідомлена вартість замовнику для запланованого відключення протягом t год, РС - річне споживання електроенергії споживачем.

$$\text{ВПС}_{\text{нв}} = \frac{\text{ПВНВ}}{\text{РС}}, \quad [\text{€/кВт} \cdot \text{год}] \quad (4)$$

де, ПВНВ – повідомлена вартість замовнику за несподіване відключення протягом t год, РС - річне споживання електроенергії споживачем.

Непрямий аналітичний підхід застосовує ФЗС, збираючи всі підгалузі споживачів в одну групу. У цій роботі було проаналізовано конкретного споживача, і отримані в результаті СФПС ( $\text{ВПС}_t$  та ) називаються функціями економічної моделі пошкодження.

У процесі нормалізації витрат на відключення річний робочий час для споживачів сфери послуг був обраний 3000 годин [30]. Для кожного підгалузі споживачів було проведено аналіз оцінки ВПС.

У цій роботі обробляється та аналізується лише один сценарій, що показує результати при відключенні електричної енергії. Географічне положення Фінляндії характеризується холодним кліматом і м'яким літом. Це призводить до меншого використання кондиціонерів у літній період у порівнянні з іншими країнами, де піки споживання електроенергії спостерігаються влітку. Отже, кращим сценарієм відключення є повідомлення про заплановані відключення взимку в робочий час, що відповідає перервам влітку вдень для більшості інших країн.

Перейдемо до другого етапу. Як коротко зазначалося раніше, існують певні занепокоєння та невизначеності щодо методу опитування споживачів. Найбільш тривіальним є підготовленість респондентів. Енергоємні споживачі частіше всього наймають кваліфікований персонал, який знає про залежність бізнесу від електроенергії та про можливі економічні наслідки потенційних перебоїв з подачі електричної енергії. Хоча точне прогнозування збитків неможливе, ці фахівці можуть інформувати про наслідки відключення електроенергії з більшою достовірністю. Однак, більшість споживачів є споживачами середнього та низького рівня за рівнем споживання електричної енергії. Чи достатньо кваліфіковані дані споживача, щоб повністю усвідомити економічні наслідки перебоїв в електромережі? Звичайно це сумнівно. Крім того, деякі респонденти визначають збитки як нульові лише для того, щоб якомога швидше заповнити анкету, хоча відомо, що в разі запропонованих гіпотетичних сценаріїв відключення має бути принаймні якась економічна втрата. Знову ж опитування показують, що деякі респонденти приводять невинувато високі грошові показники, щоб виразити свої збитки. Ці відповіді називаються та групуються як нульові відповіді та екстремальні відповідно. Іншим важливим моментом опитування є проблема стратегічного реагування. Під час опитування деякі респонденти можуть давати

навмисно неправильні відповіді, щоб вплинути та змінити результати опитування. Ці відповіді називаються стратегічними відповідями, і вони становлять значну загрозу загальній надійності досліджень. І нарешті, ще одним недоліком опитування споживачів є тенденція до перебільшення витрат. Це викликає підозру, що значна сума звітних витрат може бути вищою, ніж є насправді. Усі ці спостереження викликають критику щодо методології опитування споживачів, яка є вкрай суб'єктивною, і, таким чином, дає непереконливі результати для оцінки ВПС.

Для вирішення проблеми нульових відповідей та екстремальних реакцій набори даних повинні бути оброблені, щоб небажані та ненадійні точки даних були видалені. Для досягнення цієї мети існує безліч статистичних інструментів, які підходять для цього завдання. Для простоти, було використано стандартний тест на z-оцінку, щоб усунути нульові та екстремальні реакції. При стандартному нормальному розподілі 99,7% значень даних потраплять в межах 3 стандартних відхилень середнього значення в будь-якому напрямку. Коли z-оцінка обрана як 2,0, відсоток необроблених даних падає до 95%. Для того, щоб усунути як незначні, так і крайні випадки, у цьому дослідженні z-оцінка обрана рівною 2,0 для обробки необроблених наборів даних. Однак одна перешкода виникає при перевірці гістограми зібраних даних. Як видно з Рис. 1, гістограма відповідей опитування споживачів є досить перекошеною. Застосування методу усунення для обробки розподілу відповідей, який є неправильним, призведе до обробки занадто багатьох точок даних, більшість з яких мають відношення до процесу аналізу. Щоб подолати цю проблему, до набору даних застосовано наступну процедуру. Оскільки стандартний бальний тест має значення, коли його застосовують до нормального розподілу, перш за все набір даних перетворено у натуральні значення логарифму. При перевірці (Рис. 2.) видно, що гістограма натуральних логарифмів приблизно відповідає нормальному розподілу, що забезпечує здоровий процес елімінації з набору даних. Після встановлення z-оцінки на 2,0, відхилення були виявлені та піддані обробці. Нарешті, решта точок даних були перетворені назад до нормальних значень.

