

УДК 621.316.1

DOI: <https://doi.org/10.37734/2409-6873-2026-1-2>

ІТ-СЕКТОР УКРАЇНИ ПІД ЧАС БЛЕКАУТІВ: АНАЛІЗ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ОСР ЗА ІНДЕКСАМИ SAIDI/SAIFI¹

Є. Є. ЗАЇМОНСЬКИЙ

аспірант,

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9924-3541>

Анотація. *Мета дослідження:* здійснити комплексний аналіз надійності електропостачання за індексами SAIDI, SAIFI та статистикою переривань для операторів систем розподілу електричної енергії (ОСР) України та обґрунтувати рішення із забезпечення стабільності у роботі ІТ компаній. **Методика дослідження:** стандартизація показників, ієрархічна кластеризація (дендрограми) та метод *k*-середніх, класифікація та порівняння економічної доцільності технічних та методологічних рішень. **Результати:** встановлено стійке групування операторів, ідентифіковано кластер лідерів і групи ризику, знайдено стійку залежність середньої тривалості відключень, виявлено один з головних факторів суттєвого зниження наслідків блекаутів. **Практична значущість:** результати можуть бути використані для пріоритизації модернізації мереж і управління ризиками; для ІТ-компаній – для підвищення якості подолання наслідків блекаутів.

Ключові слова: надійність електропостачання, SAIDI, SAIFI, оператор системи розподілу (ОСР), кластерний аналіз, блекаути, ІТ-сектор.

Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями. Надійність електропостачання є одним із ключових чинників стабільного функціонування економіки, безпеки населення та стійкості критичної інфраструктури держави. В умовах зростання енергетичних ризиків, посилення екстремальних зовнішніх впливів та триваючих викликів для енергетичної системи України постає нагальна потреба у поглибленому аналізі якості роботи операторів систем розподілу електричної енергії (ОСР) та у пошуку системних закономірностей їхньої операційної діяльності. У сучасних умовах особливої ваги набувають кількісні індикатори надійності, зокрема SAIDI (System Average Interruption Duration Index), SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) та показники кількості переривань електропостачання, які відображають стан та ефективність роботи мережевого господарства.

Період 2022–2025 років для України став надзвичайно показовим у контексті якості та стабільності електропостачання. Руйнування інфраструктури, масштабні аварійні ситуації, форс-мажорні обставини й високий рівень невідомості створили унікальне середовище для дослідження поведінкових характеристик ОСР. На цьому тлі особливу цінність становить порівняльний аналіз динаміки операційних показників та пошук структурних груп операторів, що демон-

струють подібні профілі роботи. У цьому контексті методи кластерного аналізу надають можливість не лише виявити внутрішні закономірності у масивах даних, але й отримати інструменти для сегментації операторів за рівнем надійності, стабільності та ефективності.

Актуальність дослідження зумовлена також потребою у незалежних порівняльних оцінках роботи ОСР з великою кількістю споживачів. Оператори, що обслуговують понад 100 000 споживачів, мають вагомий вплив на загальнодержавний рівень енергетичної стійкості, а тому ідентифікація груп лідерів та аутсайдерів є важливою для формування політики модернізації, управління ризиками та вдосконалення нормативних механізмів.

Особливу увагу у роботі приділено аналізу відключень, спричинених форс-мажорними обставинами 2022–2024 років. Унікальний характер цих даних дає змогу оцінити ступінь вразливості мережевої інфраструктури до надзвичайних подій, визначити регіони з найкращими та найгіршими показниками стабільності, а також виявити операторів, які демонструють покращення або погіршення ситуації всупереч загальній тенденції.

Поряд з іншими сферами діяльності, перебої електропостачання безпосередньо впливають на продуктивність ІТ-компаній, відповідальних за важливіший напрям експортних сервісних послуг. Навіть короткі відключення спричиняють зриви

¹ Робота виконана в рамках НДР «Кібернетичні засади управління соціально-економічними системами» на кафедрі економічної кібернетики та прикладної економіки ХНУ імені В.Н. Каразіна (№ д/р. 0124U005272).



строків, заважають забезпеченню підтримки 24/7, ставлять під сумнів надійність у безперервному наданні послуг, що підвищує ризик невиконання умов співробітництва та втрати довіри клієнтів. Компанії змушені нести додаткові витрати на генератори, акумулятори, резервні канали зв'язку (Інтернет), оренду коворкінгів з автономним живленням тощо. Нестабільне живлення також підвищує технічні ризики, посилює кадровий тиск через перерви в роботі, нічні зміни та постійний стрес. У підсумку блекауту перетворюються на системний бар'єр для масштабування ІТ-бізнесу та збереження конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У 2022–2025 роках наукова література про блекауту в Україні сформувалася як міждисциплінарне поле, де масові відключення електроенергії трактуються не лише як технічна проблема надійності мереж, але і як ціла система технічних, інженерних, економічних та соціальних питань. П. Бетчер, Л. Рюдін Горжау, К. Бек, Р. Юмар, Х. Маас, В. Гагенмасер, Д. Вітгаут та Б. Шефер розглядають можливості для аварійної підтримки та подальшого розвитку міждержавних перетоків як наслідок інтеграційних процесів енергосистеми України з континентальною Європою [1]. Пакети швидких заходів пропонують Г. Захманн, Ф. Майснер та І. Репін [2]. В.В. Черкашина та О.В. Яковенко аналізують показники якості електропостачання SAIDI і SAIFI на прикладі оператора системи розподілу АТ «Харківобленерго» [3]. Дж. Салліван та Д. Каменський акцентують увагу на правових аспектах [4]. Е. Шахіні, М. Федорчук, В. Грубан, В. Федорчук та О. Садовой підкреслюють потенціал сонячної та вітрової генерації [5]. В. Стьопкін, В. Радченко, О. Ровенський, А. Єрофєєва, В. Піліпенко та В. Прихно поєднують традиційні інженерні рішення з інноваційними підходами, зокрема з використанням штучного інтелекту [6].

