

Ярослав Прищепя*, <https://orcid.org/0009-0008-5049-4826>

Анатолій Замулко, канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-8018-6332>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Берестейський просп., 37, м. Київ, 03056, Україна

*Автор-кореспондент: uykra200022@gmail.com

СУЧАСНІ РІШЕННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНКИ ТА КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. *Запровадження ринкових відносин в енергетичній галузі вивели на новий рівень питання забезпечення енергетичної безпеки, визначивши одну з її складових на ринку як безпеку постачання електричної енергії. В роботі проведено порівняльний аналіз існуючого понятійного термінологічного апарату, пов'язаного з визначеннями енергетичної безпеки та безпеки постачання, з метою встановлення основних розбіжностей. При цьому принциповими для різних країн постали питання оцінки і контролю безпеки постачання електроенергії як інтегральних показників, що дають змогу планувати діяльність єдиного європейського енергетичного ринку. Оцінка та контроль безпеки постачання електричної енергії в сучасній Україні стає все більш актуальним завданням у зв'язку з приєднанням її об'єднаної енергосистеми до енергосистеми Європи та необхідності забезпечення безаварійної паралельної роботи. Тому метою дослідження є формування уявлення про сучасні підходи до оцінки безпеки постачання електричної енергії в Україні та країнах ЄС, а також пошук можливостей вдосконалення системи контролю безпеки постачання. Встановлено, що попри директивне регулювання базових принципів формування показників на даний момент не існує єдиних підходів, які дозволяли б використати їх для створення національної методологічної бази для свідомого та якісного оцінювання безпеки постачання. За результатами порівняльного аналізу виявлено основні шляхи, за якими розглядається питання здійснення оцінки безпеки постачання. Доведено, що важливим напрямом є створення багаторівневої системи оцінювання і контролю безпеки постачання електроенергії, а також забезпечення контролю виконання організаційних заходів, спрямованих на покращення безпеки постачання.*

Ключові слова: безпека постачання електричної енергії, електроенергія, закон, моніторинг, регламент, надійність, директива.

1. Вступ

З метою імплементації Третього енергетичного пакета Європейського Союзу (далі – ЄС) прийнято Закон України «Про ринок електричної енергії» (далі – Закон), в якому важливе місце приділяється саме питанням спроможності електроенергетичної галузі забезпечувати потреби споживачів в електричній енергії відповідного рівня надійності та якості, у тому числі електропостачання. Законом передбачається використання безпеки постачання електричної енергії як індикатора рівня ризиків щодо можливості виникнення аварійних ситуацій в енергосистемі, а також моніторингу та контролю за процесами, які є визначальними для цієї безпеки.

В науковій літературі виникла певна термінологічна невизначеність щодо безпеки постачання електричної енергії, а саме різні тлумачення та підходи до розуміння безпеки постачання електроенергії. Наслідком цього стала підміна понять, а також некоректне застосування алгоритмів та методик розрахунків, у тому числі відповідних показників з оцінки та формування систем моніторингу.

Принциповим питанням є те, що об'єктом дослідження щодо безпеки постачання електричної енергії, як видно з таблиці 1, є електроенергетична галузь. Зазначений аспект є основою для формування загального розуміння відмінностей типів безпеки. Порівняння визначень безпеки в нормативно-правових актах України показано в таблиці 1.

Слід зазначити, що вимоги законодавства на рівні країн ЄС мають бути формалізовані у вигляді відповідних правил, які мають бути розроблені та офіційно оприлюднені, а також вони повинні бути об'єктивними та недискримінаційними щодо суб'єктів, задіяних в процесі оцінювання. Основною метою такої оцінки є встановлення суттєвого негативного ефекту на свободу вільного руху товарів та послуг, а також свободу створення нових суб'єктів господарювання та провадження економічної діяльності в ЄС.

Таблиця 1. Порівняльна таблиця визначень безпеки в нормативно-правових актах України

Характеристики	Національна безпека України	Енергетична безпека	Безпека постачання електричної енергії
Нормативно-правове регулювання	Закон України «Про національну безпеку України» [2]	Розпорядження КМУ «Про схвалення Стратегії енергетичної безпеки» [3]	Закон України «Про ринок електричної енергії»
Визначення	Захищеність державного суверенітету, територіальної цілісності, демократичного конституційного ладу та інших національних інтересів України від реальних та потенційних загроз	Захищеність національних інтересів у сфері забезпечення доступу до надійних, стійких, доступних і сучасних джерел енергії технічно надійним, безпечним, економічно ефективним та екологічно прийнятним способом в нормальних умовах і в умовах особливого або надзвичайного стану	Спроможність електроенергетичної галузі забезпечувати потреби споживачів в електричній енергії
Рівень застосування	Національний	Національний	Галузевий

Оглядаючи європейську практику, бачимо, що кожна країна ЄС обирає свій шлях моніторингу, реалізації та оцінки безпеки постачання електричної енергії, спираючись на загальноєвропейське законодавство. Наразі можна виділити декілька напрямів, які проводять оцінку та контроль безпеки постачання електричної енергії. Однак, оскільки задачі зазначеного алгоритму різні, тому і результат досліджень може відрізнятися. Безпеки постачання електроенергії як інтегрального показника не існує, він може розглядатися як окремі елементи (генерація, мережі, споживачі тощо).

На сьогоднішній день існує багато досліджень у сфері безпеки постачання, проте вони за постановкою задачі та отриманими результатами є різноспрямованими. Єдині алгоритми моніторингу та оцінки безпеки постачання електроенергії на рівні ЄС наразі відсутні. Таким чином, існує потреба у виявленні певної можливості створення методології для України, яка могла б бути близькою за змістом та суттю до окремих європейських аналогів, але максимально задовольняла вимоги енергетичної галузі країни.

Актуальність цієї роботи обумовлена необхідністю ухвалення управлінських рішень, які базуються на належній оцінці та моніторингу безпеки постачання електричної енергії. Слід зауважити, що на сьогоднішній день система управління в енергетиці може використати існуючий підхід до моніторингу безпеки постачання для формування плану дій для розвитку галузі, але в дуже обмеженому форматі. Крім того, відсутня можливість відслідковувати динаміку оціночних показників, а також ефективність досягнутих результатів.

2. Методи і матеріали

Аналіз і систематизація результатів здобутків світової наукової спільноти у сфері безпеки постачання електричної енергії. Аналіз проблем і перешкод щодо реалізації та впровадження безпеки постачання як у світі, так і в Україні.

Для проведення літературного дослідження було використано класичний підхід до пошуку за ключовими словами, такими як «безпека постачання» у поєднанні з «електроенергія», «безпека

постачання електричної енергії», «закон», «моніторинг», «регламент», «надійність», «директива». Використовувалися найпоширеніші пошукові системи, такі як Google Scholar, Web of Science.