### Гібридна модель

Після ретельного скорочення проблема нульових та екстремальних реакцій була вирішена. Однак суперечка зі стратегічними відповідями все ще зберігається. Стратегічні відповіді, що лежать в необробленій області розподілу даних, не можуть бути усунені за допомогою статистичних інструментів. Фінське дослідження пропонує три різні підходи (найбільший ефект у середньому методі, метод найменших і найбільших грошових значень та найменший і найбільший метод ВПС / L-вартості) для подолання проблеми стратегічного реагування [31]. Інше дослідження, проведене в США, використовує регресію Тобіту для отримання більш надійних оцінок [32]. Насправді неможливо сказати, чи є відповідь стратегічною, якщо вона не виявляється як відхилення в процесі обробки. Цей факт створює загрозу для надійності та об'єктивності результатів досліджень споживачів. Використання даного методу є доцільним в умовах України, але слід ретельно підійти до побудови методології, яка використовуватиме опитування споживачів, а потім поєднає висновки цих опитувань з аналітичними даними для отримання гібридної моделі. Кінцевою метою є отримання оцінок, які буде легко розрахувати та які враховуватимуть відповіді споживача за допомогою загальнодоступних, об'єктивних та вільних даних. Щоб встановити зв'язок між аналітичними даними та оцінками ВПС, від споживачів сектору послуг було зібрано наступну статистику.

Доходи та витрати споживачів сфери послуг були згруповані та зведені на рис. 1. Коли розглядаються відображення відключень електроенергії на підприємствах, можна пов'язати витрати та збитки з ВПС за наступною логікою.

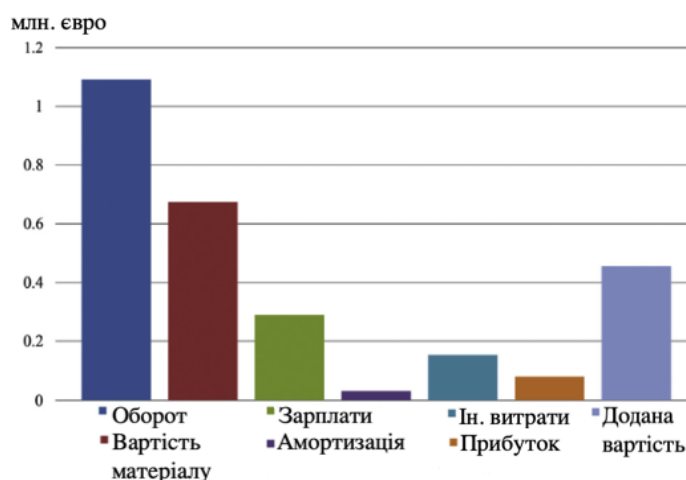


Рис. 1 - Розподіл доходів і витрат споживачів у сфері послуг

У разі перебоїв, коли бізнес не працює належним чином, персонал все одно отримує виплати за робочий час, що можна розцінити як непотрібні витрати. Це означає, що грошові виплати безпосередньо пов'язані з наслідками відключення електроенергії. Крім того, припускаючи, що під час відключення не відбувається продажів, оскільки товари не використовуються та не продаються, матеріальні витрати не мають значення для ВПС. Слід зосередитись на прибутку, а не на витратах на продаж, помітивши, що товари залишаються в бізнесі під час відключення, але прибуток втрачається, оскільки продажів немає. Тоді ВПС можна було б узагальнити як:

$$\text{ВПС} = \text{ВЗ} + \text{П} + \text{ШП} \quad (5)$$

де, ВЗ - Витрати на зарплату, П – Прибуток, ШП - Швидкопсувні (зіпсовані товари та збитки).

Всі витрати розраховуються під час переривання. З іншого боку, відомо, що:

$$\text{О} = \text{ДВ} + \text{МВ} + \text{ІВ} \quad (6)$$

де, О – Оборот, ДВ - Додана вартість, МВ - Матеріальні витрати, ІВ – Інші витрати.