У працях з'являються суміжні підходи про «післявоєнну» модель енергетики України. О. Сохацька та В. Панасюк трактують розподілену генерацію і нову архітектуру енергосистеми як шлях до підвищення надійності та зменшення уразливості до атак і аварійних ситуацій [7].

І. Грицюк, В. Волинець, Н. Коменда, Ю. Грицюк та А. Гадай у статті [8] презентують модель оптимізації схеми перемикання електромереж України під час блекауту на прикладі Волинського регіону. Подібну тематику продовжують Л. Михайлова, В. Дубік, О. Козак, О. Думанський та О. Горбовий, що розглядають оптимальні схеми перемикання для міста/регіону у роботі [9] та О. Сікорська, Н. Остра, Ю. Малогулько, В. Тептя та К. Повстянко які узагальнюють технічні рішення у статті [10].

Важливим напрямом досліджень є питання енергостійкості бізнесу та управління безперервністю діяльності що розглядають Л. Лігоненко, В. Андрійчук, Н. Чухраєва, Ю. Олійник та А. Свістун у роботі [11]. Ф. Гольцбауер, С. Штробль та Й. Ульріх пропонують непрямий, але об'єктивний індикатор впливу інфраструктурних порушень, до яких належать і енергетичні відключення [12]. Масштабність пошкоджень енергетичної інфраструктури аналізують І. Якименко, Н. Бублієнко, О. Салавор, О. Ничик, Є. Шаповалов та Д. Геншель у статті [13].

Хвилі масових блекаутів стимулювали ІТ компанії фінансувати резервне живлення і зв'язок для працівників та переглядати політику релокації. Питання міграції докладно розглядає Т. Кармадонова у роботі [14].

Отже, здатність енергетичної системи тримати удар, ефективні дії з відновлення зруйнованих мереж, вузлів та генеруючих систем, резервні потужності, визначають промислову стійкість України, особливо у галузях, які сильно залежать від електропостачання, таких як ІТ.

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою цієї роботи є комплексний аналіз динаміки показників SAIDI, SAIFI та статистики переривань електропостачання за 2022–2024 роки, а також побудова кластерних моделей для відокремлення груп операторів із подібними характеристиками. Робота спрямована на виявлення стійких класифікаційних структур, визначення лідерів і проблемних операторів, а також на формування підґрунтя для подальших досліджень у сфері підвищення якості та надійності електропостачання в Україні.

Як уже зазначалось, планові та, особливо, позапланові відключення мають негативний вплив на роботу однієї з важливішої експортної сервісної галузі економіки України – ІТ галузі. В ході аналізу способів, які використовують ІТ компанії для подолання наслідків блекаутів, ключовим завданням є оцінка основних напрямків, що мають суттєвий потенціал для забезпечення безперебійної роботи компаній, якісного надання послуг замовникам та підвищення рівня стійкості перед припиненням електропостачання та проблемами зі зв'язком.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Традиційно серед причин переривань електропостачання виділяються та вимірюються три групи: аварії з вини компанії, заплановані роботи та форс-мажорні події. Кожен із цих типів переривань відображає різні аспекти діяльності ОСР – від технічного стану мереж до ефективності організації ремонтних процесів та здатності оперативно реагувати на нестандартні ситуації. Розділення показників за причинами та

проведення їхньої кластеризації дає змогу точніше оцінити природу відхилень, а також структурувати контроль над якістю електропостачання.

Під час розглядання показників відключень без форс-мажорів окремо за 2022-й, 2023-й та 2024-й роки виявилось, що результат кластеризації для 2022-го року є нестійким. Тому будемо розглядати кластеризацію з використанням об'єднаних даних 2023-го та 2024-го років та порівнювати її результати з кластеризацією, проведеною окремо на базі даних кожного з цих років.

Аналізуючи поєднання даних за два роки (2023-й та 2024-й), за допомогою дендрограми дійдемо висновку що найкращим розбиттям є розбиття на три кластери. За допомоги метода k-середніх для 3-х кластерів знайдемо кластер «С» який найкращий майже за всіма показниками. Інший кластер «В» краще кластера «А» за всіма показниками «з вини компанії», та гірший щодо показників «запланованих відключень».

У Таблиці 1 показано перелік об'єктів у кожному кластері, отриманих методом дендрограми

та k-середніх. Результати кластеризації повністю співпадають.