Особливості європейського законодавства в частині безпеки постачання електричної енергії. Європейський нормативно-правовий акт, що регулює та встановлює поняття безпеки постачання електричної енергії, – це Регламент (ЄС) 2019/941 від 5 червня 2019 року «Про готовність до ризиків у секторі електроенергетики та скасування Директиви 2005/89/ЄС» (далі – Регламент) [4]. Згідно з цим Регламентом безпека постачання електроенергії – це здатність системи електроенергії гарантувати постачання електроенергії споживачам із чітко встановленим рівнем продуктивності, який визначено відповідними державами-членами. Також створено нове поняття – «криза в електроенергетиці», що означає поточну або неминучу ситуацію, в якій існує значний дефіцит електроенергії, як визначено державами-членами та описано в їхніх планах готовності до ризиків, або в якій неможливо постачати електроенергію споживачам. Відповідно до статті 5 Регламенту ENTSO-E (Європейська мережа операторів системи передачі електроенергії) має надати ACER (Агентство з питань співробітництва енергетичних регуляторів) пропозицію щодо методології для визначення найбільш релевантних сценаріїв регіональної кризи в електроенергетиці. Запропонована методологія визначає сценарії кризи в електроенергетиці щодо адекватності системи, безпеки системи та безпеки палива на основі принаймні таких ризиків:

- рідкісні та екстремальні природні небезпеки;
- випадкові небезпеки, що виходять за межі критерію безпеки N-1, і виняткові випадки;
- побічні небезпеки, включаючи наслідки зловмисних атак і нестачі палива.

Запропонована методологія повинна містити принаймні такі елементи:

- врахування всіх відповідних національних і регіональних обставин, включаючи будь-які підгрупи;
- взаємодія та кореляція ризиків через кордони;
- симуляції одночасних сценаріїв кризи електроенергії;
- ранжування ризиків за їх впливом та ймовірністю;
- принципи поведіння з конфіденційною інформацією таким чином, щоб забезпечити прозорість для громадськості.

Цей Регламент встановлює також загальну структуру правил щодо того, як запобігати, готуватися до криз в електроенергетиці та управляти ними, забезпечуючи більшу прозорість на етапі підготовки та під час кризи в електроенергетиці та гарантуючи, що заходи вживаються скоординовано та ефективно. Він також встановлює основу для ефективного моніторингу безпеки електропостачання в ЄС через Координаційну групу з електроенергетики (далі – ECG). Він повинен виконувати конкретні завдання, зокрема у зв'язку з розробкою методології для визначення сценаріїв регіональної кризи в електроенергетиці та методології для короткострокової та сезонної оцінки достатності та у зв'язку з підготовкою планів готовності до ризиків, і повинен мати визначну роль у моніторингу ефективності держав-членів у сфері безпеки постачання електроенергії та розвитку найкращих практик на цій основі.

Згідно зі статтею 23 Регламенту (ЄС) 2019/943 [5], оператори систем передачі повинні надати ENTSO-E дані, необхідні для проведення європейської оцінки достатності ресурсів. ENTSO-E проводить оцінку достатності європейських ресурсів на щорічній основі. Виробники та інші учасники ринку повинні надавати операторам систем передачі дані щодо очікуваного використання генеруючих ресурсів, враховуючи наявність первинних ресурсів та відповідні сценарії прогнозованого попиту та пропозиції. Європейська оцінка достатності ресурсів базується на прозорій методології, яка гарантує, що оцінка:

- здійснюється на кожному рівні торгової зони, що охоплює принаймні всі держави-члени;
- базується на відповідних централізованих еталонних сценаріях прогнозованого попиту та пропозиції, включаючи економічну оцінку ймовірності виведення з експлуатації, консервації, нового будівництва генеруючих активів і заходів для досягнення цільових показників енергоефективності та

об'єднань електроенергії та відповідної чутливості до екстремальних погодних явищ, гідрологічних умов, оптові ціни та зміни цін на вуглець;

- містить окремі сценарії, що відображають різну ймовірність виникнення проблем із достатністю ресурсів, для вирішення яких призначені різні типи механізмів потужності;

- належним чином враховує внесок усіх ресурсів, включаючи існуючі та майбутні можливості для виробництва, накопичення енергії, галузевої інтеграції, реагування на попит, а також імпорту та експорту, а також їхній внесок у роботу гнучкої системи;

- передбачає ймовірний вплив заходів, зазначених у частині 3 статті 20;

- включає варіанти без існуючих або запланованих механізмів пропускнуої спроможності та, де це можливо, варіанти з такими механізмами;

- базується на ринковій моделі з використанням підходу на основі потоку, де це можливо;

- застосовує ймовірнісні розрахунки;

- застосовує один засіб моделювання;

- містить принаймні такі показники, зазначені у статті 25: «очікувана енергія не подана» і «втрата очікуваного навантаження»;

- визначає джерела можливих проблем щодо достатності ресурсів, зокрема, чи це обмеження мережі, обмеження ресурсів або те й інше;

- враховує реальний розвиток мережі;

- забезпечує належне врахування національних особливостей генерації, гнучкості попиту та зберігання енергії, наявності первинних ресурсів і рівня взаємозв'язку.

Згідно зі статтею 25 Регламенту (ЄС) 2019/943, стандарт надійності розраховується з використанням принаймні значення втраченого навантаження та вартості нового входу протягом заданого періоду часу та має бути виражений як «очікувана енергія не подається» та «очікувана втрата навантаження».

Особливості регулювання законодавства України в частині безпеки постачання електричної енергії. Термін «безпека постачання електричної енергії» визначений в Законі як спроможність електроенергетичної галузі забезпечувати потреби споживачів в електричній енергії відповідно до вимог цього Закону. Спираючись на статтю 16 зазначеного Закону, необхідно сказати, що «Правила про безпеку постачання електричної енергії», розроблені центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики в електроенергетичному комплексі, встановлюють мінімальні критерії безпеки постачання електричної енергії та повинні визначати:

- критерії / види порушень безпеки постачання електричної енергії;

- заходи із забезпечення безпеки постачання електричної енергії;

- заходи, що вживатимуться у випадках ризику порушення безпеки постачання електричної енергії;

- заходи, що вживатимуться у разі порушення безпеки постачання електричної енергії;

- заходи, обов'язкові до вжиття учасниками ринку (крім споживачів) для забезпечення безпеки постачання електричної енергії захищеним споживачам;

- процедуру ініціювання вжиття необхідних заходів;

- порядок застосування необхідних заходів і строк їх дії;

- порядок інформування про вжиття необхідних заходів;

- обов'язки та відповідальність суб'єктів владних повноважень та учасників ринку щодо забезпечення безпеки постачання електричної енергії.