Також,

$$\text{ДВ} = \text{ВЗ} + \text{П} + \text{ЗН} \quad (7)$$

де, ЗН – знос.

Якщо припустити, що сума амортизації незначна, у разі несподіваного відключення можна вивести:

$$\text{ВПС} = \text{ДВ} + \text{ШП} \quad (8)$$

У разі попередньо повідомленого відключення (планового відключення), споживачу дозволяється вживати запобіжних заходів, щоб мінімізувати наслідки переривання. Це означає, що кількість швидкопсувних матеріалів буде незначною. Тому оцінка ВПС для запланованих результатів буде приблизно такою:

$$\text{ВПС} = \text{ДВ} \quad (9)$$

тобто, витрати на відключення дорівнюють втраченій доданій вартості внаслідок перерваної діяльності в проміжку часу відключення.

Гібридний підхід просто використовує непрямі аналітичні методи для підрахунку втрати доданої вартості, а також використовує опитування споживачів, щоб з'ясувати вартість швидкопсувних речовин, яку можна буде побачити під час переривання. Теоретично результати ВПС запропонованої тут гібридної моделі мають бути досить близькими до результатів, отриманих при опитуванні споживачів. Однак насправді через стратегічні відповіді, відповіді невідповідальних споживачів та людський фактор завищення збитків, між гібридними ВПС та ВПС з опитування споживачів буде велика кількість помилок. Це спостереження можна узагальнити як:

$$\text{МОС} = \text{ГМ} + \text{ФСР} \quad (10)$$

де, МОС – модель опитування споживачів, ГМ – гібридна модель, ФСР – фактор стратегічного реагування. просто визначається як різниця між оцінками ВПС опитувань споживачів та розрахунками гібридного підходу. Для запланованих відключень гібридний підхід ВПС дорівнює , а для несподіваних відключень гібридний підхід ВПС дорівнює сумі та нормованої вартості швидкопсувних продуктів.

Для ілюстрації ідеї було розраховано ВПС моделі опитування споживачів (ВПС<sub>зв</sub> та ВПС<sub>нв</sub>) та ВПС економетричної моделі (ВПС<sub>т</sub> та ВПС<sub>дв</sub>) для кожного сегмента споживачів. Результати споживачів оптового продажу показані на рис. 2.

Як видно з рис. 2, спроба оцінити результат за допомогою економетричної моделі, використовуючи показники обороту споживачів, дає неприпустимо високі оцінки. З іншого боку, відповідно до співвідношень (8) - (10), висновки ВПС<sub>дв</sub> економетричної моделі СФПС у порівнянні з результатами опитування споживачів ВПС<sub>зв</sub> та ВПС<sub>нв</sub>. Отже, можна зробити наступні пропозиції:

$$\text{ВПС}_{\text{нв}} = \text{ВПС}_{\text{дв}} + \text{ШП/РС} + \text{ФСР} \quad (11)$$