Для порівняння результатів окремих років та їх сукупності візьмемо кластеризацію окремо за 2023, 2024 роки та за обидва роки разом (Рисунком 1), при чому для 2024 року наведемо два розбиття (окремо для 3-х та 2-х кластерів).

З рисунку 1 можна дійти висновку, що кластерний аналіз дає стійке розбиття по кластерах з майже однаковими елементами за 2023, 2024 роки та за об'єднаними даними.

Звертаючись до аналізу k-середніх, зазначимо, що для всіх даних з рисунку 1 маємо таку характерну закономірність співвідношення кластерів:

– 1-й та 2-й мають протилежну тенденцію (1-й завжди краще за показником «заплановані відключення»; 2-й завжди краще за показником «з вини компанії»);

– 3-й завжди найкращий за всіма показниками з майже однаковими значеннями всіх показників.

У випадку двох кластерів (2024 рік) можна побачити, що 1-й кластер майже повністю погли-

Таблиця 1

Порівняння груп об'єктів отриманих методом дендрограми та k-середніх

Кластер «В» (метод k-середніх)	Кластер відповідний кластеру «В» (дендрограма)	Кластер «А» (метод k-середніх)	Кластер відповідний кластеру «А» (дендрограма)	Кластер «С» (метод k-середніх)	Кластер відповідний кластеру «С» (дендрограма)
АТ «Прикарпаття-обленерго»	АТ «Прикарпаття-обленерго»	ПрАТ «Волинь-обленерго»	ПрАТ «Волинь-обленерго»	ПрАТ «ДТЕК Київські рег-ні електромережі»	ПрАТ «ДТЕК Київські рег-ні електромережі»
АТ «Миколаїв-обленерго»	АТ «Миколаїв-обленерго»	АТ «ДТЕК Одеські електромережі»	АТ «ДТЕК Одеські електромережі»	АТ «Житомир обленерго»	АТ «Житомир обленерго»
АТ «Чернівці-обленерго»	АТ «Чернівці-обленерго»	АТ «Хмельницьк-обленерго»	АТ «Хмельницьк-обленерго»	ПАТ «Запоріжжяобленерго»	ПАТ «Запоріжжяобленерго»
АТ «Полтава обленерго»	АТ «Полтава-обленерго»	АТ «Чернігів-обленерго»	АТ «Чернігів-обленерго»	АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі»	АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі»
АТ «Укрзалізниця»	АТ «Укрзалізниця»	АТ «Харківобленерго»	АТ «Харківобленерго»	ПрАТ «Рівне-обленерго»	ПрАТ «Рівне-обленерго»
		ПАТ «Сумиобленерго»	ПАТ «Сумиобленерго»	ПАТ «Черкаси-обленерго»	ПАТ «Черкаси-обленерго»
		ПрАТ «Львівобленерго»	ПрАТ «Львів-обленерго»	ПрАТ «ПЕЕМ «ЦЕК»	ПрАТ «ПЕЕМ «ЦЕК»
		ПрАТ «Закарпаття-обленерго»	ПрАТ «Закарпаття-обленерго»	ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі»	ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі»
		АТ «Вінниця-обленерго»	АТ «Вінниця-обленерго»		
		ПрАТ «Кіровоград-обленерго»	ПрАТ «Кіровоград-обленерго»		
		АТ «Тернопіль-обленерго»	АТ «Тернопіль-обленерго»		

Джерело: побудовано автором

	2023	2024 (3к)	2024 (2к)	2023- 2024
ПрАТ "Волиньобленерго"	1	1	1	1
АТ "ДТЕК Одеські електромережі"	1	1	1	1
АТ "Хмельницькобленерго"	1	1	1	1
АТ "Чернігівобленерго"	1	1	1	1
АТ "Харківобленерго"	1	1	1	1
ПАТ "Сумиобленерго"	1	1	1	1
ПрАТ "Львівобленерго"	1	1	1	1
ПрАТ "Закарпаттяобленерго"	1	1	1	1
АТ "Вінницяобленерго"	1	1	1	1
ПрАТ "Кіровоградобленерго"	1	1	1	1
АТ "Прикарпаттяобленерго"	2	2	1	2
АТ "Миколаївобленерго"	2	2	1	2
АТ "Чернівціобленерго"	2	2	1	2
ПрАТ "ДТЕК Київські регіональні електромережі"	3	3	3	3
АТ "Житомиробленерго"	3	3	3	3
АТ "Тернопільобленерго"	1	1	1	1
ПАТ "Запоріжжяобленерго"	3	3	3	3
АТ "ДТЕК Дніпровські електромережі"	3	3	3	3
ПрАТ "Рівнеобленерго"	3	3	3	3
АТ "Полтаваобленерго"	2	2	1	2
АТ "Укрзалізниця"	2	3	3	2
ПАТ "Черкасиобленерго"	3	3	3	3
ПрАТ "ПЕЕМ "ЦЕК"	3	3	3	3
ПрАТ "ДТЕК Київські електромережі"	3	3	3	3

Рис. 1. Порівняння результатів кластеризації для 2023–2024 років та різної кількості кластерів

Джерело: побудовано автором

нає 2-й кластер, з яким для решти періодів була протилежна тенденція щодо показників у випадку трьох кластерів. А 3-й кластер демонструє чудову сталість – навіть розбиття на два кластери не змінило склад його елементів.