Додатково слід зазначити про операційну безпеку, складові якої детально описані в статті 17 Закону. Операційна безпека – спроможність електричних станцій, системи передачі та системи розподілу функціонувати в нормальному режимі або якнайшвидше повертатися до нормального режиму роботи, що характеризується гранично допустимими показниками температури, рівнів

напруги, струмів короткого замикання, частоти і стійкості. Стандарти операційної безпеки встановлюють положення щодо:

-забезпечення надійності електричних мереж і зв'язків між ОЕС України та енергетичними системами інших держав;

-планування розвитку ОЕС України;

-визначення технічних параметрів експлуатації обладнання електричних мереж;

-обміну інформацією про функціонування електричних мереж, у тому числі з операторами систем передачі суміжних держав.

Оператор системи передачі здійснює моніторинг за дотриманням стандартів операційної безпеки.

Крім того, існує стаття про моніторинг безпеки постачання, який повинен здійснюватися Міністерством, Регулятором та іншими відповідними органами, та повинен охоплювати:

1) баланс попиту та пропозиції на ринку електричної енергії;

2) рівень очікуваного попиту на електричну енергію та передбачених додаткових генеруючих потужностей, запланованих або що будуються;

3) якість та рівень технічного обслуговування електричних мереж;

4) заходи щодо покриття максимального навантаження та недопущення дефіциту генеруючих потужностей.

Результати моніторингу відображаються у відповідному звіті, кожні два роки до 31 липня.

Так, для виконання функції державного регулювання щодо забезпечення безпеки постачання електроенергії Міністерством було видано Наказ «Про затвердження Правил про безпеку постачання ЕЕ» від 27.08.2018 № 448 (далі – Наказ) [6], згідно з яким встановлено визначення моніторингу безпеки постачання, що означає систему безперервних спостережень за роботою електроенергетичної галузі щодо забезпечення потреб споживачів в електричній енергії. Також Наказом встановлено мінімальний перелік критеріїв, щодо яких має оцінюватися безпека постачання електричної енергії:

- межі операційної безпеки;

- баланс між попитом і пропозицією електричної енергії та потужності;

- забезпечення паливом за видами та джерелами його постачання, зокрема імпорту, тип та обсяги основного та резервного палива для певних типів електростанцій;

- безперебійність та ефективність функціонування ринку електричної енергії;

- виявлення кіберзагроз сталому функціонуванню об'єктів електроенергетики та їх попередження;

- захист елементів критичної інфраструктури.

Окрім цього, слід зауважити про існування Наказу «Про затвердження Правил про безпеку постачання природного газу» від 02.11.2015 № 686 [7], спрямованого на забезпечення безпеки постачання природного газу в Україні шляхом прогнозування та оцінки можливих ризиків, вжиття заходів для їх запобігання та зменшення можливої шкоди від реалізації таких ризиків. Також цим Наказом визначено виявлення та класифікацію основних ризиків щодо безпеки постачання природного газу (оцінку ризиків).

Огляд нормативного регулювання безпеки постачання електричної енергії в Україні. Як вже зазначено вище, Наказ формує основні правила про безпеку постачання електричної енергії, які визначають загальні критерії, вимоги та загальні напрямки розвитку безпеки постачання електроенергії. На рисунку 1 зазначені задіяні учасники цих правил.

Первинна класифікація нормативних документів Міністерства енергетики в частині безпеки постачання електричної енергії зображена на рисунку 2.

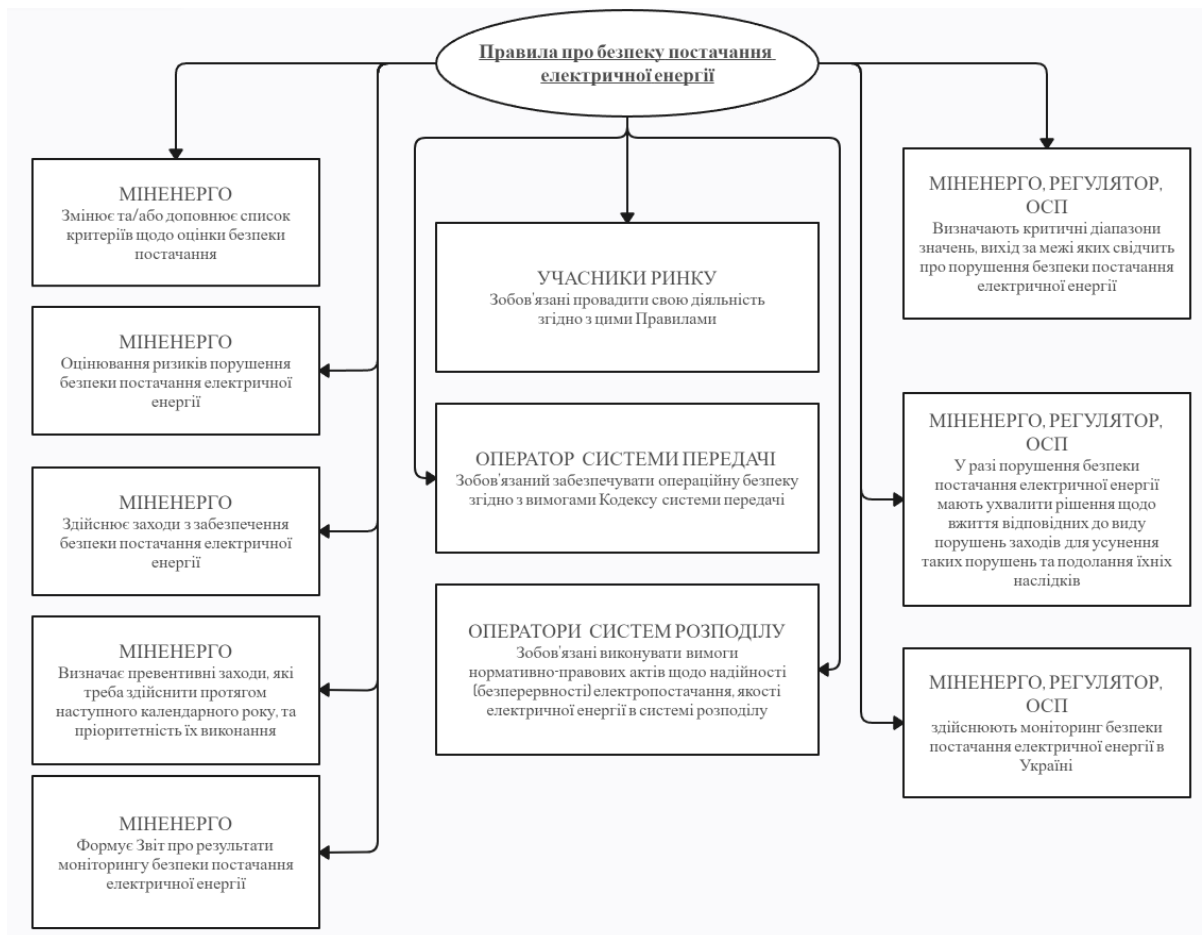


Рисунок 1. Схематичне зображення зв'язків основних суб'єктів при забезпеченні безпеки постачання відповідно до Наказу



Рисунок 2. Схематичне зображення зв'язків «Правил про безпеку постачання електричної енергії» та інших НПА

Таким чином, задача безпеки постачання, виходячи з кола складових нормативно-правових актів, є системою з певними характеристиками та особливостями.