$$\text{ВПС}_{\text{зв}} = \text{ВПС}_{\text{дв}} + \text{ФСР} \quad (12)$$

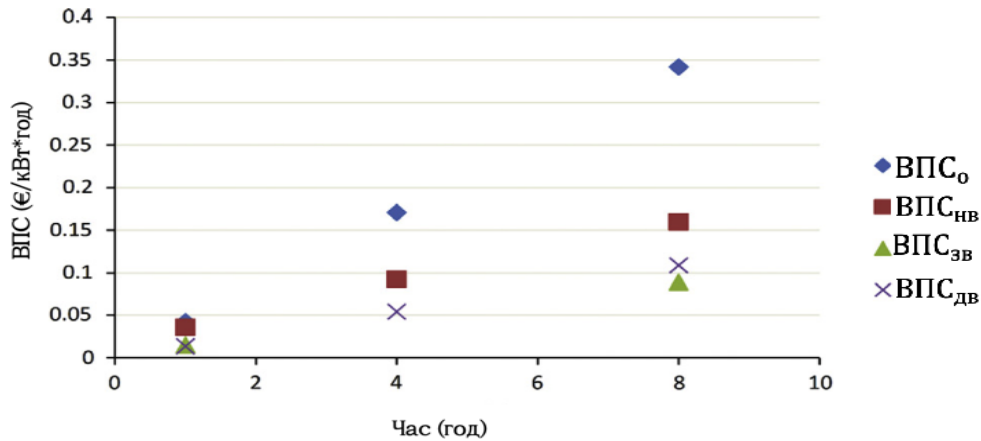


Рис. 2. Результати СФПС для всього сектору продаж споживачів в €/кВт\*год

Можливість застосування гібридної моделі для споживачів необмежена. Але якщо порівняти споживачів сектору послуг і споживачів металургійного сектору, виходячи із специфіки кожного можна найперше зазначити існуючу різницю між товарами. Як наслідок, наприклад кількість швидкопсувних матеріалів у споживачів металургійного сектору буде мінімальною, і можливість переносу споживання електричної енергії з пікових годин у непікові зони більш реальною ситуацією. Тобто, дана модель дозволяє отримати специфічну інформацію яка стосується не лише даного споживача але й схожих споживачів даної сфери. Найоптимальніше використання гібридної моделі можливе при об'єднанні інформації щодо можливостей переривання електричної енергії у споживачів в межах одної галузі.

За допомогою гібридної моделі, яка виграє у порівнянні з економетричним методом та опитуванням споживачів, замість проведення широкого та детального опитування споживачів, що зосереджується лише на економічній вартості зіпсованих матеріалів (швидкопсувних) та збитках, буде достатньо для розрахунку та рекомендації оцінок як для несподіваних, так і для запланованих перебоїв в електроенергії. Таким чином, відповіді на питання анкети буде набагато простіше для споживача, незалежно від того, чи є він/вона відповідальною особою чи ні. Більше того, оскільки вартість зіпсованого або пошкодженого матеріалу добре відома, рівень суб'єктивності у відповідях буде значно низьким. У цьому випадку фактор стратегічного реагування (ФСР) буде мінімальним. Отже, задля зменшення суб'єктивності процесу аналізу та забезпечення об'єктивних оцінок ВПС, тими, хто проводить відповідні дослідження, можна знехтувати значеннями ФСР. Таким чином, з меншими зусиллями та меншими витратами грошей на опитування споживачів, більш об'єктивні та більш конкретні оцінки споживачів будуть досягнуті швидше, ніж звичайні підходи. Узагальнимо:

За несподівані відключення:

$$ВПС_{нв} = ВПС_{дв} + ШП/РС \quad (13)$$

І на заплановані відключення:

$$ВПС_{зв} = ВПС_{дв} \quad (14)$$

Для перевірки теорії для обробки даних споживачів сектору універмагів застосовано регресійний аналіз. У звіті Національної лабораторії Ернеста Орландо Лоуренса Берклі [33] стверджується, що протягом перших 8 годин характеристика ВПС майже лінійна. Це спостереження узгоджується з висновками цієї роботи, тому обрано метод лінійної регресії для оцінок ВПС.

Для більш ретельного процесу дослідження за допомогою регресійного аналізу використовувались дані про відключення за 2 хв і 15 хв. Нехай розраховані лінійні рівняння мають формат  $y = mx + n$ .

Коефіцієнти рівнянь та коефіцієнт визначеності представлені в табл.3.

Таблиця 3 - Коефіцієнти регресії ВПС для споживачів сектору універмагів

	$m$	$n$	$R^2$
СІС <sub>сuo</sub>	0.0031	0.001	0.98
СІС <sub>рo</sub>	0.0025	0.0001	0.99
СІС <sub>va</sub>	0.002	2.00E-18	1

Гібридний підхід, який намагається пов'язати результати опитування споживачів з економетричною моделлю, зазнає невдачі у короткі періоди переривання. Одне з пояснень цього результату може полягати в тому, що споживачі погано усвідомлюють свої економічні втрати у випадку коротких перебоїв, і тому вони повідомляють про значно більші витрати на відключення, ніж це повинно бути для перебоїв, менших за 2 години. Однак, з іншого боку, із збільшенням часу відключення коефіцієнт варіації стабілізується приблизно на 20% та 40% для запланованих та несподіваних сценаріїв відключення відповідно. Відповідно до співвідношення (14) різниця у 20% може бути заявлена як ФСР, що охоплює стратегічні відповіді. Крім того, за співвідношенням (13) розрив між двома лініями визначає вартість швидкокопсувних продуктів. Як можна помітити, через певний час відносна вартість швидкокопсувних виробів дещо зменшується. Це цілком логічно, оскільки відомо, що якщо час переривання живлення стає довшим, споживачі починають вживати запобіжних заходів, щоб зменшити негативні наслідки події. Це сприяє зменшенню збитків та зіпсованих матеріалів. І отже, це закінчується зменшенням витрат на загальні втрати.