На рисунку 2 наведено показники SAIDI (середня тривалість відключень) для причин переривань електропостачання: «внаслідок форсажору та вини інших осіб» для ОСР (операторах системи розподілу) з кількістю споживачів більше 100.000 для 2022, 2023 та 2024 років [15].

Майже для всіх ОСР (операторів системи розподілу) середня тривалість відключень була у 2023 році суттєво меншою, ніж у 2022 році, а у 2024 році більша навіть, ніж у 2022-му. Лише в декількох випадках середня тривалість відключень не сильно відрізнялась за роками. При тому є три ОСР з протилежною тенденцією (що помічено на рисунку 2):

– АТ «ДТЕК Донецькі електромережі» – тривалість відключень у 2024 році була суттєво менша, ніж у 2023 та 2022 роках;

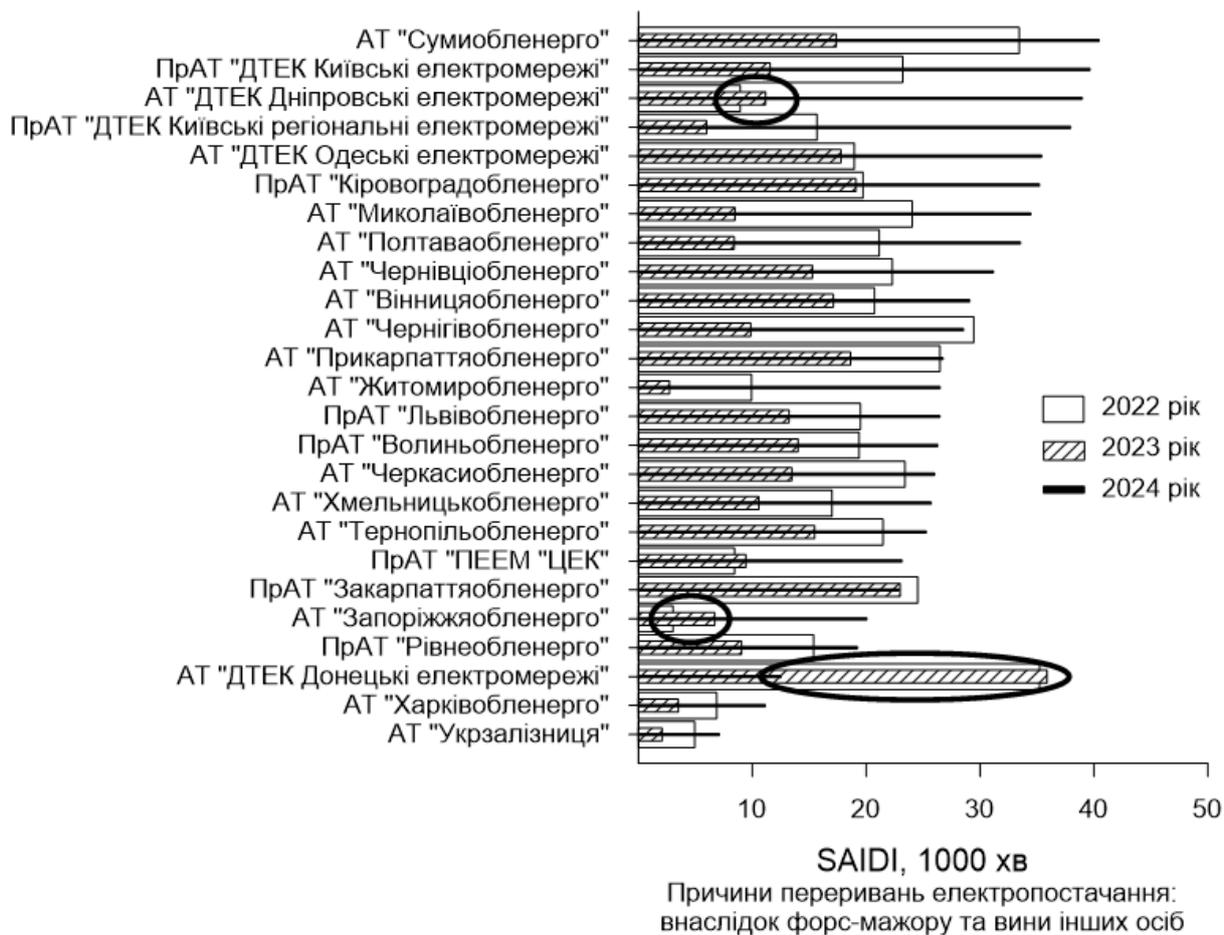


Рис. 2. Показники SAIDI для причин переривань електропостачання «внаслідок форс-мажору та вини інших осіб» для 2022, 2023 та 2024 років

Джерело: побудовано автором на основі даних [15]

– АТ «Запоріжжяобленерго» та АТ "ДТЕК Дніпровські електромережі» – тривалість відключень у 2023 році була більша, ніж у 2022 році.

Аналізуючи 2024-й рік можна дійти висновків, що найменша кількість відключень спостерігається у наступних ОСР:

- АТ «Укрзалізниця»;
- АТ «Харківобленерго»;
- АТ «ДТЕК Донецькі електромережі».