Світовий огляд організації контролю безпеки постачання електричної енергії та порівняння з методологією України. Згідно з законодавством ЄС держави-члени забезпечують моніторинг питань безпеки постачання. Такий моніторинг, зокрема, охоплює баланс попиту та пропозиції на національному ринку, рівень очікуваного майбутнього попиту та передбачену додаткову потужність, що планується або будується, і якість і рівень обслуговування мереж, а також заходи для покриття пікового попиту та усунення дефіциту одного або кількох постачальників. Згідно з Регламентом, крім виконання інших завдань, викладених у цьому Регламенті, ECG обговорює:

- результати 10-річного плану розвитку мережі в електроенергетиці, підготовленого ENTSO для електроенергетики;
- узгодженість планів готовності до ризиків, прийнятих компетентними органами відповідно до процедури, зазначеної у статті 10;
- результати європейських оцінок достатності ресурсів, проведених ENTSO для електроенергії, як зазначено в частині 4 статті 23 Регламенту (ЄС) 2019/943;
- продуктивність держав-членів у сфері безпеки постачання електроенергії, враховуючи принаймні показники, розраховані в європейській оцінці достатності ресурсів, а саме очікувану кількість енергії, що не обслуговується, та очікувану втрату навантаження.

ACER повинен на постійній основі контролювати заходи безпеки електропостачання та регулярно звітувати ECG.

Крім цього, варто відмітити, що загальний підхід до запобігання та управління кризою в електроенергетиці також вимагає, щоб держави-члени використовували однакові методи та термінологію для визначення ризиків, пов'язаних з безпекою електропостачання, і мали змогу ефективно порівнювати, наскільки добре вони та їхні сусіди працюють у цій сфері. Цей Регламент визначає два показники для моніторингу безпеки постачання електроенергії в ЄС: «очікувана кількість енергії, що не обслуговується», виражена в ГВт·год/рік, і «очікувана втрата навантаження», виражена в годинах на рік. Ці показники є частиною європейської оцінки достатності ресурсів, яку проводить ENTSO-E відповідно до статті 23 Регламенту (ЄС) 2019/943. ECG має здійснювати регулярний моніторинг безпеки електропостачання за результатами цих показників. Агентство зі співробітництва регуляторів енергетики також має використовувати ці показники, звітуючи про ефективність держав-членів у сфері безпеки постачання електроенергії у своїх щорічних звітах про моніторинг ринку електроенергії, відповідно до статті 15 Регламенту (ЄС) 2019/942 [8] Європейського парламенту та Ради.

Водночас, згідно з Наказом, Міненерго спільно з Регулятором, оператором системи передачі та іншими відповідними установами здійснюють моніторинг безпеки постачання електричної енергії в Україні, який має охоплювати:

- баланс попиту та пропозиції на ринку електричної енергії;
- рівень очікуваного попиту на електричну енергію та передбачених додаткових генеруючих потужностей і установок зберігання енергії, запланованих або що будуються;
- якість та рівень технічного обслуговування електричних мереж;
- заходи щодо покриття максимального навантаження та недопущення дефіциту потужностей генеруючих установок, установок зберігання енергії та заходів управління попитом.

Проведено аналіз щорічних звітів про безпеку постачання електричної енергії деяких країн ЄС. Зокрема, проаналізувавши звіт про безпеку постачання в Ірландії за 2016 рік [9], можна виділити, що її поточні механізми моніторингу достатні для виявлення достовірних загроз безпеці постачання електроенергії. Ірландія також задоволена тим, що існуючі ринкові рамки та нові допоміжні послуги та механізми інтегрованого єдиного ринку електроенергії, включаючи новий механізм пропускну здатності, є відповідними для заохочення нових інвестицій та підвищення надійності постачання. Однак, враховуючи життєво важливе значення безпеки постачання в Ірландії, вона продовжуватиме

оцінювати доцільність поточної системи як на національному рівні, так і на рівні ЄС, і визначати, де можна зробити будь-які покращення.

Додатково, згідно зі звітом про безпеку постачання електроенергії в Данії за 2016 рік [10], її безпека електропостачання займає одне з найвищих місць в Європі. Датські споживачі електроенергії отримали дуже високі показники надійності електропостачання протягом багатьох років. Безпеку постачання необхідно підтримувати на високому рівні і в майбутньому, а також реалізовувати перехід на зелену енергетику. Рівень надійності електропостачання був високим у 2015 році – 22 хвилини відключень на споживача. Статистика відключень показує, що високий рівень безпеки електропостачання ніхто не оскаржує. Споживачів протягом 2015 року не відключали для забезпечення стабільності всієї електроенергетичної системи, і було лише кілька аварій, значущих для безпеки постачання. Незважаючи на те, що постачання електроенергії в Данії перебуває на стадії перехідного періоду, а система електропостачання оптимізується, немає жодних ознак того, що кількість інцидентів, що призвели до аварії, зростає. Прогнозні оцінки ризиків дефіциту електроенергії показують, що ризик відключень споживачів є різним для двох регіонів. Для Західної Данії ризик дефіциту електроенергії у період 2017–2023 років був дуже низьким. При цьому, за оцінками, в цей же період у Східній Данії збільшився час відсутності електропостачання у споживачів.

Отже, звіти про безпеку електропостачання країн ЄС здебільшого складаються зі статистичного оцінювання відключень споживачів, рівня розвитку мереж та генеруючих одиниць. Особлива увага приділяється розвитку міждержавних перетинів як можливості покращення безпеки постачання у випадку форс-мажорних ситуацій.

Приклади формалізації оцінки безпеки та аналіз можливості їх застосування в сучасних умовах. Проаналізовано статтю [10], в якій розкривається безпека постачання електроенергії як один з найважливіших критеріїв ефективності електроенергетичного сектору. Автор критикує методології, зосереджені лише на конкретному вимірі безпеки постачання електричної енергії (наприклад, встановлена потужність), та пропонує інтегровану методологію аналізу безпеки постачання електричної енергії на основі агрегованого індексу безпеки постачання, схема якого показана на рисунку 3. Цей агрегований індекс охоплює кілька різних вимірів, кожен з яких охоплює один з аспектів безпеки постачання електричної енергії, про які йшлося раніше. Запропонована методологія передбачає кількісне вимірювання загального рівня, а також його часового розвитку з урахуванням впливу ключових чинників. У той час як деякі інші комплексні підходи досліджують енергетичну систему в цілому (включаючи електроенергетику, газ, опалення, транспорт тощо), аналізована методологія фокусується лише на електриці.