#### **Висновки**

1. Збільшення імпортової залежності від постачання вугілля та газу на потреби виробництва електричної енергії несе в собі значні ризики для України. У 2019 році частка імпортованого вугілля склала 25,6%, це на 3,4% більше ніж у 2018 році. При цьому з РФ на українські електростанції надійшло 5,31 млн т вугілля (частка — 88,4%), зі США — 693,9 тис. т (11,6%), з ПАР — 0,8 тис. т.

2. Вивчення потреб і бажань споживачів, а також усвідомлення основних механізмів балансування на ринку створить можливості для підвищення ефективності функціонування ринку електричної енергії України.

3. Вивчення оцінки перебоїв в електроенергетичній сфері, оцінки вартості надійності постачання електроенергії та витрати на переривання споживача (ВПС) є важливими і пріоритетними напрямками для вивчення, адже методологія побудови тарифів на ймовірне відключення має повністю базуватися на даних оцінках.

4. Використання гібридного підходу як методу для оцінки ВПС є прозорим, зручним у застосуванні та нарешті недорогим для кожного з учасників ринку електричної енергії: влади, комунальних підприємств та споживачів.

**A. Zamulko**, Cand. Sc., Assoc. Prof., **ORCID** 0000-0001-8018-6332

**O. Ishchenko**, PhD student, **ORCID** 0000-0003-3315-4842

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

## **PECULIARITIES OF USING TARIFFS FOR INTERRUPTION IN THE CONDITIONS OF THE ELECTRICITY MARKET OF UKRAINE**

*The use of schedules to disconnect consumers from electricity to reduce the load on the UES of Ukraine is an outdated model and may not meet the standards and requirements of the new model of the electricity market in Ukraine. The study of consumer desires and needs is a very promising area in improving the efficiency of the balancing mechanism in the electricity market and is an important factor in calculating interruption tariffs. In this paper, to minimize costs due to power outages, the consumer considers the creation of a hybrid econometric approach that combines the advantages and minimizes the disadvantages of two models: the popular consumer survey model and the econometric model. An econometric model that uses the added value created by a group of consumers for the year is a practical way to estimate the cost of planned outages. The method of consumer surveys is the most popular tool for assessing reliability in the electricity market. The paper proposes to use publicly available consumer data collected through a simple survey of consumers about their actions in case of undesirable power outages, taking into account the specifics of their work. It is worth noting that this study focuses on the interruption scenario that will lead to the highest shutdown costs, it covers only winter outages in the afternoon and eliminates the effect of the difference between time of day and season.*

**Keywords:** restrictions on electricity consumers, the cost of interruption for the consumer, interruption tariffs, econometric model, consumer surveys, hybrid model.

#### **REFERENCES**

1. Звіт за 2019 рік про результати моніторингу безпеки постачання електричної енергії
2. Report on the results of the National Commission for State Regulation in the Fields of Energy and Utilities in 2019 (hereinafter the NCRECP Reports) (NCRECP Resolution of 27.05.2020 №975);