Лідерами за тривалістю відключень є наступні ОСР:

- АТ «Сумиобленерго»;
- ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі»;
- АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі»;
- ПрАТ «ДТЕК Київські регіональні електромережі».

Проаналізуємо групу з найменшою кількістю відключень:

Укрзалізниця споживає електроенергію по всій країні, тому її важко її порівнювати з областями.

Донецькі електромережі мають суттєво менше абонентів, ніж більшість областей України, тож її також складно порівнювати з іншими областями.

Єдиною областю, яку можна співвідносити з рештою областей цієї групи, є Харківська. Є підстави припустити, що проблеми з припиненням електропостачання через форс-мажорні обставини, вирішуються Харківобленерго значно ефективніше, ніж в інших областях України, які можна порівнювати між собою.

Розглядаючи проблеми, з якими стикається ІТ галузь, треба визнати, що однією з головних серед них є нестабільне електропостачання, що призводить як безпосередньо до проблем з роботою обладнання так і проблем зі зв'язком (доступом до інтернету). Зазначимо головні методи та способи які використовують ІТ компанії для зниження наслідків блекаутів.

По-перше, це забезпечення безперерійного живлення обладнання, яке може досягатися різними способами: від використання акумуляторних батарей до генераторів та відновлювальних джерел енергії. По-друге, це забезпечення безперерійного доступу до Інтернету. Перше та друге знайшло втілення, наприклад, у створенні «центрів стійкості» (ІТ-хабів) з живленням від гене-

раторів і супутниковим інтернетом (Starlink) у періоди блекаутів про що зазначає Г.Й. Лучко у статті [16].

Відключення електропостачання відбувається на ефективності виконання замовлень ІТ компаніями. С. Урба С. та І Репета фіксують що навіть виялові відключення знижували продуктивність і підвищували витрати на резервне живлення та зв'язок, ускладнюючи планування проєктів [17].

Намагання довести умови роботи з енергозабезпеченням до рівня, який був у довоєнні часи, не є єдиним напрямом роботи. М. Петрик та О. Гарафонова зазначають, що підлаштування під можливі складнощі також зменшує ризики негативних наслідків для проєктів – коротші спринти, децентралізація рішень, асинхронні комунікації, опора на хмарну інфраструктуру та інструменти (Jira/Trello/Slack/Confluence), а також підтримка ментального здоров'я [18] – чудово доповнює використання резервних джерел живлення.

Проте, як суто технічні рішення щодо забезпечення умов праці, так і зміни методів організації робочого процесу потребують підтримки на високому рівні готовності. Проблеми обмеженого/несистемного розгортання альтернативного живлення (генератори, backup-системи) згідно аналізу, який провели Є.О. Завгородня, Т.М. Мельник та Я.І. Шестак у роботі [19], мають негативний вплив на можливість підтримання високого рівня надійності ІТ-сектора в цілому.

Підсумовуючи аналіз способів зниження наслідків відключень електроенергії, можна зазначити, що ІТ компанії використовують багато технічних та концептуальних рішень. Однак, поряд із зовнішніми факторами, на які ми не маємо можливості впливати, є організаційна складова, що відповідає за максимальну віддачу від наявних рішень. І це відкрите та доступне джерело підняття ефективності подолання наслідків як планових так і позапланових відключень електроенергії та зв'язку.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі. В роботі виконано аналіз та проведено кластеризацію ліцензіатів з розподілу електричної енергії з кількістю споживачів більше 100 000 за 2022, 2023 та 2024 роки (з попередньою стандартизацією даних), а також за умови об'єднання даних. Цей аналіз та кластеризація виконані для наборів даних двох індексів – SAIDI та SAIFI, також статистики переривань енергопостачання. Для кожного з цих варіантів розглянуті дві причини переривань електропостачання: з вини компанії та внаслідок запланованих переривань.

Окремо для 2024 року виконано аналіз та побудовано діаграми переривань електропостачання внаслідок форс-мажору.

Порівнюючи 2023 та 2024 роки та результати об'єднання відповідних даних, можна дійти висновку, що кластерний аналіз дає стійку розбивку на кластери з майже однаковими елементами – як окремо для кожного року, так і за умови об'єднання даних.

Слід відмітити один кластер, який є кращим за всіма показниками (без врахування форс-мажорних причин переривань) майже у кожному періоді, що розглядався. Він містить: ПрАТ «ДТЕК Київські регіональні електромережі», АТ «Житомиробленерго», ПАТ «Запоріжжяобленерго», АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі», ПрАТ «Рівнеобленерго», АТ «Укрзалізниця» (частково), ПАТ «Черкасиобленерго», ПрАТ «ПЕЕМ «ЦЕК», ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі».

Аналіз діаграми переривань електропостачання внаслідок форс-мажору за 2022, 2023 та 2024 роки, дозволяє зробити висновок, що майже для всіх операторів системи розподілу середня тривалість відключень електроенергії у 2023 році була суттєво менша, ніж у 2022 році, а у 2024 році – більша, навіть ніж у 2022-му. Середня тривалість відключень не сильно відрізнялась за роками лише в декількох випадках. Також вдалось виявити три приклади з протилежною тенденцією: АТ «ДТЕК Донецькі електромережі», коли тривалість відключень у 2024 році була суттєво менша, ніж у 2023 та 2022 роках; а також АТ «Запоріжжяобленерго» та АТ «ДТЕК Дніпровські електромережі», коли тривалість відключень у 2023 році була більша ніж у 2022 році.