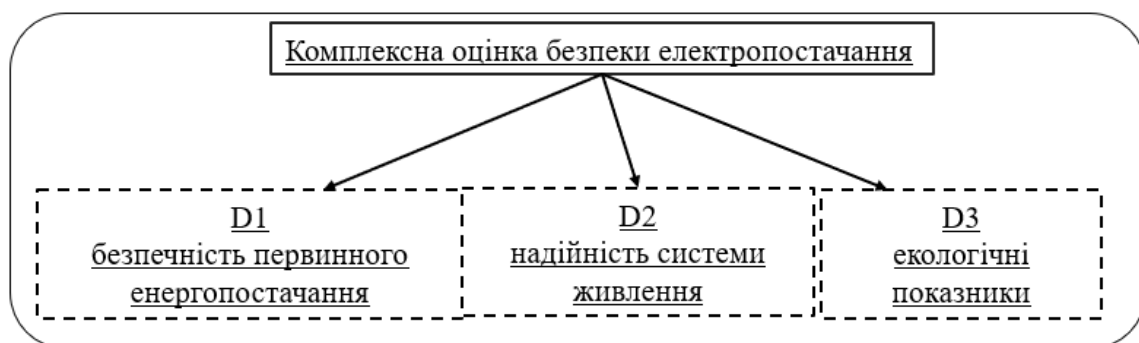


Рисунок 3. Схема визначення агрегованого індексу безпеки постачання електричної енергії

В результаті аналізу статті зроблено висновок, що зазначена вище методологія передбачає критичний огляд, перегляд та адаптацію базових національних енергетичних політик на основі заздалегідь узгоджених критеріїв. Наразі регулюючі органи та політики оцінюють стан безпеки постачання електроенергії за допомогою ізольованих простих показників, що оцінюють конкретні

виміри. Однак методологія в цілому не підходить для впровадження на міжнародний рівень через значні відмінності у властивостях різних енергосистем.

Також проаналізовано статтю [12], яка присвячена обґрунтуванню методичного підходу щодо моніторингу електроенергетичної безпеки та розробці практичних рекомендацій щодо його впровадження.

Автори пропонують проводити щоденне оцінювання кількісного та якісного стану електроенергетичної безпеки за споживчою (запас адекватності), виробничою (запас надійності) та паливною (запас забезпечення) компонентами, що дає змогу оперативно визначати та реагувати на ризики, уникаючи електроенергетичних криз. Проведене протягом доби дослідження постачання встановило кризовий рівень реальної і передкризовий номінальної безпеки постачання електричної енергії. Такий стан вимагає невідкладного вжиття заходів центральними органами виконавчої влади задля недопущення збоїв в електропостачанні споживачів.

В результаті аналізу статті зроблено висновок, що авторами виконана об'ємна робота у сфері нормативно-правових актів, що стосуються безпеки постачання електричної енергії, також запропоновано використовувати кілька різних компонентів, кожен з яких охоплює один з аспектів безпеки постачання електричної енергії. Проте, слід зауважити, що в зазначеній статті є кілька недоліків.

У статті зазначено, що жодного моніторингу безпеки постачання електричної енергії проведено не було. Слід зауважити, що на даний момент не існує усталеної практики проведення моніторингу, проте на момент публікації зазначеної статті (2021 рік) вже було проведено моніторинг та опубліковано Звіт «Про результати моніторингу безпеки постачання електричної енергії» (далі – Звіт) за 2019 та 2020 роки.

Також у статті введено термін «електроенергетична безпека», що є некоректним з точки зору того, що в Законі вже зазначено визначення безпеки постачання електричної енергії як спроможності електроенергетичної галузі забезпечувати потреби споживачів в електричній енергії відповідно до вимог цього Закону.

Крім цього, зазначений розрахунок оснований виключно на одній добі постачання, яка не дає повний аналіз запропонованої методології. Необхідно провести комплексне оцінювання методології на прикладі масиву даних щодо стану ОЕС України за більший період часу (квартал, рік).

Основна проблема, розглянута в статті [13], полягає в необхідності комплексної оцінки стійкості електропостачання з урахуванням таких параметрів, як стійкість, відновлення, відновлення та переналаштування. У статті визначено прогалини в існуючих дослідженнях, у тому числі відсутність індикаторів для перебудови та реконфігурації систем, проблеми перевірки під час вибору індикаторів і відсутність аналізу надійності в методології. Мета полягає в тому, щоб розробити комплексний набір індикаторів, перевірити індикатори та побудувати надійні індекси для оцінки стійкості електропостачання 140 країн. Запропонований індекс стійкості постачання електроенергії має на меті забезпечити комплексний показник для рейтингу країн. Дослідження є актуальним для тих, хто приймає рішення, і пропонує розуміння та системний підхід до оцінки стійкості.

Дослідження використовує різні методи, включаючи розробку комплексного набору показників, перевірку його статистичної узгодженості, дослідження методологічної надійності шляхом нормалізації та агрегування, впровадження індексу стійкості електропостачання, проведення аналізу надійності за допомогою вимірювання рангової різниці, визначення впливових факторів; надає практичні ідеї для осіб, які приймають рішення; підкреслює важливість методології побудови індексів і пропонує сфери для майбутніх досліджень.

В результаті детального аналізу статті зроблено висновок, що зазначений індекс є узагальненим для багатьох країн. Проте у випадку України, яка є унікальною з точки зору електроенергетичної системи та умов її існування, зазначений вище індекс є занадто узагальненим та не підходить для подальшої роботи. Тому при розробці індексу безпеки постачання електричної енергії в Україні необхідно враховувати всі аспекти та особливості системи.

Проаналізовано статтю [14], основна проблема якої полягає в переході до складнішої структури з більшим використанням гнучких ресурсів, таких як накопичувачі енергії, електромобілі та реагування на попит. Незважаючи на їх загальноновизнані переваги, існуючі дослідження не приділяють належної уваги впливу цих ресурсів на безпеку постачання електричної енергії. Стаття має на меті заповнити цю прогалину, надавши структурований огляд методологій для оцінки впливу гнучких ресурсів на безпеку постачання.

Висновки вказують на те, що зазначені ресурси можуть позитивно впливати на надійність постачання, але можуть також створювати проблеми. Методи оцінки впливу повинні враховувати їхні оперативні переваги через часові послідовні симуляції та ймовірнісний підхід. Додатково зроблено акцент на невизначеності та компромісі, що виникають з використання цих ресурсів для оптимізації їхнього застосування та забезпечення безпеки енергопостачання. Через значні невизначеності реалізації гнучких ресурсів, прийнято рішення не враховувати їх в подальшій роботі.