3. Report on conformity assessment (sufficiency) of generating capacities (hereinafter - the Assessment Report), (resolution of the National Commission for Regulation of Economic Competition dated 13.03.2020 №605);
4. Transmission system development plan for 2020 - 2029, which was approved by the National Commission for Regulation of Economic Competition on March 13, 2020;
5. Report of the National Commission for Electricity Market Regulation on monitoring the functioning of the wholesale electricity market in the IV quarter of 2019;
6. Report of the National Commission for Regulation of Economic Competition on monitoring the functioning of the retail electricity market in the I, II, III, IV quarters of 2019;
7. Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness" (hereinafter - the Energy Strategy), approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 18.08.2017. №605-r.
8. Zamulko A., Veremiichuk Y. Organization of consumer restrictions on retail electricity market: legal issues. Power engineering economics, technique, ecology. 2018. No1. C. 23-32. ISSN 2308-7382 (Print).
9. On the electricity market: Law of Ukraine No. 2019-VIII of April 13, 2017.
10. Silvast A, Heine P, Lehtonen M, Kivikko K, Mäkinen A, Järventausta P. Sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuva haitta (Customer Interruption Costs in Finland). Tampereen teknillinen yliopisto: Teknillinen korkeakoulu; 2005.
11. Billinton JR et al. Methods to consider customer interruption costs in power systems analysis. CIGRE Task Force 2001.
12. Mok YL, Chung TS. Prediction of domestic, industrial and commercial interruption costs by relational approach. In: 1997 Fourth international conference on advances in power system control, operation and management.
13. Choi SB, Kim DK, Jeong SH, Ryu HS. Evaluation of the customer interruption cost taking into consideration macro economic approach in Korea. In: Proc. 2002 international conference on power system technology.
14. Praktiknjo AJ, Hähnel A, Erdmann G. Assessing energy supply security: outage costs in private households. Energy Policy 2011;39(12):7825–33.
15. Tollefson G, Billinton R, Wacker G, Chan E, Aweya J. Canadian customer survey to assess power system reliability worth. IEEE Trans Power Syst 1994;9(1):443–50.
16. Pandey M. Reliability worth assessment in a developing country – commercial and industrial survey results. IEEE Trans Power Syst 1999;14(4):1232–7.
17. Kjølle GH, Samdal K, Singh B, Kvitastein OA. Customer costs related to interruptions and voltage problems: methodology and results. IEEE Trans Power Syst 2008;23(3):1030–8.
18. Herman R, Gaunt CT. Direct and indirect measurement of residential and commercial CIC: preliminary findings from South African Surveys. In: Proc. 2008 of the 10th international conference on probabilistic methods applied to power systems, 2008. pp. 1–7.
19. Chowdhury AA, Mielnik TC, Lawton LE, Sullivan MJ, Katz A, Koval DO. System reliability worth assessment using the customer survey approach. IEEE Trans Ind Appl 2009;45(1):317–22.
20. Baarsma BE, Hop JP. Pricing power outages in the Netherlands. Energy 2009;34(9):1378–86.
21. Kufeoglu S, Lehtonen M. Customer interruption costs estimations for service sectors via customer survey method: a case study. Int Rev Electr Eng 2013;8(5):1532–8.
22. Kufeoglu S, Lehtonen M. A novel hybrid approach to estimate customer interruption costs for industry sectors. Eng, Spec Issue Power Electr Eng 2013;5(10A):34–40.
23. Kufeoglu S, Lehtonen M, Evaluation of power outage costs for industrial sectors in Finland. In: IET Conference Publications, Stockholm, (615 CP), 1044, 10–13 June 2013.
24. Lehtonen M, Lemström B. Comparison of the methods for assessing the customers' outage costs. In: International Conference on Energy Management and Power Delivery, Proceedings of EMPD, 1995.
25. Jonnavithula A, Billinton R. Features that influence composite power system reliability worth assessment. IEEE Trans Power Syst 1997;12(4):1536–41.
26. Sullivan MJ, Mercurio MG, Schellenberg JA, Eto JH. How to estimate the value of service reliability improvements. IEEE Power Energy Soc Gen Meet 2010:1–5.
27. Kjølle GH, Samdal K, Singh B, Kvitastein OA. Customer costs related to interruptions and voltage problems: methodology and results. IEEE Trans Power Syst 2008;23(3):1030–8.
28. Billinton R, Tollefson G, Wacker G. Assessment of electric service reliability worth. In: Third international conference on probabilistic methods applied to electric power systems, 1991.
29. Samdal K, Kjølle GH, Singh B, Kvitastein O. Interruption costs and consumer valuation of reliability of service in a liberalized power market. In: International conference on probabilistic methods applied to power systems, 2006.

30. Lehtonen M, Silvast A, Heine P, Kivikko K, Mäkinen A, Järventausta P. Outage costs in electrical distribution networks – a Finnish study. In: Nordic Distribution and Asset Management Conference NORDAC, Stockholm, 21–22 August 2006.

31. Kivikko K, Makinen A, Jarventausta P, Silvast A, Heine P, Lehtonen M. Comparison of reliability worth analysis methods: data analysis and elimination methods. IET Gener Transm Distrib 2008;2(3):321–9.

32. Sullivan M, Mercurio M, Schellenberg J, Freeman M. Estimated value of service reliability for electric utility customers in the United States. Ernest Orlando Lawrence, Berkeley, CA, USA: Energy Analysis Department; 2009.

33. Kristina Hamachi LaCommare, Joseph H. Eto. Understanding the cost of power interruptions to US electricity consumers. In: Ernest Orlando Lawrence, Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Berkeley, CA, 2004.

Надійшла 20.04.2021

Received 20.04.2021