Найменша кількість відключень внаслідок форс-мажору за 2024 рік спостерігалась у наступних ОСР: АТ «Укрзалізниця», АТ «Харківобленерго», АТ «ДТЕК Донецькі електромережі».

Аналіз різних методів, які використовують ІТ компанії для зменшення наслідків блекаутів, показує, що найефективнішим методом є поєднання різних способів захисту від відключень, підготовка та підтримка у робочому стані резервних автономних систем живлення та зв'язку. Не треба нехтувати підлаштуванням під можливі блекаути шляхом адаптації робочих процесів до більш коротких ітерацій, гнучкіших до можливих переривань.

Одним з головних факторів успішного уникнення негативних наслідків відключень є організаційний фактор. Перевірка роботи резервних систем, тестування дублюючого обладнання та – найважливіше – підготовка персоналу з проробкою різних сценаріїв та відпрацюванням відповідної поведінки, що багатократно знижує можливі негативні наслідки блекаутів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Böttcher P. C., Rydin Gorjão L. R., Beck C., Jumar R., Maass H., Hagenmeyer V., Witthaut D., Schäfer B. Initial analysis of the impact of the Ukrainian power grid synchronization with Continental Europe. *Energy Advances*, 2023, Vol. 2, С. 91–97. DOI: <https://doi.org/10.1039/d2ya00150k>
2. Zachmann G., Meissner F., Riepin I. Mitigating Ukraine's looming electricity crisis. *Energy Strategy Reviews*, 2025, Vol. 59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101724>
3. Черкашина В. В., Яковенко О. В. Аналіз показників якості послуг з постачання електричної енергії на прикладі оператора системи розподілу АТ «Харківобленерго». *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*, 2023, № 2(7), С. 85–90. DOI: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2023.02.08>
4. Sullivan J. E., Kamensky D. Putin's power play: Russia's attacks on Ukraine's electric power infrastructure violate international law. *The Electricity Journal*, 2024, Vol. 37, № 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2024.107371>
5. Shahini E., Fedorchuk M., Hruban V., Fedorchuk V., Sadovoy O. Renewable energy opportunities in Ukraine in the context of blackouts. *International Journal of Environmental Studies*, 2024, Vol. 81, № 1, С. 125–133. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2320021>
6. Стьопкін В., Радченко В., Ровенський О., Єрофеева А., Піліпенко В., Прихно В. Контроль та покращення якості електроенергії в мережах промислових підприємств. *Системні технології*, 2025, № 2(157), С. 197–209. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-2-157-2025-20>
7. Sokhatska O., Panasyuk V. The new energy model of post-war Ukraine: distributed generation and the electricity exchange market. *Economic Analysis*, 2022, Vol. 32, № 4, С. 7–14. DOI: <https://doi.org/10.35774/econa2022.04.007>
8. Hrytsiuk I., Volynets V., Komenda N., Hrytsiuk Yu., Hadai A. Modelling the optimal switching scheme of the Ukrainian power grid during blackout (Volyn region). *Machinery & Energetics*, 2024, Vol. 15, № 2, С. 95–105. DOI: <https://doi.org/10.31548/machinery/2.2024.95>
9. Mikhailova L., Dubik V., Kozak O., Dumanskyi O., Gorbovy O. Modelling the optimal switching scheme of Ukrainian power grids during blackout in one city/region. *Machinery & Energetics*, 2024, Vol. 15, № 4, С. 69–81. DOI: <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2024.69>
10. Sikorska O., Ostra N., Malogulko Ju., Teptia V., Povstianko K. Technical solutions to prevent blackouts in order to provide the population with electricity: The case of Ukraine. *Machinery & Energetics*, 2024, Vol. 15, № 1, С. 76–85. DOI: <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2024.76>
11. Ligonenko L., Andriichuk V., Chukhraieva N., Oliinyk Y., Svistun A. Assessing the state of business energy resilience in the context of crisis management tasks in wartime. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2025, № 4(13(136)), С. 70–78. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.336529>
12. Holzbauer F., Strobl S., Ullrich J. Tracking Internet disruptions in Ukraine: Insights from three years of active full block scans. *IMC '25: Proceedings of the 2025 ACM Internet Measurement Conference* (Madison, Wisconsin, USA, October 28–31, 2025), 2025, С. 474–492. DOI: <https://doi.org/10.1145/3730567.3764449>
13. Yakymenko I., Bublienko N., Salavor O., Nychyk O., Shapovalov Ye., Henshel D. Energy security of Ukraine in terms of Russian aggression. *Selected Papers of the V International Conference on European Dimensions of Sustainable Development* (Kyiv, June 1–2, 2023). Kyiv, NUFT, 2023, С. 21–29. DOI: <https://doi.org/10.24263/EDSD-2023-5-4>
14. Karmadonova T. Abandoned Code: War and Migration of Ukrainian IT Specialists. *Science and Innovation*, 2024, Vol. 20, № 4, С. 22–32. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine20.04.022>
15. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Звіт щодо показників якості надання послуг у сферах електропостачання і централізованого водопостачання та водовідведення. URL: <https://www.nerc.gov.ua/monitoring-yakosti-poslug/analiz-pokaznikiv-yakosti-nadannya-poslug-u-sferah-elektropostachannya-i-centralizovanogo-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/zvit-shchodo-pokaznikiv-yakosti-nadannya-poslug-u-sferah-elektropostachannya-i-centralizovanogo-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya> (дата звернення: 17.12.2025).
16. Лучко Г. Й. Тенденції розвитку ІТ-сектора в Україні. *Бізнес Інформ*, 2024, № 3, С. 145–152. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-3-145-152>
17. Урба С., Репета І. Аналіз конкурентних позицій України на світовому ринку ІТ-аутсорсингу. *Сталій розвиток економіки*, 2025, № 5 (56), С. 39–46. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-56-6>
18. Петрик М., Гарафонова О. Управління проєктами у сфері ІТ: адаптивні моделі в кризових умовах. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic sciences*, 2025, Vol. 344, № 4, С. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-344-4-3>
19. Завгородня Є. О., Мельник Т. М., Шестак Я. І. *Strategic directions for enhancing Ukraine's ICT sector international competitiveness. International Scientific Journal "Internauka". Series: "Economic Sciences"*. 2025. № 7. С. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2025-7-11268>