Слід зазначити, що проаналізовано статтю [15], постановка проблеми якої зосереджена навколо забезпечення достатності генерації для безпеки електропостачання під час змін у виробництві електроенергії, а саме зменшення вугільних і ядерних потужностей та збільшення відновлюваних джерел. Дослідження оцінює, як гнучке управління гідроресурсами, позитивно пов'язане з піковим попитом, може зменшити ризик неадекватної генерації.

Методи, використані в дослідженні, включають розробку моделі для оцінки продуктивності різних парків гідроелектростанцій з точки зору безпеки постачання електричної енергії. Аналіз зосереджений на гнучкому управлінні гідроресурсами для пом'якшення ризиків, пов'язаних із переходом від традиційних до відновлюваних джерел енергії. Розглядаються історичні закономірності та спостережувані кореляції між виробництвом електроенергії на гідроелектростанціях і піковим попитом. Аналіз включає погодинні сезонні дані для відновлюваних джерел енергії, застосовані до годин пікового попиту.

Використовуючи моделювання за методом Монте-Карло, дослідники дійшли висновку, що хоча гнучка гідроелектростанція допомагає, цього може бути недостатньо, особливо в поєднанні зі зменшенням потужності базового навантаження. Висновки мають значення для енергетичних компаній, які розглядають довгострокові інвестиції у відновлювані джерела енергії, однак у випадку розрахунку індексу безпеки постачання електричної енергії проаналізована стаття не може бути використана в подальшій роботі.

Крім того, досліджено, що стаття [16] вказує на те, що обмежена доступність диспетчеризованої генерації та велика залежність від вітрової енергії може призвести до електроенергетичних проблем, таких як відключення електроенергії та екстремально нестабільні ціни. Особливу увагу приділено можливості використання електричних систем опалення для забезпечення гнучкості та додаткової вартості для ринку електроенергії. Основною метою статті є моделювання та оцінка доступності диспетчеризованої генерації електроенергії у Фінляндії у 2035 році, а також вивчення ефективної кількості сховищ енергії та теплогенерації, необхідних для підтримки зростання відновлюваних джерел енергії. Також проводиться аналіз можливості електрифікації сектору опалення та її впливу на ринок електроенергії, а також оцінка впливу електроенергетичної торгівлі на необхідний обсяг гнучкої потужності.

Результати свідчать, що для забезпечення зростаючої кількості вітрової енергії протягом наступного десятиліття буде потрібно від 1,8 до 8,0 ГВт диспетчеризованої потужності генерації. У моделюванні цю потужність ефективно забезпечували електростанції комбінованого циклу на природному газі, або, як у випадках високої відновлюваної генерації, електростанції комбінованого циклу на природному газі та конденсаційні електростанції на біомасі. Виявлено, що велика залежність від батарейного сховища для забезпечення гнучкості є технічно та економічно менш ефективним підходом до використання диспетчеризованої генерації, і модельні сценарії демонстрували зайве відсічення та відключення вітрової енергії. Навпаки, інвестування в комбінацію ядерних маленьких реакторів і диспетчеризованої теплової потужності виявилось найефективнішим підходом до

управління інтермітентністю додаткових відновлюваних джерел енергії. Отже, зроблено висновок, що проблематика, порушена в статті, стосується потреби у гнучкій генерації Фінляндії, яка хоче досягти нульового викиду до 2035 року. Оскільки на даний момент досягнення нульового викиду не є пріоритетною задачею в Україні, прийнято рішення не використовувати результати досліджень в подальшій роботі.

3. Обговорення

У всіх проаналізованих публікаціях не піддається сумніву важливість безпеки постачання в країні. В той же час можна констатувати, що на даний момент не існує спільної на європейському просторі методологічної бази для здійснення оцінки та не сформовано системи контролю за безпекою постачання електричної енергії. Кожна країна формує для себе окреме бачення оцінки та контролю безпеки постачання електричної енергії, акцентуючи увагу на внутрішніх проблемах і можливостях зменшення ризиків забезпечення споживачів електричною енергією.

Слід зазначити, що на сьогоднішній день в Україні створена модель моніторингу безпеки постачання, яку формалізовано відповідно до вимог Наказу і представлено у вигляді Звіту «Про результати моніторингу безпеки постачання електричної енергії». До створення такого Звіту долучаються державні органи, а також значна кількість енергетичних підприємств. Результатом проведеного аналізу, представленого у завершальному розділі зазначеного Звіту, є класифікація та оцінка ризиків, які виникають через викладені у розділах Звіту проблемні ситуації в електроенергетичній галузі, а також на ринку електричної енергії.

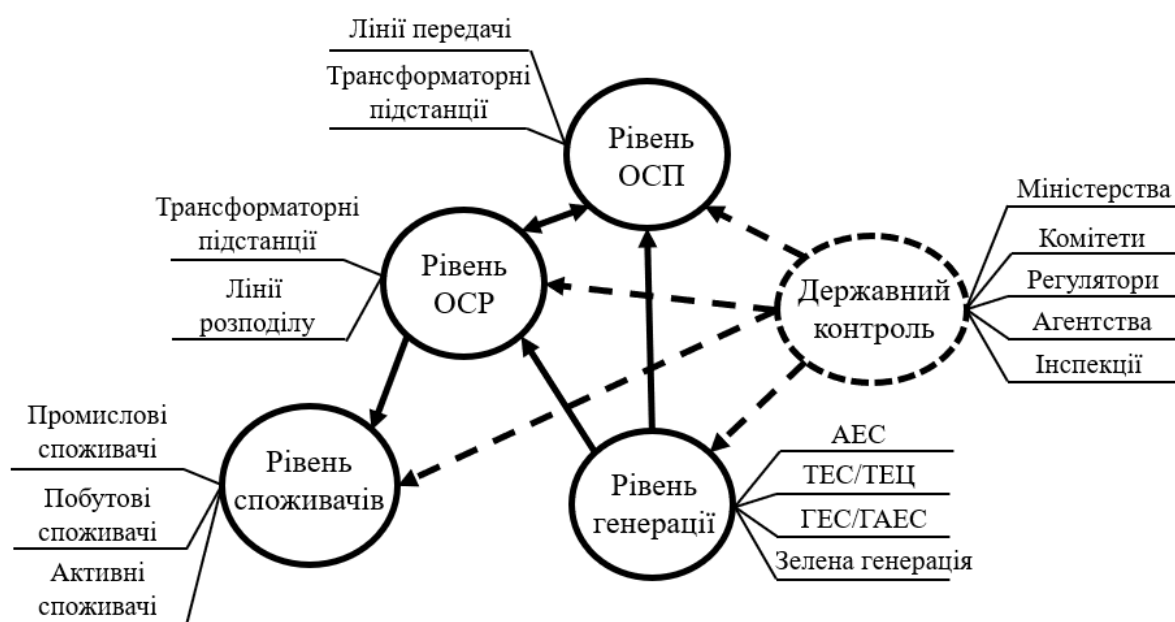


Рисунок 4. Структурні рівні безпеки постачання електричної енергії в Україні

Можна зробити висновок, що базові функції з оцінки безпеки постачання електричної енергії реалізуються в межах зазначеного Звіту, водночас можна поставити під сумнів його результативність для енергетичної галузі в частині прийняття поточних рішень, а також перспектив розвитку.

Слід зазначити, що розв'язання проблеми безпеки постачання електричної енергії потребує залучення методів багаторівневого технічного управління, що також забезпечує отримання максимального ефекту при мінімальних витратах.

Безпеку постачання слід розглядати як певну систему, в якій знаходяться окремі підсистеми або елементи, що можна зобразити таким чином:

$$S = \{STR, ENV, COND\},$$

де $STR = \{STR1, STR2, \dots\}$ – сукупність елементів, які реалізують постачання електричної енергії (зниження обсягів наявних резервів потужностей генеруючих установок і установок зберігання енергії об'єднаної енергетичної системи України та заходів управління попитом нижче рівня); $ENV = \{ENV1, ENV2, \dots\}$ – сукупність елементів, які реалізують зовнішні чинники, які впливають на постачання електричної енергії (відключення та/або пошкодження електроустановок, у тому числі внаслідок дії третіх осіб, що призвели до порушення режиму допустимих перетоків магістральними та міждержавними електричними мережами; перевантаження елементів електричних мереж тощо, які можуть призвести або призвели до обмеження споживання електричної енергії; втрата працездатності та/або несанкціоноване втручання в інформаційно-технологічну систему управління ОЕС України, телекомунікаційні мережі й канали зв'язку, пристрої автоматики і захисту, програмно-апаратний комплекс ринку електричної енергії тощо); $COND = \{\beta_{ex}, \beta_{in}\}$ – умови існування системи, тобто фактори, які впливають на її створення та функціонування (критичний стан забезпечення паливом, зокрема зниження рівня запасів палива нижче затверджених Міненерго обсягів резервів відповідного палива для певних типів електростанцій, призупинення роботи ринку електричної енергії в цілому або окремих його сегментів через позаштатні ситуації).

Запропоновано розглядати систему ефективної безпеки постачання електричної енергії в Україні, ієрархічна структура якої складається з декількох рівнів технічного управління, а саме міжрегіонального (оператор системи передачі), регіонального (оператор системи розподілу), генеруючих суб'єктів господарювання (генерація) і споживчого. Кожен з рівнів керується державними органами, що контролюють їх діяльність, та характеризується різною природою об'єктів органів управління та різними цільовими функціями та методами управління – організаційно-управлінськими, нормативно-правовими, техніко-економічними та техніко-технологічними. Загальні зв'язки між рівнями пояснюються взаємодією як на технічному рівні, так і пов'язаними з ним процесами генерації, розподілу, передачі та споживання електричної енергії.

Загальні структурні рівні безпеки постачання електричної енергії в Україні зображені на рисунку 4.

4. Висновки

В роботі представлено аналіз сучасних підходів до оцінки безпеки постачання електричної енергії в Україні та країнах ЄС як інтегрального показника, що дає змогу планувати діяльність єдиного європейського енергетичного ринку, а також пошук можливостей вдосконалення системи контролю безпеки постачання. Водночас доведено, що відсутня єдина методологічна база для проведення розрахунків, що негативно впливає на рівень загальної результативності отриманих результатів з оцінки безпеки постачання.

Модель оцінки безпеки постачання електричної енергії для України потребує залучення методів багаторівневого технічного управління, що дозволяють системним чином поєднати складові виробництва, передачі та розподілу електроенергії для досягнення об'єктивної, неупередженої оцінки показника. Принциповим питанням є використання сценарного багаторівневого підходу для забезпечення формування ефективних управлінських рішень.

Актуальною задачею для України постає поглиблення нормативно-правового регулювання з питань формування системи моніторингу з безпеки постачання електроенергії, а також визначення рівня безпеки постачання електричної енергії, який оцінюється дотриманням визначених цільових значень (характеристик) критеріїв безпеки постачання електричної енергії в короткостроковій (до одного року) та довгостроковій (від одного року) перспективах.

Посилання

1. Про ринок електричної енергії: Закон України, 2017 р. № 1909-IX. *Офіційний сайт Верховної Ради України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 05.11.2023).
2. Про національну безпеку України: Закон України, 2018 р. № 2849-IX. *Офіційний сайт Верховної Ради України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text> (дата звернення: 05.11.2023).

3. Про схвалення Стратегії енергетичної безпеки: розпорядження КМУ від 04.08.2021 № 907-р. *Офіційний сайт Верховної Ради України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/907-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 06.11.2023).
4. Regulation (EU) 2019/941 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on risk-preparedness in the electricity sector and repealing Directive 2005/89/EC (Text with EEA relevance). URL: <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-in-force/bibliographic-details/-/elif-publication/9cd24c60-8e7b-11e9-9369-01aa75ed71a1> (дата звернення: 08.11.2023).
5. Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity (recast) (Text with EEA relevance). URL: <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-in-force/bibliographic-details/-/elif-publication/48b32722-8e7c-11e9-9369-01aa75ed71a1> (дата звернення: 08.11.2023).
6. Про затвердження Правил про безпеку постачання електричної енергії: наказ Міністерства енергетики України від 27.08.2018 № 448. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/371746__702810 (дата звернення: 10.11.2023).
7. Про затвердження Правил про безпеку постачання природного газу: наказ Міністерства енергетики України від 02.11.2015 № 686. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1489-15#Text> (дата звернення: 11.11.2023).
8. Regulation (EU) 2019/942 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 establishing a European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators (recast) (Text with EEA relevance). URL: <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-in-force/bibliographic-details/-/elif-publication/e848b031-8e7b-11e9-9369-01aa75ed71a1> (дата звернення: 08.11.2023).
9. Electricity Security of Supply Report 2016 Ireland. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cruie-live-96ca64acab2247eca8a850a7e54b-5b34f62.divio-media.com/documents/CER17095-Electricity-Security-of-Supply-Report-2016.pdf> (дата звернення: 15.11.2023).
10. Electricity Security of Supply Report 2016 Danish. URL: <https://en.energinet.dk/about-our-reports/reports/security-of-electricity-supply-report-2016/> (дата звернення: 15.11.2023).
11. Zlatar I., Kozan B., Golob R., Gubina A.F. The Security of Electricity Supply: The Economic Downturn's Influence in Slovenia. *Energy Sources*. 2014. Vol. 9. Iss. 4. P. 351—359. <https://doi.org/10.1080/15567249.2010.499410>
12. Губарева І.О., Салашенко Т.І. Моніторинг електроенергетичної безпеки як інструмент державного регулювання ринку електроенергії України. *Проблеми економіки*. 2021. № 1(47). С. 11—20. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2021-1-11-20>
13. Gasser P., Suter J., Cinelli M., Spada M., Burgherr P., Hirschberg S., Kadziński M., Stojadinović B. Comprehensive resilience assessment of electricity supply security for 140 countries. *Ecological Indicators*. 2020. Vol. 110. 105731. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105731>
14. Sperstad I. B., Degefa M. Z., Kjølle G. The impact of flexible resources in distribution systems on the security of electricity supply: A literature review. *Electric Power Systems Research*. 2020. Vol. 188. 106532. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106532>
15. Abadie L. M., Chamorro J. M., Huclin S., van de Ven D.-J. A note on flexible hydropower and security of supply: Spain beyond 2020. *Energy*. 2020. Vol. 203. 117869. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117869>
16. Hyvönen J., Koivunen T., Syri S. Power supply security in a carbon neutral Finland. *19th International Conference on the European Energy Market (EEM)* (6–8 June, 2023). <https://doi.org/10.1109/EEM58374.2023.10161906>