REFERENCES:

1. Böttcher, P. C., Rydin Gorjão, L. R., Beck, C., Jumar, R., Maass, H., Hagenmeyer, V., Witthaut, D., & Schäfer, B. (2023). Initial analysis of the impact of the Ukrainian power grid synchronization with Continental Europe. *Energy Advances*, no. 2, pp. 91–97. DOI: <https://doi.org/10.1039/d2ya00150k>
2. Zachmann, G., Meissner, F., & Riepin, I. (2025). Mitigating Ukraine's looming electricity crisis. *Energy Strategy Reviews*, no. 59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101724>

3. Cherkashyna, V. V., & Yakovenko, O. V. (2023). Analiz pokaznykiv yakosti posluh z postachannia elektrychnoi enerhii na prykladi operatora systemy rozpodilu AT “Kharkivoblenerho” [Analysis of electricity supply service quality indicators on the example of the distribution system operator JSC “Kharkivoblenergo”]. *Visnyk NTU “KhPI”. Seriya: Enerhetyka: nadiinist ta enerhoefektyvnist – Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Power Engineering: Reliability and Energy Efficiency*, no. 2 (7), pp. 85–90. DOI: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2023.02.08> [in Ukrainian].
4. Sullivan, J. E., & Kamensky, D. (2024). Putin’s power play: Russia’s attacks on Ukraine’s electric power infrastructure violate international law. *The Electricity Journal*, no. 37 (2). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2024.107371>
5. Shahini, E., Fedorchuk, M., Hruban, V., Fedorchuk, V., & Sadovoy, O. (2024). Renewable energy opportunities in Ukraine in the context of blackouts. *International Journal of Environmental Studies*, no. 81 (1), pp. 125–133. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2320021>
6. Stopkin, V., Radchenko, V., Rovenskyi, O., Yerofieieva, A., Pilipenko, V., & Prykhno, V. (2025). Kontrol ta pokrashchennia yakosti elektroenerhii v merezhakh promyslovykh pidpriumstv [Monitoring and improvement of power quality in industrial enterprise networks]. *Systemni tekhnologii – System Technologies*, no. 2 (157), pp. 197–209. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-2-157-2025-20> [in Ukrainian].
7. Sokhatska, O., & Panasyuk, V. (2022). The new energy model of post-war Ukraine: Distributed generation and the electricity exchange market. *Economic Analysis*, no. 32 (4), pp. 7–14. DOI: <https://doi.org/10.35774/econa2022.04.007>
8. Hrytsiuk, I., Volynets, V., Komenda, N., Hrytsiuk, Yu., & Hadai, A. (2024). Modelling the optimal switching scheme of the Ukrainian power grid during blackout (Volyn region). *Machinery & Energetics*, no. 15 (2), pp. 95–105. DOI: <https://doi.org/10.31548/machinery/2.2024.95>
9. Mikhailova, L., Dubik, V., Kozak, O., Dumanskyi, O., & Gorbovy, O. (2024). Modelling the optimal switching scheme of Ukrainian power grids during blackout in one city/region. *Machinery & Energetics*, no. 15 (4), pp. 69–81. DOI: <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2024.69>
10. Sikorska, O., Ostra, N., Malohulko, Yu., Teptia, V., & Povstianko, K. (2024). Technical solutions to prevent blackouts in order to provide the population with electricity: The case of Ukraine. *Machinery & Energetics*, no. 15 (1), pp. 76–85. DOI: <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2024.76>
11. Ligonenko, L., Andriichuk, V., Chukhraieva, N., Oliinyk, Y., & Svistun, A. (2025). Assessing the state of business energy resilience in the context of crisis management tasks in wartime. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 4 (13(136)), pp. 70–78. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.336529>
12. Holzbauer, F., Strobl, S., & Ullrich, J. (2025). Tracking Internet disruptions in Ukraine: Insights from three years of active full block scans. In *Proceedings of the 2025 ACM Internet Measurement Conference (IMC '25)* (Madison, WI, United States, October 28–31, 2025), pp. 474–492. DOI: <https://doi.org/10.1145/3730567.3764449>
13. Yakymenko, I., Bublienko, N., Salavor, O., Nychyk, O., Shapovalov, Ye., & Henshel, D. (2023). Energy security of Ukraine in terms of Russian aggression. In *Selected papers of the V International Conference on European Dimensions of Sustainable Development* (Kyiv, Ukraine, June 1–2, 2023), pp. 21–29). NUFT. DOI: <https://doi.org/10.24263/EDSD-2023-5-4>
14. Karmadonova, T. (2024). Abandoned code: War and migration of Ukrainian IT specialists. *Science and Innovation*, no. 20 (4), pp. 22–32. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine20.04.022>
15. Natsionalna komisiia, shcho zdiisniuie derzhavne rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komunalnykh posluh. (2022-2024). *Zvit shchodo pokaznykiv yakosti nadannia posluh u sferakh elektropostachannia i tsentralizovanoho vodopostachannia ta vodovidvedennia* [Report on quality indicators of service provision in the fields of electricity supply and centralized water supply and sewerage]. Available at: <https://www.nerc.gov.ua/monitoring-yakosti-poslug/analiz-pokaznykiv-yakosti-nadannya-poslug-u-sferah-elektropostachannia-i-centralizovanogo-vodopostachannia-ta-vodovidvedennia/zvit-shchodo-pokaznykiv-yakosti-nadannya-poslug-u-sferah-elektropostachannia-i-centralizovanoho-vodopostachannia-ta-vodovidvedennia> (accessed December 27, 2025). [in Ukrainian].
16. Luchko, H. Y. (2024). Tendentsii rozvytku IT-sektora v Ukraini [Trends in the development of the IT sector in Ukraine]. *Biznes Inform – Business Inform*, no. 3, pp. 145–152. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-3-145-152> [in Ukrainian].
17. Urba, S., & Repeta, I. (2025). Analiz konkurentnykh pozysii Ukrainy na svitovomu rynku IT-outsorsynhu [Analysis of Ukraine’s competitive positions in the global IT outsourcing market]. *Stalyi rozvytok ekonomiky – Sustainable Development of Economy*, no. 5 (56), pp. 39–46. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-56-6> [in Ukrainian].
18. Petryk, M., & Harafonova, O. (2025). Upravlinnia proiektamy u sferi IT: adaptivni modeli v kryzovykh umovakh [Project management in the IT sector: Adaptive models in crisis conditions]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*, no. 344 (4), pp. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-344-4-3> [in Ukrainian].
19. Zavhorodnia, Ye. O., Melnyk, T. M., & Shestak, Ya. I. (2025). Strategic directions for enhancing Ukraine’s ICT sector international competitiveness. *International Scientific Journal “Internauka”. Series: “Economic Sciences”*, no. 7, pp. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2025-7-11268>.