MODERN SOLUTIONS FOR PROVIDING ASSESSMENT AND CONTROL OF SECURITY OF ELECTRICITY SUPPLY

Yaroslav Pryshchepa*, <https://orcid.org/0009-0008-5049-4826>

Anatolii Zamulko, PhD (Engin.), Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-8018-6332>
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37,
Beresteiskyi Ave., Kyiv, 03056, Ukraine

*Corresponding author: yrikpa200022@gmail.com

Abstract. *The introduction of market relations in the energy industry brought the issue of energy security to a new level, defining one of its components in the market as the security of electric energy supply. In the work, a comparative analysis of the existing conceptual terminological apparatus related to the definitions of energy security and security of supply was carried out in order to establish the main differences. At the same time, assessment and control of the security of electricity supply, as integral indicators that make it possible to plan the activities of the single European energy market, have become fundamental issues for various countries. Assessment and control of the security of electricity supply in modern Ukraine is becoming an increasingly urgent task in connection with the connection of its unified energy system to the energy system of Europe and the need to ensure emergency-free parallel operation. Therefore, the purpose*

of the study is to form an idea of modern approaches to the assessment of the security of electricity supply in Ukraine and the EU countries, as well as to search for opportunities to improve the control system of security of supply. It was established that, apart from the prescriptive regulation of the basic principles of the formation of indicators, at the moment there are no unified approaches that would allow them to be used to create a national methodological base for a conscious and qualitative assessment of security of supply. Based on the results of the comparative analysis, the main ways by which the issue of security of supply assessment is considered have been identified. It has been proven that an important direction is the creation of a multi-level system of assessment and control of the security of electricity supply, as well as ensuring the control of the implementation of organizational measures aimed at improving the security of supply.

Keywords: security of electric energy supply, electricity, law, monitoring, regulation, reliability, directive.

References

1. On the electricity market: Law of Ukraine, 2017 No. 1909-IX. *Official website of the Verkhovna Rada of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (Last accessed: 05.11.2023) [in Ukrainian].
2. On the national security of Ukraine: Law of Ukraine, 2018 No. 2849-IX. *Official website of the Verkhovna Rada of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text> (Last accessed: 05.11.2023) [in Ukrainian].
3. On the approval of the Energy Security Strategy: Decree of the CMU dated 04.08.2021 No. 907. *Official website of the Verkhovna Rada of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/907-2021-%D1%80#Text> (Last accessed: 06.11.2023) [in Ukrainian].
4. Regulation (EU) 2019/941 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on risk-preparedness in the electricity sector and repealing Directive 2005/89/EC (Text with EEA relevance). URL: <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-in-force/bibliographic-details/-/elif-publication/9cd24c60-8e7b-11e9-9369-01aa75ed71a1> (Last accessed: 08.11.2023).
5. Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity (recast) (Text with EEA relevance). URL: <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-in-force/bibliographic-details/-/elif-publication/48b32722-8e7c-11e9-9369-01aa75ed71a1> (Last accessed: 08.11.2023).
6. On the approval of the Rules on the safety of electric energy supply: Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated August 27, 2018 No. 448. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/371746__702810 (Last accessed: 10.11.2023) [in Ukrainian].
7. On the approval of the Rules on the safety of natural gas supply: Order of the Ministry of Energy of Ukraine dated November 2, 2015 No. 686. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1489-15#Text> (Last accessed: 10.11.2023) [in Ukrainian].
8. Regulation (EU) 2019/942 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 establishing a European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators (recast) (Text with EEA relevance). URL: <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-in-force/bibliographic-details/-/elif-publication/e848b031-8e7b-11e9-9369-01aa75ed71a1> (Last accessed: 08.11.2023).
9. Electricity Security of Supply Report 2016 Ireland. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cruie-live-96ca64acab2247eca8a850a7e54b-5b34f62.divio-media.com/documents/CER17095-Electricity-Security-of-Supply-Report-2016.pdf> (Last accessed: 15.11.2023).
10. Electricity Security of Supply Report 2016 Danish. URL: <https://en.energinet.dk/about-our-reports/reports/security-of-electricity-supply-report-2016/> (Last accessed: 15.11.2023).
11. Zlata, I., Kozan, B., Golob, R., & Gubina, A.F. (2014). The Security of Electricity Supply: The Economic Downturn's Influence in Slovenia. *Energy Sources*, 9(4), 351–359. <https://doi.org/10.1080/15567249.2010.499410>
12. Hubarieva, I.O., & Salashenko, T.I. (2021). Electricity Safety Monitoring as a Tool for the State Regulation of Ukraine's Electricity Market. *Problems of Economy*, 1(47), 11–20 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2021-1-11-20>
13. Gasser, P., Suter, J., Cinelli, M., Spada, M., Burgherr, P., Hirschberg, S., Kadziński, M., & Stojadinović, B. (2020). Comprehensive resilience assessment of electricity supply security for 140 countries. *Ecological Indicators*, 110, 105731. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105731>
14. Sperstad, I. B., Degefa, M. Z., & Kjølle, G. (2020). The impact of flexible resources in distribution systems on the security of electricity supply: A literature review. *Electric Power Systems Research*, 188, 106532. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106532>
15. Abadie, L. M., Chamorro, J. M., Huclin, S., & van de Ven, D.-J. (2020). A note on flexible hydropower and security of supply: Spain beyond 2020. *Energy*, 203, 117869. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117869>
16. Hyvönen, J., Koivunen, T., & Syri, S. (2023, June 6–8). Power supply security in a carbon neutral Finland. *19th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. <https://doi.org/10.1109/EEM58374.2023.10161906>

Надійшла до редколегії: 01.04.2024