Yevgen Zanimonskiy, V. N. Karazin Kharkiv National University. The Ukrainian IT sector during blackouts: an analysis based on clustering of distribution system operators using SAIDI/SAIFI indices.

Annotation. *The study aims to provide a comprehensive analysis of SAIDI, SAIFI, and the number of supply interruptions, to compare their dynamics over 2022–2024, and to develop clustering models that identify groups of distribution system operators (DSOs) with similar performance profiles. The work seeks to reveal stable classification structures, distinguish leading and underperforming operators, and establish an analytical basis for further research on improving the quality and reliability of electricity supply in Ukraine. In parallel, by examining the approaches employed by IT companies to mitigate the consequences of blackouts, the study addresses the need to evaluate the key resilience pathways that enable business continuity and sustained service delivery to clients, with the goal of identifying measures with substantial potential to enhance resilience to power supply disruptions and connectivity constraints. The methodology combines indicator standardization, hierarchical clustering (dendrogram-based) and k-means clustering with robustness checks of cluster membership, as well as a typology of resilience measures (technical, process-related, and organizational), impact assessment of outages and mitigation actions, and a comparison of the economic feasibility of alternative solutions for coping with power interruptions. The results demonstrate stable operator groupings driven by company-attributable interruptions and planned works, and identify both a leader cluster and high-risk groups. A consistent year-to-year pattern is observed for the average duration of force-majeure-related outages across most DSOs – lower in 2023 than in 2022 and higher in 2024 than in 2022 – with several exceptions discussed separately. One of the key factors associated with materially reducing blackout impacts is the organizational dimension, encompassing both technical continuity measures (e.g., backup power arrangements) and methodological adaptations of workflows to anticipated interruptions; further development of this dimension has significant potential to improve the operational stability of IT companies. Practical value. The findings may support analysts, regulators, energy companies, and researchers in prioritizing network modernization and risk management, and may guide IT firms in strengthening their blackout-mitigation strategies and service continuity.*

Keywords: *electricity supply reliability, SAIDI, SAIFI, distribution system operator (DSO), cluster analysis, blackouts, IT sector.*

Стаття надійшла: 02.01.2026

Стаття прийнята: 16.01.2026

Стаття опублікована: 30.01.2026